

Transformación del paisaje y pérdida del servicio ecosistémico de regulación hídrica en cuencas urbanas. Casos microcuencas Tintal y Torca en la ciudad de Bogotá, Colombia

Landscape change and loss of water regulation ecosystem service in urban basins. Tintal and Torca watersheds in Bogotá, Colombia

Julieth Monroy Hernández¹ 

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados del proyecto titulado “Análisis de la configuración del paisaje por pérdida del servicio ecosistémico de regulación de inundaciones” desarrollado durante el 2019 en la línea de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos, de la Subdirección Científica del Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis (JBB). Evidenciar cómo a medida que la ciudad crece va perdiendo los espacios que prestan servicios ecosistémicos de regulación hídrica y su relación potencial con eventos de inundación en dos áreas de interés para el JBB: las microcuencas Torca y Tintal. La primera microcuenca se encuentra al norte de la ciudad, ha mantenido en gran parte el suelo para actividades rurales, mientras que la segunda ha tenido un proceso de expansión urbana acelerado, desde la década de los años ochenta. En ambas microcuencas se encuentra una estrecha relación con la pérdida de áreas amortiguadoras y reguladoras y los patrones espacio temporales de ocurrencia de eventos de inundación.

Palabras clave: paisaje, inundaciones, servicios ecosistémicos, regulación hídrica, cubos de espacio-tiempo

ABSTRACT

This article presents the results of the project “Analysis of landscape configuration and loss of ecosystem services for flood regulation” developed by the Biodiversity and Ecosystem Services investigation group, of the Botanical Garden of Bogotá José Celestino Mutis (JBB) Scientific Division, in 2019. Evidence how, as the city grows, it loses the spaces that provide ecosystem services of water regulation and its relationship with flood events in two areas of interest, Torca and Tintal micro basins. The first microbasin, located north of the city, has maintained rural activities over de decades, while the second has had an accelerated urban expansion process, since the 1980s. In both microbasins there is a close relationship with the loss of regulatory areas and the temporal space patterns of flood events.

Keywords: landscape, floods, ecosystem services, water regulation, temporal space patterns

¹ Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, línea de investigación Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos.
Correo electrónico: juliethmh@gmail.com

Los servicios ecosistémicos de regulación hídrica y los humedales urbanos

Los servicios ecosistémicos (SE) de regulación y soporte se refieren a aquellos beneficios resultantes de la regulación de procesos ecosistémicos, que incluyen por ejemplo el mantenimiento de la calidad del aire, regulación hídrica, regulación del clima, almacenamiento y captura de carbono, control de la erosión, control de las enfermedades humanas y la purificación del agua (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

Los SE de regulación hídrica se definen por los aportes ambientales de las áreas de humedales y cuerpos de agua en una cuenca hidrológica, por sus características y funcionalidad en el almacenamiento de agua, recarga del manto freático y la disminución del impacto de las inundaciones (Cortés Ballén, 2017). Si bien el régimen climático influye en la existencia y el perfil ecológico de los humedales, es el régimen hidrológico en el que mantienen su dependencia, por lo que han sido considerados como sistemas azonales, como una transición entre los sistemas acuáticos y terrestres (Kandus *et al.*, 2011).

En el caso de los humedales urbanos, se entienden estos como aquellos cuerpos de agua que han sobrevivido al desarrollo histórico de la ciudad, luego de un proceso gradual de urbanización, que en ocasiones se han integrado a las ciudades generando entornos mejor habitables (WWT Consulting, 2015). Los humedales también están conformados por áreas de transición fundamentales para la estabilidad del ecosistema (Martínez Hernández *et al.*, 2000). Sin embargo, dada la alta transformación de los humedales urbanos, su mantenimiento requiere de estrategias que medien entre la artificialización y la renaturalización, adaptándose a los cambios ya impuestos.

El crecimiento de centros urbanos y asentamientos periurbanos sobre estas áreas, con el tiempo evidencian efectos inversos sobre su sistema natural, generando escenarios de riesgo. En el caso del SE de amortiguación y regulación de inundaciones en el suelo urbano, estos se dan por la impermeabilización del suelo, la canalización del cauce de los ríos y sus afluentes que aumenta la velocidad de los caudales y aporta aguas “no naturales” provenientes de conexiones de aguas lluvias y aguas residuales, así como la disminución de cuerpos de agua que funcionan como amortiguadores de crecientes en épocas de lluvia (Peña-Guzmán *et al.*, 2016)

En Colombia se han implementado varias acciones legales con respecto a la protección de los ecosistemas de humedal y de sus SE. La Ley 357 de 1997 adoptó la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional (Convención Ramsar 1971), a partir de la cual se formula posteriormente la Política Nacional para Humedales interiores de Colombia y la Política de humedales del Distrito Capital, instrumentos normativos que dan un marco de referencia para la administración pública. Sin embargo, de acuerdo con Cortés Ballén (2017), a pesar de existir normativas sobre su protección, estas no involucran conceptualmente la necesidad de conectividad de los ecosistemas para la regulación del ciclo hidrológico, los articula de forma funcional en la Estructura Ecológica Principal (EEP) de la ciudad.

Los humedales de Bogotá según Hammen *et al.* (2008), son parte del complejo sistema de planicie aluvial del río Bogotá, transformado por la historia de construcción del paisaje de la ciudad.

Existen evidencias arqueológicas de la relación del pueblo originario Muisca con los humedales, quienes por medio de camellones o montículos separados por canales configuraron un sistema hidráulico para aprovechar la fertilidad del suelo, la humedad en tiempos de sequía y mejorar el drenaje en épocas de lluvia, además de aportar al control sobre las heladas (Valdez, 2006). Sin embargo, el incremento de la sedimentación en los canales conllevó a que se perdiera el control sobre las inundaciones, lo que generó un momento de crisis justo antes de la colonización, cuando el paisaje es nuevamente transformado, la forma de cultivo se modifica sin tener en cuenta los camellones, se siembran pinos y eucaliptos que ayudaban a desecar las zonas inundadas, se construyen nuevos canales y se siembran alisos y sauces en el río Bogotá para reforzar los jarillones (Santiago Villa, 2012). Este proceso continuó después de la independencia, incrementándose con la subdivisión de las grandes haciendas en propiedades más pequeñas dedicadas también a la agricultura y que posteriormente a mediados de siglo XX se parcelaron para dar cabida al avance urbano.

La ciudad de Bogotá presenta desde 1950 un crecimiento acelerado, que se intensifica durante la década de 1980 por un proceso de densificación y expansión hacia sus bordes, generando cambios en el uso del suelo y una pérdida continua de SE (Duque Gutiérrez, 2015). Se estima que, a principios del siglo XX, el área de lagos y humedales en Bogotá sumaba más de 50.000 ha, en la actualidad solo quedan alrededor de 800 ha (Martínez Hernández *et al.*, 2000). Como lo referencia (Rojas *et al.*, 2015), la urbanización no controlada ha consumido rápidamente las tierras rurales y ha invadido sistemáticamente los cuerpos de agua, humedales y planicies inundables, creando un ecosistema fragmentado característico de la ribera del río Bogotá, donde el desarrollo urbano se dio sobre humedales que fueron rellenados con escombros y un sistema de alcantarillado no planificado.

Enfoque metodológico: cartografía y valoración de los SE urbanos

Las herramientas cartográficas en la evaluación de los SE, permiten observar los elementos del paisaje, comprender la forma en como estos se configuran, modelar las relaciones espaciales y aportar a la evaluación de sus funciones (Lattera *et al.*, 2011). En la actualidad, con el creciente uso de datos abiertos y la digitalización de datos espaciales y cartografía históricos, se tiene una amplia diversidad de fuentes de información, permitiendo obtener una aproximación integral del territorio y plantear escenarios prospectivos de gran utilidad en la planificación (Lattera *et al.*, 2011; Leitao *et al.*, 2012).

Por esto, el proyecto se fundamentó en la geografía del paisaje y la geografía del tiempo. El enfoque sistémico de la geografía del paisaje permite analizar los elementos físicos para comprender su configuración por medio del análisis espacial y así dar respuesta a preguntas específicas sobre su transformación (Barrera Lobatón, 2014). Al ser el paisaje dinámico en el tiempo, esta perspectiva también explora las formas en que diferentes eventos y relaciones se incorporan para conformar una realidad tangible en cierto momento (Monroy Hernández, 2017).

La geografía del tiempo permite observar estas relaciones que construyen el paisaje como un agregado, identificando también patrones y tendencias. Inicialmente se enfocó al análisis de tiempo y el espacio como recursos, donde las limitaciones u oportunidades en el entorno físico son dadas por la experiencia humana a través de actividades particulares que tienen una duración en el tiempo y cuyas trayectorias son representadas en un cubo (Hägerstrand, 1970; Thrift, 1977). Posteriormente con la inclusión de las tecnologías de análisis espacial, se generan modelos que buscan no solo analizar cómo diversos eventos generan formas en el espacio, sino también llegar a la predicción de sus comportamientos. Según Venkateswara Rao et al. (2011), los objetos espaciales además de tener una localización, forma y atributos heredan atributos temporales que pueden ser modelados, tomando. Esta modelación toma como base el cubo de espacio-tiempo propuesto por Hägerstrand (1970) y se integra como técnica de visualización en los softwares de procesamiento de información geográfica - SIG para observar sus patrones en el espacio (Kristensson et al., 2008).

Para lograr el análisis de transformación de paisajes urbanos, es necesario procesar esta información temporal y adecuarla a los formatos compatibles a los SIG, lo cual lleva a un proceso de homogeneización que tiene tres fases principales: georreferenciación, digitalización y transcripción de la información (Solanas Jiménez, 2018). Dado que se trabaja con información de tiempos diferentes, es necesario realizar ajustes para limitar los errores que se pueden presentar debido a las diversas técnicas, metodologías, sistemas de referencia espacial y proyección cartográfica de las fuentes de información (Benavides Quecán, 2004). Igualmente sucede con el uso de datos de archivos documentales, los cuales se debe homogeneizar y verificar de acuerdo con los elementos que existen en los periodos de tiempo analizados, soportándose en la cartografía histórica.

Ruta metodológica

Con el fin de analizar los cambios de la pérdida del SE de regulación hídrica en las microcuencas Torca y Tintal y su relación potencial con eventos de inundación, el proyecto se basó en la interpretación de imágenes aéreas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC y la Infraestructura de Datos Espaciales del Distrito de Bogotá – IDECA, y el análisis de patrones de espacio-tiempo de eventos de inundación reportados en los últimos 20 años por el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático - IDIGER y la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB.

De esta forma el proyecto se desarrolló en cuatro fases:

Fase 1. Revisión de antecedentes de transformación de las microcuencas: Esta fase consistió en la revisión documental de estudios realizados sobre el tema y otros asociados a la transformación de humedales, con el fin de dar un marco de referencia al proyecto.

Fase 2. Análisis multitemporal de imágenes aéreas a partir de fotointerpretación: en esta fase realizó la identificación de zonas de amortiguación y regulación y estimación del porcentaje de pérdida a través del tiempo. Se utilizaron ortofotomosaicos de los años 1998 y 2009, disponibles en el portal IDECA, y la georreferenciación de fotografías aéreas del Banco Nacional de Imágenes - BNI del IGAC, de los años 1940, 1950 y 1970.

El proceso de digitalización y transcripción de unidades cuya dimensión espacial han persistido o cambiado en el tiempo, se clasificó las siguientes categorías:

- Humedales: zonas de humedal donde se puede encontrar evidencia visual de espejo de agua, asociados en ocasiones con vegetación baja.
- Meandros abandonados: zonas visiblemente más húmedas que se encuentran a lo largo de la ribera del río Bogotá y su forma se relaciona al meandro cercano del río.
- Áreas encharcables 1: humedales temporales que se perciben similares a las áreas de humedal, se encuentran cercanas a estas, pero no cuentan con espejo de agua.
- Áreas encharcables 2: se perciben similares a las áreas antes descritas, pero no necesariamente están relacionadas a zonas de humedal. Son bajos en el terreno donde permanece la humedad en el suelo, en especial en épocas lluviosas.
- Canales: surcos lineales generalmente cercanos a zonas encharcables y de humedal.
- Cuerpos de agua: áreas artificiales que se fueron creando en algunas fincas, principalmente sobre áreas encharcables o de humedales pequeños.
- Áreas de humedal modificadas: corresponden a la adecuación de áreas encharcables o de humedal para destinar terrenos a campos del golf.

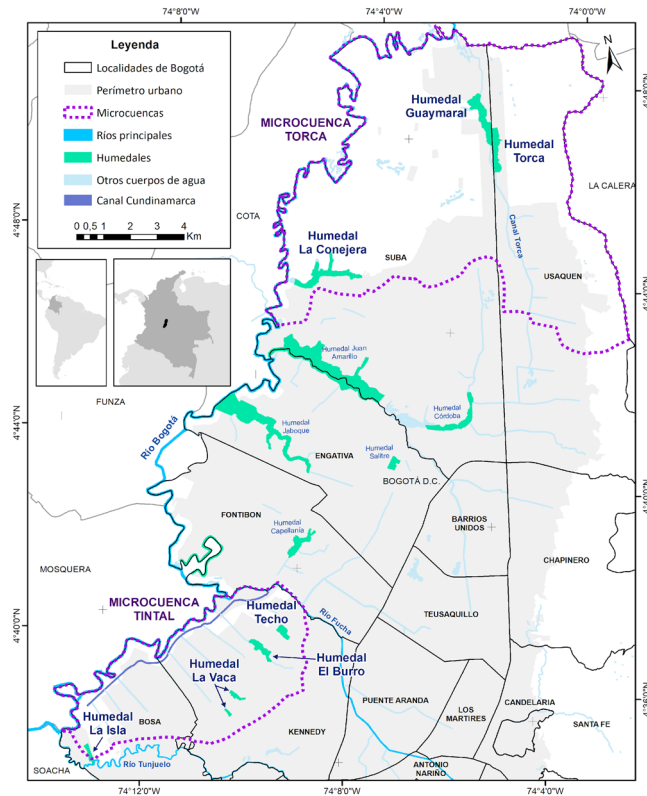
Fase 3 Distribución espacial de eventos de inundación: para esta fase se compilaron datos relacionados a inundaciones registrados en el Sistema de Información de Riesgos y Emergencias – SIRE del IDIGER y de la EAAB. Se realizó la geocodificación de estos datos por medio del software Google Earth PRO a partir de las direcciones reportadas en los registros.

Fase 4 Análisis de la relación de eventos de inundación en las microcuencas Torca y Tintal con las áreas de pérdida de SE de regulación de inundaciones: el análisis de los eventos se realizó por medio de la herramienta Space-Time Cube de ArcGIS Pro. Esta se basa en patrones integrados donde se define un intervalo de espacio-tiempo llamado “bin”, a partir de la ubicación de eventos. Cada evento tiene una coordenada en el espacio (ejes x, y), guarda una relación de distancia con cada punto del grupo de datos y tienen un valor de tiempo (eje t), de esta forma para cada “bin” analizado en conjunto se crea un cubo que suma sus valores identificando patrones espacio temporales (ESRI, 2018b). Cada serie refleja una tendencia que se califica de dos formas: una puntuación z (desviación estándar), que indica si los valores tienen una tendencia al alza o a la baja, y un valor P (probabilidad) que indica si el valor es representativo estadísticamente, obteniendo una visualización clasificada de los patrones espacio temporales (ESRI, 2018a).

Transformación de las microcuencas Torca y Tintal

Figura N°1.

Mapa de ubicación de las microcuencas Torca y Tintal en Bogotá y sus humedales.



Fuente: elaboración propia a partir de cartografía base del IDECA, 2018.

El crecimiento y presión de la ciudad sobre las microcuencas Torca y Tintal, se ha dado de forma diferenciada; la primera microcuenca al norte de la ciudad ha mantenido en gran parte del suelo para actividades rurales, mientras que la segunda ha tenido un proceso de expansión urbana acelerado, principalmente desde la década de los años ochenta.

En la microcuenca Torca la principal área de regulación y amortiguación de inundaciones la constituía el lago Torca, el cual fue dividido en dos secciones en 1952, cuando se construye la Avenida Paseo de los Libertadores o Autopista Norte, surgiendo los humedales de Torca y Guaymaral (Otero Durán *et al.*, 2010), un tercer fragmento quedó ubicado en medio del separador de la autopista (Heredia Díaz, 2016), mientras algunos pequeños cuerpos de agua remanentes fueron rellenados. Las tres secciones actuales se encuentran conectadas hidráulicamente de forma artificial, no cuentan con fuentes de agua de forma directa, los drenajes afluentes y el canal Torca solo logran conectarse en épocas de altas lluvias cuando ambos cuerpos de agua se desbordan (Zamudio Sossa, 2007).

Otro humedal de gran extensión en la microcuenca Torca es el humedal La Conejera. Este sector de la antigua Hacienda La Conejera, estaba conformado por la laguna Aguas Calientes, cuer-

po de aguas termales donde tenía su origen la Quebrada La Salitrosa y el Humedal La Conejera, pero luego afectado por rellenos con distintos fines (Otero Durán *et al.*, 2010). A estos impactos se suman también la construcción de canales e interceptores con el proyecto Santa Fe I en 1996 para mitigar los efectos de la transformación y ampliar los servicios de acueducto y alcantarillado del creciente sector urbano al occidente de la ciudad (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2003).

A la fecha la microcuenca Torca está conforma principalmente por asentamientos dispersos periurbanos, equipamientos educativos, parques de recreación y establecimientos comerciales, que han incrementado la población flotante, aumentado la disposición de basuras en los humedales y por consiguiente la disminución de la capacidad del cuerpo de agua para retener crecientes (IDEA, 2015). La explotación de aguas subterráneas y el mal manejo de los vertimientos ha causado también contaminación de las aguas en sectores donde se encuentran urbanizaciones, cementerios y cultivos de flores (Duque Gutiérrez, 2015).

La microcuenca Tintal inicialmente era parte de la microcuenca del río Fucha, pero debido a la configuración de la ciudad se ha separado de la dinámica natural de esta, conformándose como una subcuenca independiente (Peña-Guzmán *et al.*, 2016). Debido al continuo desarrollo urbanístico los cauces son casi por completo artificiales, la red drena las aguas hacia el canal interceptor Kennedy, el cual colecta las aguas combinadas (agua lluvia y agua residual) provenientes de las microcuencas Fucha y Tunjuelo y el sector Tintal hacia el canal embalse Cundinamarca, para llegar a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Canoas (Cifuentes Sarria, 2011).

Este sistema también fue concebido en el proyecto Santa Fe I en el año 1996, el cual necesitó de la construcción de colectores y canales de drenaje, estaciones elevadoras de bombeo de aguas residuales y combinadas, una laguna de amortiguación de crecientes de 730.000 m³ en Fontibón y la rehabilitación de casi 11 kilómetros de diques en la margen del río Bogotá entre el Tintal y Fontibón (Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2003). Posteriormente el Canal Cundinamarca, eje principal de regulación hídrica de la microcuenca, se puso en servicio en 2006 con el fin de mitigar el riesgo de inundación e igualmente habilitar suelos para la construcción al occidente de la ciudad para la empresa Metrovivienda la cual hacia parte de la Alcaldía Mayor de Bogotá y promovía la construcción de vivienda de interés social en este sector (Castellanos Puentes, 2014). Este canal drena los humedales de Techo, El Burro, La Vaca y los canales Tintal I, II, III y IV, que descargan sus aguas por medio de estaciones de bombeo hacia el río Bogotá (Planeación Ecológica y Ecoforest, 2013).

El humedal de Techo se encuentra fragmentado en tres áreas, el agua afluente llega por la red de alcantarillado pluvial desde dos tuberías (una al oriente y otra al sur-oriente) y el resto de drenaje llega por escurrimiento propio; se encuentra afectado por conexiones erradas que le aportan aguas residuales, así como presencia de escombros, basuras y vectores, además de estar altamente afectado por construcción de vivienda informal (Pontificia Universidad Javeriana y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2009b).

El humedal El Burro se encuentra fragmentado en tres áreas por la Avenida Ciudad de Cali, su función es la de dique de amortiguación del agua que se represa en la parte nororiental; por encontrarse en el sector más cercano a la zona industrial y comercial de la ciudad, presenta alta

contaminación por residuos de metales pesados, desechos sólidos, concentración de sedimentos y alta carga orgánica (IDEA, 2008).

El humedal La Vaca se considera como uno de los más degradados en Bogotá, su drenaje proviene del alcantarillado pluvial, la lluvia directa y posibles aportes de flujo subsuperficial; al estar inmerso en el área urbana su conexión con el río Bogotá se ha perdido y se encuentra fraccionado en dos sectores independientes hidráulicamente, donde sus salidas de agua continúan por el alcantarillado pluvial hasta el Canal Cundinamarca, los tiempos de concentración del agua son cortos y el escurrimiento es inmediato, luego parte de su volumen de agua se pierde por evapotranspiración (Pontificia Universidad Javeriana y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2009; Cruz Barbosa, 2015).

Los humedales de ambas microcuencas fueron declarados en 2004 como Parques Ecológicos Distritales de Humedal, se delimitó un área de ronda hidráulica y zona de manejo y preservación ambiental – ZMPA (López Barrera *et al.*, 2015). Esta categoría creada en el Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad (Decreto 190 de 2004), los define en su artículo 94 como un “área de alto valor escénico y/o biológico que, por ello, tanto como por sus condiciones de localización y accesibilidad, se destina a la preservación, restauración y aprovechamiento sostenible de sus elementos biofísicos para educación ambiental y recreación pasiva.” Esta declaratoria ha impulsado diversos procesos de recuperación y restauración de los humedales desde la administración de la ciudad y acciones que desde la comunidad que habita sus alrededores.

Resultados del análisis multitemporal

Estimación de áreas de pérdida de SE de amortiguación y regulación de inundaciones a través del tiempo

A partir de fotografías aéreas del BNI - IGAC y el IDECA, se mapearon cuatro periodos de tiempo de acuerdo con la disponibilidad de imágenes para el cubrimiento total del área. Para la microcuenca Torca se analizaron los años 1970, 1998, 2009 y 2018 y para la microcuenca Tintal los años 1950, 1998, 2009 y 2018 (Monroy Hernández, 2019a; Monroy Hernández, 2019b).

Como se relaciona en el Cuadro N°1 el porcentaje de pérdida de estas áreas para la microcuenca Torca fue de 58.8%. Sin embargo, la canalización de algunos sectores alrededor del humedal Torca ha llevado a la aparición de otras zonas de encharcamiento. Al cambiar el régimen hidráulico del área, el agua se dirige a zonas de bajos en el terreno que se encuentran libres, generando zonas de encharcamiento donde anteriormente no se registraron estas.

Para la microcuenca Tintal la pérdida de áreas amortiguadoras y reguladoras fue del 89.9%. A partir de la década del 90 se observa algunas construcciones temporales relacionadas con las obras de acueducto y alcantarillado a lo largo del río Bogotá, como lo fue la construcción del canal Cundinamarca.

Cuadro N°1.

Porcentajes de pérdida de áreas amortiguadoras y reguladoras.

MICROCUENCA TORCA			
Periodo	Áreas amortiguadoras (ha)	% con respecto 1970	% Pérdida del periodo
1970	247,79	100%	
1998	118,99	48%	48%
2009	104,02	42%	14,97%
2018	102,01	41,2%	2,01%
MICROCUENCA TINTAL			
Periodo	Áreas amortiguadoras (ha)	% con respecto 1950	% Pérdida del periodo
1950	329,49	100%	
1998	57,78	82,5%	82,5%
2009	62,6	81,2%	(recuperación del 8%)
2018	33,17	89,9%	41,2%

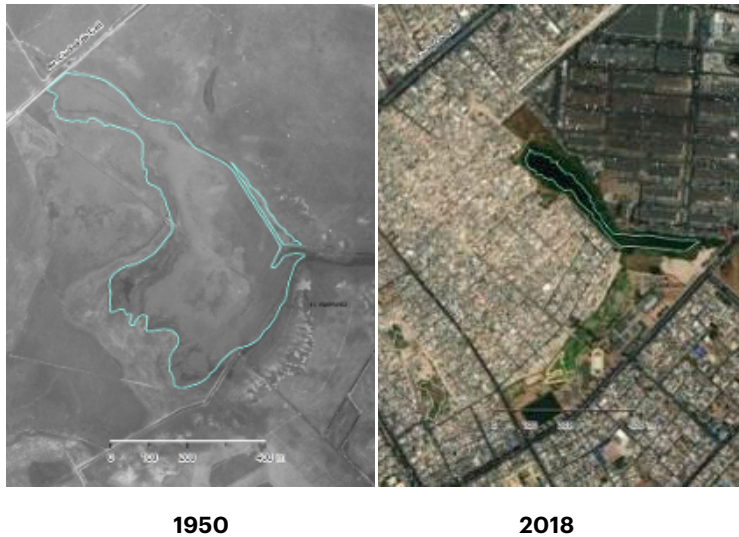
Fuente: elaboración propia

La pérdida de las áreas de humedales fue de un 41,2% desde 1970 en la microcuenca Torca, dado por la expansión de condominios campestres, equipamientos educativos y algunas construcciones comerciales a lo largo de la Autopista Norte, como el caso del Centro Comercial Bima y los clubes privados que adaptaron áreas encharcadas y en algunos casos remanentes del humedal Guaymaral. En 2018, el humedal Torca tenía una extensión de 18,3 ha, es decir un 24% de su área inicialmente medida para 1970, la creación del canal Torca que conecta el área central del humedal (que quedó separada debido a la ampliación de la Autopista Norte) aceleró la desecación de este. El humedal La Conejera varía poco su extensión, su costado sur se ha configurado como el límite del perímetro urbano, por lo que su área de amortiguación en este costado se ha visto casi desaparecida por el avance de la ciudad, mientras que en el sector norte del humedal han permanecido las actividades agropecuarias y zonas de pastos con poca transformación.

Por su parte en la microcuenca Tintal los humedales se redujeron un 89,9% desde 1950. Esta microcuenca ha sido más impactada por el crecimiento urbano, pasando de tener 5,6 ha construidas en 1950 a 1720,07 ha de urbanizaciones informales y recientes desarrollos de vivienda planificada. Los humedales también han presentado una mayor transformación, debido a que han sido rellenados con escombros para la generación de suelo a bajo costo.

El humedal Techo contaba con una extensión de 9,75 ha en 1950, las cuales se redujeron a 4,84 ha para el 2018. El humedal El Burro tenía inicialmente un área de 19,11 ha y una visible área encharcable en el sector noroccidental del humedal, el cual en un momento hizo parte de este, pero que para el periodo de 1950 se encontraba en proceso de desecación. Este humedal se fragmentó en tres secciones de las cuales solo una ha sido reconocida como Parque Distrital de Humedal, la segunda sección es administrada por la alcaldía de la localidad de Kennedy, mientras que la tercera se ubica en un predio privado que se ha destinado para la construcción de edificios de apartamentos. El humedal La Vaca tenía una extensión aproximada de 20,1 ha, de las cuales para el último periodo se miden solo 3,76ha, es decir una pérdida de 81% de su extensión original.

Figura N°2.
Transformación del Humedal La Vaca.



Fuente: elaboración propia a partir de fotografías aéreas del vuelo C525 de 1950 del IGAC, e imagen satelital ESRI - Digitalglobe, 2018.

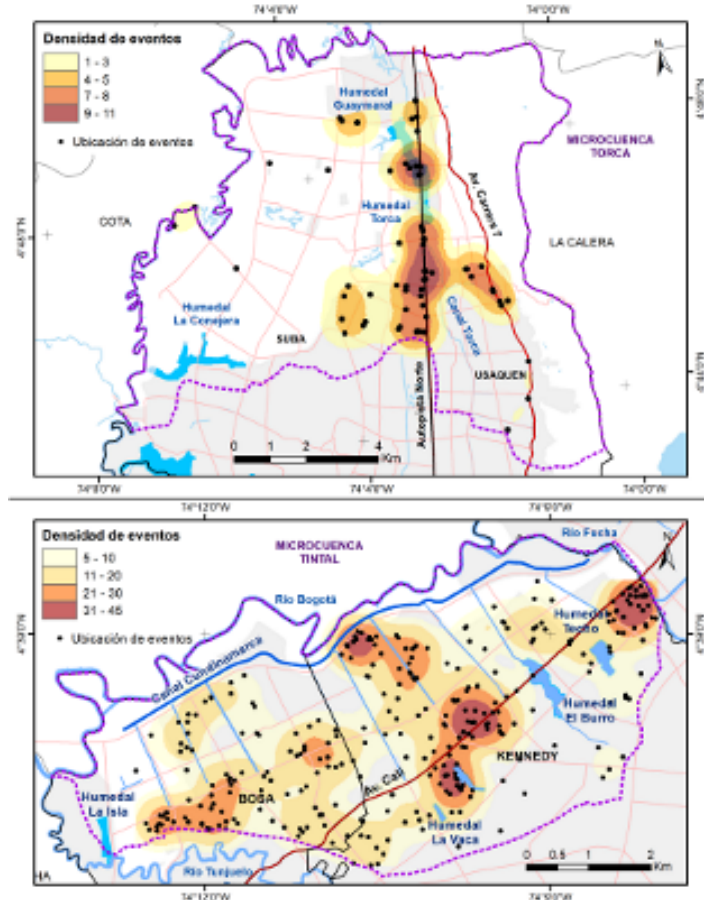
También se observó que el humedal La Isla se encuentra en proceso de conformación ya que no se encontró su presencia en 1950 y 1998, solo hasta el periodo 2009, razón por la cual se evidencia una leve recuperación de las áreas de amortiguación. Se trata de una zona baja propensa a encharcarse ubicada en el plano de inundación del río Tunjuelo, surge presumiblemente por condiciones favorables para la conformación de un humedal después del abandono de las actividades agrícolas.

Eventos de inundación en las microcuencas Torca y Tintal

Como se mencionó anteriormente para el mapeo de eventos de inundación se tomó como referencia dos fuentes de información: SIRE- IDIGER y EAAB. En total para el periodo de 1999 a 2018, se lograron obtener 84 eventos dentro de la microcuenca Torca y 326 en la microcuenca Tintal. Estos eventos se encuentran directamente relacionados con el periodo de intensas lluvias entre los años 2011 y 2012, cuando se dieron precipitaciones por encima del promedio frente a lo registrado en los últimos 20 años. A partir de los puntos de eventos de inundación se realizó el cálculo de densidad, utilizando la densidad de Kernel, método que se basa en las relaciones de vecindad con respecto a los puntos más cercanos, donde el radio máximo de búsqueda es determinado por la relación de la extensión en el espacio donde se ubican los puntos en su conjunto (Smith *et al.*, 2018).

Figura N°3.

Densidad de eventos en las microcuencas Torca y Tintal.



Fuente: elaboración propia a partir de datos de ventos de inundación y cartografía base del IDECA, 2018.

En la microcuenca Torca se observa que las áreas de concentración de eventos de inundación se encuentran principalmente sobre la Autopista Norte siguiendo el eje del humedal Torca - Guaymaral, en el sector entre Mirandela, Canaima y San José de Bavaria, calles 180 a 200 (colindando con el cerro La Conejera), el sector Verbenal sobre la carrera 7 y entre la carrera 58 y la Autopista Norte. También se ubican otros eventos aislados, hacia el suroriente de la microcuenca, entre el río Bogotá y la Avenida La Conejera, el centro poblado Chorrillos y la vía Guaymaral con calle 221.

Para la microcuenca Tintal, en la localidad de Kennedy se encuentran un amplio sector de concentración de eventos entre los barrios Patio Bonito, María Paz, La Concordia, El Amparo y El Olivo, estos últimos tres barrios relacionados al humedal La Vaca. Un segundo sector de concentración es el de Los Almendros y Galán cercanos al Canal Cundinamarca, y un tercer sector en barrios El Vergel, Castilla y Villa Viviana, en cercanías al río Fucha, límite norte de la microcuenca. En la localidad de Bosa los dos sectores con más eventos han sido primero los barrios El Paraíso, San Bernardino y San Bernardino Sector Potreritos, y segundo, el sector de los barrios Campo

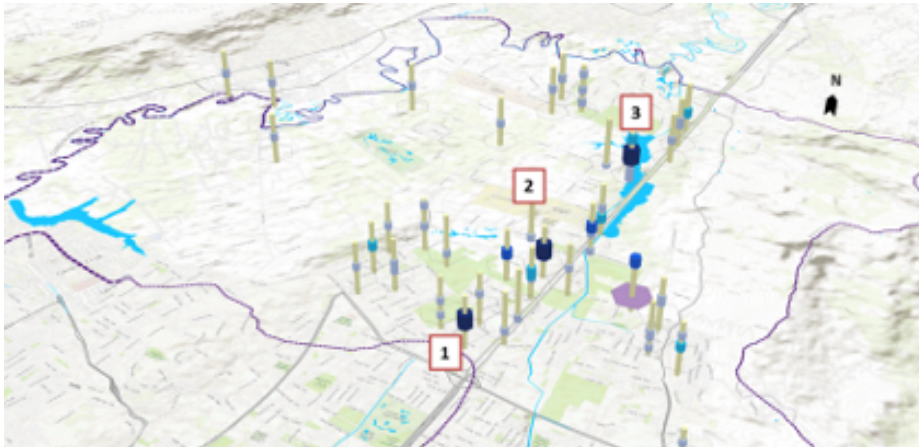
Hermoso y Brasil. También se encuentra un área de menor concentración en los barrios Santiago de Las Atalayas, Las Margaritas y el Recreo.

Relación de eventos de inundación con zonas de pérdida de áreas amortiguadoras y reguladoras

Con el fin de analizar la distribución en el tiempo de la ocurrencia de eventos asociados a inundaciones y su relación con áreas de pérdida, se crearon cubos de espacio-tiempo por medio de cuadrículas hexagonales con periodos de tiempo de 1 año. Se utiliza la malla de hexágonos, ya que, de acuerdo con Birch et al. (2007), esta permite más claramente la curvatura de los patrones de los datos, reduce el sesgo de efectos de borde que sucede en una malla de cuadrícula y permite una mayor búsqueda de vecinos cercanos, lo que optimiza el análisis.

Figura N°4.

Modelo de cubos de espacio tiempo y malla de análisis de tendencias en la microcuenca Torca.



Fuente. Elaboración propia a partir de cartografía base del IDECA, 2018; y mapa topográfico ESRI ArcGIS Pro 2.3.0

Como se observa en la Figura N°4, los tres sectores en la microcuenca Torca donde hay mayor ocurrencia de eventos de inundación son: uno al sur en barrios Nueva Zelandia y Villa del Prado, donde en 1950 se observó un área de encharcamiento asociada a un drenaje que en 1998 ya había desaparecido. El segundo sector, al centro de la microcuenca y al sur del humedal de Torca, se relaciona con la alta urbanización a partir de la década de los 90, cuando comienzan a aparecer barrios residenciales como Mirandela y Verbenal, la zona comercial de San Andresito Norte y el Club Campestre El Rancho. Este último, utilizó parte de la zona de encharcamiento que constituía un drenaje intermitente que aportaba agua al humedal Torca, para convertirlo en pequeños lagos en medio de un campo de Golf.

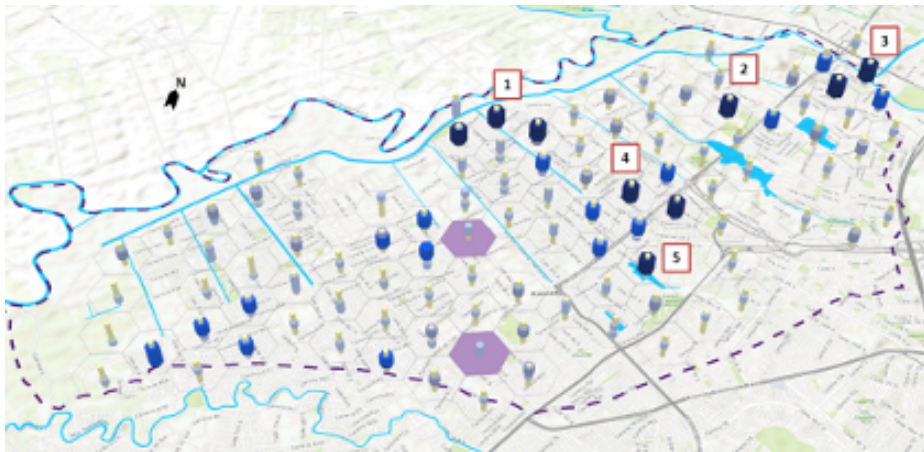
El tercer sector se encuentra ubicado a la altura de la calle 222, donde se agrupa la mayor cantidad de eventos encontrados en el análisis de cubos de espacio-tiempo. En este sector el área de humedal ha sido seccionada por dos predios de uso comercial. El área del humedal también se ha

visto reducida debido a la canalización de su costado occidental, generando desecación en gran parte del sector que colinda con la Autopista Norte.

El análisis de tendencias identifica en violeta un sector en la calle 192 con carrera 9 que tiende al incremento de eventos de inundación. En este sector se ha dado un aumento de la urbanización con conjuntos residenciales desde 2010, no se identifican drenajes o áreas de encharcamiento en ninguno de los periodos analizados, por lo que se presume que estos eventos no se encuentran relacionados con la pérdida de áreas de amortiguación, pero si a la falta de adecuación del sistema de acueducto y alcantarillado.

Figura N°5.

Modelo de cubos de espacio tiempo y malla de análisis de tendencias en la microcuenca Torca



Fuente: Elaboración propia a partir de cartografía base del IDECA, 2018, y mapa topográfico ESRI ArcGIS Pro 2.3.0.

En la microcuenca Tintal se identificaron cinco sectores donde se ha dado una mayor ocurrencia de eventos y pérdida de áreas amortiguadoras y reguladoras de inundaciones (Figura N°5). El primer sector en Patio Bonito y Barrios La Rivera, Ciudad Galán y Lote de Inversiones, se encuentra cercano a uno de los meandros abandonados del río Bogotá observado en 1950, que luego fue modificado por el canal Cundinamarca y los canales colectores Tintal II y Calle 38 sur. El segundo sector es Calandaima y Casa Fundación Otero de San Francisco, se encuentra asociado al área de encharcamiento y humedales del costado norte del humedal El Burro. Allí se evidenció una reducción de áreas amortiguadoras de inundaciones, en especial en las zonas que hacen parte de la fragmentación del humedal y donde la construcción sigue avanzando.

El tercer sector en Castilla, El Vergel, Desarrollo Catalina y Villa Liliana, hace parte las áreas encharcables asociadas al río Fucha, que para el periodo de 1998 habían sido reemplazadas por construcciones informales.

El cuarto sector se encuentra entre Corabastos y Patio Bonito, allí se evidenció la existencia de áreas amortiguadoras y un humedal en proceso de desaparición en la década de 1950, ambas áreas desaparecen con la construcción de barrios informales en 1998. No se evidencian en campo

elementos que permitan relacionar este sector a inundaciones continuas, por lo que los eventos de inundación se han presentado por fallas de la infraestructura de alcantarillado dado el origen informal los barrios.

El quinto sector se encuentra en el área de pérdida de regulación hídrica del humedal La Vaca y sus zonas amortiguadoras aledañas. Este es uno de los más impactados por la urbanización, fue desecado por un canal que se pudo ver en una imagen de 1940 y que una década después reduce su área, justo sobre estas zonas de pérdida se ubican los barrios donde se presenta mayor ocurrencia de eventos de inundación en la microcuenca.

El análisis de tendencias resalta en violeta dos sectores donde en los últimos años se ha dado un incremento de eventos de inundación. Primero en el sector Gran Britalia, justo en el centro del área identificada en 1950 como un drenaje intermitente que conectaba el río Tunjuelo y el río Bogotá, y que luego fue desecado. El segundo sector Las Margaritas, donde se identificaron zonas encharcables en 1940 que para el periodo de 1950 se encontraban secas. Este punto tiene una mayor relación o influencia del río Tunjuelo, por lo que la ocurrencia de eventos de inundación se puede asociar a este cauce de agua y a la falla de la infraestructura de alcantarillado en la zona que también se desarrolló como un barrio informal.

Discusión

En las microcuencas analizadas sus principales cuerpos de agua reguladores han sido altamente intervenidos, configurándose un sistema hidráulico cada vez más artificial a medida que la ciudad crece. A pesar del desarrollo de infraestructuras de regulación hídrica, las huellas del paisaje originario permanecen, presentándose eventos de inundación como encharcamientos y desbordamientos, además de fallas en la infraestructura de acueducto y alcantarillado, que se intensifican con el desarrollo urbanístico.

La canalización de algunos sectores alrededor del humedal Torca ha llevado a la modificación del humedal principal, pero también a la aparición de otras zonas donde el agua tiende a permanecer más tiempo en el suelo. Al cambiar el régimen hidráulico del área, el agua se dirige a zonas de bajos en el terreno que se encuentran libres, generando zonas de encharcamiento donde anteriormente no se registró estas.

La microcuenca de El Tintal se encuentra configurada casi totalmente por elementos artificiales, que a lo largo del tiempo se situaron sobre la planicie de amortiguación del río Bogotá, modificando las interacciones naturales del río y los humedales. Esta situación se traduce en efectos ambientales y estructurales, como el deterioro de los sistemas de drenaje y humedales, afectaciones al sistema de alcantarillado y aceleración del proceso de degradación de canales, disminuyendo su capacidad hidráulica y de transporte de aguas. La afectación a la resiliencia del paisaje sumado a efectos del cambio climático, en especial con las fuertes variaciones de precipitación asociadas con fenómeno de La Niña, incrementa la posibilidad de presentar eventos de represamientos e inundaciones en el área, afectando a la población que allí se asienta, mientras que en fenómeno de El Niño, se presentan afectaciones por disminución del espejo de agua en

los humedales, pues su sistema de regulación hídrica natural se ha perdido y no cumplen adecuadamente con sus funciones.

El análisis de eventos de inundación permitió identificar sectores muy específicos donde la ocurrencia de eventos se hace mayor entre los años 2011 y 2012, sin embargo, es evidente que los eventos reportados por la EAAB y el SIRE se encuentran relacionados a áreas construidas, como son las zonas residenciales y la Autopista Norte, principal entrada a la ciudad donde un evento de inundación tienen mayor impacto que en zonas más rurales, el encharcamiento de pastizales y cultivos no se reporta como una emergencia.

Si bien los datos de inundación no abarcan el mismo periodo de tiempo del análisis de transformación del paisaje (pues no existen registros detallados antes de 1999), el 2011 y 2012 constituyeron un periodo de lluvias intensas que desbordó la capacidad de las zonas amortiguadoras que existían en el momento, haciendo que se vieran afectados sectores donde anteriormente se encontraba zonas de humedal, como se referencia en las imágenes de 1950, 1970 e incluso algunos remanentes que permanecían en 1998. Esto se evidencia también con el modelo de malla hexagonal que analiza el comportamiento de los eventos y con el cual no se encontró un incremento o decremento estadísticamente significativo de los recuentos de puntos con el tiempo, relacionándose así su concentración con los periodos de intensas lluvias.

Con el incremento de la intervención de las zonas rurales al norte de la ciudad y el interés creciente de urbanización en general sobre ambas microcuencas, se puede generar un impacto importante en los servicios ecosistémicos de regulación hídrica haciendo que las problemáticas actuales se intensifiquen. En el caso de la microcuenca Tintal, con respecto a los humedales que hacen parte de la fragmentación del humedal El Burro y que no son reconocidos dentro de la estructura ecológica de la ciudad, es importante realizar una revisión de las normas urbanísticas del sector, la verificación del estado de tenencia de los predios donde se encuentran y la evaluación su la inclusión como Parque Distrital de Humedal. Al encontrarse en un sector de alta ocurrencia de eventos de inundación, es de gran importancia mantener estas áreas como parte de las zonas amortiguadoras y reguladoras de inundaciones.

Conclusiones

El análisis multitemporal es una herramienta muy útil para el reconocimiento de la relación de eventos de inundación con respecto a la transformación del paisaje. Comprender el comportamiento de estos eventos y su relación con las áreas donde se han perdido zonas de amortiguación, permite tener un panorama no solo de dónde se presentan las emergencias, sino también donde estas podrían surgir con el tiempo de no atender las adecuaciones necesarias para que el sistema se regule, ya sea con la recuperación de zonas perdida o la adecuación de estas de forma artificial. Por esto se considera que este tipo de análisis puede aportar a una mejor planeación basada en el análisis del territorio.

La metodología de cubos de espacio-tiempo fue de gran importancia en la identificación de relaciones entre la ocurrencia de eventos de inundación y zonas de pérdida de áreas potencialmente amortiguadoras y reguladoras de inundaciones. Aunque desde el análisis de densidad se

hizo evidente la relación de la ubicación espacial de estos y las áreas transformadas principalmente en los humedales, el análisis de espacio-tiempo permite depurar la información y no solo ubicar en el espacio un área más acotada de la afectación de la pérdida del SE, sino también identificar patrones en el tiempo y su tendencia.

Con las áreas de pérdida calculadas, se concluye que el servicio ecosistémico de regulación de inundaciones se ha visto ampliamente impactado por la expansión urbana. En la microcuenca Torca la pérdida de las áreas amortiguadoras de inundaciones se estima en un 41%, mientras que en la microcuenca Tintal la pérdida llega a un 90%. Se han implementado algunas obras como canales y estaciones de bombeo, que buscan contrarrestar los efectos de los cambios en el paisaje y prevenir emergencias, lo que ha implicado la artificialización de las características hidráulicas de los humedales remanentes. Sin embargo, estas infraestructuras tienen una capacidad de respuesta limitada, ya que, en periodos de eventos de lluvia extremos, no logran suplir las funciones del servicio ecosistémico de regulación.

En general, a lo largo del desarrollo del proyecto, una de las mayores limitantes fue la falta de una sistematización adecuada de la información con respecto a sus atributos espaciales, desde las instituciones que aportaron los archivos con los cuales se trabajó. En el caso las fotografías aéreas, no se logró el cubrimiento para periodos de tiempo decadal, como se planteó en la formulación del proyecto, en parte a que no se encuentran copias de algunas fotografías históricas para su reproducción digital. En cuanto a la información de eventos de inundaciones, el portal SIRE resultó ser muy útil para la obtención de datos, sin embargo, estos no se encuentran estandarizados, las direcciones son registradas de diferentes maneras y en ocasiones hacen referencia a lugares, nombres de avenidas o barrios, dificultando la georreferenciación, por lo que se necesitó de un proceso de edición y homogenización, en algunos casos aproximar la ubicación y en otros eliminar el dato. Para la información de los eventos con fuente de la EAAB, se presentaron los mismos inconvenientes.

En la revisión de registros de precipitación de las estaciones meteorológicas de la EAAB y la Secretaría Distrital de Ambiente se encontró que en 2008 se dieron altas precipitaciones en niveles similares a los registrados en 2011 y 2018, sin embargo, ni el IDIGER ni la EAAB reportan eventos para este año. Se considera importante ampliar la búsqueda de estos registros, esto puede cambiar los resultados, así como la modelación espaciotemporal.

Es de gran importancia que desde las instituciones se realice un mejor seguimiento al registro de información, utilizar aplicativos de geocodificación y/o utilizar el registro de una coordenada en el momento de atender las emergencias. Conocer la ubicación precisa y realizar análisis de patrones de distribución sobre los fenómenos naturales y antrópicos aporta a la comprensión de su comportamiento en el tiempo, lo que se puede configurar en una herramienta muy útil en la planeación de territorio, la prevención y la mitigación del riesgo.

Referencias

BARRERA LOBATÓN, S. Consideraciones teóricas para el análisis del paisaje: la metodología de los eventos relacionales. En: Barrera Lobatón, S; Monroy Hernández, J. (eds). Perspectivas del

paisaje. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia y Jardín Botánico José Celestino Mutis, 2014, pp. 29-54.

BENAVIDES QUECÁN, J. El uso de métodos históricos de levantamiento topográfico y cartográfico en la elaboración de mapas confiables. Caso de estudio: Zwolle, Holanda. *Scripta Nova*, 2004 Vol. VIII, No. 170. <https://revistes.ub.edu/index.php/ScriptaNova/article/view/877>

BIRCH, C.P.D., OOM, S.P. y BEECHAM, J.A. Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment, and simulation in ecology. *Ecological Modelling*, 2007. Vol. 206, No. 3-4, pp. 347-359. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.03.041>.

CASTELLANOS PUENTES, J.C. Bosa entre la formalidad y la informalidad: una apuesta por la construcción social de un territorio sustentable. Departament d'Urbanisme i Ordenació del Territori. Universitat Politècnica de Catalunya, 2014, No. 6 Barcelona, España. <https://doi.org/10.5821/siu.6042>

CIFUENTES SARRIA, A. Modelación de caudales de verano e invierno hacia la futura PTAR Canoas. Contrato de Consultoría, 2011. Bogotá D.C, Colombia: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

CORTÉS BALLÉN, L.A. Aproximación al paisaje de los humedales urbanos de Bogotá dentro de la estructura ecológica principal de la ciudad. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 2017, vol. 27, no. 1, pp. 118-130. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v27n1.60584>.

CRUZ BARBOSA, E. Identificación y valoración socioecológica de bienes y servicios ecosistémicos del humedal La Vaca. Tesis de Especialización en Gestión Territorial y Avalúos, 2015. Bogotá, Colombia: Universidad Santo Tomás.

DUQUE GUTIÉRREZ, M. Planificando territorios resilientes en el antropoceno: lecciones desde la ciudad de Bogotá conceptualizada como un sistema socioecológico. Tesis Doctoral en Tecnología Ambiental, 2015. Huelva, España: Universidad Internacional de Andalucía.

EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ. El agua en la Historia de Bogotá. Villegas Editores. Bogotá, Colombia, 2003.

ESRI. Cómo funciona la herramienta Análisis de puntos calientes emergentes, 2018. Caja de herramientas de minería de patrones de espacio tiempo. (Consulta: 08/08/2018) <http://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/space-time-pattern-mining/learnmoreemerging.htm>.

ESRI. Crear cubos de espacio tiempo agregando puntos. Caja de herramientas de minería de patrones de espacio tiempo, 2018. (Consulta: 10/07/2018) <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/space-time-pattern-mining/create-space-time-cube.htm>.

HÄGERSTRAND, T. What about people in regional science? *Papers in Regional Science*, 1970. Vol. 24, No. 1, pp. 7-24.

HAMMEN, T. van der, STILES, F.G. y ROSSELLI, L. Protocolo de recuperación y rehabilitación ecológica de humedales en centros urbanos. Primera edición. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá, 2008.

HEREDIA DÍAZ, P.A. Alternativas de integración de ecosistemas estratégicos a la planificación urbana. Estudio de caso: el crecimiento urbano sobre la función ecosistémica del corredor natural Usaquéen – Suba. Periodo 2003– 2016. Tesis de Pregrado en Ciencia Política y Gobierno, 2016. Bogotá D.C, Colombia: Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario.

IDEA. Plan de Manejo Ambiental del humedal de El Burro. Instituto de Estudios Ambientales - IDEA, 2008. Universidad Nacional de Colombia.

IDEA. Plan de Manejo Ambiental de los humedales Torca y Guaymaral. Plan de Acción. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Bogotá, Colombia: IDEAA, 2015.

KANDUS, P., QUINTANA, R., MINOTTI, P., ODDI, J. del P., BAIGÚN, C., GONZÁLEZ TRILLA, G. y CEBALLOS, D. Ecosistemas de humedal y una perspectiva hidrogeomórfica como marco para la valoración ecológica de sus bienes y servicios. Servicios Ecosistémicos en Argentina. Argentina: Ediciones INTA, 2011, pp. 265-290.

KRISTENSSON, P.O., DAHLBÄCK, N., ANUNDI, D., BJÖRNSTAND, M., GILLBERG, H., HARALDSSON, J., MARTENSSON, I., NORDVALL, M. y STAHL, J. The trade-offs with spatial time cube representation of spatiotemporal patterns. Estados Unidos: Cornell University, 2008.

LATERRA, P., PARUELO, J.M. y JOBBÁGY, E.G. Valoración de servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. Argentina: Ediciones INTA, 2011.

LEITAO, A.B., MILLER, J., AHERN, J. y MCGARIGAL, K. Measuring Landscapes: A Planner's Handbook. Island Press: Washington, EU, 2012

LÓPEZ BARRERA, E.A., PLATA RANGEL, Á.M. y FUENTES COTES, M. Humedal Torca-Guaymaral: iniciativas para su conservación. Universidad Sergio Arboleda, Instituto de Estudios y Servicios Ambientales-IDEASA; Universidad El Bosque; Red Ambiental de Universidades Sostenibles (RAUS): Bogotá D.C, Colombia, 2015.

MARTÍNEZ HERNÁNDEZ, J., VILLARRAGA GONZÁLEZ, E., REY SABOGAL, L.E. y RIBEROS, F. Historia de los humedales de Bogotá. DAMA: Bogotá D.C, Colombia, 2000.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (PNGIBSE). MADS: Bogotá, Colombia, 2012

MONROY HERNÁNDEZ, J. Paisajes de borde difuso en áreas de montaña contiguas a grandes ciudades. El caso de los Cerros Orientales de Bogotá. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia: Bogotá, Colombia, 2017.

MONROY HERNÁNDEZ, J. Análisis de la configuración del paisaje por pérdida del servicio ecosistémico de regulación de inundaciones en la microcuenca Tintal. Informe final de investigación. Investigación para la conservación de los ecosistemas y flora de Bogotá DC y la región, Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis: Bogotá, Colombia. 2019

MONROY HERNÁNDEZ, J. Análisis de la configuración del paisaje por pérdida del servicio ecosistémico de regulación de inundaciones en la microcuenca Torca. Informe final de investigación. Investigación para la conservación de los ecosistemas y flora de Bogotá DC y la región. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Bogotá, Colombia, 2019.

OTERO DURÁN, I., ANGULO RIVERA, D.C., CORREDOR, P.E. y ZULUAGA, F.M. Propuesta de gestión para reducir el impacto ambiental de la Avenida Longitudinal de Occidente –ALO– en la dinámica del humedal de la Conejera, Bogotá (Colombia). Trabajo de grado Especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales. Universidad Militar Nueva Granada: Bogotá D.C, Colombia, 2010.

PEÑA-GUZMÁN, C.A., MELGAREJO, J. y PRATS, D. El ciclo urbano del agua en Bogotá, Colombia: estado actual y desafíos para la sostenibilidad. Tecnología y Ciencias del Agua, 2016, Vol. VII, No. 6, pp. 57-71.

PLANEACIÓN ECOLÓGICA y ECOFOREST. Elaboración del Diagnóstico, Prospectiva y Formulación de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá Subcuenca del río Bogotá Sector Tibitoc-Soacha. ECOFOREST, 2013.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA y EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ. Plan de Manejo Ambiental del humedal La Vaca (Consultado: 15/06/2019) <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/40b5fd17-9d0f-4bd8-8ef8-1ccc6d9de603>.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA y EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ. Plan de Manejo Ambiental Humedal Techo (Consultado: 15/06/20219) <http://humedalesdebogota.ambientebogota.gov.co/inicio/techo/>

ROJAS, C., DE MEULDER, B. y SHANNON, K. Water urbanism in Bogotá. Exploring the potentials of an interplay between settlement patterns and water management. Habitat International, 2015 Vol. 48, pp. 177-187. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.03.017>.

SANTIAGO VILLA, H.M. Importancia histórica y cultural de los humedales del borde norte de Bogotá (Colombia). Revista U.D.C.C Actualidad & Divulgación Científica, 2012 Vol. 15, No. 1, pp. 167-180.

SMITH, M., GOODCHILD, M. y LONGLEY, P. Geospatial Analysis a comprehensive guide to principles techniques and software Tools. Edinburgh: The Winchelsea Press, Durmlin Security Ltd. (Consultado 20/05/2018) <http://www.spatialanalysisonline.com/HTML/index.html>.

SOLANAS JIMÉNEZ, J. Tratamiento de cartografía histórica para el análisis de la forma urbana en sistemas de información geográfica. *Biblio3W*, 2018, Vol. XXIII, No. 1.225.

THRIFT, N.J. An introduction to time-geography. Norwich. Geo Abstracts, Concepts and techniques in modern geography; No. 13. University of East Anglia, 1977

VALDEZ, F. Agricultura ancestral camellones y albarradas: contexto social, usos y retos del pasado y del presente: coloquio agricultura prehispánica sistemas basados en el drenaje y en la elevación de los suelos cultivados. En: Francisco Valdez (eds) Editorial Abya Yala: Ecuador, 2006.

VENKATESWARA RAO, K., GOVARDHAN, A. y CHALAPATI RAO, K.V. An Object-Oriented Modeling and Implementation of Spatio-Temporal Knowledge Discovery System. *International Journal of Computer Science and Information Technology*, 2011, Vol. 3, No. 2, pp. 61-76. <https://doi.org/10.5121/ijcsit.2011.3205>.

WWT CONSULTING. Good practices handbook for integrating urban development and wetland conservation. Slimbridge, United Kindom, 2015.

ZAMUDIO SOSSA, C. Uso y objetivos intermedios de calidad del recurso hídrico de los humedales de Guaymaral, Torca y Capellanía. Tesis de pregrado en Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de La Salle: Bogotá D.C, Colombia, 2007.