

Técnicas de análisis geomático en la pérdida de humedales urbanos de Bogotá. ¿Qué rol juegan los asentamientos ilegales?

Geomatic techniques to analyze the loss of urban wetlands in Bogotá. What role do illegal settlements play?

Gina González Angarita¹ , Cristian Henríquez² , Dhais Peña Angulo³ , Daniel Castro Álvarez⁴  y Gonzalo Forero Buitrago⁵ 

RESUMEN

Los humedales urbanos se abastecen del sistema de aguas lluvias y almacenan grandes cantidades de agua por su vegetación y suelos hidromorfos, en tanto contribuyen a la regulación de caudales en las ciudades, sin embargo, se han visto afectados por los procesos de urbanización. Como es el caso de los humedales de Bogotá, que se encuentran invadidos por asentamientos ilegales afectando las zonas de preservación ambiental, por lo que se requiere estudios que permitan analizar: el crecimiento urbano, la tendencia de precipitaciones. Las técnicas de análisis de la urbanización se calculan a partir del Índice de diferencia edificada Normalizada (NDBI), que integra la combinación de imágenes satelitales para su determinación. La tendencia de aguas lluvias se analiza a partir de las curvas IDF (intensidad-duración- frecuencia). Los resultados muestran, que los humedales se encuentran invadidos en promedio en un 7,5% en la ciudad. Con respecto a la intensidad de aguas lluvias se concentra principalmente en los cerros orientales de Bogotá y por efectos de la escorrentía el flujo de agua es de oriente a occidente, llegando hacia los humedales y lagos principales. Luego la información se valida con el cálculo del índice de agua normalizada (NDWI), que muestra altas concentraciones de humedad en el occidente de la ciudad.

Palabras Claves: Crecimiento urbano, cambio en los usos del suelo, índice de agua normalizada, índice de urbanización, humedales, Bogotá.

¹ Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad Libre Facultad de Ingeniería, Grupo de investigación Tecnoambiental Bogotá, Colombia. Correo electrónico: ginap.gonzalez@unilibre.edu.co

² Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile. Investigador, Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, CEDEUS y Centro de Cambio Global UC. Correo electrónico: cghenriq@uc.cl

³ Universidad de Zaragoza España. Investigador junior, Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio Área de Geografía Física Facultad de Filosofía y Letras. Correo electrónico: dhaispa@gmail.com

⁴ Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad Libre Facultad de Ingeniería, Grupo de investigación Tecnoambiental Bogotá, Colombia. Correo electrónico: danielc-castroa@unilibre.edu.co

⁵ Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad el Bosque, Facultad de Ingeniería, Grupo de investigación Choc Izone, Semillero de hidrología computacional Bogotá, Colombia. Correo electrónico: gforerob@unbosque.edu.co

ABSTRACT

Urban wetlands are supplied by the rainwater system and store large amounts of water for their vegetation and hydromorphic soils, while contributing to the regulation of flows in cities, however, they have been affected by urbanization processes. As is the case of the Bogotá wetlands, which are invaded by illegal settlements affecting environmental preservation areas, so studies are required to analyze: urban growth, and the trend of rainfall. The urbanization analysis techniques are calculated from the Normalized Built Difference Index (NDBI), which integrates the combination of satellite images for its determination. The rainwater trend is analyzed from the IDF curves (intensity-duration-frequency). The results show that the wetlands are invaded on average by 7.5% in the city. With regard to the intensity of rainwater, it is mainly concentrated in the eastern hills of Bogotá and due to the effects of runoff, the flow of water runs from east to west, reaching the main wetlands and lakes. Then the information is validated with the calculation of the Normalized Difference Water Index (NDWI), which shows high concentrations of humidity in the western part of the city.

Keywords: Urban growth, land use changes, normalized water index, urbanization index, wetlands, Bogotá

Latinoamérica y el Caribe es una de las regiones más urbanizadas del mundo, donde casi el 81% de los habitantes viven en ciudades (United Nations, 2018). En tanto el crecimiento de áreas urbanas es una amenaza cada vez más reconocida para muchos humedales de América del Sur (Wittmann, y otros, 2015). De acuerdo con los objetivos del desarrollo sostenible (ODS) de la Agenda 2030 propuesto por Naciones Unidas plantea que la protección de humedales puede contribuir directamente al ODS 11 para lograr ciudades sostenibles, así como a otros objetivos climáticos y de calidad de vida de manera sinérgica.

En el caso del área metropolitana de Concepción, Chile, se ha observado una notable pérdida de humedales en las últimas décadas, en efecto el humedal Rocuant-Andalién ha sido afectado por la urbanización que ha venido aumentando en un 28% y el área de sus humedales ha disminuido en un 10% de 2004 a 2014 (Rojas, Munizaga, Rojas, Martínez, & Pino, 2019). De igual manera en ciudad de México en los últimos 40 años el desarrollo periurbano ha ocasionado la pérdida de 289 hectáreas de humedales en la cuenca del río Grijalva (Palomeque de la Cruz *et al.*, 2017). De manera similar en la cuenca baja del río Lujan de Buenos Aires, Argentina, se identifica que los fenómenos de urbanización privada han ejercido serias transformaciones ambientales sobre los ecosistemas disminuyendo considerablemente su área (Pintos & Sgroi, 2012). Además, las dinámicas urbanas en Latinoamérica se han caracterizado por la falta de planificación y con patrones de crecimiento asociados a la informalidad y ocupaciones ilegales, que a su vez ha sido el principal acceso a la tierra para los sectores más pobres (Abramo, 2012; Andrade *et al.*, 2013; Inostroza, 2017). En la gran mayoría de los casos, es difícil cuantificar las urbanizaciones ilegales, dada la falta de datos. Como es el caso del crecimiento informal de Bogotá, donde se estima que aproximadamente hay 3.596 hectáreas que han sido construidas de manera ilegal (Camargo & Hurtado, 2013).

En consecuencia, el crecimiento urbano legal e ilegal ha generado pérdidas de área en lagos y humedales urbanos, esto significa que se pierde la capacidad para mitigar las inundaciones y drenaje de las aguas lluvias (Bolund & Hunhammar, 1999; Rojas *et al.*, 2015). Los asentamientos informales a menudo ocupan rondas hidráulicas (zona de expansión del espejo de agua), zonas de manejo y preservación ambiental, durante periodos donde no ocurren grandes inundaciones.

Sin embargo, cuando ocurren las grandes inundaciones, las pérdidas son significativas, en tanto las comunidades afectadas demandan la construcción de infraestructura para el control de inundaciones como diques reforzados, que afectan la estructura ecológica de los humedales (Lennon, Scott, & O'Neill, 2014).

Pese a la relevancia de dichos ecosistemas, los humedales se encuentran amenazados por la actividad antrópica, que continuamente los rellena, deseca y contamina (Smith & Romero, 2009). Así lo muestran las cifras entregadas por la Convención Ramsar (Convención Ramsar, 2015), la cual señala que la extensión mundial de los humedales disminuyó entre un 64 y 71% en el siglo XX. De igual manera en Colombia los humedales del interior del país son los que presentan mayor impacto ambiental con la pérdida de ecosistemas y hábitats (Jaramillo *et al.*, 2016). En las últimas décadas la ciudad de Bogotá ha sufrido grandes transformaciones en los usos del suelo, fundamentalmente condicionado por un proceso de urbanización que ha venido afectando los elementos naturales y antrópicos.

La situación de los humedales urbanos de Bogotá de acuerdo con la Secretaría Distrital de Ambiente (Secretaría Distrital de Ambiente, 2018) demuestra que se han perdido aproximadamente 49.000 hectáreas de humedales por efectos de la urbanización. Además, la urbanización presiona las zonas de manejo y preservación ambiental de los humedales, las cuales desarrollan vegetación y suelos hidromorfos, que permiten controlar las inundaciones debido a su alta retención hídrica (Tran, 2017). El control de eventos de inundación a partir de los humedales urbanos de Bogotá es de gran importancia, puesto que en los últimos 16 años se han registrados múltiples eventos por inundación. De acuerdo con el sistema de información para la gestión del riesgo y cambio climático de Bogotá se reportan 16.035 eventos de inundación; de los cuales 40,4% se presenta por inundación y el 50,94% se manifiesta por efectos del encharcamiento (IDIGER, 2018).

En ese sentido la protección de humedales es determinante para controlar el ciclo hidrológico, especialmente las inundaciones, además de proveer de otros importantes servicios ecosistémicos ligados al clima urbano, paisaje y calidad de vida. De este modo, la motivación principal de esta investigación es analizar como la urbanización ha ocupado la ronda hidráulica, zonas de manejo y preservación ambiental en Bogotá y para ello se propone estudiar cuatro aspectos urbano-ambientales: (i) el índice de urbanización NDBI para la medición de las urbanizaciones ilegales, (ii) la distribución espacial de licencias de construcción en la medición de urbanizaciones legales, (iii) las curvas IDF y sus concentraciones de aguas lluvias en épocas invernales, y, (iv) el índice de humedad NDWI que permite identificar la cantidad de agua en las rondas hidráulicas y zonas de manejo y preservación ambiental en los humedales. Por tanto, la presente investigación continua las líneas propuestas en el informe *Colombia anfibia. Un País de humedales* (Jaramillo *et al.*, 2015), puesto que la investigación analiza la dinámica de los humedales colombianos y sus ritmos de agua teniendo en cuenta sus patrones de expansión y contracción. En efecto, es de gran interés para la investigación identificar las rondas hidráulicas, las zonas de manejo y de preservación ambiental como zonas determinantes para el acotamiento de los humedales y su influencia en la mitigación de eventos de inundación.

Además, en esta investigación se analiza la localización de las urbanizaciones ilegales y su ocupación en zonas de manejo y preservación ambiental de los humedales. De esta manera el estudio es una continuación de las investigaciones de Camargo y Hurtado (2013), quienes tra-

bajan la urbanización informal y sus agentes de producción en el espacio urbano de Bogotá. En la misma línea se analiza la presencia de asentamientos ilegales (Escalona & González, 2016), teniendo en cuenta estudios comparativos de asentamientos humanos a partir de orto fotografías de los años 2005 y 2015. Además, la investigación profundiza en la tendencia temporal de la urbanización y su ocupación de zonas de inundación de los humedales de Kennedy de Bogotá Colombia (Mayorga, 2016; Rojas *et al.*, 2015). Para estudiar las tendencias de urbanización se sigue los criterios propuestos por de la Barrera y Henríquez (2017), quienes analizan las crecientes aglomeraciones urbanas de Santiago, La Serena y Concepción en Chile a partir de cálculo del índice de urbanización (NDBI). Para el análisis de los eventos de inundación se analiza la intensidad de las precipitaciones a partir del análisis de la intensidad y duración de las lluvias (EAAB, 2018). Además, para dichos eventos se determina las variaciones estacionales del área inundada calculando el índice de humedad (NDWI) y las funciones de los humedales para mitigar las inundaciones (Nhamo *et al.*, 2017; Rojas *et al.*, 2019). Debido a lo anterior, la hipótesis de trabajo propuesta analiza si el crecimiento de las áreas de urbanización ilegal son la causa principal de la pérdida de rondas hidráulicas y zonas de manejo y preservación ambiental de humedales urbanos en Bogotá.

Área de Estudio

El área de estudio seleccionada es el área urbana de Bogotá, capital de Colombia, ubicada en la cordillera de los Andes (Figura 1). La ciudad de Bogotá tiene una población de 8.080.734 personas y 177.500 hectáreas de superficie (DANE, 2017). El crecimiento acelerado de la población se encuentra aumentando rápidamente, lo que lleva a una mayor expansión urbana. Este crecimiento urbano está invadiendo las rondas hidráulicas y zonas de manejo y preservación de los humedales. Si bien el origen de los humedales surge a partir del desecamiento de más de 50.000 hectáreas de agua para alcanzar 35.176 hectáreas de área urbanizada (DAMA, 2000; IDECA, 2018).

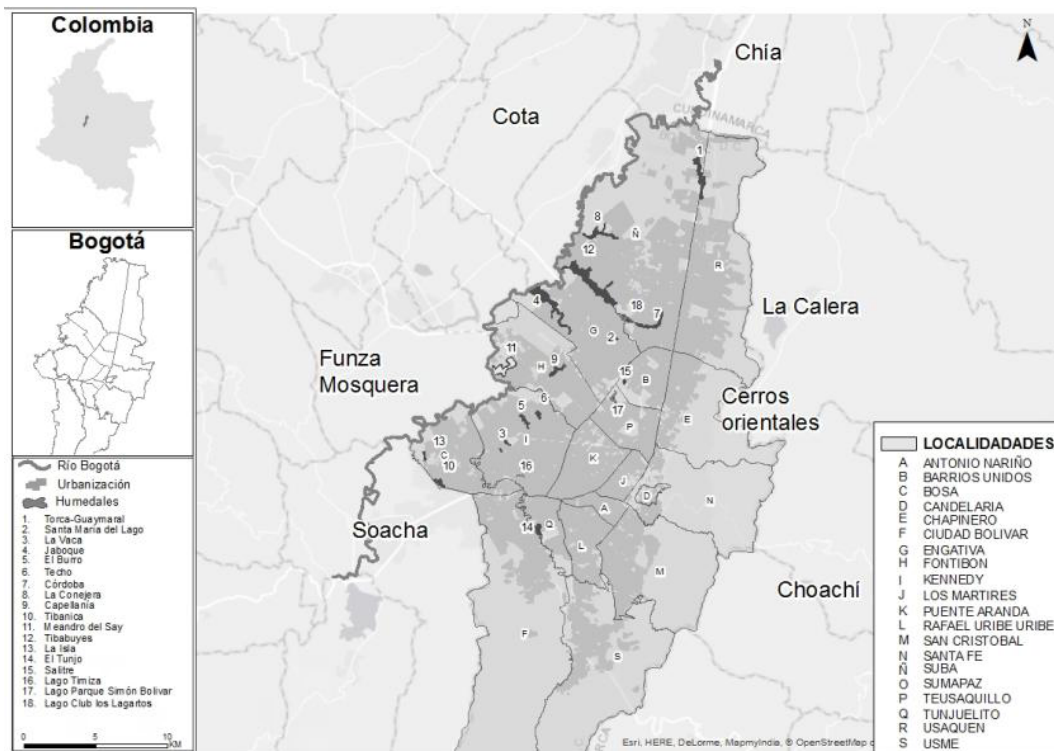
Con respecto a las precipitaciones de la zona de estudio son de carácter bimodal, con periodos alternos de 2 a 3 meses de lluvia (abril-junio y septiembre-noviembre) y dos periodos secos (enero-febrero y julio-agosto). Por ello, en temporada seca las precipitaciones descienden a 20 mm y en temporada de invierno ascienden a 163 mm (OAB, 2011). No obstante, el cambio climático ha generado variaciones en las precipitaciones asociadas con el fenómeno del Niño y La Niña, que significa una alta sequía o aumentos en las precipitaciones, estos cambios provocan la reducción del agua o viceversa aumentos en las precipitaciones del 20% al 30%; que inciden en la frecuencia de lluvias extremas y aumenta la vulnerabilidad a las inundaciones (IDEAM *et al.*, 2014).

La vegetación de los humedales predominante se caracteriza por diferentes comunidades de Juncos (*Scirpus californicus*), Enea (*Typha angustifolia*), Polígono (*Polygonum punctatum*), Lengua de vaca (*Rumex obtusifolius*) y Duarte (*Ficoides laevis*), entre otros. En tanto estas especies se asocian según la profundidad y fluctuaciones del agua (Van der Hammen, 1998).

En la figura N°1 la cartografía muestra la localización de quince humedales y tres lagos, al norte de la ciudad se localiza el Torca-Guaymaral en la localidad de Usaquén, continuamente por el noroccidente se encuentran los humedales Córdoba, Conejera, Tibabuyes, Jaboque y el lago del club los Lagartos en las localidades de Suba y Engativá. Seguidamente en la zona central de Bogotá se localizan los humedales Santa María del Lago, El Saitre, Capellanía, Meandro del Say y el

lago del parque Simón Bolívar en las localidades de Engativá y Fontibón. Finalmente, al sur oriente se emplazan los humedales Techo, Burro, Vaca, Tunjo, Tibanica, La Isla y Lago Timiza

Figura N°1.
Localización del área urbana y los humedales de Bogotá



Fuente: Elaboración propia a partir de SDA (2017) y IDECA (2018).

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en los humedales de Bogotá desde 1991 hasta 2018, mediante la exploración en los cambios de áreas urbanizadas, curvas IDF, Índice agua normalizado, a continuación, se describen las técnicas utilizadas.

Áreas urbanizadas

El estudio se realiza mediante imágenes satelitales disponibles en la unidad del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés), desde 1991 hasta 2018 (Cuadro N°1). Se utilizaron imágenes satelitales de Landsat 4, 5 y 8, las cuales están equipados con un equipo de exploración de 7 hasta 11 bandas espectrales, ubicadas entre la fracción visible, infrarrojo y térmico del espectro electromagnético (Bonansea *et al.*, 2014). El criterio de selección de las imágenes es disponer de una cobertura de nubosidad inferior al 10% para mejorar la visibilidad de los datos geoespaciales. Además, se utiliza la imagen Operational Land Imager (OLI, por sus siglas en inglés), que comprende la banda de infrarrojo cercano, las bandas visibles e infrarrojo térmico.

Cuadro N°1.

Especificaciones de las imágenes Landsat utilizadas

Fecha	Instrumental	Path	Row
01/10/1991	Landsat 4-5 TM	8	57
23/12/1998	Landsat 4-5 TM	8	57
29/01/2001	Landsat 4-5 TM	8	57
22/01/2010	Landsat 4-5 TM	8	57
01/01/2014	Landsat 8 OLI/TIRS	8	57
02/21/2015	Landsat 8 OLI/TIRS	8	57
01/23/2016	Landsat 8 OLI/TIRS	8	57
03/17/2018	Landsat 8 OLI/TIRS	8	57

Fuente: Elaboración propia a partir de (USGS, 2018).

Para la delimitación de las zonas urbanizadas se calcula el índice de urbanización normalizada (NDBI), los umbrales de urbanización se encuentran en un rango -0,3 a 1, los cuales permiten hacer una estimación de zonas con superficies edificadas. La interpretación de los datos se desarrolla teniendo en cuenta la reflectancia en las bandas de infrarrojo de onda corta (SWIR), infrarrojo cercano (NIR) y la banda roja. Para los datos de Landsat 4 y 5 se calcula el NDBI a partir de las bandas (NIR) y la banda roja, ya que estas bandas permiten hacer una descripción de la geomorfología de los suelos (Zha, Gao, & Ni, 2003). En cambio, para analizar los datos de Landsat 8 se calculan a partir del SWIR, puesto que tiene mayor reflectancia de la luz en a bandas de infrarrojos de onda corta en comparación con el infrarrojo cercano NIR (Sharma & Joshi, 2016; De la Barrera & Henríquez, 2017; Franco, 2017). En la ecuación 1 se describe las variables para el procesamiento de las imágenes satelitales en la definición de las áreas urbanas (Sharma & Joshi, 2016).

$$NDBI=(SWIR-NIR)/(SWIR+NIR)$$

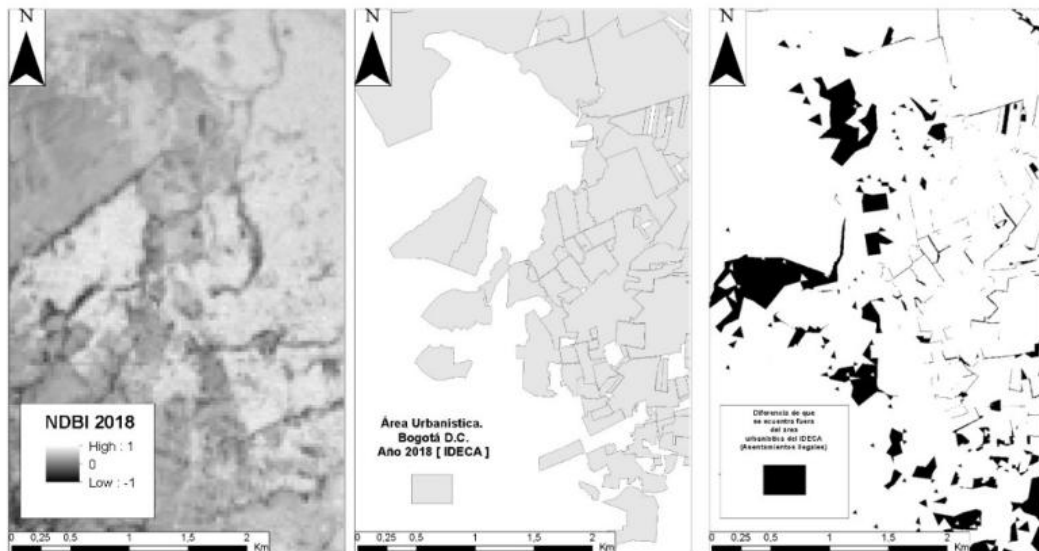
SWIR= Banda infrarrojo cercano

NIR= Banda de infrarrojo mediano

(Ecuación 1)

El análisis urbano se valida con la base de datos de las licencias de construcción, que se encuentra en formato *shape file* permitiendo una escala de 1:15.000 del año 2018 (IDECA, 2018). Para identificar la tendencia de urbanizaciones legales e ilegales. Para determinar la superficie de asentamientos ilegales desde 1991 hasta el 2018, se ha seguido el siguiente procedimiento: (i) Calculo del NDBI para obtener el área total urbanizada de Bogotá, (ii) Búsqueda en la página web del IDECA <https://www.ideca.gov.co/recursos/mapas/area-urbanistica-bogota-dc> (área urbana) de Bogotá, (iii) Cargar los datos de área urbana en un Sistema de Información Geográfica, (iv) Realizar el geo procesamiento de diferencia de áreas (Symmetrical Difference), el cual permite identificar la diferencia de áreas del NBI y el área urbana. De esta forma se calcula el área total de asentamientos ilegales. Como ejemplo de este trabajo el mapa de la figura 2 ilustra los tres procedimientos. (i) 2018 (a) hace referencia al NDBI, (ii) 2018 (b) describe el área urbana y (iii) 2018(c) el tercer mapa corresponde a los asentamientos ilegales en la localidad de Ciudad Bolívar en el año 2018.

Figura N°2.
Identificación de asentamientos ilegales en el área urbana de Bogotá



2018 (a)

2018(b)

2018(c)

Fuente: Elaboración propia

Curvas IDF

Las curvas IDF (Intensidad- Duración- Frecuencia), las cuales son herramientas utilizadas para analizar la intensidad de la lluvia en diferentes puntos asociada a su duración y frecuencia (Da Cruz E Sousa & Lopes Miranda, 2018; EAAB, 2019). En ese sentido para el cálculo de las curvas IDF se toma como referencia la ecuación propuesta por Aparicio (1997), la cual calcula la intensidad a partir de la duración de las aguas lluvias. No obstante, dicha ecuación ha sido modificada por la (EAAB, 2018), que analiza la intensidad de las precipitaciones, teniendo en cuenta los coeficientes en diferentes periodos de retorno y duración. En la ecuación 2 se utiliza como referencia los coeficientes propuestos por la empresa de acueducto de Bogotá, la cual describen las variables requeridas y muestra los datos suministrados por el grupo de ingeniería del acueducto para calcular la intensidad en un periodo de retorno de tres años.

$$\text{INTENSIDAD} = C_1 (\text{DURACIÓN} + X_0)^{C_2}$$

C_1 = Coeficientes de duración

DURACIÓN = Cantidad de agua que cae en litros por cada segundo en un área determinada

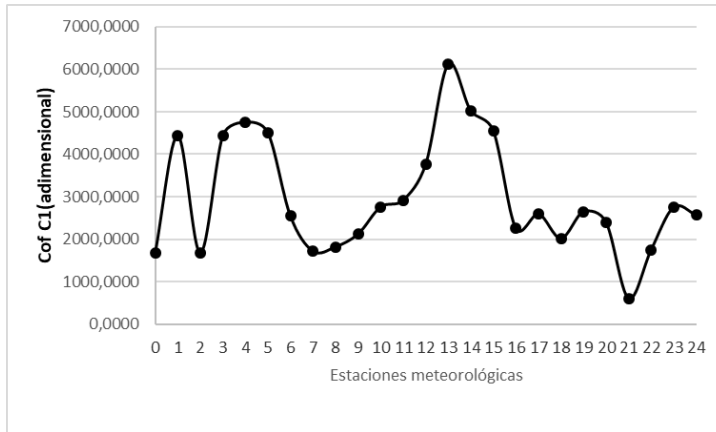
X_0 = Coeficiente para obtener la lluvia máxima absoluta

C_2 = Coeficiente de frecuencia

(Ecuación 2)

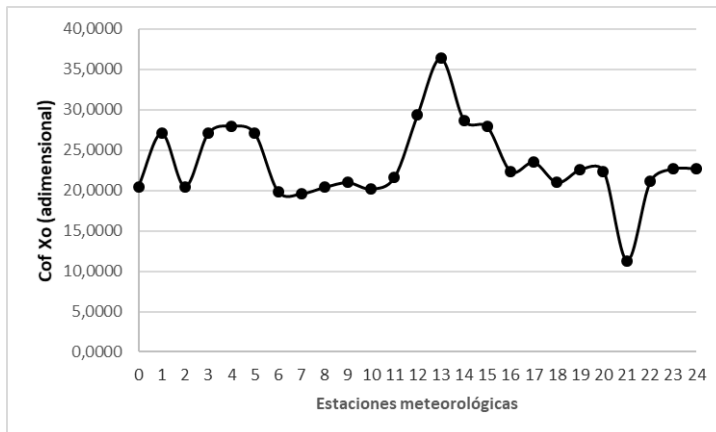
En las figuras N°3, N°4 y N°5 se describen los coeficientes de las precipitaciones de los últimos 30 años, obtenidos por la empresa de acueducto, a partir de la estadística de regresión lineal múltiple en 22 estaciones meteorológicas del IDEAM y la Secretaria de Ambiente de Bogotá (ver figura N°6).

Figura N°3.
Coeficiente C1 de duración



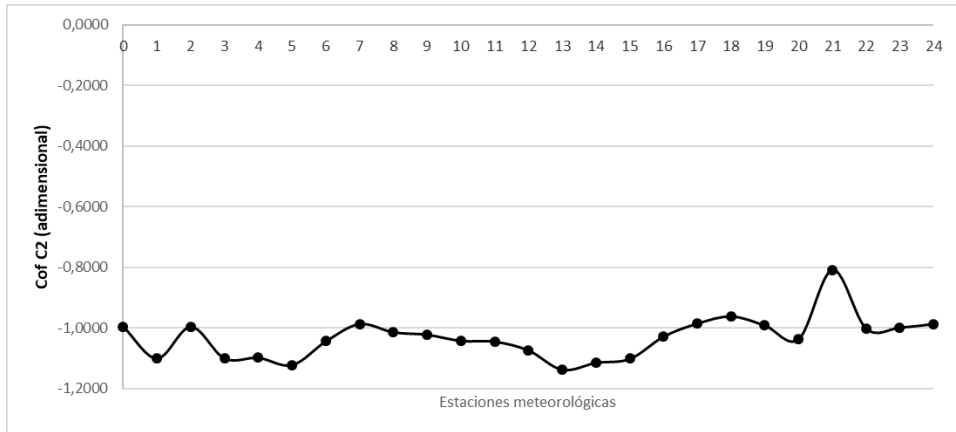
Fuente: Elaboración propia

Figura N°4.
Coeficiente X_0 para obtener la lluvia máxima absoluta



Fuente: Elaboración propia

Figura N°5.
Coeficiente C_2 para obtener la lluvia máxima absoluta



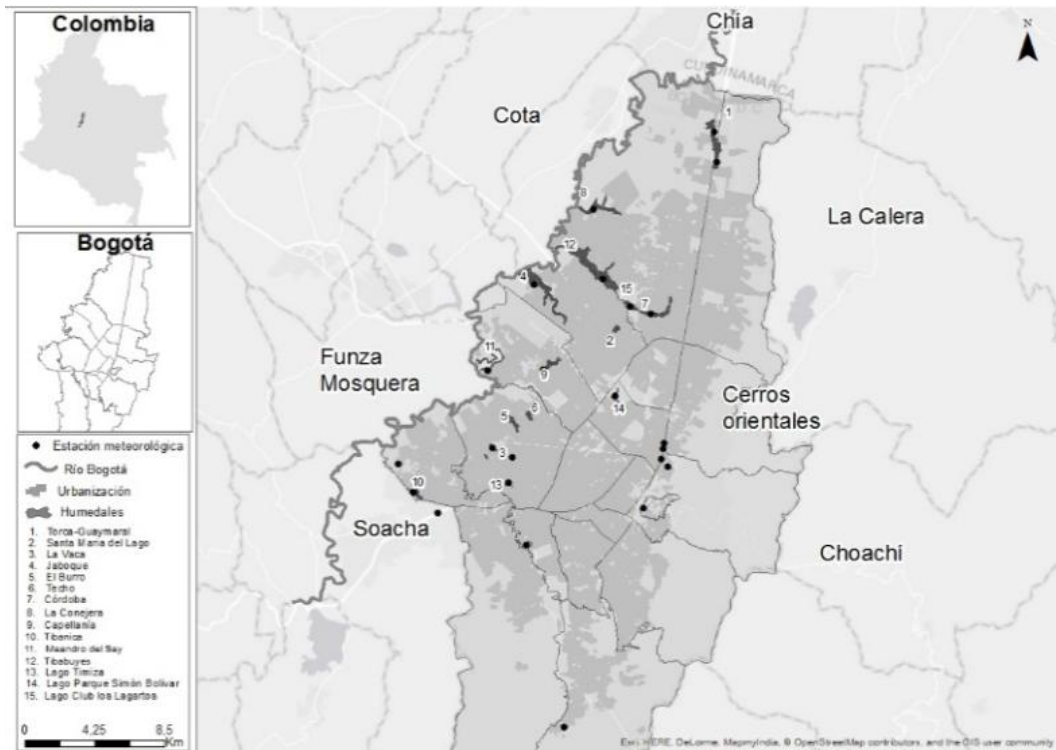
Fuente: Elaboración propia

Interpolación de precipitaciones

La interpolación de las precipitaciones se ha realizado para especializar las superficies continuas (Dressler, y otros, 2000). Por tanto, los procesos de interpolación fueron utilizados diferentes herramientas del software ArcGIS versión 10.6, diseñado para capturar, integrar y organizar múltiples variables espaciales. En este contexto, el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite combinar el análisis estadístico e interpolación espacial para analizar el comportamiento espacial de las precipitaciones. Para representar gráficamente la tendencia de la red pluvial (litros/segundos*Hectáreas) de Bogotá, se tomaron 22 estaciones meteorológicas (ver figura 6), la pendiente, la longitud y la integración de modelos de elevación digital en un periodo de retorno de 3 años durante 30 años. Al tener el valor de la intensidad para cada punto, se realizó una interpolación a partir del método Kriging, puesto que presupone la distancia entre los puntos de muestra y refleja una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie (Diaz *et al.*, 2008).

Figura N°6.

Mapa de localización de estaciones meteorológicas



Fuente: Elaboración propia.

Índice de agua Normalizado

El índice de agua normalizado NDWI (Gao, 1996); Se ha utilizado en diversos estudios de mitigación de inundaciones (Rojas, Munizaga, Rojas, Martínez, & Pino, 2019), pérdidas de humedales (Orimoloye, Kalumba, Sonwabo, & Werner, 2018), en la detección de agua superficiales en lagos (Nsubuga, y otros, 2017), entre otros. Por tanto, el NDWI se utiliza para el análisis de cuerpos de agua, ya que utiliza las bandas espectrales de amplio rango y la dinámica de los datos. Con respecto al conjunto de datos utilizado para su cálculo se utiliza la información satelital descrita en el Cuadro 1. En la ecuación 3 se utilizan infrarrojo cercano, porque la banda es utilizada para delimitar cuerpos de agua y su longitud de onda se encuentra en un rango de (0,85-0,88) y la banda de infrarrojo de onda corta, es utilizada para discriminar el contenido de humedad en los suelos y su longitud de onda se encuentra en un rango de (1,57-1,67) (Rifat Ahmed & Akter, 2017; Amanya, Salehia, Mahdavia, & Briscoc, 2018).

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

NIR= Banda de infrarrojo cercano

SWIR= Banda de infrarrojo de onda corta

(Ecuación 3)

Los indicadores propuestos ayudaron a visualizar la relación entre los cambios de urbanización y los cambios de humedad en el suelo. Para identificar los cambios del área construida se compararon temporalmente desde el año 1991 hasta 2018. Con respecto al índice de humedad los valores varían de 0,43 a -0,99, los cuales permiten identificar algunos eventos de inundación desde 1991 hasta 2015. Luego en 2016 y 2018 se identifican los cambios en los cuerpos de agua de los humedales. En general el análisis de los datos del NDBI y NDWI se encuentran correlacionados el coeficiente de Pearson que registran 0,95 y -0,92 respectivamente y se utilizan para identificar las diferencias en la urbanización y los índices de humedad.

Resultados

Los resultados se sintetizan en cuatros aspectos importantes, que analizan desde la urbanización hasta e índice de agua Normalizado. Los cuales se muestran a continuación:

Índice de urbanización

El NDBI se muestra en el Cuadro 3, el cual expone la superficie total de urbanización en cada año de estudio, así como la tasa de crecimiento. En 1991 la superficie urbana de Bogotá cubría 19.600 hectáreas, y para el año 2018 alcanzaron 35.176 hectáreas, lo que significa casi la duplicación de dicha superficie. La tasa más alta de crecimiento se registra entre los años 1991 y 1998 con un crecimiento del 5,69% (Cuadro N°2).

Cuadro N°2.

Crecimiento urbano Bogotá, periodo 1991-2018

Año	Superficie total de urbanización legal (Ha)	Superficie en de la urbanización ilegal (Ha)	Tasa de cambio en (%)
1991	19.600	4.254	-
1998	28.880	1.110	5,69
2001	30.665	3.011	2,02
2010	32.544	2.463	0,66
2014	34.445	2.579	1,43
2015	34.714	2.696	0,78
2016	35.079	2.819	1,05
2018	35.176	1.903	0,14

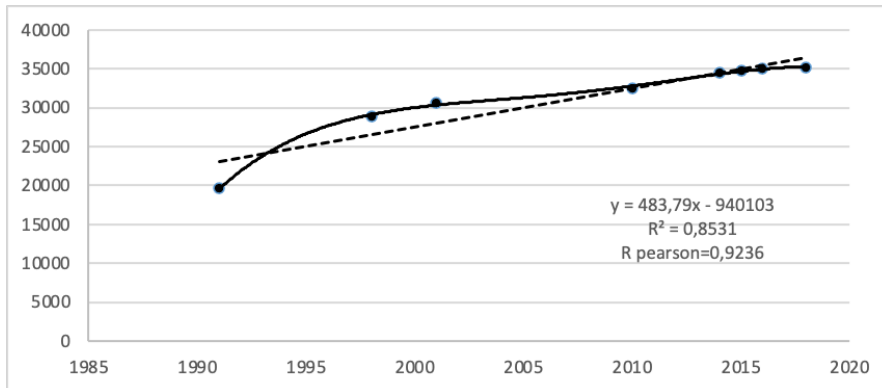
Fuente: Elaboración propia.

La Figura N°7 representa la superficie total de urbanización legal en cada año de estudio, así como la línea de regresión, la ecuación de la recta, el coeficiente de Pearson y el porcentaje de varianza explicada. En general se observa que en el siglo XX hubo una variación muy notable por efectos de las migraciones de zonas rurales a las grandes ciudades. En tanto la población se asentaba de zonas de protección ambiental como es caso de las rondas hidráulicas de los humedales. Además, la legalización de asentamientos ilegales en zonas de manejo y preservación ambiental de los humedales aumenta el crecimiento de la curva. En síntesis, se identifica, que en el primer periodo la urbanización legalizada ha venido aumentando el doble de su área desde 1991 hasta 2010. En el segundo periodo aumenta la legalización en un 2% desde 2014 hasta 2018. En general

en los 27 años de estudio se ha tenido lugar una tendencia positiva ($r= 0,92$), y la superficie urbanizada de manera legal ha venido aumentando el doble de su área. No obstante, en los últimos años se ha detenido el incremento, puesto que disminuye la legalización de asentamientos por efectos de la disminución de territorios.

Figura N°7.

Crecimiento de la urbanización legalizada en Bogotá, periodo 1991-2018



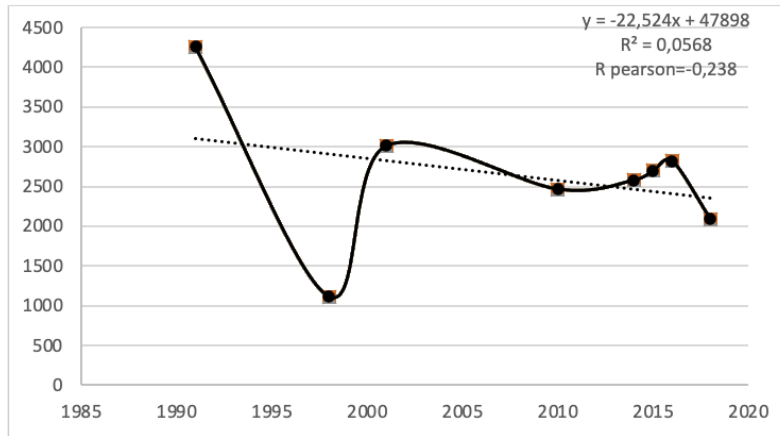
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del IDECA.

En cambio, la urbanización ilegal que se ilustra en el gráfico de la figura 8 y en el mapa de la figura 9 muestra una disminución gradual desde 4.254 hectáreas en 1991 hasta 2.087 hectáreas, lo que significa una tasa de cambio del -2,6%, esta tendencia se presenta por agotamiento del suelo urbano y por los procesos de legalización que ha venido desarrollando la Secretaría de Planeación de Bogotá. Con respecto al coeficiente de correlación es bajísimo (-0,238), lo que indica que ese ajuste no es aceptable por la naturaleza de los datos, ya que la presencia de los asentamientos ilegales depende directamente de aspectos sociales y económicos.

Los datos de la figura 8 se interpreta que en los 90s la variación fue muy notable, en cambio en el último decenio se ha detenido el incremento de legalización de predios. Esta tendencia negativa se debe a las políticas de planeamiento como son: el Decreto 700 de 1991 y Decreto 688 de 1996, que reglamentan el procedimiento para tramitar la legalización de asentamientos y desarrollos o barrios localizados en el interior del área urbana de Bogotá. En síntesis, la Figura 8 muestra la evolución temporal del número de hectáreas, así como la ecuación del modelo de regresión lineal, junto con r de Pearson, y el segundo valor. Este gráfico nos indica que hay un claro descenso en el número de hectáreas a lo largo del tiempo de estudio, que como se ha mencionado previamente probablemente afecte la respuesta de los humedales frente a sus zonas de ronda hidráulica (ver figura N°8)

Figura N°8.

Decrecimiento de la urbanización ilegal en la ciudad de Bogotá, periodo 1991-2018

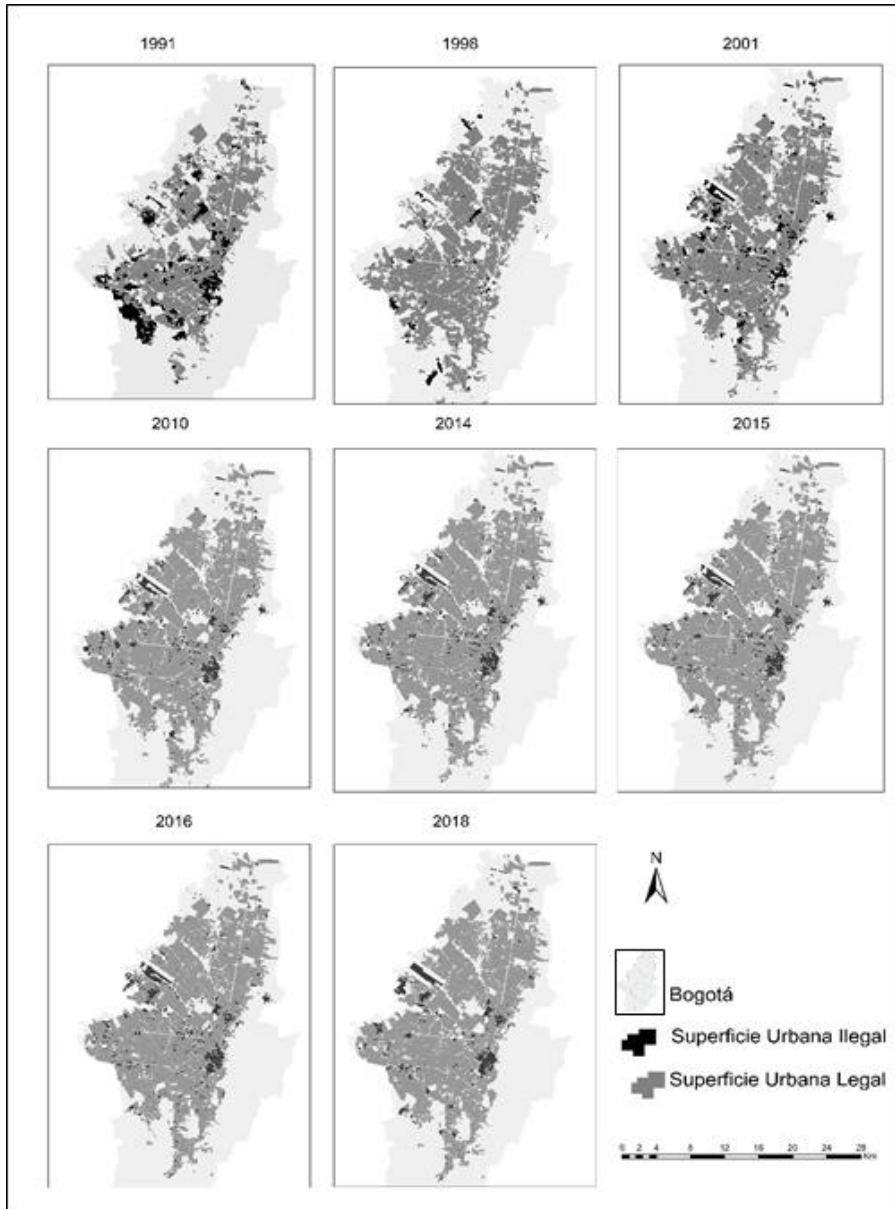


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del NDBI.

En la cartografía de la Figura 9 se identifican las áreas urbanizadas a partir del NDBI y la base de datos de licencias de construcción del IDECA, en efecto se identifica que el patrón de crecimiento urbano fue más denso y extenso en la zona occidental desde el año 2001 en comparación con la década de los 90. Además, la urbanización ilegal inicia fuertemente en el año 1991 por el sur occidente y sur oriente de la ciudad, luego dichas zonas fueron reducidas por los procesos de legalización de la Secretaría de Planeación Distrital de Bogotá, que surge por el interés de la comunidad. Este consiste en un estudio catastral con planos detallados de inmuebles y direcciones de los predios, para luego implementar servicios públicos y sociales (SDP, 2019). En el año 2001 se identifica asentamientos ilegales localizadas en el sector occidental, las cuales empiezan a ocupar parte importante de las zonas de manejo y preservación ambiental del río Bogotá, esta tendencia se propaga de sur a norte siendo una tendencia continua desde el año 2001 hasta el 2018.

Figura N°9.

Patrón del crecimiento en la ciudad de Bogotá según suelo legal e ilegal 1991-2018



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del NDBI y el IDECA.

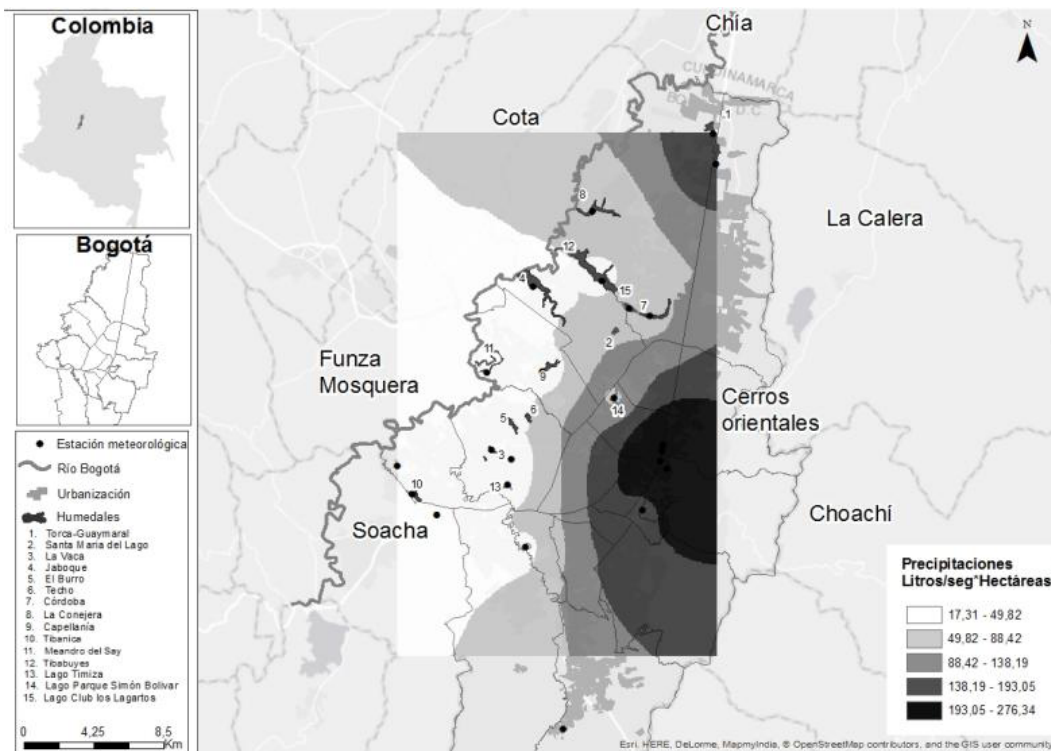
Curva IDF

En general la cartografía de la Figura 10 ilustra el régimen de mayor concentración de aguas lluvias, el cual se concentra en los cerros orientales, cuya dirección de flujo del agua de escorrentía e infiltración es desde Oriente hacia el Occidente, llegando así a los humedales Capellanía, Santa María del Lago, Lago Timiza, Lago parque Simón Bolívar. De la Figura 6, podemos apreciar

que las intensidades son mayores cerca de la montaña, es decir en el oriente de la ciudad, seguida del nororiente con una mediana intensidad de precipitaciones en presencia de los humedales Torca y Guaymaral, que confluye en sentido sur norte. Con respecto a los humedales Jaboque, Tibauyes entregan al río Bogotá como receptor principal. Finalmente, las zonas de menor intensidad de lluvias se presentan en al sur occidente en los humedales Techo, Vaca, Burro y Tibanica en las localidades de Kennedy y Bosa. Estas últimas zonas han sufrido la reducción de 19,25% en promedio de dichos humedales por efectos de asentamientos ilegales en las rondas hidráulicas y zonas de manejo y preservación ambiental, aumentan el riesgo de inundaciones en la localidad de Kennedy. Adicionalmente a esto, el crecimiento de la zona construida de la ciudad de Bogotá hace que aumente la cobertura impermeable de la cuenca (Concreto, Pavimento, Cubiertas), generando que el tiempo de concentración disminuya llegando el agua lluvia rápidamente a los humedales, puesto que, al aumentar la superficie impermeable, se disminuye la infiltración de agua lluvia, lo cual disminuye el tiempo de llegada de la misma al humedal (ver figura N°10).

Figura N°10.

Caracterización de las curvas IDF y su representación en la tendencia de precipitaciones de los últimos 30 años en la ciudad de Bogotá



Fuente: Elaboración propia a partir de las curvas IDF (EAAB, 2018).

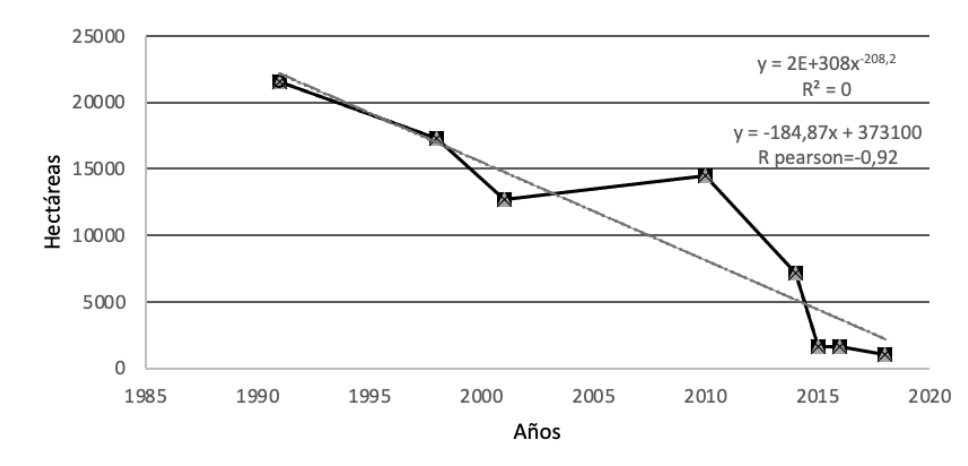
Índice de agua Normalizado e Índice de urbanización

Los resultados del NDWI muestran que la cantidad de agua relacionada en los humedales y principales cuerpos de agua en el área urbana de Bogotá, que han disminuido desde 21.539 hec-

táreas hasta 1.065 hectáreas. En ese sentido los resultados muestran una tendencia negativa en la figura N°11. La disminución del NDWI, que se ve reflejada en la pérdida de los espejos de agua en la zona de estudio, significa que la urbanización presiona a los humedales ocupando zonas de manejo y preservación ambiental (ZMPA), las cuales corresponden a una franja a partir de la ronda hidráulica, que funciona para la preservación de los humedales (UAECD, 2018). En tanto la ZMPA se ha venido disminuyendo y de este modo se reduce la capacidad de los humedales para controlar inundaciones.

Figura N°11.

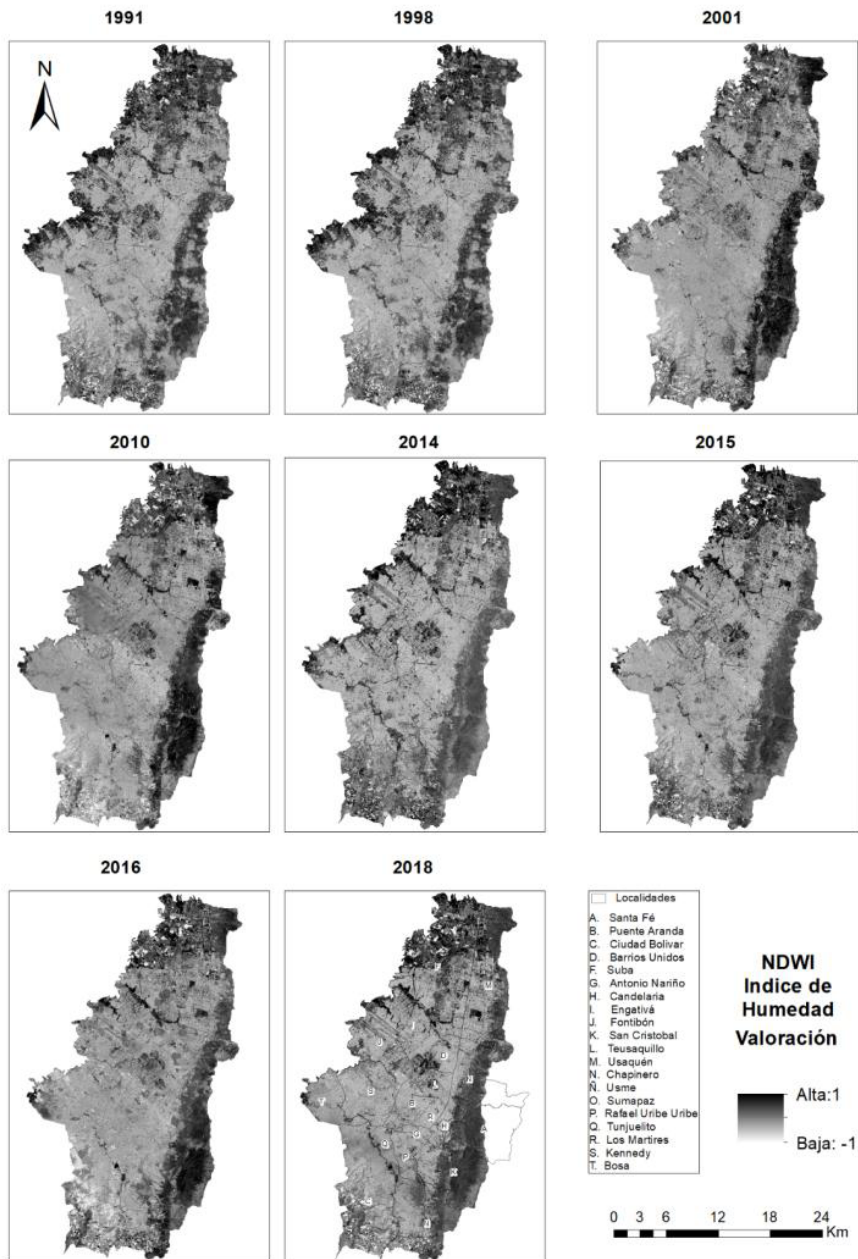
Decrecimiento de las áreas húmedas en la ciudad de Bogotá, periodo 1991-2018



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del NDWI.

En 1991 se identifica el complejo de humedales localizados en el Noroccidente: Tibabuyes, Lago club de los lagartos, Córdoba y Jaboque, al sur occidente el Tunjo y Tibanica (Ver zona A). En el año 1998 se identifica una época invernal con el aguacero, que congestionó todo el norte de la ciudad, esta emergencia se presentó porque el sistema de alcantarillado se colapsó (EL TIEMPO, 1998) (Ver zona B). En el 2001 se identifica una reducción en las zonas de manejo del humedal Jaboque y en la ronda hidráulica del río Bogotá (Ver zona C). El año 2010 es uno de los años más lluviosos en Colombia por su influencia con el fenómeno de La Niña, las precipitaciones medias aumentaron hasta 213,5 mm (Benavides & Rocha, 2012). En los años 2014, 2015, 2016 y 2018 coincide con temporadas secas, por ello se identifica con claridad el perímetro de los humedales Jaboque, Tibabuyes, Meandro del Say y Conejera y el Lago club de los lagartos en las localidades Engativá, Suba y Fontibón (Ver zona D). En general se identifica los flujos de escorrentía que van oriente a occidente que desembocan en los humedales del occidente de Bogotá (Figura N°12).

Figura N°12.
Evolución del índice de humedad en la ciudad de Bogotá desde 1991-2018



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la comparación entre los indicadores NDBI y NDWI demuestra que a medida que aumenta la urbanización, la ronda hidráulica, las zonas de manejo y preservación de los humedales y lagos disminuyen. En general la urbanización es la responsable de la pérdida de espejos de agua en humedales y lagos, puesto que las áreas urbanas ilegales representan el 2% en

promedio de pérdida de humedales. En contraste las áreas urbanas legalizadas representan el 98 % promedio en la pérdida de humedales. Razón por la cual, en la actualidad se conservan tan solo 1.065 hectáreas, tal y como se observa en la Figura N°8 se describe un descenso del 16% en humedales. En cambio, la urbanización aumenta con una tasa promedio del 1,7% desde 1991 hasta 2018.

Cuadro N°3.

NDBI Vs NDWI, periodo 1991-2018

Años	1991	1998	2001	2010	2014	2015	2016	2018
NDBI (Ha)	23.854	29.989	33.675	35.007	37.023	37.409	37.897	37.263
NDWI (Ha)	21.539	17.281	12.660	14.488	7.184	1.595	1.609	1.065

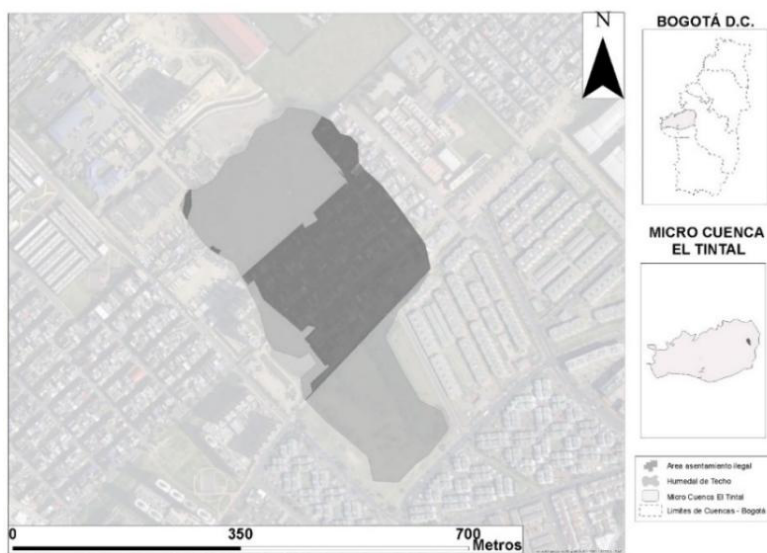
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del NDBI y NDWI.

Urbanizaciones ilegales en los humedales

Los humedales que registran las máximas ocupaciones por asentamientos ilegales son los humedales de Techo con un 42% y Vaca con un 25%. En el caso particular del humedal de Techo, el siguiente mapa muestra la localización de estos asentamientos y se aprecia como la grave ocupación urbana invade la ronda hidráulica y las zonas de manejo y de preservación ambiental (Figura 13). Seguidamente los humedales que registran una media ocupación de asentamientos ilegales son: Torca-Guaymaral (6%), La Isla (6%), el Burro (5%), Meandro del Say (5%) y Tibanica (5%). Finalmente, los humedales que no registran asentamientos ilegales son los lagos que se encuentran protegidos como parques con presencialidad de turismo (Figura N°14).

Figura N°13.

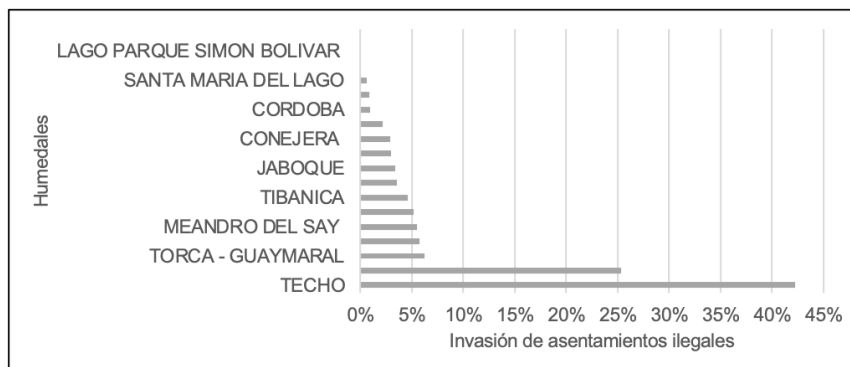
Asentamientos ilegales en humedal Techo, 2018



Fuente: Elaboración propia

Figura N°14.

Porcentaje de ocupación de los humedales por asentamientos ilegales 2018.



Fuente: Elaboración propia.

Discusión

En este estudio se recoge las diferencias espaciales y temporales del proceso de crecimiento urbano en las proximidades y sobre los humedales de la ciudad de Bogotá. La primera contribución de este estudio son los métodos geomáticos mejorados para identificar y validar el crecimiento urbano, que permiten identificar con claridad los asentamientos ilegales que alcanzan 2.087 hectáreas.

La utilización del NDBI es uno de los métodos empleado con frecuencia en el análisis ambiental urbano (Zha, Gao, & Ni, 2003; De la Barrera & Henríquez, 2017). En esta investigación se incorpora, además, la información del área urbana legal e ilegal a partir de los datos obtenidos del IDECA, puesto que mediante el NDBI solo se identifica la cobertura construida, lo cual le da un mayor significado a la evaluación del cambio.

La utilización el NDWI para la detección de los humedales (Amania, Salehia, Mahdavia, & Briscoc, 2018; Orimoloye, Kalumba, Sonwabo, & Werner, 2018; Rojas, Munizaga, Rojas, Martínez, & Pino, 2019) y la curva IDF mejoró la técnica de identificación porque se tuvo en cuenta la curva IDF con un periodo de retorno de tres años durante 30 años de análisis (Forero, 2017). En general los métodos geomático utilizados fueron efectivos, ya que en la cartografía de la Figura 12 se identifican los perímetros de los humedales Tibabuyes, Jaboque, Córdoba, Meandro del Say y Lago Club de los Lagartos, que se localizan en las localidades Suba, Engativá y Fontibón; cuerpos de agua que presentan cambios de áreas visibles donde es evidente su reducción que tiene una relación directa con su calidad, principalmente los que se encuentran en la periferia de o en la parte sur de la ciudad.

Una segunda contribución de este estudio fue la evaluación en términos de urbanización ilegal y legal, sobre la pérdida de área de los humedales. Ya que en la actualidad Colombia cuenta con una herramienta de planeación y manejo ambiental en los humedales desde el año 2005 y su aplicación recomienda el saneamiento predial, es decir la compra de predios para ampliar las

zonas de manejo y preservación ambiental de los humedales (ADESSA, 2006; González, Toro, & Dorado, 2018). Los resultados mostraron la ineficiencia de la protección de humedales, ya que los espejos de agua se han reducido desde 21.539 hectáreas en 1991 hasta 1.065 hectáreas 2018. Finalmente, el estudio muestra que el crecimiento de las áreas urbanas legales son la causa principal de esta pérdida de zonas de manejo y de preservación ambiental de los humedales, ya que la dinámica de la urbanización ilegal solo cubre un 2% y la urbanización legal cubre un 98% en promedio desde 1991 hasta 2018. De todos modos, independiente de la situación legal los suelos, estos se impermeabilizan por la construcción de viviendas, aumentando la pérdida de superficie de los humedales, esto significa que se afecta el drenaje de las aguas pluviales (Forero, 2017) y aumentan los riesgos por anegamiento e inundación.

En razón de lo anterior los resultados son una contribución para mejorar la planeación y gestión de los humedales de la ciudad de Bogotá. El reconocimiento de los humedales urbanos de Bogotá en la convención Ramsar es el comienzo para mejorar la gestión y conservación de los humedales (Minambiente, 2019). De este modo las futuras investigaciones deberán direccionarse en el desarrollo de proyectos que ayuden a minimizar los riesgos de inundación y anegamiento para el área urbana para mitigar este problema. Por ejemplo, se pueden proponer jardines verticales en el contorno de los humedales o ampliar las áreas de protección de los humedales. Esto último, tiene un grado de complejidad mayor por las implicancias económicas que implicaría un proceso de expropiación para recuperar la superficie original de los humedales.

Conclusiones

En términos generales el crecimiento del área urbana es una de las causas principales de la pérdida de humedales, muchos de ellos ubicados en zonas de manejo y preservación ambiental. La dinámica de la urbanización ilegal de Bogotá en humedales inicia procesos posteriores de legalización que a la larga impacta en la degradación irreversible de estos. De esta forma, se puede concluir que las políticas de urbanización y vivienda del Estado no han sido efectivas en la protección de humedales, regularizando un proceso que pone en riesgo al ecosistema urbano. No es posible considerar el déficit habitacional como el único criterio de urbanización en torno a humedales.

Los efectos de impermeabilización de los suelos sobre los humedales inciden en el aumento del nivel de amenazas de inundación y riesgos. En este sentido, las herramientas geomáticas utilizadas en esta investigación, como los SIG y la percepción remota, y que integran dinámicas hidrológicas con coberturas socio-legales en el estudio de humedales, son un poderoso instrumento para la gestión ambiental, en especial el monitoreo y de esta forma avanzar hacia los objetivos del desarrollo sostenible urbano.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo para la investigación proporcionado por el CEDEUS, ANID/FONDAP 15110020 y proyecto Fondecyt N° 1180268, ANID/Chile. Además, agradecemos al centro de investigaciones de la Universidad Libre de Colombia por la financiación del proyecto de investigación "evaluación de comparativa de los humedales de Bogotá" N°11030136.

Referencias

Abramo, P. La ciudad com-fusa: mercado y producción de la estructura urbana en las grandes metrópolis latinoamericanas. *Eure*, 2012, p. 35-69. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612012000200002>

ADESSA. Plan de manejo ambiental humedal jaboque. Secretaria Distrital de Ambiente, Bogotá, 2006.(Consulta:12/05/2018). https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=15065

Alcaldía mayor de Bogotá. Decreto 190. Secretaria Distrital de Planeación, Bogotá, 2004. (Consulta: 20/10/2018) <http://recursos.ccb.org.co/ccb/pot/PC/files/HTML/DECRETO-190-DE-2004.pdf>

Amania, M., Salehia, B., Mahdavia, S., & Briscoc, B. Spectral analysis of wetlands using multi-source optical satellite imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 119-136. 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.07.005>

Andrade, G., Mesa, C., Ramírez, A., & Remolina, F. ESTRUCTURA ECOLÓGICA PRINCIPAL Y ÁREAS PROTEGIDAS DE BOGOTÁ. Foro nacional ambiental documento de política públicas. Bogotá. 2008. (Consulta:15/10/2018) <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/con-la-comunidad/estructura-ecologica-principal-y-areas-protegidas-de-bogota>

Andrade, G., Remolina, F., & Wiesner, D. Assembling the pieces: a framework for the integration of multi-functional ecological main structure in the emerging urban region of Bogotá, Colombia. *Urban Ecosyst*. 2013. doi:<https://doi.org/10.1007/s11252-013-0292-5>

Andrade, G. La política e humedales se quedó atrás. Es necesario volver a revisarla. *Semana Sostenible*. 2019. (Consulta: 02/02/2019). <https://www.semana.com/medio-ambiente/articulo/la-politica-de-humedales-se-queda-atras-es-necesario-volver-a-revisarla-german-andrade/42853/>

Arango, C., Dorado, J., Guzmán, D., & Ruiz, J. CAMBIO CLIMÁTICO MÁS PROBABLE PARA COLOMBIA A LO LARGO DEL SIGLO XXI RESPECTO AL CLIMA PRESENTE. IDEAM. Bogotá. 2012. (Consulta:15/01/2019) <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Escenarios+Cambio+Climatico+%28Ruiz%2C+Guzman%2C+Arango+y+Dorado%29.pdf/fe5d64fb-3a82-4909-a861-7b783d0691cb>

Asda, A. Obtenido de NDVI NDBI NDWI in Arc GIS ATEEQ. (Consulta: 20/09/2018). https://www.youtube.com/watch?v=uCl_LLMI-8s

Benavides, H., & Rocha, C. INDICADORES QUE MANIFIESTAN CAMBIOS EN EL SISTEMA CLIMÁTICO DE COLOMBIA (Años y décadas más calientes y las más y menos lluviosas). IDEAM. Bogotá. 2012. (Consulta: 17/11/2018). <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Indicadores+de+cambio+climatico+en+el+pa%C3%ADs.pdf/5ac540b8-e3f7-4076-91fe-d876f31101f9>

Bolund , P., & Hunhammar, S. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 293-301. 1999. (Consulta:15/10/2017) http://www.fao.org/uploads/media/Ecosystem_services_in_urban_areas.pdf

Bonanseña, M., Bazán, R., Pagot, M., Pinotti, L., Ledesma, C., & Rodríguez, C. Utilización de imágenes aster y landsat para el monitoreo de la concentración de clorofila-a en el embalse los molinos, Córdoba, Argentina. 2014. *Biología Acuática*, 69-77.

Calderón, M. Efectos de la dinámica urbana en los humedales de la ciudad de Bogotá: Diagnostico y propuestas de mejora en el marco del crecimiento verde. 2016. (Y. Cardozo, Entrevistador)

Camargo, A., & Hurtado, A. Urbanización informal en Bogotá: agentes y lógicas de producción del espacio urbano. 2013. *Revista invi*, 77-107.doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-83582013000200003>

Cerema. Milieux humides et aménagement urbain Dix expériences innovantes. Lyon. 2015. (Consulta: 10/02/2019). <http://es.calameo.com/read/00009367920dcd9669f68>.

Convención Ramsar. Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas: una recopilación de análisis recientes. Ramsar. 2015. (Consulta:15/02/2018) <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/bn7s.pdf>

Da Cruz E Sousaa, R., & Lopes Miranda, O. Incorporating wetlands in hydrologic and hydraulic models for flood zone delineation: An application to Durán, Ecuador. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2018. p. 375-383. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.03.023>

DAMA. Historia de humedales de Bogotá con énfasis con cinco de ellos. Bogotá: Alcaldía mayor de Bogotá. 2000.

DAMA. Historia de los humedales de Bogotá. Bogotá, Colombia: DAMA. 2000.

DANE. Estimaciones de población 1985-2005 y proyecciones de población 2005 y 2020 total municipal por la zona (estimación). Bogotá: DANE. 2017. Recuperado el 10 de Agosto de 2018. https://www.datos.gov.co/d/dynh-a7n8?category=dataset&view_name=Proyecciones-de-poblacion-n-seg-n-municipio-2020

De la Barrera, F., & Henríquez, C. Vegetation cover change in growing urban agglomerations in Chile. *Ecological Indicators*, 2017, p. 265-273. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.05.067>

Diaz, G., Sánchez , I., Quiroz, R., Garatuza, J., Watts Thorp, C., & Cruz, I. Interpolación espacial de la precipitación pluvial en la zona de barlovento y sotavento del Golfo de México. *Agricultura técnica en México*. 2008, N° 34, p. 279-287. Disponible en internet http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000300002&lng=es&nrm=iso

Dressler, K. A., Fassnacht, S. R., Bales, R. C., Davis, R. E., Lampkin, D., & Myers, D. E. Geostatistical interpolation of point-measured SWE in the Colorado River Basin. EOS Transactions American Geophysical Union Fall Meet, 2000, p. 397.

EAAB.. Ficha de inversión de Conservación y manejo ambiental. Bogotá. 2013. Recuperado de <http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/empresa/Pel/Macro7341-06172013.pdf>.

EAAB. Curvas IDF para Bogotá. Bogotá, 2018.

EAAB. Plan parcial de renovación urbana corferias –eaab-esp redes acueducto y alcantarillado. Bogotá, 2019. Consulta (30/07/2019) http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/1371_diagnosticactuadacualca_30-07-2019.pdf

EL TIEMPO. El aguacero atascó todo el norte. EL TIEMPO, 12 de diciembre de 1998.(Consulta:20/05/2018). <https://app2.sire.gov.co/Hemeroteca/HEB.html?evento=8#abajo>

EL TIEMPO. Inundaciones en diez barrios del occidente de la capital. EL TIEMPO, 2 de octubre de 1991.(Consulta:20/05/2018). <https://app2.sire.gov.co/Hemeroteca/HEB.html?evento=8#abajo>

EL TIEMPO. Evacuan hospital por inundación. EL TIEMPO, 23 de Enero de 2001 (Consulta:20/05/2018). <https://app2.sire.gov.co/Hemeroteca/HEB.html?evento=8#abajo>

Escalona Orcao, A., & González Angarita, G. Ensayo de modelización de la dinámica de los humedales de Bogotá como apoyo a su gestión ambiental en el marco del crecimiento verde. II congreso Internacional "La ingeniería Ambiental en el siglo XXI". Bogotá, 2016.

Forero, A. Dimensionamiento de canales y embalses para conducir y almacenar agua lluvia para abastecer la población de altos. Revista e Tecnología, 2017, 113-128. doi: <https://doi.org/10.18270/rt.v16i1.2320>

Franco, R. Tutorial arcgis. 2011. (Consulta: 20/09/2018). <https://www.youtube.com/watch?v=O0Z-c7pJyigM&list=PLAEhDYHUarGs3h5oQbWrXSbbb6yLVfhsv>

Franco, R. Composiciones Landsat en Arcgis. Bogotá. 2017. (Consulta: 20/06/2018). <http://wp.me/p2lwQu-1bh>

Gao, B.-c. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment, 1996. p. 257-266. doi: <https://doi.org/10.1117/12.210877>

González Angarita, G. ECOBARRIO LAGOS DE CASTILLA. 2018, Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=fkPuolwcCRA&t=3s> (H. González, Entrevistador)

González, G., Toro, V., & Dorado, E. El saneamiento predial y su validación desde la actuación de diversos actores implicados en la dinámica territorial de los humedales de la ciudad de Bogotá. *RIAA*, 2018, Vol. 11, p. 133-146. doi: <https://doi.org/10.22490/21456453.3114>

Hernández-R, j., & Rangel-CH, O. La vegetación del humedal Jaboque (Bogotá). *Caldasia*, 2009, p. 355-379.

IDEAM, & ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. (sf). Estudio de la caracterización climática de bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo. Bogotá: IDEAM, 2007, (Consulta: 20/05/2019) <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21135/CARACTERIZACION+CLIMATICA+BOGOTA.pdf/d7e42ed8-a6ef-4a62-b38f-f3{6f58db29aa>

IDEAM, PNUD, Alcaldía de Bogotá, Gobernación de Cundinamarca, CAR, Corpoguavio, . . . DNP. El Cambio Climático en la Región Bogotá Cundinamarca y implicaciones del SUS para el Desarrollo Regional (2011 - 2100). Bogotá: Plan Regional Integral de Cambio Climático para Bogotá Cundinamarca (PRICC), 2014, (Consulta: 14/05/2019) de http://www.idiger.gov.co/documents/10179/275986/Policy+paper_06_Escenarios.pdf/b569d5b6-dbb4-4413-a1dc-48502aaf4663

IDECA. *Área Urbanística. Bogotá D.C. del Año 2018*, (Consulta: 31/07/2018). Obtenido de www.ideca.gov.co

IDIGER. Instituto Distrital de gestión de riesgos y cambio climático. 2016. (Consulta: 31/07/2018). Obtenido de <https://www.idiger.gov.co/home>

IDIGER. Caracterización General de Escenario de Riesgo de Inundación por Desbordamiento. Bogotá. 2018, (Consulta: 31/07/2018). Obtenido de <http://www.idiger.gov.co/rinundacion>

IDIGER. Hemeroteca de Emergencias de Bogotá. IDIGER, 2019. (Consulta: 01/05/2019). <https://app2.sire.gov.co/Hemeroteca/HEB.html?evento=8#abajo>

IDU. Inventario de vías de la ciudad de Bogotá. Bogotá, 2017. (Consulta: 15/01/2019) <https://www.idu.gov.co/>.

Inostroza, L., Baur, R., & Csaplovics, E. Urban sprawl and fragmentation in Latin America: a dynamic quantification and characterization of spatial patterns. *Journal of Environmental Management*, 2013, p. 87-97. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.11.007>

Inostroza, L. Informal urban development in Latin American urban peripheries. *Spatial assessment in Bogotá, Lima and Santiago de Chile. Landscapae and urban planning*, 2017, p. 267-279. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.03.021>

Jaramillo, U., Cortés-Duque, J., & Flórez, C. Colombia Anfibia. Un país de humedales (Vol. I). (E. (-D.-A. Instituto Humboldt, Ed.) Bogotá D. C., Colombia, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander, 2015. Obtenido de <http://www.humboldt.org.co/es/estado-de-los-recursos-naturales/item/802-colombiaanfibiv1>

Jaramillo , U., Cortés, D., & Flórez, C. Colombia Anfibia, un país de humedales. (Vol. II). Bogotá, D. C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander, 2016. Obtenido de <http://www.humboldt.org.co/es/test/item/871-colombiaanfibiv2>

Lennon, M., Scott, M., & O'Neill, E. Urban Design and Adapting to Flood Risk: The Role of Green Infrastructure. *Journal of Urban Design*, 2014, Vol. 19, p. 745-758. doi <https://doi.org/10.1080/13574809.2014.944113>

Mayorga, J. El proceso de urbanización de los humedales de Kennedy en Bogotá, Colombia: Una perspectiva normativa. *Papeles de Coyuntura*, 2016, No. 42, p. 14-53. Obtenido de www.papeles-decoyuntura.com

Minambiente. El ambiente es de todos. (30 de Enero de 2019), (Consulta: 07/02/2019). <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/4091-se-firma-decreto-que-designa-el-complejo-de-humedales-de-bogota-como-sitio-ramsar>

Ministerio de medio ambiente. Política nacional para humedales interiores de Colombia. Estrategias para su conservación y uso sostenible. Bogotá: Panamericana Formase impresos, 2002.

Nhamo, L., Magidi , J., & Dickens, C. Determining wetland spatial extent and seasonal variations of the inundated area using multispectral remote sensing. *Water SA*, 2017, p. 543-552. doi: <https://doi.org/10.4314/wsa.v43i3.01>

Nsubuga, F. N., Botai, J., Olwoch, J., C.J. deW, Rautenbach, Kalumba, A., . . . Mearns, K. Detecting changes in surface water area of Lake Kyoga sub-basin using remotely sensed imagery in a changing climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 2017, p. 127-327. doi.<https://doi.org/10.1007/s00704-015-1637-1>

OAB. Observatorio ambiental de Bogotá. 2011, (Consulta: 15/11/2018). <https://oab.ambientebogota.gov.co/esm/indicadores?id=512&v=l>

OAB. Alcaldía Peñalosa recupera espacios en humedales de Bogotá despojados por particulares, 2016. (Consulta: 15/11/2018). <http://oab2.ambientebogota.gov.co/es/con-la-comunidad/noticias/alcaldia-penalosa-recupera-espacios-en-humedales-de-bogota-despojados-por-particulares>.

OECD. *Green Growth in cities*. OECD Publishing, 2013. doi:<https://doi.org/10.1787/9789264195325-en>

Ollero, A. Guía metodológica sobre buenas prácticas en gestión de inundaciones . Zaragoza. 2014. doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3559.1121>

Orimoloye, R., Kalumba, A., Sonwabo, P., & Werner, N. Geospatial analysis of wetland dynamics: Wetland depletion and biodiversity conservation of Isimangaliso Wetland, South Africa. *Journal of King Saud University – Science*. 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.03.004>

Palomeque de la Cruz, M., Galindo Alcántara, A., Sánchez, A., & Escalona Maurice, M. J. Pérdida de humedales y vegetación por urbanización en la cuenca del río Grijalva, México. *Investigaciones Geográficas*, 2017, No. 68, p. 151-172. doi : <https://doi.org/10.14198/INGEO2017.68.09>

Park, J. The evolution of Green Growth policy: an unwelcome intrusion on global environmental. *Journal of East Asian Economic Integration*, 2013, No. 17(2), p. 207-241. doi: <https://doi.org/10.11644/KIEP.JEAI.2013.17.2.264>

Pintos, P., & Sgroi, A. Efectos del urbanismo privado en humedales de la cuenca baja del río Luján, provincia de Buenos Aires, Argentina. Estudio de la megaurbanización San Sebastián. *AUGMDO-MUS*, 2012, No. 4, p. 45-48. Obtenido de <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/432>

Rifat Ahmed, K., & Akter, S. Analysis of landcover change in southwest Bengal delta due to floods by NDVI, NDWI and K-means cluster with landsat multi-spectral surface reflectance satellite data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2017 168-181. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.08.010>

Rojas, C., De Meulder, B., & Shannon, K. Water urbanism in Bogotá. Exploring the potentials of an interplay between settlement patterns and water management. *Habitat International*, 2015, p. 177-187. doi: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.03.017>

Rojas, C., Sepúlveda-Zúñiga, E., Barbosa, O., Rojas, O., & Martínez, C. Patrones de urbanización en la biodiversidad de humedales urbanos en Concepción metropolitana. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2015, p. 181-204. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022015000200010>

Rojas, C., Munizaga, J., Rojas, O., Martínez, C., & Pino, J. Urban development versus wetland loss in a coastal Latin American city: Lessons for sustainable land use planning. *Land use Policy*, 2019, p. 47-56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.09.036>

SDA. Secretaría Distrital de Ambiente. 09 de Agosto de 2017. (Consulta: 27/08/2018). <http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/humedales>.

SDA. Secretaría Distrital de Ambiente. 2018. (Consulta: 27/08/2018). <http://ambientebogota.gov.co/es/>

SDP. Asesoría para la legalización de barrios y titulación de predios. Bogotá, 2019. Obtenido de http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/1299_002_chapinero.pdf

Secretaría Distrital de Ambiente. Secretaría Distrital de Ambiente, 2018. (Consulta: 27/08/2018) Obtenido de Ambiente por temas: <http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/humedales>.

Sharma, R., & Joshi, P. Mapping environmental impacts of rapid urbanization in the National Capital Region of India using remote sensing inputs. *Urban Climate*, 2016, p. 70-82. doi: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.01.004>

Shlomo, A., Blei, A., Lamson, P., Galarza, N., Kumar, S., & Shingade, S. Atlas de expansión urbana en Colombia. Bogotá, 2018. Obtenido de <http://atlasexpansionurbanacolombia.org/ciudades>: NYU: Informe mundial sobre los asentamientos humanos.

Smith , P., & Romero, H. Efectos del crecimiento urbano del Área Metropolitana de Concepción sobre los humedales de Rocuant-Andalién Los Batros y Lenga. *Revista de Geografía Norte Grande*, 2009, No. 43, p. 81-93. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022009000200005>

Tran, T. Contextualización de las zonas húmedas en Francia, 26 de Junio de 2017. (G. González, & M. Sierra, Entrevistadores)

UAECD. Zonas de Manejo y Preservación Ambiental de las Rondas. Bogotá, 2018. Obtenido de <https://www.catastrobogota.gov.co/es/node/528>

United Nations Sustainable Development. Agenda 21. Río de Janeiro, 1992.

United Nations. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. 2018. Obtenido de <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-KeyFacts.pdf>

Universidad Nacional de Colombia. Plan de manejo ambiental del humedal Burro. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2008. Obtenido de <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/75fa09ff-a9a6-47c0-aa75-1151fbd547b4>

USGS. Base de imágenes satelitales. Virginia, 2018. (Consulta: 30/07/2018) <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Van der Hammen, T. Plan Ambiental de la Cuenca Alta del Río Bogotá: Análisis y Orientación para el Ordenamiento Territorial. CAR, Bogotá. Bogotá, 1998. (Consulta: 28/07/2018) <http://sie.car.gov.co/bitstream/handle/20.500.11786/33796/28263.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Wittmann, F., Householder, E., De Oliveira , A., Wittmann, Lopes, A., Wolfgang, J., & Piedade, M. Implementation of the Ramsar Convention on South American wetlands: an update. *Research and Reports in Biodiversity Studies*, 2015, p. 47-58. doi:<https://doi.org/10.2147/RRBS.S64502>

Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery . *International Journal of Remote Sensing*, 2003, No. 24(3), p.(583-569). doi: <https://doi.org/10.1080/01431160304987>

RGNG utiliza el formato ISO 690 simplificado para sus referencias bibliográficas. Solicitamos ajustar la sección referencias según el siguiente modelo:

