

EFFECTO DE LA TRANSFORMACIÓN DEL PAISAJE SOBRE LA PRESTACIÓN  
DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE PROVISIÓN DE HÁBITAT DEL HUMEDAL  
"EL TUNJO" (BOGOTÁ- COLOMBIA), DE 1940 A 2014.

Presentado por:

FLOR ALEXANDRA MATEUS BAEZ

YESSICA LORENA CAICEDO CASTAÑEDA

Para optar al título de Ingenieras Geógrafas y Ambientales,

Dirigido por:

LUZ PIEDAD ROMERO DUQUE

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN (OPCIÓN DE GRADO)

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES (UDCA)

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y AMBIENTAL

BOGOTÁ

2016

---

Directora

Dra. Luz Piedad Romero Duque

Bogotá D.C. Febrero de 2016

## **Dedicatoria**

Dedicado especialmente a mi mamá Flor María Báez porque hoy le debo lo que soy, por creer en mí, ser mi mayor ejemplo y motivación y por darme los mejores años de mi vida. Éste y los triunfos que vienen son para ella.

Espero que exista el cielo y nos encontremos allí.

A mi familia por acompañarme en este proceso de mi vida, a Yessica por su apoyo incondicional y a Sebastian por abrirme su corazón y permitirme volver a sonreír a su lado.

*Alexandra*

Dedicado en primer lugar a Dios, quien guía y bendice mi vida, a mis padres, hermanos, incluida Alexa y a quien me apoya incondicionalmente en todos mis proyectos.

*Yessica*

## **AGRADECIMIENTOS**

Ofrecemos sinceros agradecimientos a las siguientes personas y entidades:

Dra. **LUZ PIEDAD ROMERO DUQUE** directora de la Maestría de Ciencias Ambientales de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A.), quien nos dirigió, guió y asesoró constantemente en el desarrollo de este trabajo de investigación.

Ingeniera Geógrafa y Ambiental **MARÍA FERNANDA BATISTA MORALES**, por asesorarnos en los temas relacionados con sistemas de información geográfica y modelación de servicios ecosistémicos.

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES (UDCA)** y los docentes del programa de Ingeniería Geográfica y Ambiental, quienes contribuyeron a nuestra formación profesional, especialmente al Ingeniero Alejandro Salamanca, quien incentivó este tema de investigación.

**INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC)** por suministrarnos el material fotográfico de los años 1940 y 1992 del área en estudio.

**PEDRO KARÍN SERRATO**, docente e investigador del IGAC, por asesorarnos en la interpretación de las fotografías aéreas.

**FUNDACIÓN HUMEDALES BOGOTÁ** por su continuo proceso de educación ambiental y reconocimiento en los diferentes humedales del distrito capital, incluido el humedal el Tunjo.

**NATURAL CAPITAL PROJECT** e investigadores, por asesoran el uso de la herramienta InVEST y los diferentes modelos que valoran Servicios Ecosistémicos.

## Contenido

LISTA DE TABLAS .....	6
LISTA DE FIGURAS.....	7
LISTA DE ANEXOS.....	8
RESUMEN .....	9
ABSTRACT.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	13
OBJETIVOS.....	13
ANTECEDENTES.....	14
<i>Aspectos demográficos y normativos.....</i>	<i>21</i>
FUNDAMENTACION TEÓRICA .....	25
<i>SERVICIOS ECOSISTÉMICOS (SE).....</i>	<i>34</i>
<i>Valoración biofísica del servicio ecosistémico de provisión de hábitat .....</i>	<i>44</i>
MÉTODOS.....	45
<i>AREA DE ESTUDIO .....</i>	<i>45</i>
<i>DELIMITACIÓN AREA DE ESTUDIO .....</i>	<i>47</i>
<i>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TERRITORIO.....</i>	<i>48</i>
METODOLOGIA.....	49
<i>Análisis Multitemporal.....</i>	<i>49</i>
<i>Valoración del servicio ecosistémico de provisión de hábitat .....</i>	<i>51</i>
Descripción del modelo de la calidad del hábitat: .....	51
RESULTADOS.....	57
<i>Transformación del paisaje.....</i>	<i>57</i>
Patrón de transformación.....	60
<i>Servicio ecosistémico de provisión de hábitat .....</i>	<i>60</i>
DISCUSIÓN.....	64
CONCLUSIONES.....	68
RECOMENDACIONES .....	68
ANEXOS.....	70
BIBLIOGRAFÍA.....	84

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. LISTADO DE INVESTIGACIONES A NIVEL INTERNACIONAL RELACIONADAS CON PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DEL PAISAJE Y VALORACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS. ....	16
TABLA 2. DESCRIPCIÓN DE LOS ESTUDIOS DE CASO PRESENTADOS EN EL TALLER REGIONAL “UN ABORDAJE A PARTIR DE ESTUDIOS DE CASO EN LA AMAZONÍA”.....	18
TABLA 3. INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON TRANSFORMACIÓN DEL PAISAJE Y LA PRESTACIÓN, VALORACIÓN Y MAPEO DE SERVICIOS ECOSISTÉMICO A NIVEL NACIONAL. ....	19
TABLA 4. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL PAISAJE. ....	27
TABLA 5. PROCESOS ESPACIALES DE TRANSFORMACIÓN DEL PAISAJE.....	31
TABLA 6. CONCEPTOS DE HUMEDAL POR LA CONVENCION RAMSAR Y POLÍTICA DE HUMEDALES DE BOGOTÁ.....	33
TABLA 7. FOTOGRAFÍAS AÉREAS E IMÁGENES SATELITALES UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS.....	50
TABLA 8. PATRONES DE TRANSFORMACIÓN DEL PAISAJE DEL HUMEDAD EL TUNJO (BOGOTÁ, COLOMBIA). ....	60
TABLA 9. ÁREAS POR RANGO DE CALIDAD DE HÁBITAT PARA CADA AÑO DE ESTUDIO.....	62

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. JERARQUIZACIÓN DE NORMAS RELATIVAS A PLANEACIÓN TERRITORIAL (IZQUIERDA) Y AMBIENTAL (DERECHA) PARA BOGOTÁ, DESDE 1940 A 1992. ....	22
FIGURA 2. JERARQUIZACIÓN DE NORMAS RELATIVAS A PLANEACIÓN TERRITORIAL (IZQUIERDA) Y AMBIENTAL (DERECHA) PARA BOGOTÁ, DESDE 1992 A 2014. ....	23
FIGURA 3. ESTRUCTURA E ÍNDICES DEL PAISAJE.....	30
FIGURA 4. UNIDADES DE ANÁLISIS DEL PAISAJE.....	32
FIGURA 5. MARCO PARA LA CLASIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y VALORACIÓN DE LAS FUNCIONES DE LOS SE.....	36
FIGURA 6. RELACIÓN ENTRE LOS SERVICIOS INTERMEDIOS, FINALES Y LOS BENEFICIOS.....	38
FIGURA 7. CLASIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS SEGÚN LA EEM. ....	39
FIGURA 8. IDONEIDAD DEL HÁBITAT DE LAS ESPECIES DE INTERÉS Y LA PROXIMIDAD DE LA INTENSIDAD DE UNA O MÁS .....	45
FIGURA 9. DELIMITACIÓN DEL PARQUE ECOLÓGICO DISTRITAL DE HUMEDAL EL TUNJO .....	46
FIGURA 10. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO. ....	47
FIGURA 11. INSUMOS REQUERIDOS PARA EJECUTAR EL MODELO DE CALIDAD DE HÁBITAT. ....	53
FIGURA 12. CAMBIO DE COBERTURA DEL PAISAJE DEL HUMEDAL EL TUNJO (BOGOTÁ, COLOMBIA).....	57
FIGURA 13. CAMBIO DE COBERTURA DEL SUELO DEL PAISAJE DEL HUMEDAL EL TUNJO (BOGOTÁ, COLOMBIA) PARA EL PERIODO DE TIEMPO COMPRENDIDO ENTRE 1940-2014. ....	59
FIGURA 14. MEDIDAS DE DIVERSIDAD DEL PAISAJE DEL HUMEDAL EL TUNJO (BOGOTÁ, COLOMBIA) PARA EL PERIODO COMPRENDIDO ENTRE 1940-2014. ....	59
FIGURA 15. RANGOS DE CALIDAD DE HÁBITAT PARA LA ZONA DE ESTUDIO.....	62
FIGURA 16. SERVICIO ECOSISTÉMICO DE PROVISIÓN DE HÁBITAT OFRECIDO POR EL HUMEDAL EL “TUNJO” DESDE 1940 A 2014. ....	63

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. CRECIMIENTO POBLACIONAL Y URBANO DE BOGOTÁ.....	70
ANEXO 2. CANTIDAD DE POBLACIÓN POR LOCALIDADES DE BOGOTÁ DESDE 1973.....	71
ANEXO 3. UNIDADES DE COBERTURAS DE LA TIERRA PRESENTES EN EL TERRITORIO NACIONAL DE COLOMBIA.....	71
ANEXO 4. FOTOGRAFÍAS AÉREAS E IMAGEN SATELITAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.	73
ANEXO 5. INSUMOS REQUERIDOS PARA EJECUTAR EL MODELO DE CALIDAD DEL HÁBITAT PARA EL AÑO 1940.....	74
ANEXO 6. INSUMOS REQUERIDOS PARA EJECUTAR EL MODELO DE CALIDAD DEL HÁBITAT PARA EL AÑO 1992.....	75
ANEXO 7. INSUMOS REQUERIDOS PARA EJECUTAR EL MODELO DE CALIDAD DEL HÁBITAT PARA EL AÑO 2014.....	76
ANEXO 8. COBERTURA DE LA TIERRA DEL HUMEDAL EL TUNJO - AÑO 1940.....	77
ANEXO 9. COBERTURA DE LA TIERRA DEL HUMEDAL EL TUNJO - AÑO 1992.....	78
ANEXO 10. COBERTURA DE LA TIERRA DEL HUMEDAL EL TUNJO - AÑO 2014.....	79
ANEXO 11. MAPA DE CALIDAD DE HÁBITAT DEL HUMEDAL EL TUNJO - AÑO 1940	80
ANEXO 12. MAPA DE CALIDAD DE HÁBITAT DEL HUMEDAL EL TUNJO - AÑO 1992	81
ANEXO 13. MAPA DE CALIDAD DE HÁBITAT DEL HUMEDAL EL TUNJO - AÑO 2014	82
ANEXO 14. EVOLUCIÓN URBANA DE BOGOTÁ.....	83



## RESUMEN

Los ecosistemas de humedal en ciudades como Bogotá D.C., se han visto altamente afectados a raíz del proceso histórico de concentración demográfica e inaplicabilidad o desconocimiento normativo, lo cual ha conllevado a la transformación del paisaje y a la reducción en la prestación de servicios ecosistémicos. La falta de conocimiento sobre los procesos de transformación y la consecuente pérdida de servicios ecosistémicos impide la adecuada toma de decisiones sobre la restauración del paisaje y sus servicios. Por ello en este trabajo se evaluó el efecto de la transformación del paisaje sobre la prestación del servicio ecosistémico de provisión de hábitat desde 1940 hasta 2014 en el ecosistema de humedal El Tunjo, ultimo humedal decretado en la ciudad de Bogotá.

El análisis de la transformación del paisaje se inició con la clasificación de coberturas y uso del suelo con base en la clasificación Corine Land Cover, por medio de fotografías aéreas e imágenes satelitales de los años en estudio y posteriormente por medio de la herramienta Patch Analyst, se calcularon los índices de área, superficie, densidad y tamaño. En 1940 existía un paisaje de tipo rural, predominando las zonas pantanosas (humedal) en más del 70% del área total. Para los años 1992 y 2014 se observan procesos de urbanización acelerados y se pasa de un paisaje de tipo rural a un paisaje antropizado aproximadamente en un 90% (zonas urbanas, vías, industrias, entre otras). El proceso de transformación espacial del paisaje que se presentó entre 1940 y 2014 fue de fragmentación.

A partir de los resultados de transformación del paisaje, se realizó una valoración biofísica el servicio ecosistémico de provisión de hábitat, por medio del modelo de calidad de hábitat desarrollado por InVEST (Natural Capital Project), para conocer la variabilidad de la prestación del servicio en la venta de tiempo estudiada. Para la ejecución del modelo se utilizaron insumos como: rasterización de las coberturas y la clasificación de coberturas que corresponden a amenazas, valores de peso de las amenazas sobre los hábitats naturales y su respectiva sensibilidad. La cartográfica resultante representa los cambios y la reducción en la prestación del servicio, el cual disminuyó notablemente de 1940 a 2014 en un 99 %, demostrando los fuertes efectos que tiene sobre la prestación de servicios ecosistémicos la transformación del paisaje.

Palabras clave: proceso histórico, normatividad, coberturas, uso del suelo, valoración biofísica, calidad de hábitat e InVEST.

## **ABSTRACT**

Wetlands ecosystems in cities like Bogota, have been highly affected as a result of the historical process of demographic concentration and inapplicability or lack of policy knowledge, which has led to landscape transformation and ecosystems services reduction. A lack of knowledge about transformation of landscape processes and consequent ecosystem services loss prevents adequate decision making about restoration of landscape and its services. Therefore we evaluated the effect of landscape transformation on quality habitat ecosystem service provision from 1940 until 2014 in “El Tunjo” wetland ecosystem.

Landscape transformation analysis was performed using Corine Land Cover classification, using aerial photographs and satellite images. Subsequently, we calculated area, surface, density and size indices using Patch Analyst tool. In 1940 there was a rural landscape, predominantly marshy areas in more than 70% of the total area. For 1992 and 2014 we found accelerated urbanization processes change from rural to urbanized landscape (urban areas, roads, industries, among others, 90% of the total area). The landscape transformation process between 1940 and 2014 was fragmentation.

We performed an assessment of quality habitat ecosystem service using quality of habitat the model developed by InVEST (Natural Capital Project), to understand the variability of the provision of the service between 1940 and 2014. For model performance we used a rasterization of coverage and classification of coverage that correspond to threats, we gave weights to the threats, habitats and their respective sensitivity. The resulting mapping represents changes and reduction in provision of the service, which fell markedly from 1940 to 2014 (99%), demonstrating the strong effects that has on the provision of ecosystem service the transformation of the landscape.

Keywords: Historical process, regulations, land cover, land use, biophysical assessment, habitat quality and InVEST.

## INTRODUCCIÓN

El planeta ahora es especialmente urbano y la cosmovisión urbana junto al desarrollo tecnológico ha hecho creer que la sociedad puede desarrollarse al margen de la conservación de la naturaleza (Montes, 2014). Esto sin tener en cuenta que la naturaleza proporciona una amplia gama de beneficios para la población conocidos como Servicios Ecosistémicos y, que los “intangibles ambientales” al ser propiedad de todos y de nadie, están expuestos a una explotación irreversible (Viglizzo et al., 2011). Los impactos humanos sobre el medio natural se han traducido en una disminución constante de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos asociados (Baral et al., 2014). Por lo tanto, el mantenimiento y la protección de la calidad del hábitat y de la biodiversidad, sin dejar de satisfacer las necesidades humanas, es una tarea urgente en la gestión de los ecosistemas (Terrado et al., 2015) y en la implementación de políticas encaminadas al ordenamiento del territorio, conservación, y preservación de los hábitats y las especies en general.

Según Morláns (2005) la realidad ambiental de cada lugar es reflejada por las características del paisaje que lo conforman, ya que expresan la historia de procesos biológicos y antrópicos que se han desarrollado en estos. Osorio (2007) describe que en Bogotá, predominaban los ecosistemas de carácter hídrico, como las zonas de paramo, nacimientos de drenajes provenientes de los cerros orientales, lagunas y humedales, por su parte los procesos de expansión urbana comenzaron en las décadas de 1940 y 1950, y debido a la concentración de actividades comerciales y a la prestación de servicios, se ha convertido en el mayor complejo urbano y demográfico del país. Este proceso ha ocasionado una alta transformación del paisaje natural, afectando la dinámica de ecosistemas estratégicos, como los humedales, que suministran bienes o servicios a las comunidades humanas (Corantioquia, 2012).

La importancia de los ecosistemas de humedal según la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA)<sup>1</sup> radica principalmente en que poseen gran capacidad para captar y retener el exceso de agua durante los periodos lluviosos, reservándola para los periodos secos y, funcionan como regulador y purificador natural de la contaminación hídrica, al retener metales pesados y algunos sedimentos, actividad que desarrollan las plantas. Adicionalmente, funcionan como hábitat para especies que requieren de condiciones físicas y biológicas especiales para sobrevivir, como es el caso de especies endémicas y aquellas en peligro de extinción o con algún grado de amenaza. Además, estas áreas son el refugio de aves migratorias. Este servicio se denomina provisión de hábitat y su alteración, según la EEM<sup>2</sup> trae

---

<sup>1</sup> Ambientebogota.gov.co, 2016

<sup>2</sup> Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005

como consecuencias ecológicas el deterioro y degradación del hábitat siendo estas las principales causas del patrón de disminución de las poblaciones de aves acuáticas y especies típicas de los humedales.

Según SDA<sup>3</sup> y Fundación Humedales Bogotá<sup>4</sup>, Bogotá cuenta con 28 humedales de los cuales 15 están reconocidos y declarados y 13 aun no lo están. El Parque Ecológico Distrital de Humedal "El Tunjo", es uno de los humedales reconocido y declarado por medio del Proyecto de Acuerdo 191 de 2014. Se encuentra ubicado en la zona meándrica entre las localidades de Ciudad Bolívar y Tunjuelito, en la cuenca media-baja del Río Tunjuelo (Secretaria Distrital de Ambiente [SDA], 2013). El mismo estudio reconoce que la zona se caracteriza por la contaminación hídrica por aguas servidas provenientes del área urbana, inadecuada disposición de residuos sólidos y escombros, ocupación de la Zona de Manejo y Preservación Ambiental (ZMPA) para habilitar parqueaderos, presencia de habitantes de la calle que usan como refugio la vegetación arbustiva, pastoreo al interior de los meandros en la ronda, procesos de deforestación, presencia de una subestación de energía de la empresa Codensa y en general, diferentes tipos de impactos, producto de la actividad humana en conjunto.

Dada esta situación se propuso como objetivo evaluar el efecto de la transformación del paisaje sobre la prestación del servicio ecosistémico de provisión de hábitat del Parque Ecológico Distrital Humedal "EL TUNJO" (Bogotá-Colombia), en un periodo de tiempo de 74 años, y mediante el uso de la modelación de la calidad de hábitat del paquete InVEST.

---

<sup>3</sup> Ambientebogota.gov.co, 2016

<sup>4</sup> Humedalesbogota.com, 2015

## **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuál es el efecto de la transformación del paisaje sobre la prestación del servicio ecosistémico de provisión de hábitat del Parque Ecológico Distrital de Humedal "el Tunjo"?

## **OBJETIVOS**

- **OBJETIVO GENERAL:**

Evaluar el efecto de la transformación del paisaje sobre la prestación del servicio ecosistémico de provisión de hábitat del Parque Ecológico Distrital Humedal "EL TUNJO" (Bogotá- Colombia).

- **OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

1. Identificar la transformación del paisaje en el que se encuentra el Parque Ecológico Distrital de Humedal "el Tunjo" para el período comprendido entre 1940 y 2014.
2. Realizar la valoración biofísica del servicio ecosistémico de provisión de hábitat ofrecido por los ecosistemas naturales presentes en el área, especialmente el del Parque Ecológico Distrital de Humedal "el Tunjo" en la ventana de tiempo seleccionada.

## ANTECEDENTES

Partiendo del reconocimiento de que a nivel mundial los estudios por medio de tecnologías satelitales están en auge en investigación científica, uno de los aportes más destacados es el estudio de las coberturas vegetales y su capacidad para seguir procesos multitemporales que involucran cambios debidos a condiciones naturales o a alteraciones de tipo humano (Fonseca & Gomez 2012). Dichos estudios multitemporales permiten identificar la modificación de las coberturas naturales y del paisaje en general, el mapeo de bienes y servicios ecosistémicos y diversas variables cambiantes en el territorio.

En función de la evidente transformación que han sufrido las coberturas naturales a través del tiempo, se ha fortalecido a nivel mundial el cuidado de ecosistemas estratégicos. Para ello se promueve una mejor gobernanza y se refuerzan normas que contribuyen a la protección de los ecosistemas. La principal iniciativa es el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) de las Naciones Unidas, el cual es un instrumento jurídico internacional orientado a crear medidas para la conservación, el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad, y el reparto equitativo de los beneficios derivados del uso de sus componentes<sup>5</sup>.

En cuanto a las diferentes herramientas o métodos que dieron inicio a estudios asociados a la transformación del paisaje, Troll (2010) reconoce como basa la interpretación de imágenes aéreas (fotointerpretación) a partir de 1920 y 1930, aplicadas en principio a estudios arqueológicos o del territorio, teniendo en cuenta que “la interpretación de las imágenes aéreas es, en realidad, la descripción del paisaje geográfico y de los componentes ecológicos” (Trueba, 2012). A lo largo de las últimas décadas, la observación de la Tierra desde el espacio ha ganado un creciente protagonismo en los estudios medio ambientales (Chuvieco, 1996), ya que en un principio los sensores y sus aplicaciones desarrolladas según el mismo autor, pretendían obtener un inventario y cartografía de un determinado fenómeno: cobertura del suelo, litologías, tipos de nieve, etc. Posteriormente las imágenes comenzaron a aplicarse al seguimiento de fenómenos dinámicos: crecimiento urbano, desecación de humedales, efectos de incendios o plagas, etc. Por medio de lo cual se pretende analizar y reconocer aquellas áreas que habían experimentado cambios entre dos o más fechas. Conforme a los continuos desarrollos tecnológicos, han surgido comunidades internacionales dedicadas a evaluar la transformación del paisaje a múltiples escalas, como él (IGBP) Programa Internacional Geosfera-Biósfera, el (IHDP) Programa internacional de las Dimensiones humanas sobre el cambio global, la (IALE) Asociación Internacional para la ecología del paisaje y la US-Regional

---

<sup>5</sup> Biodiversidad.gob.mx, 2016

IALE, dedicados en general a investigaciones sobre cambio climático a escala global, propiciar investigaciones en áreas prioritarias, promover la cooperación internacional, desarrollar la ecología del paisaje como base científica para el análisis, la planificación y la gestión de los paisajes del mundo, promover la investigación interdisciplinaria y la comunicación entre los científicos, planificadores y otros profesionales interesados en la ecología del paisaje, descritos en su totalidad en las respectivas páginas web.

En la actualidad uno de los eventos internacionales de mayor acogida en cuanto al inventario y reconocimiento del estado de los ecosistemas de la tierra, fue la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM) o Milenium Ecosystem Assessment, iniciada en el año 2003 y concluida en el 2005. Según la UNESCO (2010) fue el estudio global más exhaustivo realizado hasta la fecha, sobre los servicios que proveen los ecosistemas del mundo y abordo estudios relacionados con ecosistemas de humedal (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio [EEM] 2005). Los resultados de los estudios muestran el gran deterioro de la biodiversidad, de los ecosistemas y por tanto de los servicios ecosistémicos (SE). En cuanto a la degradación y pérdida de los ecosistemas de humedal, evidenciaron que las principales amenazas directas, están asociadas al desarrollo de infraestructuras, los cambios en el uso del suelo, la extracción de agua, la eutrofización y contaminación, el exceso de recolección y sobreexplotación y la introducción de especies exóticas invasoras (EEM, 2005). Con el fin de llevar un constante seguimiento de los SE, se creó una organización internacional para el estudio global de los servicios ecosistémicos mediante el concepto de sistemas socioecológicos, denominada (PECS) Programa sobre Cambio del Ecosistema y la Sociedad, de la UNESCO-ICSU (Consejo Internacional para la Ciencia) (UNESCO, 2010).

De esta forma los avances tecnológicos y científicos sobre SE ligados a programas o sistemas de información geográfica (SIG) se traducen en herramientas útiles para los tomadores de decisiones y la sociedad en general. Dentro de estas herramientas se encuentra el proyecto ARIES (Inteligencia Artificial para los Servicios Ecosistémicos), la cual facilita el mapeo de servicios ambientales, su uso facilita el entendimiento y la cuantificación del valor del medio ambiente y cuáles son los factores que determinan dicho valor en una región geográfica determinada (Pérez, 2016). Por otro lado ECOSER, es conocido como un protocolo o conjunto de procedimientos que permiten evaluar y mapear SE, ponderados por su valor social y estimaciones de vulnerabilidad socio-ecológica (VSE) frente a la pérdida de los mismos, requiere seleccionar y contar con información del valor socio económico, oferta de SE, vulnerabilidad, flujos y

funciones de los SE provistos por uno o más ecosistemas presentes en un área determinada<sup>6</sup>.

Finalmente InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs) es una herramienta espacialmente explícita, de amplio reconocimiento internacional, creada por el proyecto Capital Natural (Universidad de Stanford, Universidad de Minnesota, The Nature Conservancy y WWF), la cual permite mapear, cuantificar y valorar los servicios ecosistémicos, cuenta con 16 modelos, dentro de ellos se encuentra el de Calidad de hábitat, el cual representa la biodiversidad de un paisaje, la estimación de la magnitud de los tipos de hábitats y su estado de degradación (Natural Capital Project, 2011)

En mayo de 2013, la World Wide Fund For Nature (WWF) desarrolló por primera vez el taller regional “Un abordaje a partir de estudios de caso en la Amazonía”, en donde se analizaron casos de estudio en Madre de Dios (Perú), el Corredor Tri-nacional de Áreas Protegidas entre Colombia, Ecuador y Perú, y en el estado de Acre en Brasil (Pacha, 2014) (Tabla 2) y se efectuó una valoración de los SE a través de la herramienta InVEST.

*Tabla 1. Listado de investigaciones a nivel internacional relacionadas con procesos de transformación del paisaje y valoración de servicios ecosistémicos.*

<b>TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>AUTORES Y FECHA DE PUBLICACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Dinámica del paisaje para el período 1980-2004 en la cuenca costera del Lago Budi, Chile. Consideraciones para la conservación de sus humedales	(Peña et al., 2006)	Se analizó la dinámica del paisaje para el período 1980-2004, por medio de la aplicación de 21 métricas del paisaje (superficie, bordes, formas, diversidad, agregación, etc). Los resultados obtenidos reflejaron el estado del proceso de fragmentación en el paisaje donde los parches se encuentran mezclados con la matriz dominante, se evidencio el aumento de parches reforestados (especies maderables foráneas).
Análisis multitemporal y de la estructura horizontal de la cobertura de la	(Molina & Albarran, 2013)	Para determinar el estado de conservación de las coberturas de la tierra del Parque Nacional Yacambú (Venezuela) para el periodo 2000-2008, se realizó un análisis de su estructura horizontal considerando su evolución temporal y composición estructural. La evolución temporal, lograda a partir de la superposición de mapas de cobertura obtenidos de imágenes de

<sup>6</sup> Eco-ser.com.ar, 2016



<p>tierra: Parque Nacional Yacambú, Estado Lara, Venezuela.</p>		<p>satélite, reveló que se presenta un alto grado de conservación de las coberturas en áreas distantes a las vías de acceso y una importante afectación, por expansión de la frontera agrícola, en las áreas limítrofes. La composición estructural, obtenida a través del cálculo de índices estructurales, apunta a procesos de fragmentación en algunas coberturas naturales.</p>
<p>El desarrollo de modelos para la evaluación de calidad de hábitat terrestre y acuático en la planificación de la conservación</p>	<p>(Terrado et al., 2015)</p>	<p>Se presenta un modelo sencillo para la evaluación simultánea de la calidad del hábitat terrestre y acuático en las cuencas fluviales en función del uso de la tierra y las amenazas antropogénicas de hábitat que se podrían aplicar en diferentes escenarios de gestión para ayudar a entender las ventajas y desventajas de las acciones. Se evalúa la fiabilidad del modelo en una cuenca gravemente deteriorada comparando los resultados modelados de datos de biodiversidad terrestre y acuática observados. Finalmente se analizan diferentes escenarios para evaluar la idoneidad del modelo de informar los cambios en la calidad del hábitat bajo diferentes estrategias de conservación. Se cree que el modelo desarrollado puede ser útil para evaluar los niveles potenciales de la biodiversidad, y para apoyar la planificación de conservación dada su capacidad para predecir los efectos de las acciones de manejo de las cuencas hidrográficas.</p>

Fuente: (Peña et al., 2006), (Molina & Albarran, 2013) y (Terrado et al., 2015)

Se han desarrollado investigaciones en las que se emplearon herramientas de modelación y mapeo de SE, relacionadas con el servicio de provisión de hábitat y su respectiva calidad, como en el caso de la Modelación del Servicio Ambiental de calidad del hábitat para la biodiversidad en la cuenca Guayalejo-Tamesí (Tamaulipas, México) realizada por Lara et al. (2010), y la evaluación espacial y mapeo de la biodiversidad y conservación de las prioridades en un paisaje de producción muy modificada y fragmentada en el centro-norte de Victoria-Australia, realizado por (Baral et al. 2014). A nivel nacional se resalta el modelo diseñado por García (2009) de la Universidad Javeriana, quien usó lógica difusa en MATLAB, para mapear escenarios de calidad de hábitat para fauna silvestre, en la cuenca media y alta del Río Otún, en el departamento de Risaralda-Colombia.

Tabla 2. Descripción de los estudios de caso presentados en el taller regional "Un abordaje a partir de estudios de caso en la Amazonía".

<b>AREA DE ESTUDIO</b>	DEPARTAMENTO DE MADRE DE DIOS, PERÚ	CORREDOR TRINACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS, LA PAYA (COLOMBIA) CUYABENO (ECUADOR), GUEPPI (PERÚ)	ESTADO DE ACRE, BRASIL
<b>SUPERFICIE</b>	8.2 millones de ha.	4 millones de ha.	17 millones de ha.
<b>SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EVALUADOS</b>	Almacenamiento de Carbono; producción de agua; retención de sedimentos; biodiversidad	Almacenamiento y flujos de carbono, biodiversidad	Almacenamiento de Carbono; sedimentación evitada; remoción evitada d nutrientes; calidad de agua, biodiversidad; control de contaminación local.
<b>AMENAZAS</b>	Cambio de uso de tierras, carreteras, minería	Tala, cultivos ilícitos, proyectos de infraestructura, avance de la frontera pecuaria, hidrocarburos	Expansión de pastizales, infraestructura (carreteras), avances de la frontera agrícola y ganadera
<b>DATOS E INFORMACIÓN</b>	Carbono en Biomasa de parcelas y datos inventario forestal del Amazonas y bibliografía de IPCC	desarrollo de un nuevo mapa de cobertura y usos del suelo y datos bibliográficos de carbono	Datos ya existentes de distintas publicaciones
<b>ESCENARIOS A FUTURO</b>	2025	2020 y 2030	2025
<b>UTILIDAD</b>	Ordenamiento territorial identificación de zonas prioritarias para proyectos REDD+	Ordenamiento territorial	Fortalecer el esquema de pagos por servicios ecosistémicos
<b>DIMENSIÓN SOCIAL</b>	Desarrollo de escenarios con participación de diversos actores	Validación de mapas, identificación de amenazas y su magnitud con pobladores locales y desarrollo de escenarios	La aplicación de INVESTno involucro la dimensión social
<b>DIMENSIÓN POLÍTICA</b>	Falta presentar resultados a tomadores de decisiones	Resultados presentados a tomadores de decisiones de las áreas protegidas y actores claves (autoridad ambiental y Municipio)	Resultados presentados a tomadores de decisiones del gobernó regional

Fuente: (Pacha, 2014)

A escala nacional, Colombia se destaca por contar con un amplio bagaje normativo ambiental; desde la integración de leyes y artículos en la Constitución Política de 1991, la creación del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, por el Decreto 2811 de 1974. La incorporación del Sistema Nacional Ambiental (SINA), bajo la Ley 99 de 1993, cuya misión es dirigir la gestión ambiental, administrar los recursos naturales renovables, e impulsar una relación de respeto y armonía entre el hombre y la naturaleza. Adicionalmente por medio de las leyes 165 de 1994 se aprobó el "Convenio sobre la Diversidad Biológica", hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992 y por medio de la Ley 357 de 1997 se aprobó la "Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas", suscrita en Ramsar el 2 de febrero de (1971), otras acción a destacar, es el Decreto 309 de 2000, por el cual se reglamenta la investigación científica sobre diversidad biológica, por su parte el Ministerio de Medio Ambiente y

Desarrollo Sostenible, publico la Política de Gestión de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos para Colombia (Minambiente, 2012), a partir de la cual actualmente se formula la Estrategia y el Plan de Acción Nacional en Biodiversidad (EPANB), con el fin de garantizar el cumplimiento de los objetivos del Convenio sobre la Diversidad biológica, mediante acciones concretas. Todo lo anterior evidencia que Colombia cuenta con una fuerte base normativa, fundamental para proyectar un futuro sostenible, adicionalmente múltiples investigaciones han proporcionado un amplio interés hacia la cuantificación y valoración de los servicios ecosistémicos, lo cual es de vital importancia para la conservación de la riqueza natural con la que aun cuenta Colombia. De igual forma, es amplia la gama de estudios sobre transformación del paisaje (Tabla 3) y más recientemente se empieza a abordar la investigación sobre servicios ecosistémicos (Tabla 3).

*Tabla 3. Investigaciones relacionadas con transformación del paisaje y la prestación, valoración y mapeo de servicios ecosistémico a nivel nacional.*

<b>Título de la investigación</b>	<b>Autores y fecha de publicación</b>	<b>Descripción</b>
Dinámica de un humedal urbano: Cambios históricos en sus coberturas y cambios recientes en la comunidad de aves (Humedal Córdoba, Bogotá)	(Ortiz, 2014)	Utilizando fotos aéreas y satelitales se realizó una clasificación para los tipos de hábitat y se generaron mapas de cobertura, luego se analizaron los cambios y se aplicaron las métricas del paisaje. Adicional a esto se tomaron listados de las aves presentes en el humedal y se indagó sobre su ecología. Por último se revisaron las intervenciones que se han hecho a este ecosistema. El estudio mostró que pese a la alteración del humedal en su tamaño y composición de hábitats, no hay un impacto negativo en la abundancia de las aves. Se encontró que el manejo que se ha dado al humedal es probablemente un estímulo para la presencia y abundancia de ciertas especies.
Estudio multitemporal de la dinámica de transformación espacial de la cobertura por crecimiento urbano, en una zona de la localidad de	(Angel, 2009)  Trabajo de Grado para optar por el título de Ecóloga  Dirigido por: Andrés Etter	Este estudio analiza la dinámica de transformación de la cobertura en una zona de 4806 ha, mediante la creación de mapas de cobertura que indican el cambio en el área y finalmente, mediante un modelo de regresión logística se identificaron las variables explicativas más relevantes en el crecimiento urbano en la zona de estudio. La metodología utilizada consistió en hacer una revisión bibliográfica del proceso en la localidad de Suba. Posteriormente se realizaron mapas de 3 tipos de coberturas: 1) Coberturas específicas, 2) Coberturas generales y 3) Coberturas urbana y no urbana; que

<p>Suba, Bogotá – Colombia, en el periodo (1955 – 2006)</p>		<p>sirvieron para detectar los cambios en las coberturas. Finalmente se obtuvieron 5 variables explicativas: distancia a vías, perímetro urbano, zonas de inundación, pendiente y áreas protegidas; para modelar la probabilidad de presencia de cobertura urbana en el año 2006.</p>
<p>Cambio reciente de la cobertura del suelo en tres humedales de Bogotá.  Casos: La Conejera, Santa María del Lago y Techo.</p>	<p>(Batista &amp; Rodríguez, 2012)  Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero Geógrafo y Ambiental  Dirigido por: Luz Piedad Romero</p>	<p>En este estudio se analizaron los patrones de los paisajes y de cobertura del suelo de los humedales La Conejera, Santa María del Lago y Techo, en un periodo comprendido entre 1938 y 2009, salvo el humedal La Conejera que su periodo fue 1949-2009. Durante el desarrollo del trabajo se identificaron y digitalizaron las coberturas del suelo en programa de computador ARCGIS 9.3, de acuerdo a la clasificación de CORINE Land Cover, y se calcularon las métricas del paisaje, índice fractal e índices de diversidad e igualdad de Shannon, en la extensión Patch Analyst (Rempel, 1999). Esta identificación se realizó en un fotomosaico, que se hizo en el programa ERDAS IMAGINE 9.2.</p>
<p>Vinculación de gente y la naturaleza a través de la Conservación de la Cuenca del Valle del Cauca Medio, Colombia</p>	<p>(Goldman et al., 2010)</p>	<p>Esta investigación destaca que en la región andina, los ecosistemas naturales brindan diversos servicios ecosistémicos a bajo costo por lo que invertir en la conservación de la naturaleza tiene sentido económico. Esta región cuenta con fondos de agua, los cuales se conocen como fondos fiduciarios a largo plazo que implican una asociación público-privada de los usuarios del agua que determinan común interés en las actividades de conservación en áreas prioritarias. Para fines de este estudio InVEST, como herramienta de valoración de servicios ecosistémicos, se utilizó en el Fondo del Agua del Este del Valle del Cauca en Colombia para ayudar a dirigir las inversiones en conservación de fondos hacia las áreas con mayor potencial de reducción de sedimentación y el mantenimiento de la producción de agua. Con estimaciones cuantitativas de servicios ecosistémicos, fue posible identificar la cartera de inversión más eficiente para cada cuenca que hacia parte de este fondo.</p>
<p>Bienes y servicios ecosistémicos en la planificación y gestión de áreas urbanas</p>	<p>(Latorre et al., 2014)</p>	<p>En el contexto de una planificación que declara privilegiar los elementos de la estructura ecológica, pero que podría comprometer la provisión de suelos para soportar coberturas que ofrezcan bienes y servicios ecosistémicos, se presenta un aporte a la discusión sobre cómo lograr un balance entre densificación y provisión de estos bienes y servicios, mediante</p>

consolidadas	la reconstrucción de la transformación de la cobertura de un segmento de la cuenca del río Fucha en Bogotá en un lapso de 77 años y la verificación de las relaciones de dicha transformación con los instrumentos de planificación y gestión. Los resultados obtenidos sugieren una regulación reactiva, con limitaciones para conducir la ocupación del territorio, de la que se puede esperar una acentuación de la aridez. Estos resultados sustentan las conclusiones sobre la necesidad de replantear la regulación sobre áreas consolidadas e introducir instrumentos de gestión de la cobertura.
--------------	--

Fuente: (Ortiz, 2014), (Angel, 2009), (Batista & Rodriguez, 2012), (Goldman et al., 2010) y (Latorre et al., 2014).

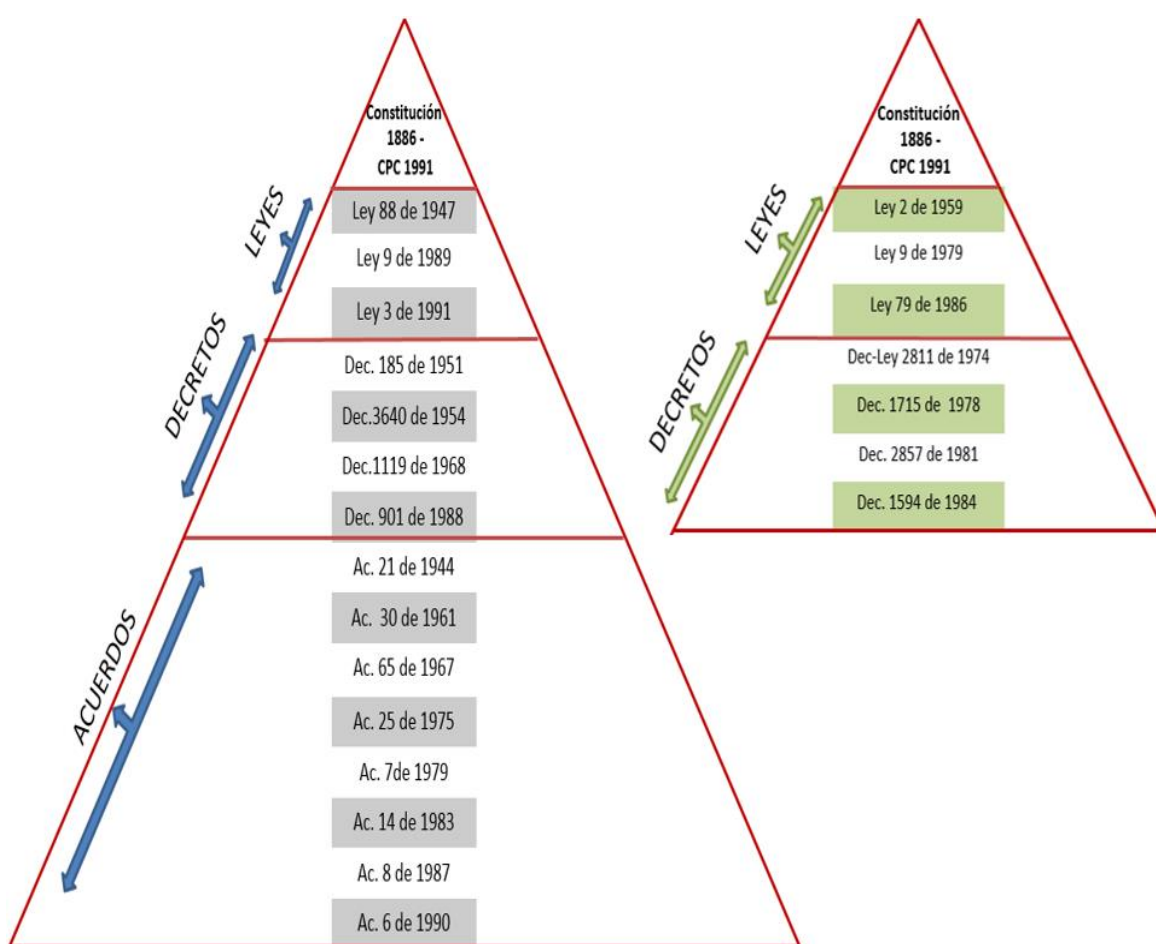
### **Aspectos demográficos y normativos**

De acuerdo a la información de tasa de crecimiento urbano y poblacional de la ciudad de Bogotá desde 1918 y 1943 respectivamente (Anexo 1), se evidencia que estos no son directamente proporcionales en todos los periodos de tiempo, ya que aproximadamente desde 1970 el crecimiento urbano no siguió aumentando con la misma proporción, sino que, por el contrario, tendió a disminuir frente al continuo aumento poblacional. Este fenómeno de expansión según Martin & Ceballos (2003) genero un aumento en la congestión de actividades urbanas y por ende preocupación en cuanto al suministro de servicios públicos, la adecuación y apertura de vías y la construcción no planificada de barrios y edificaciones.

Para contextualizar el aumento poblacional por localidades en Bogotá desde 1973 hasta el 2005, se adjunta el (Anexo 2), en donde se resaltan las localidades que intersectan el área de estudio para esta investigación, Ciudad Bolívar y Tunjuelito. De lo cual se observa el continuo y marcado crecimiento poblacional en la localidad de Ciudad Bolívar, cuarta localidad con mayor cantidad de población, mientras que en Tunjuelito predominan fluctuaciones poblacionales (disminución y aumento en la población en los diferentes periodos de tiempo).

Lo mencionado anteriormente, junto con los aspectos legales asociado a la planeación territorial de Bogotá desde 1940 (primer año de estudio en la presente investigación), son el resultado del proceso histórico de distribución espacial de la ciudad. Por tal razón se presenta a continuación una breve recopilación normativa, asociada a los factores de planeación territorial y ambiental, considerándose éste un análisis retrospectivo desde 1940 hasta la fecha, con lo cual se pretende reconocer aspectos normativos relacionados con los factores transformadores del paisaje y la prestación de servicios ecosistémicos.

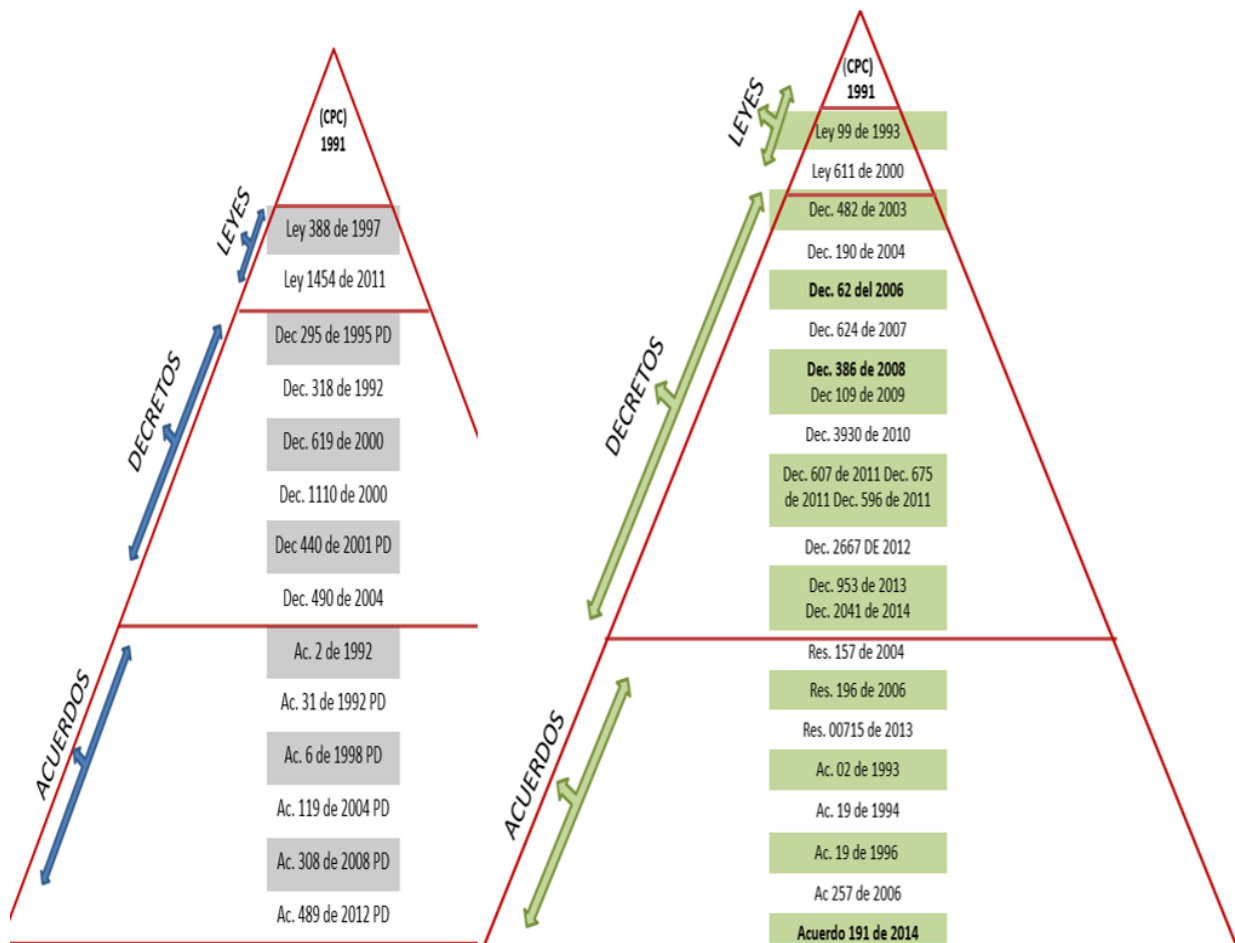
Con el fin de jerarquizar las normas relacionadas con procesos urbanísticos o planeación territorial y aspectos ambientales, se tomó como referencia la metodología de clasificación normativa, denominada pirámide de Kelsen, por medio de la cual se clasifico desde la constitución política de Colombia como norma superior, hasta acuerdos nacionales y distritales, para la ventana de tiempo en estudio; de 1940 a 1992 (Figura 1) y de 1992 a 2014 (Figura 2). Esta metodología de clasificación normativa, denominada pirámide de Kelsen, explica la jerarquía de las normatividades en un país, comenzando con la norma mayor, que, para el caso colombiano es la Constitución Política. En ese orden, le siguen las leyes, los decretos reglamentarios, otras normas y por último están las decisiones administrativas y judiciales<sup>7</sup>.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1. Jerarquización de normas relativas a planeación territorial (izquierda) y ambiental (derecha) para Bogotá, desde 1940 a 1992.

<sup>7</sup> Datateca.unad.edu.co, 2015



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Jerarquización de normas relativas a planeación territorial (izquierda) y ambiental (derecha) para Bogotá, desde 1992 a 2014.

Por medio de lo anterior, se evidencia el amplio bagaje normativo relacionado con factores de planeación territorial y ambiental, regido desde la norma superior para Colombia; (CPC) Constitución Política de Colombia 1886 (república unitaria; soberanía regida por la nación) y 1991 (Estado social de derecho; soberanía regida por el pueblo), de las cuales desprenden algunas leyes, decretos y acuerdos, asociados a los factores transformadores del paisaje y la prestación de servicios ecosistémicos que se relacionan directa o indirectamente con las problemáticas o procesos históricos que afectaron la zona de estudio (Humedal el Tunjo).

Si se realiza una comparación de las normas urbanísticas o de ocupación del territorio frente a las ambientales, se evidencia que inicialmente se proponen leyes para fomentar el desarrollo urbanístico, como la Ley 88 de 1947 y Ley 9 de 1989, relacionada con los planes de desarrollo municipal, compraventa y expropiación de bienes. Mientras que en cuanto a temas ambientales tan solo se

proponían leyes como la Ley 2 de 1959, relacionada con economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables. Cabe destacar el Acuerdo 14 de 1983, por el cual se crea la Alcaldía Menor “Ciudad Bolívar” y modifica los límites de las Alcaldías Menores de Tunjuelito y Bosa señalados en el Acuerdo 8 de 1977.

Como caso puntual se destaca el Decreto 62 del 2006 y Decreto 386 de 2008 de la Alcaldía Mayor de Bogotá, el primero estableció mecanismos, lineamientos y directrices para la elaboración y ejecución de los respectivos Planes de Manejo Ambiental para los humedales ubicados dentro del Perímetro urbano del Distrito Capital, el segundo Decreto adopta medidas para recuperar, proteger y preservar los humedales, sus zonas de ronda hidráulica y de manejo y preservación ambiental, del Distrito Capital y se dictan otras disposiciones.

Es evidente el creciente surgimiento normativo ambiental desde el año 2000 en adelante y las actuales intenciones relacionadas con la educación ambiental, como lo indica el Decreto Distrital 675 de 2011. En cuanto al reconocimiento de la importancia de los SE desde el punto de vista normativo, surge a partir de la expedición del Decreto 953 de 2013, el cual inicio como Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos y busca la conservación de áreas estratégicas para el suministro de agua y la financiación de esquemas de Pago por Servicios ambientales (PSA). Finalmente como acción positiva para el área en estudio, el Concejo de Bogotá decidió aprobar en primer debate el Proyecto de Acuerdo 191 de 2014, que declara a dos ecosistemas ubicados en sur de la capital como Parques Ecológicos Distritales de Humedal, Humedal el Tunjo y Humedal La Isla<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Oab.ambientebogota.gov.co, 2015



## FUNDAMENTACION TEÓRICA

El presente trabajo tiene como referentes teóricos, conceptuales y metodológicos la geografía, la ecología del paisaje, las tecnologías de la información geográfica utilizadas como herramienta de análisis del paisaje, los servicios ecosistémicos, especialmente la provisión de hábitat y los ecosistemas de humedal como el objeto central del estudio.

La geografía es distintivamente antropocéntrica, en el sentido de estudiar el valor o el uso que toma la tierra para el hombre al hacer parte de ella, vivir con ella, y estar limitados por ella, y aun así ser capaz de modificarla. Para Sauer (2006), por ejemplo, la geografía encontraba su campo de estudio entero en el paisaje, y era necesario abordarlo desde sus relaciones en el tiempo y en el espacio: su contenido se encontraba en las cualidades físicas del área que son significantes para el hombre y en las formas de uso que él mismo le da, en términos de sustento físico y hechos de cultura humana, esto condiciona las modificaciones del área dadas por el hombre, y su apropiación para posibles usos; es decir que un paisaje deja de ser natural cuando el hombre interviene en él y lo modifica según sus necesidades (Sauer, 2006).

Carl Troll al igual que Carl Sauer, afirma que el paisaje se ve modificado por la acción del hombre, pues si el cambia una cubierta vegetal, automáticamente cambia todo el ecosistema (Trueba, 2012), parece que el paisaje es cada vez menos una estructura ecológica y social y cada vez más un proceso de transformación convertido por el hombre en un paisaje económica y culturalmente aprovechado, sin tener en cuenta que el sistema socioeconómico no puede crecer más allá de los límites biofísicos impuestos por los ecosistemas. Es evidente, que una de las causas más importantes de la crisis de la biodiversidad actual hay que encontrarla en el cambio de valores que se ha producido pasando de la ética ecológica a los valores monetarios impuestos por el mercado (Montes, 2014), si bien la Economía Ecológica se encarga de recordar que un activo ambiental perdido es un costo cierto que sufre la sociedad, aunque los humanos no logren percibirlo con facilidad (Viglizzo et al., n.d.), ya que no existen personas cuyo bienestar no dependa directa o indirectamente de los servicios generados por la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas y su biodiversidad (Montes, 2014), a partir de esto se ha ido produciendo gradualmente un desequilibrio entre los sistemas productivos y los sistemas ecológicos que ha traído consigo un alarmante proceso de destrucción de ecosistemas y de erosión de la biodiversidad (Montes, 2014), la cual está cambiando a un ritmo sin precedentes como una respuesta compleja a varios cambios inducidos por el hombre en el medio ambiente mundial. La magnitud de este cambio es tan grande y tan fuertemente ligado a los procesos del ecosistema y el uso de la sociedad de los recursos

naturales, que cambios en la biodiversidad se consideran ahora un cambio global importante (Sala et al., 2000)

Tal como lo consideran Bocco & Urquijo (2013), la geografía ambiental más que un campo disciplinario, es un énfasis, una “mirada” novedosa, pertinente y necesaria de la ciencia geográfica para entender y profundizar temas relacionados con el ambiente, aclarando que éste, es entendido como la naturaleza transformada por la actividad humana, *“no es sólo lo que rodea si no también un producto de aquello que es rodeado. En su énfasis ambiental, la geografía revisa las posturas dualistas físicas y humanas, discute sus fundamentos teóricos y conceptuales y remarca sus intereses y fronteras de cara a cara a otras disciplinas; así abre las posibilidades de interacción y acercamiento con otros campos enfocados en las problemáticas ambientales, sin abandonar la búsqueda de la unicidad geográfica”*. Una de estas disciplinas es la ecología del paisaje y otras afines, cuyo objeto es *“analizar el medio físico, y el papel que desempeñan los humanos en él desde diferentes perspectivas”*. La Ecología del paisaje *“disciplina que resulta de la intersección de la geografía física y la ecología”* más que una nueva disciplina, es una perspectiva espacial, geográfica, para entender fenómenos naturales complejos, que tiene una aplicación práctica en la planificación, y que pone énfasis en los aspectos sociales de los ecosistemas.

Los mismos autores señalan que un asunto clave y a través del cual se desprenden un conjunto de tópicos de investigación aplicada sigue siendo la planificación del uso del territorio, a partir del análisis histórico del paisaje. El aporte multi o pluridisciplinar del paisaje, como base de la ordenación del territorio, *“puede ser considerado como sujeto y objeto de la actividad humana. Objeto en la medida en que el paisaje posee una serie de características que sirven de soporte básico al desarrollo socioeconómico del territorio y sujeto en cuanto que la actividad humana lo transforma. Esta doble función del paisaje, se constituye entonces, en el fundamento para comprender la dinámica natural y social, desde la perspectiva de la ordenación del territorio”* (Chávez & Fernandez, 2000). Sin embargo, el significado de paisaje puede variar dependiendo su rama de estudio, por ejemplo, autores como Etter (1990) explican el paisaje como *“una porción del espacio geográfico, homogéneo en cuanto a su fisionomía y composición, regido por patrones temporales resultante de la interacción compleja del clima, las rocas, el agua, el suelo, la flora, la fauna y las actividades humanas, con características particulares que permite distinguir unos de otros de acuerdo con un nivel de análisis espacio-temporal”*. Farina (2011) reconoce el paisaje como, *“la entidad geográfica en la cual los procesos y los organismos (incluido el género humano) perciben el medio ambiente y reaccionan frente los condicionantes físicos y biológicos”*. Por su parte, Forman & Godron (1986), en (Etter 1990) definen el

paisaje como “*un área de tierra heterogénea compuesta por un grupo de ecosistemas que se repiten a lo largo y ancho en formas similares*”. Pero en todos los casos, los autores señalan que el óptimo funcionamiento de un paisaje, depende de los elementos que componen su estructura: matriz, parches, orillas y corredores (Tabla 4), los cuales en conjunto determinan las características y la dinámica de los ecosistemas.

Tabla 4. Características estructurales y funcionales de los elementos que conforman el paisaje.

MATRIZ	PARCHES	ORILLAS	CORREDORES
La porción más conectada del paisaje.	Son internamente homogéneos y auto sostenibles.	Actúan como recolectores de energía y organismos de hábitat adyacentes.	Proveen conexión entre paisajes separados.
Compuesta del tipo de vegetación que es más abundante en el sitio.	Se diferencian de las matrices que las rodean.	Proveen nichos especiales o únicos dentro de los límites del área.	Proveen oportunidad para acceso y escape.
La matriz debe mantenerse intacta para que el ecosistema funcione bien.	Debe ser lo suficientemente grande para mantener las funciones ecológicas.	Proveen acceso a las fuentes de hábitat inmediatamente adyacentes.	Permiten el flujo de energía, organismos y materiales
Conecta todos los elementos del paisaje incluyendo parcelas, orillas y corredores.		Permite intercambios considerables de información y energía.	Permite intercambios considerables de información y energía.

Fuente: (Morláns, 2000)

Por otro lado, el reconocimiento del paisaje en el análisis de las sociedades, en sus relaciones con los territorios, e incluso en la importancia de los valores paisajísticos en la cultura general, representa una ambivalencia, donde se encuentra una existencia física y una existencia humana, que supone una historia y una cultura (Berque, 2009). El paisaje es un tangible geográfico y su interpretación intangible, es, a la vez, el significado y el significante, el continente y el contenido, la realidad y la ficción (Nogué & Vela, 2011). De esta forma, la transformación del paisaje va más allá de un problema estético, que afecta la

existencia y la sustentabilidad en el mundo (Berque, 2009). Cuando se destruye un paisaje, se destruye la identidad del mismo, pues todo paisaje está vinculado a la cultura y esta cultura ocupa una porción determinada de la superficie terrestre (Nogué, n.d.), el paisaje por ser un elemento dinámico que está en constante interacción con el medio antrópico, es susceptible a las transformaciones, es capaz de asimilar con el tiempo elementos que responden a modificaciones territoriales, en la medida de que no sean bruscas, violentas, demasiado rápidas ni demasiado impactantes (Nogué, n.d.). Según el mismo autor, el problema de la transformación radica en la intensidad y en la incapacidad para saber actuar sobre el paisaje sin destruirlo, sin romper su carácter esencial y sin eliminar aquellos aspectos que le confieren continuidad histórica, esto se evidencia por ejemplo en el crecimiento urbano desorganizado, espacialmente incoherente, creando paisajes mediocres, dominados cada vez más por la homogeneización. Los paisajes se transforman de forma natural y artificial por actividades antrópicas como cambios de cobertura por cultivos, pastoreo, actividades extractivas, y asentamientos humanos que predominan en áreas como Bogotá, ocasionando la pérdida de los ecosistemas naturales como los de humedal; los cambios en el paisaje se deben a la falta de planificación en el proceso de expansión urbana y en las actividades extractivas que ocasionan la reducción de las coberturas naturales; debido a esto se modifican la estructura y las dinámicas ecológicas.

En relación con lo anterior y con base en Subirós et al. (2006) quienes afirman que la sociedad es, en muchas ocasiones, la variable ecológica dominante en la determinación de la configuración del paisaje y, en consecuencia, de las implicaciones funcionales que se generan, tanto en un momento dado como en su evolución a lo largo del tiempo, el presente trabajo se orientará hacia la diferenciación de los elementos morfológicos del paisaje (Tabla 4) gracias a la posibilidad de valorar cuantitativamente el estado del paisaje (superficie, forma, número y disposición de los elementos) en un momento determinado, ya que son estos los que condicionan de forma clave su realidad y su dinamismo.

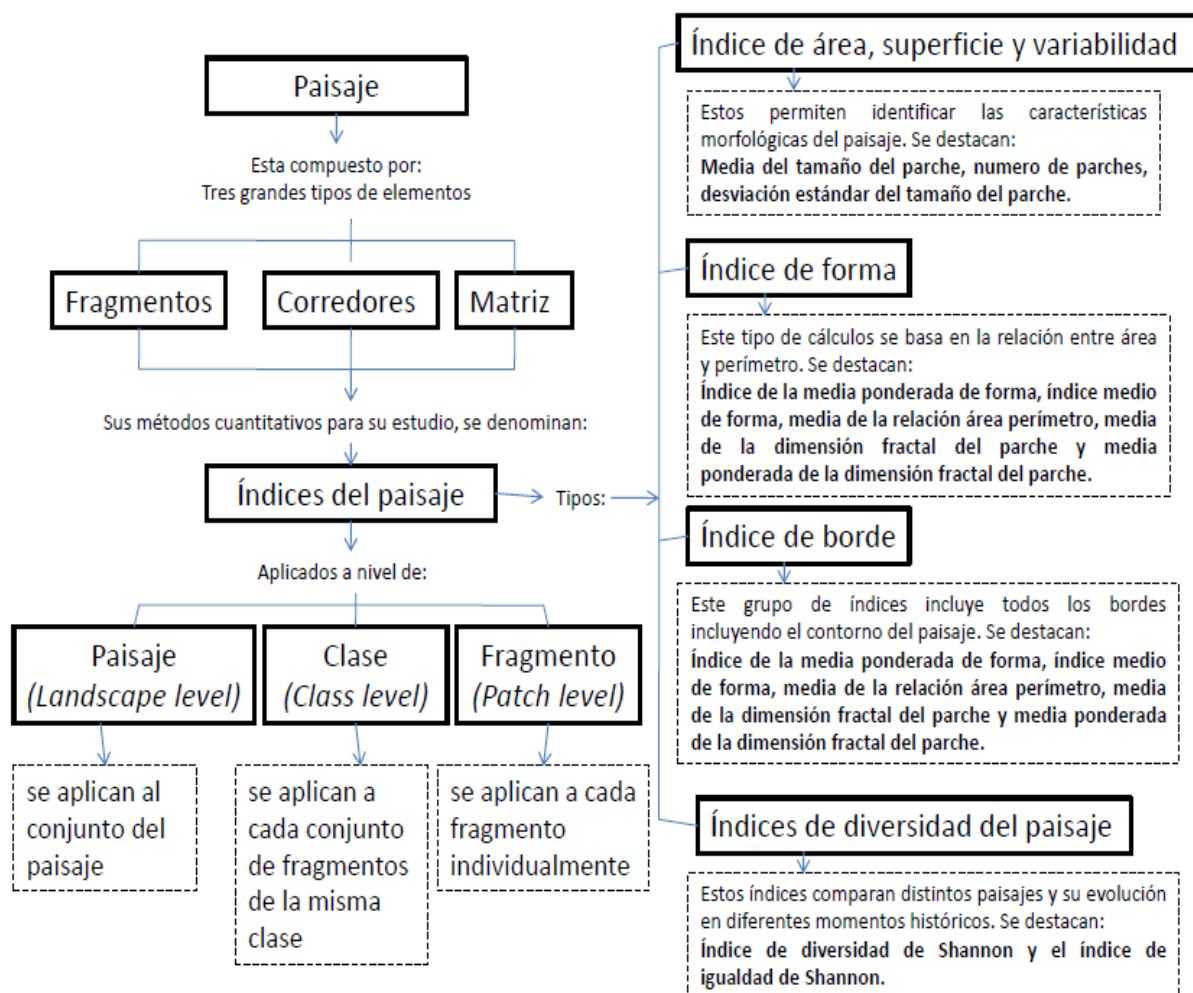
La interpretación de los cambios en el paisaje se fundamenta en el carácter estructural y morfológico del mismo; es decir, se analizan las características estructurales y morfológicas que componen el territorio en un momento determinado y/o su evolución a lo largo del tiempo (Subirós et al., 2006). Para esto se utilizan métodos cuantitativos denominados índices de paisaje (Figura 3) que aportan datos numéricos sobre la composición y la configuración de los paisajes, la proporción de las coberturas del suelo o la superficie y la forma de los elementos a nivel de parches y coberturas Gustafson, 1998. en (Subirós et al. 2006).

Esos índices se analizan con diferentes herramientas creadas para tal fin, sin embargo, para el caso de este estudio la herramienta usada es Patch Analyst, una extensión de ArcGIS, creada en 1999 por Phil Elkie, Rob Rempel y Angus Carr. Este es un programa que calcula los índices de paisaje, en una versión que trabaja en formato vectorial y que funcionan como una extensión de ArcView y, es de acceso libre en la red. Esta herramienta permite calcular las métricas que arrojan estadísticos de forma, borde, tamaño y área a nivel de paisaje o a nivel de clases o coberturas como un indicador inicial para el análisis de conectividad estructural.

Patch Analyst permite analizar la transformación del paisaje, la cual se refiere al cambio de una cobertura por otra, debido a causas humanas o naturales (Forman 1995), pues los procesos de transformación generan como consecuencia variaciones a nivel de la estructura, la composición y el funcionamiento del paisaje (Etter 1990). Esto se puede estudiar a través del tiempo gracias al desarrollo de los sistemas de información geográfica, que se han convertido en una herramienta muy útil para abordar los estudios del paisaje. La teledetección es una técnica que permite obtener información útil de un objeto, área o fenómeno, a través del análisis e interpretación de datos e imágenes adquiridas por un equipo que no está en contacto físico con el objeto, área o fenómeno bajo investigación (IGAC, Union Europea & Centro internacional de Agricultura Tropical, 2007). La utilización de imágenes generadas por los satélites proporciona información inmediata y precisa para ser utilizada en diferentes aspectos, entre ellos, el análisis de la dinámica de cambios en la cobertura vegetal de un área geográfica previamente seleccionada.

Según Subirós et al. (2006) la forma de los fragmentos (parches) tiene una importancia primordial, debido a que está condicionada por la actividad humana y las condiciones naturales (topografía, litología, etc.). El dominio de las condiciones naturales favorece las formas curvilíneas e irregulares y, en contraposición, el dominio de la actividad humana supone mayor presencia de formas rectilíneas. En general, una actividad humana moderada favorece la diversificación de las formas; en cambio, una actividad humana intensa supone una simplificación de la variabilidad. En relación con los corredores, cabe destacar que desempeñan un papel fundamental para permitir la interconexión entre los distintos fragmentos y reducir el denominado efecto distancia que determina la presencia de un menor número de especies en los fragmentos más aislados. Por su parte, las coberturas (clases) o superficies terrestres son el foco de un gran número de procesos biofísicos indispensables para el funcionamiento del sistema ambiental global; según autores como Sala et al. (2000) el cambio de uso del suelo es el factor que se espera tenga el impacto global más importante sobre la biodiversidad al año

2100, debido a que “la mayoría de los impactos se han producido por la pérdida y/o transformación de ecosistemas boscosos y praderas naturales en terrenos habilitados para el desarrollo agrícola, ganadero, forestal y urbano/industrial”.



Fuente: Elaboración propia

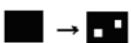
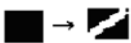
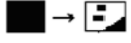
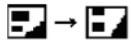
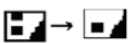
Figura 3. Estructura e índices del paisaje.

Teniendo en cuenta que la presente investigación se basa en un estudio multitemporal que pretende identificar el cambio de las coberturas y a su vez su respectiva prestación del servicio ecosistémico de provisión de hábitat, se emplearon inicialmente los parámetros propuestos de clasificación de coberturas por el proyecto Corine Land Cover, desarrollado dentro del programa CORINE (Coordination of Information on the Environment) promovido por la Comisión de la Comunidad Europea. Este definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra y a partir de ella Colombia desarrolló la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra, la cual contiene y describe las Unidades de Coberturas de la Tierra presentes en el Territorio Nacional (Anexo

3). Estas unidades son representativas de la compleja oferta ambiental de Colombia y expresan de modo indicativo la dinámica de apropiación y uso del territorio.

Según Forman, (1995) los procesos espaciales de transformación del paisaje que se observan, una vez efectuada una metodología y que denotan la intensidad de la transformación son cinco: inicialmente se reconoce el de perforación (el número de parches se mantiene, pero el promedio del tamaño del parche disminuye y la longitud del borde incrementa); seguido de la disección (división de un elemento del paisaje); de la fragmentación (disgregación de un objeto en partes más pequeñas y separadas); la reducción (disminución en tamaño de un objeto); y finalmente la abrasión o el desgaste que implica la desaparición de un elemento (el número de parches disminuye, el promedio del tamaño del parche se incrementa y la longitud total del borde también disminuye) (Tabla 5). Estos cambios estructurales ocurren por causas naturales y antrópicas, el signo positivo (+) significa incremento, el negativo (-) disminución y el valor (0) indica no cambio.

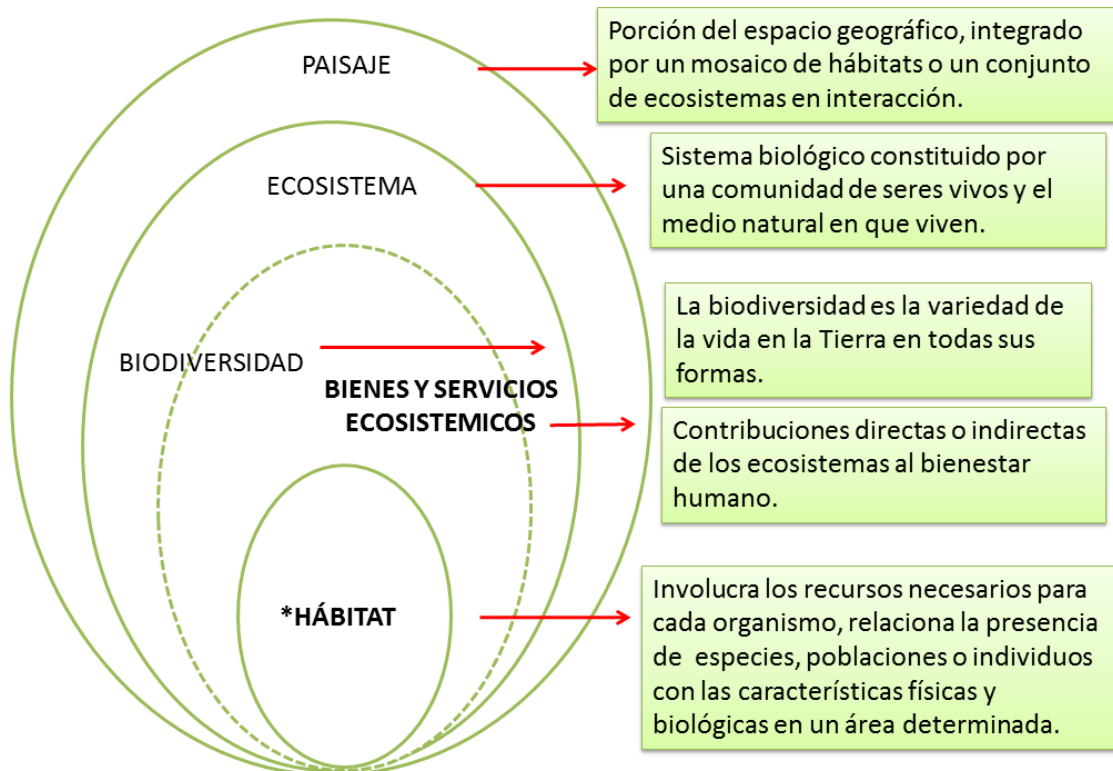
Tabla 5. Procesos espaciales de transformación del paisaje.

Procesos Espaciales		Número de parches	Promedio del tamaño del parche	Longitud total del borde
	Perforación	0	-	+
	Disección	+	-	+
	Fragmentación	+	-	+
	Encogimiento o contracción	0	-	-
	Abrasión o desgaste	-	+	-

Fuente: (Forman, 1995)

Con base en la teoría planteada anteriormente y con el fin de identificar la dinámica del paisaje, los ecosistemas y su prestación de servicios, se diseñó un modelo (Figura 4) en el que se reconoce el paisaje como el espacio geográfico en el que interactúan ecosistemas, los cuales albergan la biodiversidad, sus procesos

y a su vez “proveen una serie de servicios que le permiten a una sociedad desarrollarse y mantenerse en el tiempo” (Aldana, 2014), cuya conservación depende del grado de intervención humana al que este expuesto. Como ejemplo se hace énfasis en los **ecosistemas de humedal**, los cuales se consideran un recurso hídrico vital tanto en las ciudades como en las zonas rurales y costeras.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Unidades de análisis del paisaje.

A escala mundial Jobbagy & Laterra (2010) consideran que los humedales son ecosistemas de importancia crítica, a pesar de que sólo representan el 5% de la superficie terrestre, ya que ofrecen en cantidad y calidad bienes y servicios aprovechables por la sociedad, los cuales están ligados al eficiente funcionamiento hidrológico. De igual forma, consideran que bajo la escala de paisaje, los humedales suelen tener una mayor diversidad biológica que algunas zonas climáticas terrestres equivalentes, ya que la heterogeneidad ambiental de los ecosistemas de humedal promueve la presencia de una gran variedad de hábitats que sostienen a un número importante de especies de flora y fauna.



A nivel normativo, existen las definiciones de humedal a nivel nacional (Colombia) adoptada tras la Convención de Ramsar en 1971 “Ley 357 de 1997”<sup>9</sup> y a nivel distrital (Bogotá) elaborada a partir de la Política de humedales del distrito capital en el año 2006 (Tabla 6).

Tabla 6. Conceptos de humedal por la convención Ramsar y política de humedales de Bogotá

CONCEPTOS DE HUMEDAL	
CONVENCIÓN DE RAMSAR (1971)	POLÍTICA DE HUMEDALES DEL DISTRITO CAPITAL (2006)
Los humedales son “las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de agua, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”. Las características ecológicas de los humedales, según la misma convención Ramsar, son “la suma de los componentes biológicos, físicos y químicos de los ecosistemas de humedales y sus interacciones, los que mantienen al humedal y sus productos, funciones y propiedades” (Ramsar, 2013).	Los humedales son ecosistemas de gran valor natural y cultural, constituidos por un cuerpo de agua permanente o estacional de escasa profundidad, una franja a su alrededor que puede cubrirse por inundaciones periódicas (Ronda hidráulica) y una franja de terreno no inundable, llamada Zona de manejo y preservación ambiental. Estas áreas (Ronda hidráulica y Zona de manejo y preservación ambiental) deben tener un tamaño acorde con las características ecosistémicas particulares. Estos ecosistemas están asociados a las cubetas y planos de desborde de los ríos, razón por la cual su biota, los flujos de nutrientes, materia y energía están adaptados a las fluctuaciones y comportamientos de sus sistemas hídricos asociados (Política de humedales del distrito capital, 2006)

Fuente: (DAMA, 2006), (Ramsar, 2013) y (Ambientebogota.gov.co, 2016)

Con base en los referentes de humedal expuestos, se concluye para efectos de esta investigación que, el humedal El Tunjo es un ecosistema de gran valor natural y cultural, constituido por un cuerpo de agua permanente (Rio Tunjuelo) y estacional (complejos lagunares). El ecosistema en general está asociado a la cubeta y plano de desborde del río Tunjuelo, razón por la cual sus componentes biológicos, físicos y químicos están adaptados a las fluctuaciones y comportamientos del sistema hídrico.

<sup>9</sup> Ambientebogota.gov.co, 2016

En cuanto a la degradación y pérdida de los ecosistemas de humedal, la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio EEM (2005) considera que las principales amenazas directas, están asociadas al desarrollo de infraestructuras, los cambios en el uso del suelo, la extracción de agua, la eutrofización y contaminación, el exceso de recolección y sobreexplotación y la introducción de especies exóticas invasoras. Por su parte, el crecimiento de la población y el creciente desarrollo económico son los generadores indirectos de dichas amenazas (EEM, 2005).

Finalmente, se destaca que tanto en ecosistemas de humedal como de otro tipo, se presentan diversas funciones e interacciones que proporcionan biodiversidad, la cual *“tiene valor, no sólo por el potencial conocido y desconocido de especies para proveer servicios, sino por su contribución para controlar la estabilidad y resiliencia de los ecosistemas”* (Costanza & Farber, 2002). Lo anterior es fundamento de la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) (Minambiente, 2012), donde se concibe la biodiversidad como la base del ordenamiento territorial para Colombia, con el fin de reducir la vulnerabilidad socioecosistémica a los riesgos asociados con el Cambio Ambiental, de forma que se mantenga la resiliencia de los sistemas socioecológicos y se asegure el suministro de servicios ecosistémicos fundamentales para el bienestar humano.

## **SERVICIOS ECOSISTÉMICOS (SE)**

Para contextualizar teóricamente los Servicios Ecosistémicos (SE) (tema central de la presente investigación), se parte de la identificación de la relación entre la geografía y los servicios ecosistémicos, como lo propone Carvajal (2010), quien concluye en su investigación, que existe un acercamiento entre la geografía y los SE al momento de explicar la relación sociedad–naturaleza y por ende reconoce la geografía, por su visión holística, como la indicada para abordar estudios o análisis de los beneficios que los seres humanos reciben de los ecosistemas, estos beneficios son los que hacen referencia a los SE. De igual forma, y como se mencionó en un principio, la geografía ambiental, está ampliamente ligada al contexto de los SE, en la medida que profundiza temas relacionados con el ambiente, *“aclarando que éste, es entendido como la naturaleza transformada por la actividad humana”* (Bocco & Urquijo, 2013). Además, la geografía facilita una gran cantidad de herramientas que permiten evaluar de manera espacial, el estado de los ecosistemas y de sus respectivas funciones y servicios, facilitando la identificación visual de procesos de transformación, que amenazan su estabilidad y que están relacionados con las actividades de intervención que el humano desarrolla sobre el territorio (Carvajal, 2010). La fuerte dependencia del ser humano frente a la biosfera y los

ecosistemas, tal como lo afirman Alcamo & Neville (2003), conlleva al deterioro constante de los recursos, puesto que las concentraciones demográficas y las diversas dinámicas económicas han terminado erradicando ecosistemas estratégicos para la supervivencia humana.

A raíz de los niveles de degradación de los ecosistemas, desde hace aproximadamente 70 años surgieron las primeras definiciones acerca de los bienes y servicios ecosistémicos, pero hasta inicios del presente siglo autores como Camacho & Ruiz (2011) y Sánchez & Rocha (2014), tras realizar análisis cronológicos del proceso investigativo de SE, consideran que no existe un concepto unificado y por ende sus funciones y clasificaciones varían conforme a la visión valorativa del investigador. A continuación se presenta una recopilación histórica de algunos autores destacados en investigaciones sobre SE:

- Inicialmente en 1977, Westman realizó la primera formalización científica del término (SE), definiéndolos como “servicios de la naturaleza” (IICA, 2014)

- Daily (1997) destaca los SE como las condiciones y procesos mediante los cuales los ecosistemas naturales y las especies que los conforman, sostienen y satisfacen la vida humana. Le otorga valor tanto al uso como al no uso de los servicios y la naturaleza de los mismos, su análisis además del ecológico se enfoca en la antropogenización.

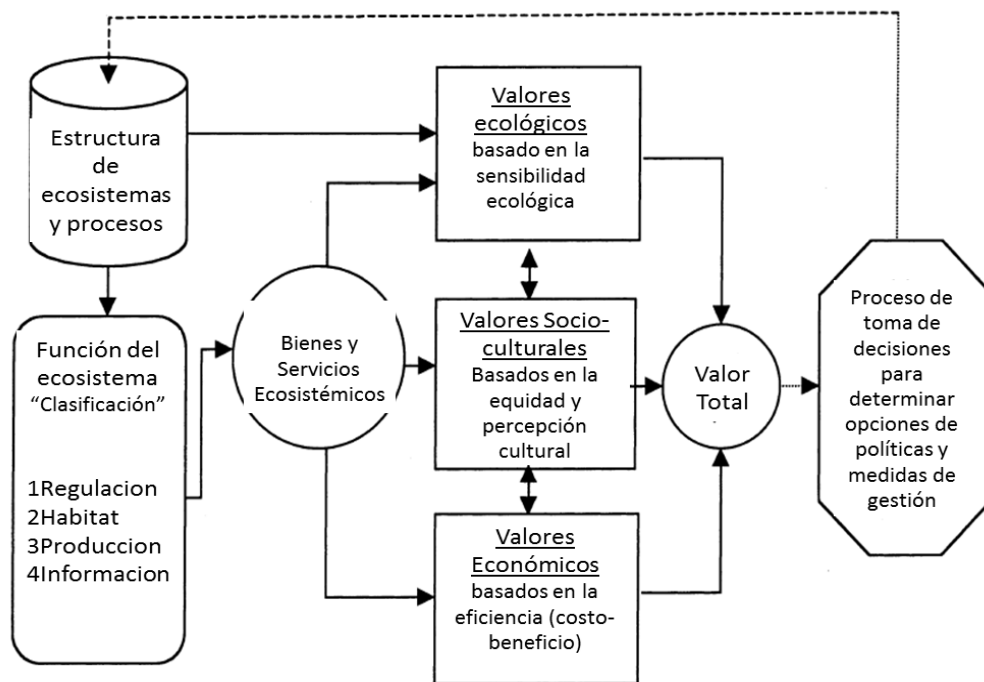
- Costanza et al. (1997) denomina los SE como los beneficios que obtienen las poblaciones humanas de las funciones de los ecosistemas. Separa a los bienes tangibles de los servicios o procesos intangibles, agrupándolos en 17 tipos (regulación del clima, regulación del agua, agua de suministro, tratamiento de residuos, polinización, culturales, etc). A su vez los clasifica más recientemente en 5 categorías espaciales (Costanza, 2008):

1. Mundial: no depende de la proximidad
2. Proximidad local
3. Flujo desde el punto de producción al punto de uso
4. En el sitio “in situ”
5. Movimiento del usuario relacionado: flujo de personas

Cabe destacar que para Costanza & Daly (1992), los ecosistemas son denominados Capital Natural, y que son los flujos de energía que tienen la capacidad de proveer **bienes y servicios** producidos por la naturaleza a través del tiempo, mediante procesos de interacción y el mantenimiento de sus **funciones** que determinan la capacidad de resiliencia ecológica de los ecosistemas, los cuales son útiles para la sustentabilidad humana y de los

recursos naturales y a su vez pueden ser valorados en términos económicos, ambientales y sociales. Es importante reconocer la diferencia entre funciones y servicios, ya que las funciones existen independientemente de su uso, demanda, disfrute o valoración social, traduciéndose en servicios sólo cuando son usadas, de forma consciente o inconsciente, por la población (López & González, 2007).

•De Groot et al. (2002) destacan la capacidad de los ecosistemas para proporcionar bienes y servicios que satisfacen las necesidades humanas directa o indirectamente, resaltando así el carácter antropocéntrico de los SE. La figura 5, desarrollada por este mismo autor, representa la clasificación de SE y sus funciones, agrupadas en cuatro categorías (Regulación, Hábitat, Producción e Información), que a su vez se valoran a partir de tres criterios (ecológico, socio-cultural y económico), para finalmente concluir en una valoración total.



Fuente: (De Groot et al., 2002), traducción libre.

Figura 5. Marco para la clasificación, evaluación y valoración de las funciones de los SE.

Es importante mencionar que los servicios ecosistémicos son además proporcionados en diferentes escalas espaciotemporales. Por ejemplo, la regulación del clima y el almacenamiento de carbono ocurren a escala global; la protección contra inundaciones y el ciclado de nutrientes, a escala regional; y la formación del suelo y la polinización a escala local (De Groot et al., 2002).

•En la actualidad uno de los eventos internacionales de mayor acogida en cuanto al inventario y reconocimiento del estado de los ecosistemas de la tierra, fue la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM), iniciada en el año 2003 y concluida en el 2005, en donde se definieron los SE como “los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas” (EEM, 2005) y se clasifican en:

1.servicios de aprovisionamiento: productos que se obtienen de los ecosistemas, tales como alimento y agua.

2.servicios reguladores: beneficios que se obtienen de la regulación de los procesos de los ecosistemas, tales como la regulación de inundaciones, sequías, degradación de los suelos y enfermedades.

3.servicios culturales: Beneficios intangibles que se obtienen de los ecosistemas, a través del enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas.

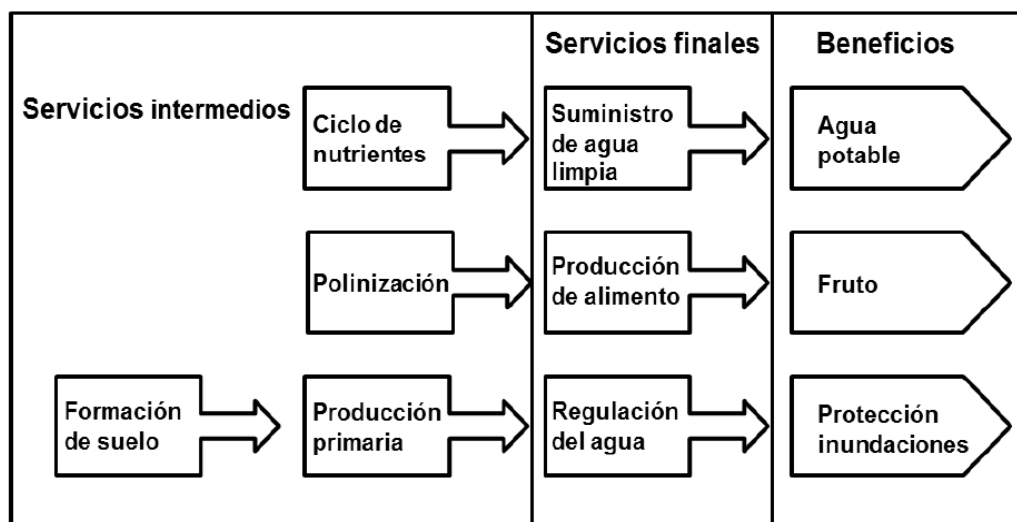
4.servicios de apoyo (soporte o base): necesarios para la producción de los demás servicios ecosistémicos, tales como formación de suelos y ciclos de nutrientes.

Sin embargo y debido a la connotación monetaria relacionada con el término ‘beneficio’, recientemente, los servicios de los ecosistemas han sido definidos como las contribuciones directas o indirectas de los ecosistemas al bienestar humano (Lopez & Montes, 2011).

•Turner et al. (2008) destacan que los SE incluyen la organización de los ecosistemas (estructuras ecológicas), operaciones (procesos) y salidas, cuyo uso directo o indirecto se convierten en servicios en el momento en que son consumidos o utilizados para producir el bienestar humano. Estos autores proponen un esquema de clasificación que divide a los servicios ecosistémicos en servicios intermedios y servicios finales (Figura 6), se pueden considerar como intermedios o finales, dependiendo de su grado de conexión con el bienestar humano.

Se reconoce que las definiciones antes mencionadas comparten diversos aspectos, pero sus enfoques tienden a cambiar en cuanto a su clasificación, algunos se centran en la división tangible e intangible de los servicios como lo hace Costanza et al. (1997), quien posteriormente enfatiza en el análisis espacial de los SE y en la importancia del reconocimiento de los flujos de energía que proporcionan los servicios. A partir del año 2000, el carácter antropogénico juega un papel fundamental, ya que autores como De Groot et al. (2002), mencionan que una vez las funciones de un ecosistema son definidas, la naturaleza y la magnitud de su valor para las sociedades humanas pueden ser analizadas y evaluadas a través de los bienes y servicios proporcionados por cualquier ecosistema (Camacho & Ruiz, 2011) y propone métodos de valoración; ecológica,

socio-cultural o económica. Finalmente, entre la EEM (2005) y Turner et al. (2008) se identifica una amplia oposición en cuanto a la clasificación otorgada a los SE, ya que la primera incluye en su clasificación, los servicios de soporte, base o apoyo, que permite el buen funcionamiento de todo el sistema, mientras que en la clasificación propuesta por Turner, los procesos del ecosistema y la estructura se consideran servicios, pero pueden ser servicios intermedios o finales, dependiendo de la relación que tengan con el bienestar humano (Camacho & Ruiz, 2011), evidenciando así un reconocimiento de los beneficios que otorgan los servicios finales, y restándole importancia a aquellos que sirven de apoyo en el funcionamiento de los mismos.



Fuente: (Turner et al., 2008).

Figura 6. Relación entre los servicios intermedios, finales y los beneficios

De acuerdo con lo anterior y para esta investigación se definen los servicios ecosistémicos como la contribución directa o indirecta que los seres humanos obtienen de los ecosistemas, generados a partir de la estructura, procesos, funciones y flujos de energía proporcionados por la naturaleza (biosfera) a diversas escalas temporales. En cuanto a su clasificación, se considera que la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM) por ser el estudio global más exhaustivo realizado hasta la fecha, sobre el estado de los ecosistemas del mundo y sobre los servicios que estos proveen (UNESCO, 2010), es la indicada, más que por su peso científico, por su compatibilidad con el tema de investigación propuesto en el presente trabajo, ya que cuenta con estudios (informes) relacionados con ecosistemas de humedal (EEM, 2005) y como se mencionó anteriormente la EEM propuso una clasificación en cuatro tipos de servicios (Figura 7): de provisión, servicios de regulación, servicios culturales y servicios de soporte, siendo estos últimos según EEM (2005), como su nombre lo indica, los que

soportan el mantenimiento de los procesos ecológicos que permiten la provisión del resto de los servicios.

<p><b>Aprovisionamiento</b></p> <p><b>Bienes producidos o proveídos por los ecosistemas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alimentos, fibras</li> <li>▪ Agua dulce</li> <li>▪ Madera</li> <li>▪ Recursos genéticos</li> <li>▪ Minerales</li> </ul>	<p><b>Regulación</b></p> <p><b>Beneficios obtenidos producto de la regulación de los procesos ecosistémicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Regulación del clima</li> <li>▪ Control de plagas</li> <li>▪ Regulación de inundaciones</li> <li>▪ Polinización</li> <li>▪ Dispersión de semillas</li> <li>▪ Control de la erosión</li> </ul>	<p><b>Culturales</b></p> <p><b>Beneficios no materiales de los ecosistemas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Espirituales</li> <li>▪ Recreacionales</li> <li>▪ Estéticos (Inspiración)</li> <li>▪ Educativos</li> </ul>
<p><b>Soporte</b></p> <p><b>Servicios necesarios para la producción de otros servicios ecosistémicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Formación de suelo y minerales</li> <li>▪ Formación de O<sub>2</sub> atmosférico</li> <li>▪ Ciclaje de nutrientes</li> <li>▪ Producción primaria</li> <li>▪ <b>Provisión de hábitat</b></li> <li>▪ Ciclo del agua</li> <li>▪ Flujo de energía solar</li> </ul>		

Fuente: (MAVDT, 2010).

Figura 7. Clasificación de los servicios ecosistémicos según la EEM.

De igual forma, según De Groot et al. (2002) este último servicio de soporte contribuye a la conservación (in situ) de la diversidad biológica y de los procesos evolutivos, ya que cuenta con la capacidad de proveer un sitio con las condiciones adecuadas para que las plantas y animales puedan residir y reproducirse. Con base en la importancia de los servicios de soporte y al explorar sus funciones o servicios que lo componen, se destaca el SE de provisión de hábitat, sujeto a valorar en la presente investigación (Figura 7), su importancia radica según la EEM (2005) en el suministro de hábitats para especies residentes o transitorias, lo cual permite el mantenimiento constante y estable de la biodiversidad. Adicionalmente la misma EEM proyecta que la pérdida de hábitat en los ecosistemas terrestres y acuáticos, propicia la disminución en la diversidad local de las especies nativas y en la prestación de SE. Algunas definiciones del término hábitat destacadas en la literatura científica se asocian a lo expuesto por Hall et al. (2009), quienes reconoce el hábitat como algo más que la vegetación o estructura de la vegetación, ya que es la suma de los recursos específicos que necesitan los organismos para sobrevivir. Por su parte, Utrera (2004), considera el hábitat como el espacio físico que brinda alimento, cobertura, agua, componentes

imprescindibles para el mantenimiento, reproducción y supervivencia de las especies que integran una comunidad animal.

Para el caso específico de los ecosistemas de humedal la EEM (2005) reconoce que los cambios de uso del suelo traen como consecuencias ecológicas: la alteración, deterioro y degradación del hábitat de humedal, siendo estas las principales causas del patrón de disminución de las poblaciones de aves acuáticas y especies típicas de dicho hábitat. De acuerdo con lo anterior, el surgimiento de nuevos hábitats que no son naturales y que luego son colonizados por otras especies exóticas invasoras, altamente destructivas, reducirá los hábitat y por ende la magnitud de servicios que proveía el hábitat original, aumentará la cantidad de contaminantes que llegan al agua y eliminará el servicio natural de filtro de agua que proporcionan los humedales, la madera, el carbón, el hábitat para especies, entre otros. Para la EEM (2005) es prioritario que al momento de tomar decisiones de uso o manejo que afecten directa o indirectamente los ecosistemas de humedales, se reconozca su dinámica **estructural, funcional y los beneficios** que otorgan los diferentes servicios de los ecosistemas de humedales; entendiendo la estructura como la “arquitectura biofísica de un ecosistema” las funciones ecosistémicas como el resultado de la interacción entre estructura y procesos biofísicos que sustentan la capacidad de un ecosistema de proveer bienes y servicios The Economics of Ecosystems and Biodiversity [TEEB], 2010 (citado en Ferrer et al., 2012), a su vez estas funciones se convierten en servicios en el momento que son disfrutados o aprovechados por la sociedad, finalmente los beneficios pueden ser directos o indirectos y logran satisfacer una necesidad o deseo común o individual. Cabe destacar lo mencionado por la EEM (2005) desde una visión monetaria, al reconocer que los beneficios de la transformación son mayores que aquellos que existirían manteniendo el humedal, como es el caso de las zonas de fuerte vocación agrícola o en los límites de áreas urbanas en expansión. Sin embargo, mientras más y más humedales desaparecen, el valor relativo de la conservación de los humedales restantes aumenta, y por lo tanto situaciones como la descrita son cada vez menos frecuentes (EEM, 2005).

Para el logro de escenarios sostenibles se requiere tal como lo indican Bustamante & Ochoa (2014), emplear métodos de valoración para los servicios ecosistémicos, ya que esto ayuda a que la gente pueda entender la importancia de los mismos y hagan un uso eficiente de los recursos provistos por la naturaleza. Lo cual se sustenta por autores como De Groot et al. (2002), López & González (2007), y la EEM (2005), al considerar que los servicios de los ecosistemas pueden ser valorados desde diferentes perspectivas en función del beneficio que representen, a partir de tres criterios (Figura 5) biofísico o ecológico, socio-cultural y económico.



Según López & González (2007) la capacidad de proveer servicios viene determinada por componentes ecológicos, ya que permiten el mantenimiento y funcionamiento de los ecosistemas, lo cual se vincula directamente a la valoración biofísica, ya que no depende estrictamente de las preferencias humanas, sino solamente se centra en aquellos componentes puramente ecológicos. Lo anterior demuestra que para la realización de una valoración económica (otorgar valor monetario a los SE, valor de uso y no-uso) y socio-cultural (identidad cultural de las personas y su relación con los servicios de los ecosistemas), es necesario valorar los cambios de los ecosistemas en términos biofísicos, tal como lo indica la TEEB (2008), ya que la mayoría de los beneficios aportados por los ecosistemas son indirectos y proceden de procesos ecológicos complejos. Para valorar un ecosistema desde una visión biofísica se debe contar con amplia información sobre el funcionamiento general de los servicios, sobre la utilización del suelo, las características hidrológicas de dicha área, entre otros elementos.

Para dar respuesta a la pregunta de investigación, planteada en el presente trabajo, se realizó una valoración biofísica del servicio ecosistémico de provisión de hábitat (servicio de soporte); el cual se encuentra íntimamente relacionado con la biodiversidad como ya se mencionó anteriormente y no depende de las preferencias humanas, por lo cual se reconoce como un servicio que proporciona beneficios indirectos a la sociedad. Para realizar esta valoración se cuenta con pocos métodos aplicables, como es el caso del modelo diseñado por García (2009) de la Universidad Javeriana de Colombia, de lógica matemática difusa contenido en MATLAB, este modelo se utilizó para mapear escenarios de calidad de hábitat para fauna silvestre, en la cuenca media alta del Río Otún, en el departamento de Risaralda-Colombia, por medio de códigos desarrollados en un programa principal de sub-rutinas (usos del suelo) que realiza cálculos y grafica resultados, para lo cual se requieren amplios conocimientos de programación. El resultado de este modelo matemático brinda un mapa de calidad de hábitat con rangos de calidad (muy bueno, bueno, regular y malo). Como métodos ligados a programas o sistemas de información geográfica (SIG), se reconoce ECOSER, conocido como un protocolo o conjunto de procedimientos que permiten evaluar y mapear SE, ponderados por su valor social y estimaciones de vulnerabilidad socio-ecológica (VSE) frente a la pérdida de los mismos, el cual requiere seleccionar y contar con información del valor socio económico, oferta de SE, vulnerabilidad, flujos y funciones de los SE provisto por uno o más ecosistemas presentes en un área determinada<sup>10</sup>.

Por otra parte InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs) es una herramienta espacialmente explícita, de amplio reconocimiento

---

<sup>10</sup> Eco-ser.com.ar, 2016

internacional, creada por el proyecto Capital Natural (Universidad de Stanford, Universidad de Minnesota, The Nature Conservancy y WWF), la cual permite mapear, cuantificar y valorar los servicios ecosistémicos. Este conjunto de herramientas incluye dieciséis modelos (calidad de hábitat, secuestro de carbono, polinización de cultivos, recreación, purificación del agua, entre otros) adaptados a ecosistemas terrestres, de agua dulce y marinos, la herramienta es flexible en el sentido de que no tiene que modelar todos los servicios de los ecosistemas en conjunto, sino que puede seleccionar sólo los de interés, adicionalmente no es necesario contar con una licencia de un software SIG, ya que los modelos son independientes y de descarga gratuita en la Web. InVEST permite a los tomadores de decisiones evaluar las compensaciones cuantificadas asociadas a opciones alternativas de manejo e identificar las áreas donde la inversión en capital natural puede mejorar el desarrollo humano y la conservación (Natural Capital Project, 2011). Adicionalmente se cuenta con diversos antecedentes investigativos en los que se aplican los diferentes modelos, para fines de este trabajo se presentan ejemplos de investigaciones elaboradas bajo el modelo de calidad de hábitat; como fue el caso de la Modelación del Servicio Ambiental de calidad del hábitat para la biodiversidad en la cuenca Guayalejo-Tamesí (Tamaulipas, México), realizada por Lara. et al. (2010), modelo construido a través de un SIG, el cual se basa en la identificación de los factores que amenazan a los ecosistemas y su nivel de afectación sobre los hábitats de la cuenca. Para su evaluación, se utilizó el nivel 1 de InVEST 1.005 el cual requiere de la plataforma de ArcGIS 9.2. Finalmente, de acuerdo a los factores que amenazan a los ecosistemas de la cuenca, fue posible determinar el nivel de integridad relativo de los hábitats que los conforman.

Como segundo ejemplo se presenta la evaluación espacial y mapeo de la biodiversidad y conservación de las prioridades en un paisaje de producción muy modificada y fragmentada en el centro-norte de Victoria-Australia, realizado por Baral et al. (2014). Este estudio mide el valor de la biodiversidad a partir de datos y herramientas disponibles para identificar sitios prioritarios de conservación. Se utilizaron herramientas espaciales para evaluar la biodiversidad y mapear la calidad del hábitat, como lo fueron; Patch Analyst en ArcGIS 10.2 para evaluar los estados de alteración del paisaje; e InVEST como modelador principal para la valoración integral de servicios de los ecosistemas y para hacer una evaluación inicial de las necesidades de conservación: la medida relativa y la calidad del hábitat en una región y sus cambios a través del tiempo.

De los tres métodos antes mencionados (Matlab, ECOSER e InVEST) por su reconocimiento internacional, fácil acceso, requerimientos básicos y amplia base científica, se emplea para este trabajo InVEST como herramienta

modeladora de la prestación del servicio ecosistémico de provisión de hábitat, por medio del modelo de “calidad de hábitat”, en el cual se profundiza posteriormente. Adicionalmente se logra inferir que el mapeo de servicios ecosistémicos es una herramienta clave para la toma de decisiones, ya que esto permite reconocer de forma visual y ampliamente sustentada las condiciones tanto positivas como negativas en la que se encuentra un ecosistema o un territorio determinado, tal como lo enfatiza Larterra (2013), al reconocer que contar con SE mapeados permite: monitorear de forma múltiescalar, reconocer conflictos, formular e implementar políticas de estado sobre determinados aspectos ambientales, tomar decisiones sobre la planificación del uso del territorio, un manejo integrado de cuencas y municipios.

Hall et al 1997 (citado en Sharp et al., 2015) define hábitat como los recursos y las condiciones presentes en un área que producen ocupación (incluida la supervivencia y la reproducción) por un determinado organismo, de esta forma la calidad del hábitat se refiere a la capacidad de los ecosistemas para proporcionar las condiciones adecuadas para la persistencia individual y poblacional, y se considera una variable continua en el modelo, que van de baja a alta, con base en los recursos disponibles para la supervivencia, reproducción y persistencia de la población, respectivamente. Según (Natural Capital Project, 2011) la calidad del hábitat (modelo que permite evaluar la provisión de hábitat) depende de la proximidad e intensidad de un hábitat a los usos humanos del suelo y de la intensidad de estos usos de la tierra, lo cual se asimila a una relación directamente proporcional, a mayor intensidad de uso mayor degradación. Los ecosistemas con mayor calidad de hábitat se mantienen intactos relativamente, con rangos de variaciones históricas en cuanto a su infraestructura y funciones; pero esa calidad disminuye conforme se acercan a factores que pueden ser considerados como diversos grados de amenaza.

La provisión de hábitat sobre el ecosistema de humedal el Tunjo, se evaluó por medio de la herramienta InVEST, bajo el modelo de “calidad del Hábitat”, el cual representa la biodiversidad de un paisaje, la estimación de la magnitud de los tipos de hábitats y su estado de degradación. El modelo combina mapas de cobertura de uso de la tierra (LULC) en formato raster, con datos sobre las amenazas a los hábitats (pesos de la amenaza) y la respuesta del hábitat a dicha amenaza (sensibilidad de los usos de suelo frente a cada amenaza). Entendiendo las amenazas como la posibilidad de la ocurrencia de un evento físico que puede causar algún tipo de daño a la sociedad o el ambiente, tal como lo indica Narváez et al. (2009), quienes reconocen las amenazas no solo como un evento físico en sí mismo, sino que lo expresan como la peligrosidad asociada con un evento; lo que quiere decir que se analiza la calidad (aptitud o disposición) del evento y no la

materialización del mismo, estas amenazas sumadas con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, dan lugar al riesgo; considerado como los probables daños y pérdidas que se asocian con su ocurrencia a futuro. Las amenazas identificadas para este caso de estudio están asociados a eventos naturales y antrópicos, como lo son: zonas urbanas, zonas industriales, obras hidráulicas, tierras desnudas y degradadas, pastos y plantaciones foréstales, e infraestructura vial, que ponen en peligro la estabilidad del hábitat del humedal el Tunjo. En cuanto a la sensibilidad que presentan los diferentes usos del suelo de la zona de estudio frente a las amenazas, se consideran sensibles aquellos elementos cuya respuesta a la intervención generan cambios sustanciales en el funcionamiento del ecosistema, ya sea por la afectación directa de sus componentes o porque altera los flujos de energía y los ciclajes de agua y nutrimentos (Utrera, 2004).

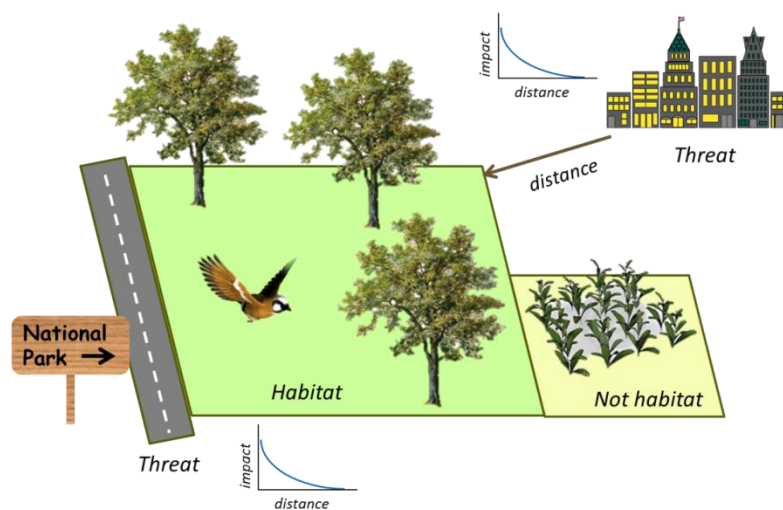
Sharp et al. (2015) menciona que el modelador de INVEST se refiere la “calidad del hábitat” en el mismo sentido que la “integridad del hábitat”: esta es entendida como un sitio con poca alteración, cuya estructura y funciones presentan variaciones sólo de carácter histórico; aunque eso no significa que algunas áreas degradadas no puedan tener un buen nivel de aportación a la biodiversidad.

### ***Valoración biofísica del servicio ecosistémico de provisión de hábitat***

Para realizar la valoración biofísica del servicio ecosistémico de provisión de hábitat en la ventana de tiempo seleccionada, se parte del reconocimiento de los criterios básicos de este servicio, destacando inicialmente que la biodiversidad está íntimamente ligada a la producción de servicios de los ecosistemas, los cuales son variables intrínsecamente espaciales, y como tal, se pueden estimar mediante el análisis de mapas de uso y cobertura del suelo (LULC) en conjunto con las amenazas (Sharp et al., 2015). El mismo autor reconoce que para entender los patrones de distribución y riqueza a través de un paisaje, de forma individual y en su conjunto, se requiere asignar un rango o cuantificar sus elementos (especies, comunidades, hábitats) e identificar el grado de afectación generado a partir del uso actual de la tierra y la gestión de la misma, con el fin de fomentar la gestión de recursos que maximiza la biodiversidad en esas áreas y diseñar estrategias apropiadas de conservación.

Un ecosistema con buena calidad muestra poca alteración, mientras que sus funciones y estructura presentan variaciones sólo de carácter histórico; por ello, constituye un mejor servicio ambiental (SSAA) como hábitat para la biodiversidad (Lara. et al., 2010), por lo cual se reconoce que la calidad del hábitat depende de la proximidad de un hábitat a los usos humanos de la tierra y la

intensidad de los mismos (Figura 8). Por su parte la provisión de hábitat, se ve afectada por la creciente presión de las actividades humanas en los hábitats naturales, lo que conduce a la pérdida de biodiversidad; para mitigar el impacto de las actividades humanas, las políticas ambientales se desarrollan e implementan, pero sus efectos comúnmente no se comprenden bien, debido a la falta de herramientas para predecir los efectos de las políticas de conservación de hábitat, calidad y / o diversidad, por lo que los seres humanos deben equilibrar la conservación con sus necesidades de desarrollo (Terrado et al., 2015). El mismo autor hace énfasis en que la gestión de los ecosistemas es una tarea urgente para el mantenimiento y la protección de la calidad del hábitat y de la biodiversidad, sin dejar de satisfacer las necesidades humanas.



Fuente: (Ziv, 2012).

Figura 8. Idoneidad del hábitat de las especies de interés y la proximidad de la intensidad de una o más.

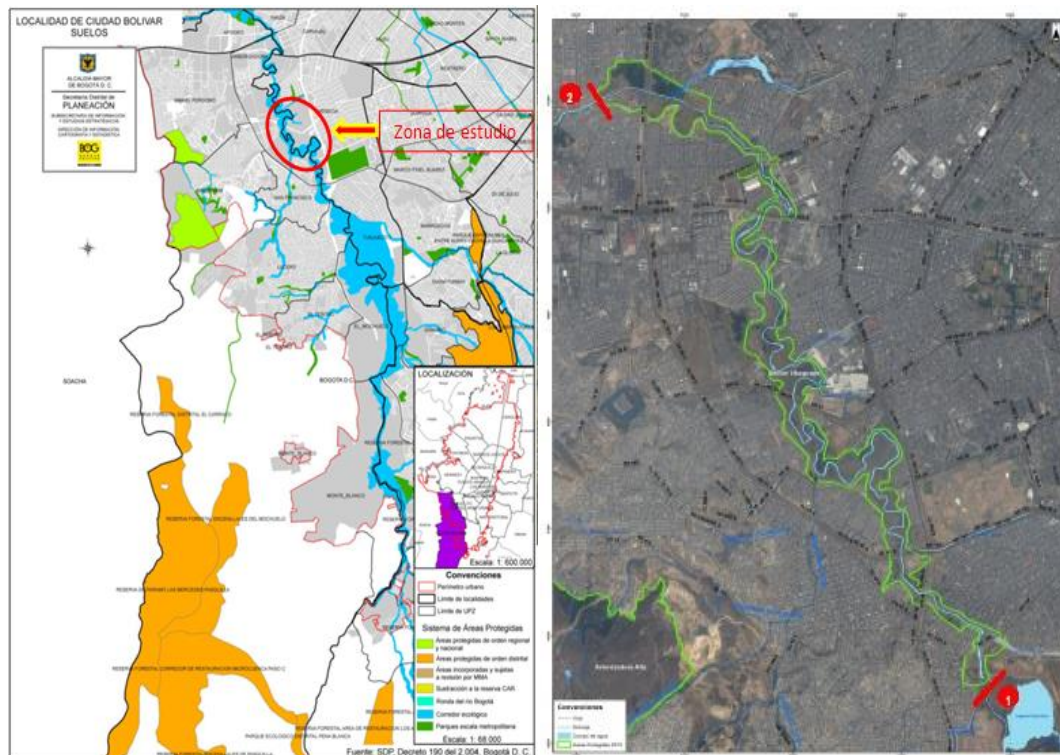
## METODOS

### AREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra localizada al sur del área urbana de Bogotá sobre la cuenca media-baja del Rio Tunjuelo (Figura 9), conocido como el mayor vertimiento hídrico que drena sobre la capital, con una longitud de 66 km desde su nacimiento hasta su desembocadura en el Rio Bogotá (SDA, 2013). Esta cuenca, presenta una gran complejidad sistémica que va desde del páramo de Sumapaz a los 3.780 msnm (cuenca alta), pasando por ecosistemas de bosque altoandino y valles interfluviales, hasta relictos de ecosistemas secos o enclaves subxerofíticos en el sector de ciudad bolívar, a los 2.650 msnm (cuenca media-

baja); esta última comprendida en su mayoría en la zona urbana del distrito capital, con pendientes que van entre el 1% y el 0.05% y drenajes deficientes (SDA, 2013).

La Secretaria Distrital de Ambiente (SDA), en el año 2014 reconoció esta zona como Parque Ecológico Distrital Humedal "el Tunjo", ubicado específicamente en una zona meandrica, sobre la unidad geomorfológica de origen fluvial y lagunar, denominada planicie o llanura de inundación, entre la localidad de Ciudad Bolívar y Tunjuelito, hace parte de la Zona de Manejo y Preservación Ambiental. “El Tunjo”, también conocido como “La Luciérnaga” o “La Libelula”, es un complejo de zonas inundables del Río Tunjuelo, que por sus características es reconocido como humedal de ribera. El Parque comprende un área aproximada de 184,9 hectáreas y una longitud del cauce de 12,4 km. Entre las coordenadas extremas E 93675.991 - N 95501.239 y E 90233.518 - N101083.304 (SDA, 2013) (Figura 9).



Fuente: Orthofoto Bogotá 2011 (SDA, 2013).

Figura 9. Delimitación del Parque Ecológico Distrital de Humedal el Tunjo por la Secretaria Distrital de Ambiente

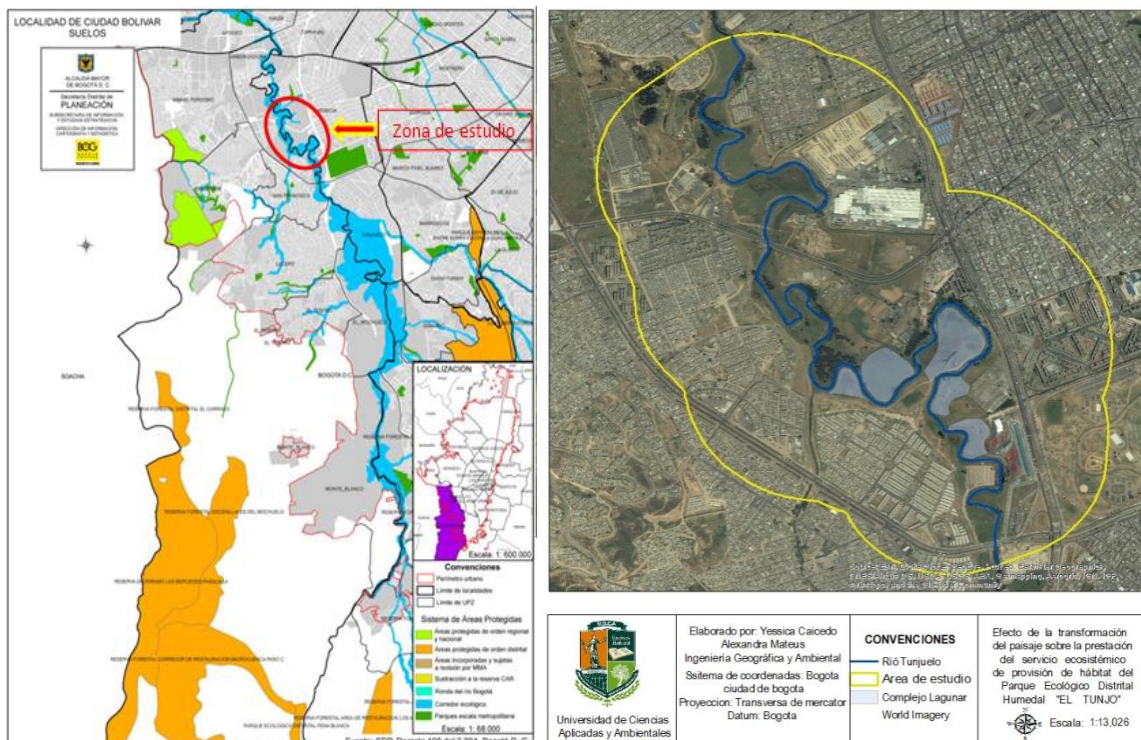
El área en la que se realizó la investigación, es el sector denominado “Ubaguya” (Figura 10), el cual está conformado por complejos lagunares, producto de los meandros y de las obras hidráulicas del Río. Limita al oriente con la Avenida Boyacá, al norte con el Conjunto residencial Tejar de Ontario y el centro



de reclusión de menores El Redentor, al sur con el Portal de Transmilenio, El Tunal y la Subestación eléctrica zonal, y al occidente con los barrios Casalinda y Arborizadora Baja.

## DELIMITACIÓN AREA DE ESTUDIO

El análisis del efecto de la transformación del paisaje sobre la prestación del servicio ecosistémico de provisión de hábitat del Parque Ecológico Distrital de Humedal "el Tunjo", se delimitó en función la franja meándrica del río Tunjuelo, cuyas sinuosidades están rodeadas por jarillones, que aíslan las áreas que se inundan en eventos de alta precipitación, niveles altos o desbordamiento del río, este mismo sector fue denominado por la SDA como un complejo lagunar (Figura 10) y a partir de allí se trazó un área de influencia de 500 metros, la cual presenta una forma ovalada, debido a que los límites del humedal son irregulares. Esta zona de influencia se delimito con el fin de evidenciar que un humedal no solo corresponde al área delimitada legalmente, puesto que éste permanece en constante interacción directa e indirecta con el entorno, los factores y actividades que intervienen a su alrededor y a partir de ello se obtienen las respectivas amenazas que se generan, lo cual es primordial al momento de valorar el servicio ecosistémico de provisión de hábitat.



Fuente: creación propia

Figura 10. Localización de la zona de estudio.

La zona de estudio limita al noroccidente con la con la UPZ 65 (Arborizada) de la localidad Ciudad Bolívar, al sur con el portal de Transmilenio El Tunal y el barrio Casa Linda y al oriente con la avenida Boyacá. La ubicación geográfica es; longitud  $-74^{\circ}9'5''$ , latitud  $4^{\circ}34'58''$  (extremo norte) y longitud  $-74^{\circ}8'31''$ , latitud  $4^{\circ}34'14''$  (extremo sur), y la altura de área es aproximadamente 2560 msnm.

## **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TERRITORIO**

Dentro de las características físicas del territorio se presentan formaciones geológicas que incluyen áreas duras, compuestas en su mayoría por areniscas y rocas arcillosas a limosas, de tendencia plástica e impermeable. Cabe destacar que las formaciones arcillosas a limosas son más propensas a la erosión, mientras que las formaciones duras de areniscas son más resistentes a los procesos de erosión y remoción en masa (SDA, 2013). En cuanto a las condiciones climáticas la temperatura media anual oscila entre  $14^{\circ}\text{C}$ , con temperaturas máximas entre  $18$  a  $20^{\circ}\text{C}$  y mínimas entre  $8$  a  $9^{\circ}\text{C}$ , la precipitación posee un régimen bimodal que se caracteriza por dos periodos de lluvias comprendidos entre los meses de marzo a mayo en el primer semestre y octubre a diciembre en el segundo. Datos recientes (2010 - 2011) obtenidos de la estación climatológica ordinaria Tunal indican que la lluvia anual varía entre 1010 y 1030 mm, lo que corresponde a la clasificación Caldas-Lang, la parte baja y media de la cuenca es un clima frío semiárido (Fsa).

Con respecto al área de estudio las estaciones hidrometeorológicas que brindan información limnigráfica (caudales) son: Est. Avenida Boyacá y Est. Puente Bosa; para las cuales los caudales medios máximos mensuales presentan valores cercanos a  $8\text{ m}^3/\text{s}$ , con tendencia monomodal al igual que en las estaciones localizadas aguas arriba, los valores mínimos mensuales son de  $2,4$  y  $2,01\text{ m}^3/\text{s}$  respectivamente para cada estación, los cuales se presentan en el mes de enero. La parte baja de la cuenca es susceptible a fenómeno de crecientes en el Río entre los meses de mayo a agosto y octubre y noviembre, siendo el mes de julio en términos generales, el mes con los valores más altos de caudal (SDA, 2007).

Según el censo florístico y reconocimiento de especies, realizado por la SDA, el humedal está caracterizado por la presencia de 45 especies, pertenecientes a 28 familias, las especies invasoras predominan en la zona meandrica, las más representativas son: Retamo liso (*Genista monspessulana*), Retamo espinoso (*Ulexeuropaeus*) y Cardo (*Cirsiumechinatum*) en área colindante del humedal, y Calabaza (*Cucurbita pepo*) en área de ronda hídrica, al igual que el Lulo de perro (*Solanummarginatum*), se observaron aves acuáticas como: alcaraván (*Vanelluschilensis*), monjita bogotana (*Chrysomusicterocephalus bogotensis*), pato canadiense (*Anasdiscors*), Iguasa común



(*Dendrocygna autumnalis*), tingua pico rojo (*Gallinul chloropus*), garza real (*Ardeacineres*), la garza ganadera (*Bubulcus ibis*), entre otros (SDA, 2013).

## **METODOLOGIA**

La presente investigación se dividió en tres fases metodológicas: la primera consistió en realizar un análisis multitemporal con el fin de identificar la transformación del paisaje que ha sufrido la zona de estudio en un periodo de 74 años, la segunda se basó en la valoración biofísica del servicio ecosistémico de provisión de hábitat en la misma ventana temporal y finalmente se interpretaron y relacionaron los resultados obtenidos para identificar los factores que pudieron influir en la transformación del paisaje y su efecto sobre la prestación del servicio ecosistémico de provisión de hábitat.

### **Análisis Multitemporal**

Para analizar la transformación del paisaje en el que se encuentra el Parque Ecológico Distrital de Humedal "el Tunjo" para el periodo comprendido entre 1940 y 2014, se utilizaron fotografías aéreas suministradas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) de los años 1940, 1992 e imágenes satelitales del año 2014 obtenidas del servicio cartográfico online SAS.Planet (imágenes satelitales de alta resolución) (Anexo 4).

En el caso de las fotografías aéreas se realizó una selección minuciosa de las fajas de vuelo de cada época en estudio, teniendo en cuenta la calidad y cobertura total del área de estudio (Tabla 7). Se hizo un recorrido para georeferenciar el área de estudio. Los datos fueron procesados por medio de los software Erdas Imagine 2014 y ArcGIS 10.2, suministrados por la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A).

Una vez seleccionadas las fotografías se georeferenciaron en el programa ArcMap 10.2 en el sistema de referencia de Colombia, proyección Transversa de Mercator (WGS 84). Posteriormente se realizó una ortorectificación por medio del programa Erdas imagine 2014, lo que se realizó por medio de un modelo digital de elevación (DEM) para cada periodo de tiempo, considerando que los parámetros de ortorectificación requeridos por la plataforma de Erdas, no están disponibles en el instituto geográfico Agustín Codazzi (IGAC) para años anteriores a 1998. No fue necesario georeferenciar ni realizar ningún tipo de tratamiento previo a la imagen satelital.

Se llevó a cabo una fase de campo la cual consistió en un reconocimiento de las coberturas actuales de la zona de estudio, lo cual facilitó la clasificación de uso del suelo de la imagen satelital de 2014. En este recorrido se tomaron puntos

de referencia por medio del GPSmap 60CSx, para algunas coberturas identificadas en la zona.

Tabla 7. Fotografías aéreas e imágenes satelitales utilizadas en el análisis.

	AÑO	N. FOTO	VUELO	ESCALA	FORMATO
FOTOGRAFÍAS AÉREAS	1940	838	C-35	1:22000	Digital Tiff
		836			
837					
FOTOGRAFÍAS AÉREAS	1992	212	R-1183	1:14000	Digital Tiff
		213			
		PATH/ROW	Fuente	Basemap	
Imagen satelital	2014	8 / 57	Sasplanet	Nokia (here.com hybrid)	

Posteriormente se realizó una clasificación de las diferentes coberturas que se observaron en la zona de estudio para cada una de las fechas establecidas de forma manual, ya que las fotografías pancromáticas, con tonalidades de grises muy similares, impiden una adecuada clasificación supervisada al ejecutarla por medio del software ArcGis 10.2. Por medio de este software se inició la clasificación de coberturas, partiendo de la imagen satelital más reciente (2014), ya que facilita el reconocimiento de las coberturas gracias a la base de puntos obtenidos del GPS en la fase de campo. Para la denominación de las coberturas, se emplearon los parámetros propuestos de clasificación de coberturas por el proyecto Corine Land Cover (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia [IDEAM], 2010) y adicionalmente se agregó la cobertura ríos y drenajes que no se encuentra dentro de dicha clasificación, pero que se considera fundamental para el análisis, teniendo en cuenta la escala de trabajo (1:20000). De forma conjunta para los tres periodos de estudio, se determinó una escala de trabajo a 1:20000 y un área mínima cartografiable de 0.020 ha para cada una de las coberturas que se encontraron dentro de la zona de influencia.

Con la clasificación de las coberturas de la zona de estudio, se obtuvo el área de cada una de ellas para los tres periodos de tiempo establecidos, lo que sirvió de base para identificar y analizar la transformación del paisaje en el humedal. Posteriormente se utilizó la herramienta Patch Analyst, para calcular los índices de área, superficie, densidad y tamaño: media del tamaño del parche (MPS), el número (Nump), el área total del paisaje (TLA), área de la clase o

cobertura (CA); índices de borde: borde total del parche (TE); índices de forma: medida de la dimensión fractal del parche (MPFD) e índices de diversidad: índice de diversidad de Shannon (SDI) e índice de igualdad de Shannon (SEI).

### ***Valoración del servicio ecosistémico de provisión de hábitat***

Para realizar la valoración biofísica del servicio ecosistémico de provisión de hábitat, se empleó el modelo de calidad de hábitat incluido en la herramienta InVEST, el cual se ha aplicado con éxito para estimar el impacto de diferentes escenarios de uso de la tierra y las políticas de cambio o de conservación de hábitat terrestre necesarias para la protección de la biodiversidad, evaluando qué tipo de hábitat refleja las mejores condiciones naturales (Terrado et al., 2015).

Se busca que el modelo implementado sea útil para evaluar las zonas potenciales para la conservación de la biodiversidad, y para apoyar la planificación del territorio, en cuanto a la conservación de humedales o coberturas naturales que tienen capacidad de proveer ciertos servicios ecosistémicos, dada su capacidad para predecir o evaluar los efectos de la intervención antrópica en la ventana de tiempo seleccionada.

### **Descripción del modelo de la calidad del hábitat:**

El modelo de calidad de hábitat de InVEST, proporciona una representación espacial explícita de la calidad del hábitat que se correlaciona con la biodiversidad (Terrado et al., 2015): combina información sobre uso de la tierra, idoneidad y las amenazas antropogénicas a la biodiversidad para producir mapas de calidad del hábitat (Figura 11).

Este enfoque genera información sobre la magnitud relativa y la degradación de los diferentes tipos de hábitats en una zona específica; el modelo se basa en la hipótesis de que las áreas con el apoyo de mayor calidad del hábitat tienen la capacidad de albergar mayor riqueza de especies y que la disminución en la extensión y calidad del hábitat generan descenso en la persistencia de las mismas (Terrado et al., 2015), es decir que las áreas con una alta calidad de hábitat apoyarían más flora y fauna, y las áreas que disminuyen en extensión y calidad del hábitat a través del tiempo contendrán niveles reducidos de la biodiversidad (Baral et al., 2014).

Es necesario aclarar que el modelo, en este caso se aplica a la biodiversidad en general, aunque puede ser aplicado a cualquier especie en particular; se seleccionó el modelo InVEST por la exigencia de los datos, que en

general son de fácil acceso, pues no requiere información previa sobre la distribución o la presencia de especies. La cobertura y uso de la tierra, en formato raster, por ejemplo se obtuvo del análisis de la transformación del paisaje del humedal el Tunjo (primer objetivo), las amenazas antropogénicas, se analizaron en función de que el humedal, se ve afectado por múltiples perturbaciones, que van desde la contaminación hasta la pérdida y disminución de cobertura correspondiente a humedal.

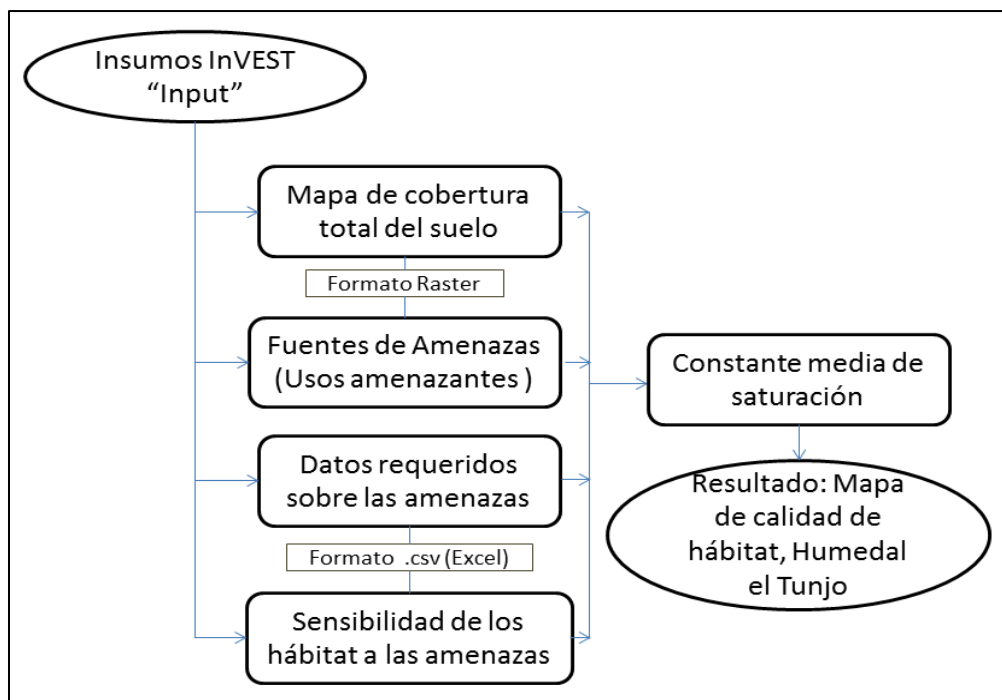
Con el fin de realizar la rasterización de las coberturas se calculó el tamaño del pixel basados en la ecuación proporcionada por el centro de recursos de ArcGIS, teniendo en cuenta que existe una relación directa entre el tamaño de celda y la escala.

$$\text{Tamaño de celda} = \text{Escala} * \left( \frac{0.0254}{96} \right)$$

$$\text{Tamaño de celda} = 20000 * \left( \frac{0.0254}{96} \right)$$

$$\text{Tamaño de celda} = 5.29 \text{ metros}$$

El modelo basado en la identificación de los factores que amenazan a los ecosistemas y su nivel de afectación sobre los hábitats, otorga a cada celda del mapa *grid* un valor relativo de calidad y de degradación, de acuerdo con su localización respecto de las actividades humanas, consideradas como “amenazas” por el programa, y su impacto sobre el hábitat que representa la celda, (hábitat de humedal) así como la sensibilidad de dicho hábitat ante la amenaza del impacto. (Lara. et al., 2010). Las amenazas consideradas se describirán más adelante. Una de las características más importante es la capacidad de caracterizar la sensibilidad de los tipos de hábitat a diversas amenazas, teniendo en cuenta que no todos los hábitats se ven afectados por todas las amenazas de la misma manera, y el modelo InVEST da cuenta de esta variabilidad (Sharp et al., 2015).



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Insumos requeridos para ejecutar el modelo de calidad de hábitat.

La ejecución del modelo (Figura 11) se describe a continuación:

1. Mapa de cobertura total del suelo e idoneidad de cada cobertura para proporcionar hábitat:

Un conjunto de datos raster SIG con un código numérico LULC para cada celda, con su tabla de atributos correspondiente.

Se otorgó un valor entre 0 y 1, a las coberturas consideradas como no hábitats y 1 a los usos considerados hábitat. De la siguiente forma: 0 (cero) a los usos del suelo antropizados, en donde una especie o grupo funcional pueden tener menor capacidad de supervivencia: zonas urbanas, industrias, obras hidráulicas, infraestructura vial e instalaciones recreativas; 1 (uno) a las coberturas naturales que indican la más alta idoneidad del hábitat: ríos y drenajes y humedal

Para el caso específico de los pastos, plantación forestal (especies introducidas e invasoras) y tierras desnudas, se les asignaron valores de 0.5, 0.7 y 0.3 respectivamente, puesto que son usos que a pesar de su carácter antrópico albergan especies y no degradan o transforman el ecosistema en un 100%.

2. Datos y fuentes de amenazas:

Un conjunto de datos raster SIG acerca de la distribución e intensidad de cada amenaza, tal como se muestra en la figura 11 y una tabla en formato CSV de las diferentes amenazas antropogénicas que probablemente pueden deteriorar la calidad del hábitat. La tabla contiene información sobre la importancia o peso relativo de cada amenaza y su impacto a través del espacio. Las *filas* contienen las fuentes de degradación y las *columnas* contienen atributos como; nombre de la amenaza, la distancia máxima sobre la que cada amenaza afecta a la calidad del hábitat (medida en km), el impacto de cada amenaza (peso) en la calidad del hábitat, en relación con otras amenazas. Los pesos pueden variar desde 1 al más alto, a 0 en el más bajo y finalmente el tipo de deterioro en el espacio de la amenaza que para este caso fue lineal teniendo en cuenta que las amenazas terrestres se extienden en todas las direcciones del paisaje (Terrado et al., 2015).

De acuerdo a lo anterior las amenazas identificadas en la zona de estudio, están asociadas a eventos naturales y antrópicos que generan consecuencias negativas, afectando el funcionamiento del ecosistema en general y propician un desequilibrio en el funcionamiento del ecosistema de humedal el Tunjo, reduciendo las posibilidades de conservación, tal como lo son:

- ❖ Zonas urbanas: generan residuos contaminantes y transforman drásticamente el paisaje
- ❖ Zonas industriales: focos de máxima contaminación al no controlar la emisión de residuos sean sólidos, líquidos o gaseosos
- ❖ Obras hidráulicas: elementos que modifican la dinámica natural del curso de agua
- ❖ Tierras desnudas y degradadas: facilita la acumulación de residuos contaminantes y el ingreso de especies depredadoras
- ❖ Pastos: facilita la reproducción de especies invasoras
- ❖ Plantaciones forestales: especies introducidas (foráneas), en su mayoría eucalipto y pino, no contribuyen a la retención hídrica que requiere un humedal
- ❖ Infraestructura vial: permite mayor acceso e intervención antrópica y propicia barreras que limitan la conectividad natural
- ❖ Instalaciones recreativas generan perturbaciones a la fauna tal como lo hacen el resto de amenazas.

3. Nivel de protección legal, institucional, social y física de perturbación en cada celda: puede mitigar el impacto de las amenazas en el hábitat. Corresponde a un shapefile de polígonos SIG que contiene datos sobre la protección relativa que las barreras proporcionan contra las amenazas; sin embargo en este caso no se utilizó debido a que la zona de estudio no contaba con características de protección en la ventana de tiempo seleccionada.

#### 4. Sensibilidad de los hábitat a las amenazas

Una tabla CSV de tipos LULC y su sensibilidad específica para cada amenaza: la sensibilidad relativa de las coberturas hábitat para cada amenaza y la probabilidad de las coberturas no- hábitat, de convertirse en otro uso por la que se encuentre influenciada, donde los valores más cerca de 1 indican una mayor sensibilidad o probabilidad. La sensibilidad de los usos antropogénicos ante la amenaza representada por ese mismo uso es igual a 1.

Las columnas contienen datos sobre los tipos de uso de la tierra y sus sensibilidades a las amenazas y deben ser nombradas de acuerdo con las convenciones utilizadas en todas las entradas del modelo.

En este estudio la sensibilidad fue calculada por medio del índice de fragmentación del paisaje (mostrada a continuación) teniendo en cuenta que los procesos de fragmentación de hábitats afectan de manera especialmente directa a especies de elevado interés conservacionista con exigentes requerimientos de hábitat (Gurrutxaga, 2003) y con base en los resultados obtenidos en el primer objetivo. En la ecuación aplicada solo fue necesario calcular la distancia media desde una mancha o fragmento por medio de la herramienta de análisis espacial “Promedio de vecinos más cercanos” del software ArcGIS, el cual calcula un índice de vecino más cercano en base a la distancia promedio desde cada entidad hasta la entidad vecina más cercana<sup>11</sup>.

$$F = \left( \frac{\text{Superficie total del habitat}}{\text{numero de manchas} * Rc} \right)$$

$Rc$  = *dispersion de las manchas*

$$Rc = 2 dc \left( \lambda / \pi \right)$$

$dc$

= *distancia media desde el centro de una mancha hasta la mancha mas cercana*

$\lambda$  = *densidad media de manchas*

$$\lambda = \left( \frac{\text{numero de manchas}}{(\text{superficie total del area de estudio (Ha)}) * 100} \right)$$

---

<sup>11</sup> Help.arcgis.com, 2015

$$\begin{aligned} & (\text{superficie total del area de estudio (Ha)}) * 100 \\ & = \text{numero de manchas por cada 100 Ha} \end{aligned}$$

Posteriormente se le sumo a cada uno de los datos obtenidos, un valor correspondiente al Grado de intervención de las otras coberturas por las cuales se encontraba “amenazado”, calculado con base en la relación de áreas de coberturas en hectáreas.

5. Constante media de saturación (k): es necesario realizar la calibración del modelo, pasando el modelo una vez con el fin de encontrar el valor más alto de degradación y establecer la constante k para el paisaje. El modelo InVEST utiliza una curva media-saturación, que se utiliza para convertir los puntajes de degradación del hábitat a las puntuaciones de calidad de hábitat (Tallis et al., 2010). Una relación inversa entre la puntuación de la degradación y el nivel de calidad del hábitat está determinada por esta constante media de saturación.

El modelo de calidad de hábitat antes descrito se empleó para cada uno de los años en estudio (Anexos 5, 6 y 7 respectivamente), todos los conjuntos de datos se proyectaron en el sistema de referencia de Colombia, el cual corresponde a MAGNA – SIRGAS: MAGNA (marco geocéntrico nacional de referencia, SIRGAS (sistema de referencia geocéntrico para las américas), origen Bogotá.



## RESULTADOS

### *Transformación del paisaje*

Los resultados se presentaron inicialmente por cada año de estudio con respecto a la estructura y morfología del paisaje y posteriormente se realizó el análisis de la transformación del mismo, para profundizar en los patrones de cambio.

El área total de la zona de estudio (TLA), corresponde a 385 ha. Para el año 1940, el área (matriz) en general era de tipo rural, ya que predominaban las zonas pantanosas con un 72.24% del área total, seguida de pastos limpios con un 14.5% (figuras 12 y 13) (Anexo 8). Para este año se destaca que la cobertura de plantación forestal presenta el mayor número de parches (Nump) con un total de 21 y un tamaño promedio de parche (MPS) de 0.9 ha, seguido de las zonas pantanosas con 16 parches, con un tamaño promedio de parche de 17.4 ha, de la misma forma el menor número de parches están representados por tierras desnudas con un tamaño promedio de parche de 23.7 ha y ríos y drenajes con 4.7 ha (Figura 12).

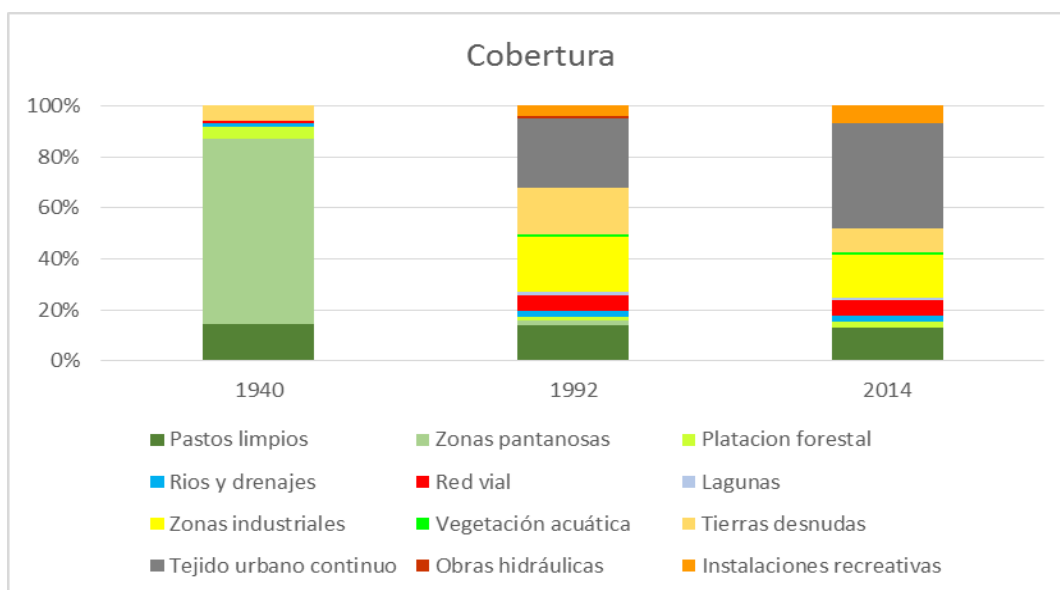


Figura 12. Cambio de cobertura del paisaje del Humedal El Tunjo (Bogotá, Colombia).

Para el año 1992 coberturas como zonas pantanosas y plantación forestal pasaron a ocupar un 2.23% y 1.33% del total del área (Figuras 12 y 13), disminuyendo en un 70% y 3,65% respectivamente, estos fueron los cambios más significativos. Coberturas como red vial y tierras desnudas aumentaron en un 5.42% y 12.05% respectivamente. Surgieron nuevas coberturas con amplios porcentajes de ocupación, como el tejido urbano continuo con un 27.25%,

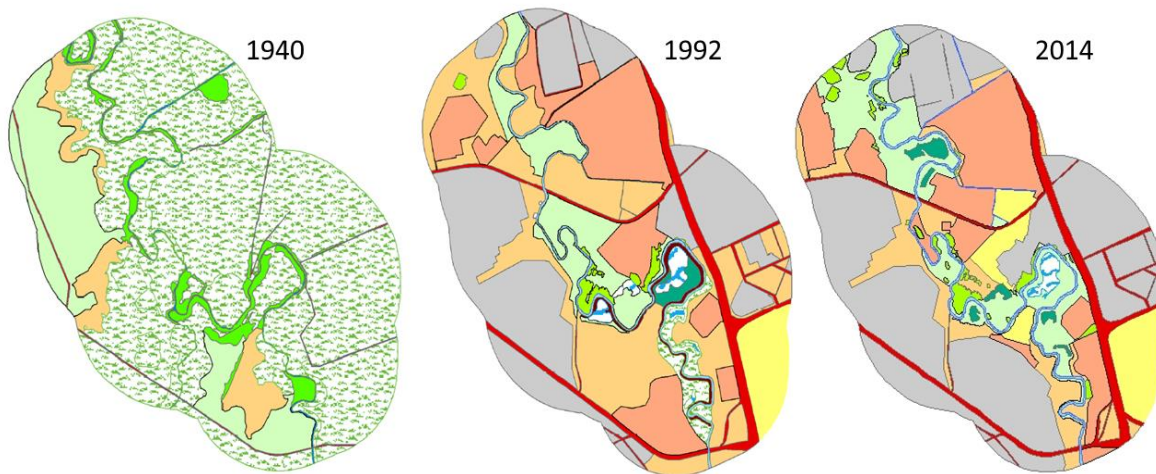
cobertura que ocupa para este año la mayor cantidad de área, seguida de las zonas industriales con un 21.77% y las tierras desnudas con un 18.21% (Figuras 12 y 13) (Anexo 9), finalmente la vegetación acuática ocupa un 0.72%. La cobertura con mayor número de parches fue la plantación forestal (18 parches), con un tamaño promedio de parche de 0.3 ha, seguido de los pastos limpios (17 parches) con tamaño promedio de 3.1 ha, tierras desnudas (13 parches), con tamaño promedio de 5.4 ha y el tejido urbano continuo (12 parches) con tamaño promedio de 8.7 ha (Figura 12).

Para 2014 desaparecen dos coberturas, las zonas pantanosas y las obras hidráulicas. Esta última continúa como elemento del paisaje, pero actualmente la cubre una cobertura de pastos limpios y plantación forestal. Se evidencia la disminución de coberturas como tierras desnudas (8.95%), lagunas (0.7%) e industrias (4.86%). Se registran intensos procesos de urbanización, que generaron un aumento del 14.11% en el tejido urbano continuo, el cual continúa siendo predominante en el paisaje, ocupando el 41.36% del área total. De igual forma, se evidenció un aumento en la cobertura de instalaciones recreativas (2.86%), plantación forestal (0.73%) y vegetación acuática (0.33%) (Figuras 12 y 13) (Anexo 10).

Se evidencia que para el paisaje de 2014 el mayor número de parches está representado por la cobertura de plantación forestal con un total de 36, y un tamaño promedio de parche de 0.2 ha, seguido por tierras desnudas y degradadas (16 parches), con un tamaño promedio de parche de 2.22 ha, red vial (3 parches) con un tamaño promedio de parche de 8.13 ha y zonas industriales o comerciales (12 parches) con un tamaño promedio de parche de 5.42 ha (Figura 12).

El índice de diversidad de Shannon que se refiere a la variedad de coberturas, varió de 0.94 en 1940 a 1.94 en 1992 y a 1.76 en 2014; mientras que el índice de igualdad de Shannon que se refiere a la equitatividad de las coberturas, varió de 0.51 en 1940 a 0.77 en 1992 y a 0.76 en 2014 (Figura 14).

### COBERTURA DEL SUELO



#### Convenciones

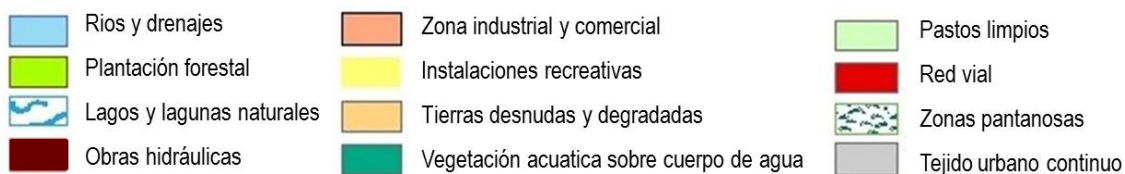


Figura 13. Cambio de cobertura del suelo del paisaje del Humedal El Tunjo (Bogotá, Colombia) para el periodo de tiempo comprendido entre 1940-2014.

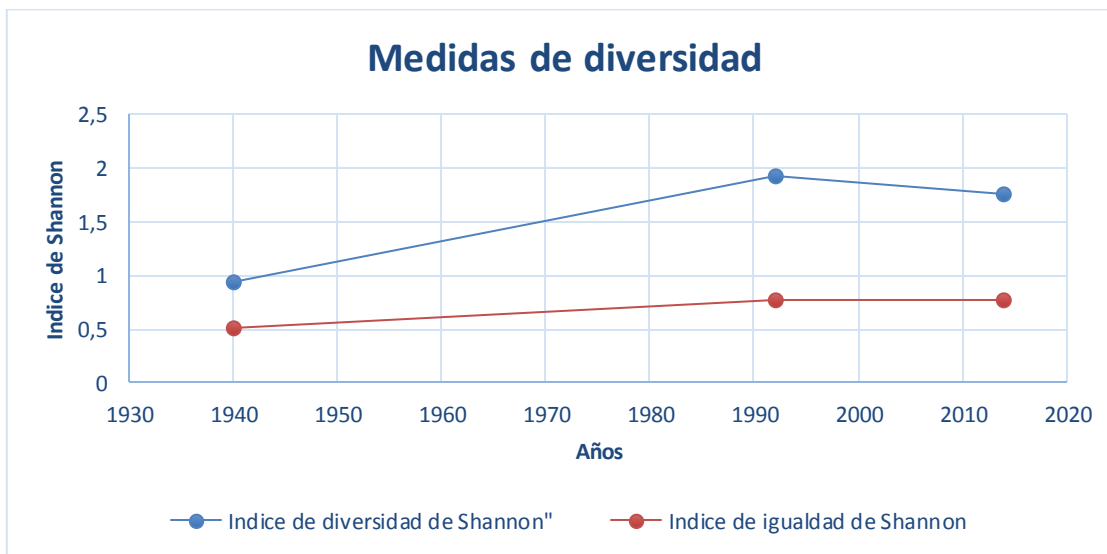


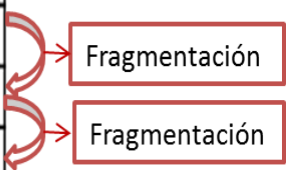
Figura 14. Medidas de diversidad del paisaje del Humedal El Tunjo (Bogotá, Colombia) para el periodo comprendido entre 1940-2014.

### Patrón de transformación

La utilización de las medidas de borde (Borde total), donde se suma el total del perímetro de todos los parches, muestra que el número de parches aumenta, el tamaño promedio del parche disminuye y la longitud total del borde aumenta (Tabla 8), lo que quiere decir un proceso de transformación espacial del paisaje de fragmentación para 1940-1992 y 1992-2014.

Tabla 8. Patrones de transformación del paisaje del Humedal El Tunjo (Bogotá, Colombia).

Año	No de parches NumP	Promedio tamaño del parche MPS	Borde total TE
1940	46	8,38	113301,59
1992	88	4,38	125678,10
2014	109	3,53	131693,47



### Valoración biofísica del servicio ecosistémico de provisión de hábitat

El año 1940, presentó altos niveles de calidad en la mayor parte de la zona de estudio, lo cual corresponde a un 75.48% del área total, mientras que para los niveles medio y bajo el porcentaje fue de 6.4% y 18.13% respectivamente (Figura 15 y 16) (Anexo 11).

El año 1992 mostro una superioridad de bajos niveles de calidad (áreas de color morado, Figura 15 y 16) (Anexo 12) con un 85.90% del área total, por su parte el nivel de calidad aumentó a medida que se acercó a las coberturas naturales, como el rio y el humedal, representando los niveles medios de calidad con el 10.1%, y finalmente los altos niveles se concentraron en el rio y en algunas zonas del humedal, teniendo una presencia del 3.96%.

El año 2014 reduce casi en un 100% los niveles altos de calidad de hábitat respecto al año 1940, debido a que una proporción muy pequeña del paisaje que corresponde al 0.42% ofrece alta calidad del hábitat y altos valores de biodiversidad encontrados únicamente en algunas zonas del rio, mientras que los bajos niveles son los que predominan con un área de 94.98% del área total y los niveles medios que corresponden a un 4.56% (Figura 15 y 16) (Anexo 13).

Las coberturas naturales mejor conservadas como es el caso del humedal y ríos y drenajes tuvieron una mayor calidad de hábitat en todos los años, sin embargo fue disminuyendo a través del tiempo hasta alcanzar niveles medios de

calidad, debido a que el porcentaje de degradación de las mismas fue muy alto y la intensidad de las amenazas fue aumentando.

La prestación del servicio ecosistémico de provisión de hábitat en la zona de estudio, se redujo significativamente en un periodo de tiempo de 74 años (1940 – 2014), lo que se puede explicar por los cambios de uso del suelo y aumento de las amenazas antropogénicas. Zonas urbanas junto a la infraestructura vial, tierras desnudas y degradadas, y zonas industriales y comerciales fueron identificadas como las principales amenazas antropogénicas que causan pérdida de hábitat, debido a que las zonas que presentaban mayor influencia de estos usos, muestran mayores niveles de degradación y por lo tanto menores niveles de calidad de hábitat afectando a la biodiversidad.

En general, la calidad del hábitat se degradó en la medida que cambió y aumentó la intensidad de usos del suelo Nelleman 2001, en (Sharp et al., 2015), por esto algunos lugares de la zona de estudio se encuentran con una limitada capacidad de prestación del Servicio Ecosistémico debido a que ya han alcanzado su máximo grado de intervención.

Se puede decir que los niveles de alta calidad de hábitat de la zona de estudio se redujeron en un 99.4%, teniendo en cuenta que los niveles más altos de calidad de hábitat se evidenciaron en 1940, y los más bajos en el 2014 pasando de 75.48% a 0.42% respectivamente.

En la figura 15 se evidencia que los valores mínimos de calidad de hábitat para todos los años fue de 0 (lo que indica que todos los años tuvieron los niveles más bajos de calidad de hábitat) aunque no fuera tan representativo en 1940, y los valores máximos fueron de 1, 0.98 y 0.89 para 1940, 1992 y 2014 respectivamente, lo que quiere decir que aunque todos estén en rangos de alta calidad de hábitat, se ha perdido a través del tiempo no solo área de alta calidad sino que sus niveles han disminuido, como el caso del año 2014, en donde el valor máximo de calidad de hábitat ya no corresponde a 1 sino a 0.8904.

De la misma forma se evidenció un aumento en el área a través del tiempo en los niveles de baja calidad de hábitat, que pasó de 69.84 ha a 365,65 ha (tabla 9), lo que es un área considerable si se tiene en cuenta que el total del área de estudio correspondía a 385 hectáreas.

La Figura 16 y Anexos 11, 12 y 13, muestra la variación para un periodo de 74 años, de la prestación del SE de provisión de hábitat, valorado biofísicamente por medio del modelo de Calidad de Hábitat de InVEST, en el cual las áreas con alta calidad se identifican con valores cercanos a 1, mientras que los valores cercanos a cero indican baja calidad.

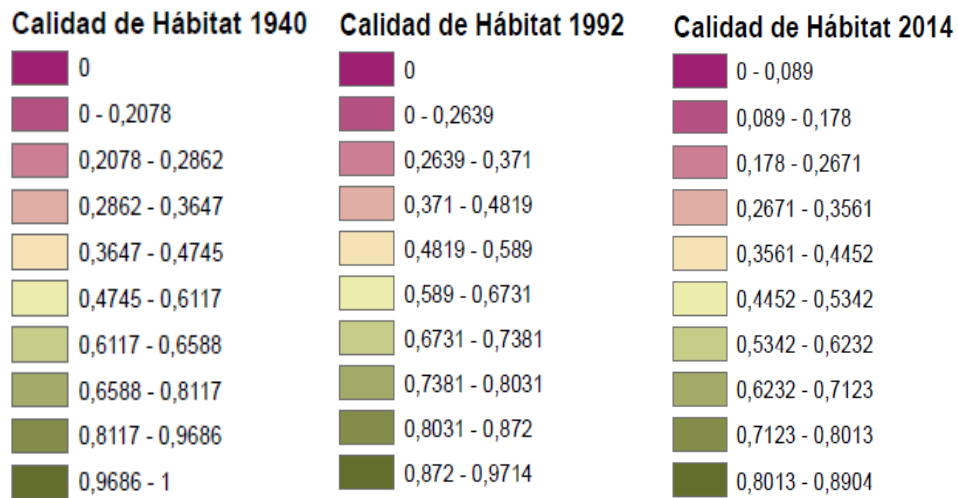


Figura 15. Rangos de Calidad de Hábitat para la zona de estudio.

Tabla 9. Áreas por rango de calidad de hábitat para cada año de estudio.

CALIDAD DE HÁBITAT	ÁREAS POR AÑO (Ha)		
	1940	1992	2014
BAJA	69,84	330,72	365,65
MEDIA	24,67	38,88	17,55
ALTA	290,61	15,24	1,61

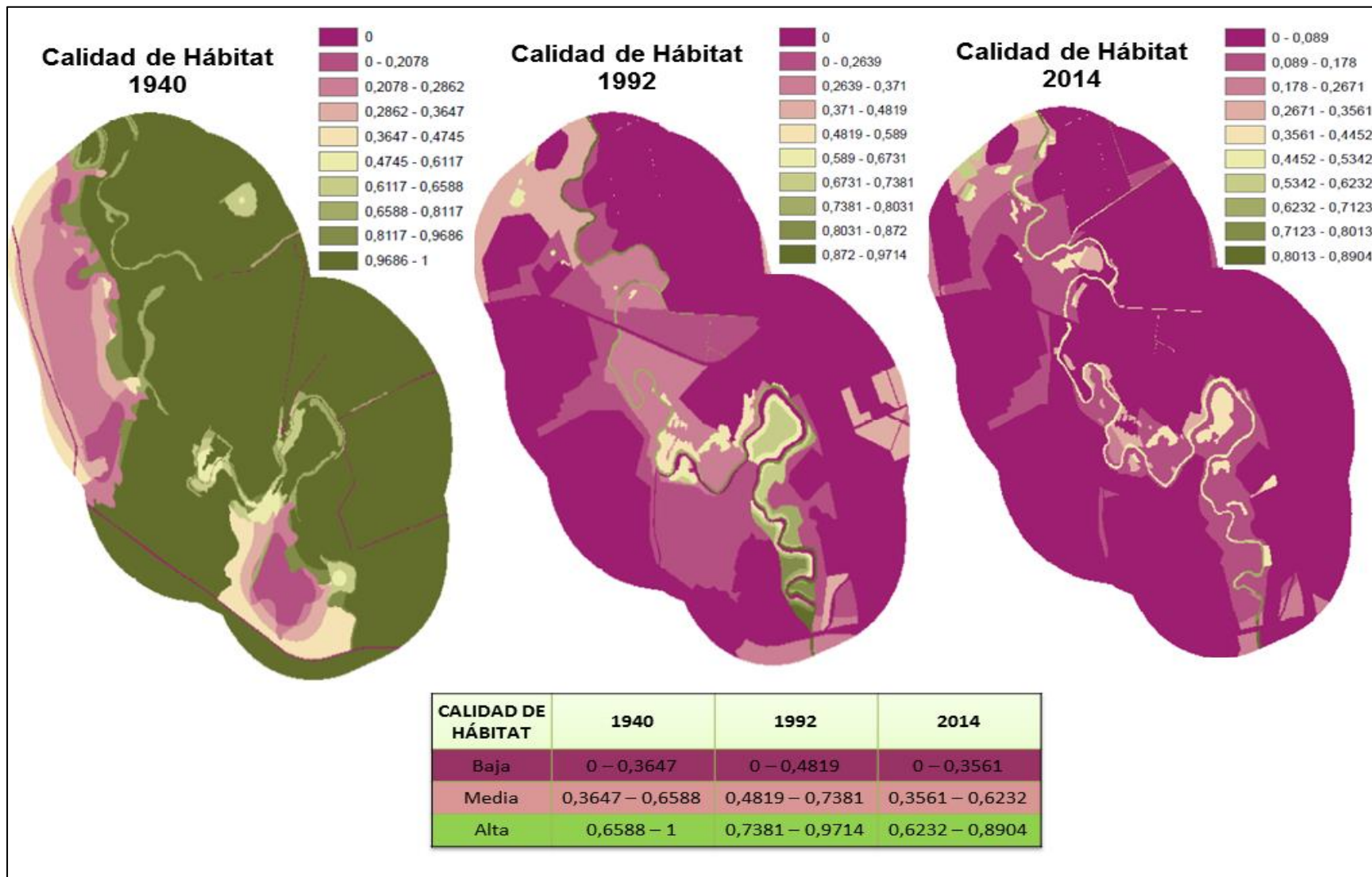


FIGURA 16. SERVICIO ECOSISTÉMICO DE PROVISIÓN DE HÁBITAT OFRECIDO POR EL HUMEDAL EL "TUNJO" DESDE 1940 A 2014.



## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos demostraron que el proceso de reducción y pérdida de las coberturas naturales fue debilitando progresivamente el ecosistema, hasta fragmentarlo, lo cual generó cambios en los niveles de calidad de hábitat y de los servicios ecosistémicos en general, teniendo en cuenta que éste, es un servicio de soporte que permite un buen estado y funcionamiento de la estructura y funciones de los ecosistemas.

Los resultados de este estudio muestran una disminución de la cobertura del humedal en un 70% entre 1940 y 1992, lo que se debe al incremento de zonas urbanas antes inexistentes (27.2% del área total), seguido de las zonas industriales (21.8 %). Este incremento fue promovido con la Ley 88 de 1947 cuyo objetivo era fomentar el desarrollo urbanístico de la ciudad, y con la expedición del Decreto Legislativo 3640 de 1954 (organización del Distrito Especial de Bogotá) y su Ordenanza 7 (incorporación de seis Municipios al Municipio de Bogotá); lo cual impulsó la ocupación de nuevos espacios en la sabana de Bogotá y promovió la incorporación de áreas urbanas y rurales de municipios vecinos, tales como: Usaquén, Suba, Engativá, Fontibón, Bosa, Usme y el páramo de Sumapaz (Anexo 14). Esto, según Osorio (2007), significó la incorporación total de la cuenca del río Tunjuelo al contexto administrativo y territorial de Bogotá. Adicionalmente, con la expedición del Acuerdo 30 de 1961 que estableció la aprobación de los planos relacionados con la lotificación en el área del Distrito y el Acuerdo 7 de 1979 que promovió el crecimiento físico hacia el sur y occidente de la ciudad.

Esta situación, al parecer es la misma para todos los humedales de la ciudad. Por ejemplo, Ortiz (2014) al estudiar los cambios históricos en coberturas y cambios recientes en la comunidad de aves del humedal Córdoba entre 1956 y 2009, encontró una reducción del área original, que paso de 76,4 ha a 43 ha. De igual forma, encontró una variación en las coberturas circundantes que se constituyen en amenazas, las cuales pasaron de áreas de cultivos y ganadería, a una matriz circundante plenamente urbana consecuencia del proceso de rápida y desordenada urbanización en la ciudad.

Por su parte Batista y Rodriguez (2012), analizaron los patrones del paisaje y de coberturas del suelo de los humedales La Conejera, Santa María del Lago y Techo entre 1938 y 2009 (71 años). Las autoras reportaron una pérdida de la cobertura de los humedales Santa María del Lago y Techo de más del 70%, y del humedal la Conejera del 35%. De igual forma, las autoras encontraron una disminución de la zona pantanosa similar a la registrada en el presente estudio (70%), pero en un lapso de tiempo más corto (52 años), y que también se explica por la expedición de normas que promovieron el crecimiento físico hacia el sur y



occidente de la ciudad (Acuerdo 7 de 1979) y a la construcción de obras hidráulicas implementadas desde 1980 sobre el río Tunjuelo.

El cambio de matriz de rural a urbana en el humedal El Tunjo se dio en algún momento entre 1940 y 1992. En el caso del humedal Santa María del Lago, el cambio de matriz rural a urbana fue evidente entre 1956 y 1967, esto debido posiblemente a su ubicación. Los demás humedales, Techo y Conejera mostraron estos cambios en los años 90, al igual que el Humedal El tunjo. Según Wallner (1975), la integración de municipios a ciudades centrales acelera la expansión urbana, y la dispersión de áreas construidas se manifiesta en un rápido desarrollo de las mismas. Estos procesos son más rápidos cuanto más cerca se encuentre el ecosistema transformado de la fuente de transformación.

En la actualidad, los resultados de este estudio muestran que entre 1992 y 2014, el humedal paso a ser un reducido complejo lagunar (2.47 ha) con áreas cubiertas por vegetación acuática (4,04 ha). Este puede ser el resultado de la construcción de obras hidráulicas (Jarillones) sobre el río Tunjuelo que se dieron a partir de 1980, y que pretendían mitigar las inundaciones. Estas obras hidráulicas implicaron la remoción de la vegetación y el aumento de los niveles de escorrentía, erosión y sedimentación del río (Osorio 2007), lo cual tuvo repercusiones en la estructura y el funcionamiento del humedal. Situación similar se presentó con los humedales de Santa María del Lago, Conejera y Techo (Batista y Rodríguez, 2012).

El proceso de fragmentación encontrado para este humedal, se ve reflejado en el índice de diversidad de Shannon, el cual muestra un incremento de la diversidad de coberturas, especialmente entre 1940 y 1992, y que disminuye entre 1992 y 2014. Por su parte el índice de igualdad muestra el mismo patrón presentando una distribución equitativa entre los parches. Es importante señalar que la forma lobular del área de estudio puede incidir en los resultados de fragmentación, dado que las coberturas antrópicas son geométricas en comparación con las naturales que son más lobulares.

La calidad del hábitat del humedal disminuyó progresivamente con el proceso de fragmentación. Aunque para 1940 el paisaje ya estaba fragmentado, el tamaño promedio de los parches era de 8.4 ha, el cual se redujo a 3.5 ha en 2014. Esta disminución del tamaño del parche, está claramente asociada a la disminución de la calidad de hábitat, que se redujo en un 99% limitando las posibilidades de sostenimiento de especies típicas residentes y migratorias.

Los resultados de este estudio evidencian que la calidad del hábitat del humedal se encuentra altamente amenazada, aun cuando se encuentre en estado

de protección, ya que los niveles de calidad de hábitat, se han reducido considerablemente desde 1940. Esto lo determinan las amenazas registradas en el presente estudio. En 1940 la calidad de hábitat tenía valores cercanos a 1, que se consideran valores óptimos de calidad, pero estas zonas ocupaban 290.6 ha (75.4% del área total) y sus mayores amenazas eran las vías, el terreno descubierto, la plantación forestal y los pastos, mientras que en 2014 el área con altos niveles de calidad de hábitat es de tan solo 1.6 ha (0.4% del área total), pero las amenazas son mucho mayores: tejido urbano, industrias, instalaciones recreativas y vías de mayor tamaño, entre otras, aumentaron. Las áreas que presentaron mejor calidad de hábitat son las menos intervenidas y/o las de menor accesibilidad, al igual que lo reporta García (2009) haciendo este análisis sobre diferentes usos del suelo.

Los resultados del presente estudio muestran que la transformación del paisaje tuvo un efecto directo sobre la prestación del servicio de provisión de hábitat. En 1940 cuando la matriz del paisaje era completamente rural y la mayor parte del área de estudio correspondía a zonas pantanosas propias de humedal, y el contacto directo a tierras desnudas y degradadas (Figura 16), muestra claramente una disminución del valor de calidad de hábitat, el cual fue mayor cuando el contacto fue con pastos, e incluso vías y aún mayor cuando el contacto fue con plantaciones forestales. Estos resultados muestran que cuanto más antrópica es la amenaza mayor es la pérdida de la calidad de hábitat del ecosistema natural.

Cuando se realizó el mismo análisis para 1992, el “área núcleo” que aún quedaba de humedal (Figura 16) tenía una mayor calidad de hábitat, mientras que las áreas borde que estaban en contacto directo con las coberturas amenazantes presentaron menor calidad de hábitat. Estos resultados muestran claramente la respuesta al efecto de la transformación. Mientras en 1940, la mayor parte de la cobertura de humedal presentaba alta calidad de hábitat y sólo las zonas de borde directo con la cobertura amenazante tenían menor calidad de hábitat, en 1992 sólo el cauce del río y unas pocas zonas pantanosas aún conservaban una calidad media a alta. La cual para 2014 estuvo en los valores bajos del rango medio.

La disminución en la provisión de hábitat descrita anteriormente es el resultado de los fuertes procesos de transformación del paisaje, el emplazamiento de zonas industriales, densas urbanizaciones y obras hidráulicas, las cuales hicieron que el humedal el Tunjo, se redujera en unos complejos lagunares que hoy en día se secan completamente en época de verano. Lo anterior demuestra que el humedal no está cumpliendo todas sus funciones, en particular la función de retención de agua y provisión de hábitat para diversas especies.

En este estudio no se hicieron mediciones de diversidad, sin embargo, teniendo en cuenta que las áreas que presentan mejor calidad de hábitat son las menos intervenidas y/o las de menor accesibilidad (García, 2009) y que un ecosistema con buena calidad muestra poca alteración y por ello, constituye un mejor servicio ambiental (Lara et al. 2010), los resultados de este estudio muestran que el humedal El Tunjo no presenta las condiciones necesarias para el mantenimiento de la diversidad.

Esta situación plantea varios interrogantes que deberán ser respondidos en estudios posteriores, entre ellos, ¿Cuál es el estado real de conservación de las poblaciones de flora y fauna presentes en la zona? ¿Cuál ha sido el impacto que esta transformación ha tenido sobre estas poblaciones? Pero es necesario ir más allá, ¿Cuál es el impacto que ha tenido esta transformación en los demás servicios ecosistémicos que presta el humedal, especialmente los hidrológicos?, ¿Cuál es el efecto que tiene el cambio climático sobre estos ecosistemas ya transformados? y ¿Cuál es el papel que desempeñarán estos ecosistemas en los procesos de adaptación al cambio climático de la ciudad?

## **CONCLUSIONES**

1. El complejo lagunar del humedal el tunjo, en los últimos 74 años ha presentado intensas variaciones en su estructura ecosistémica y paisajística, en cuanto al número, forma y tamaño de parches de cada una de las coberturas identificadas, observándose una considerable transformación del paisaje y por consiguiente una disminución de sus niveles de calidad de hábitat.
2. Este estudio puede ser replicado en otros humedales de la ciudad y del país, debido a que los datos con los que trabaja el modelo están disponibles o son fáciles de elaborar, arrojando líneas base para la toma de decisiones sobre la planificación y el ordenamiento del territorio.
3. Los cambios de usos del suelo que pasaron de tipo rural a densamente urbanizados amenazan de forma latente la integridad del hábitat en general.
4. Los resultados de este trabajo son un aporte que puede realizar la ingeniería geográfica y ambiental para el cumplimiento y el diseño de políticas ambientales y del ordenamiento del territorio, como la Estrategia Nacional y Plan de Acción en Biodiversidad (EPANB).

## **RECOMENDACIONES**

1. Los resultados obtenidos ratifican la necesidad de aplicar estrategias de recuperación del humedal, con el fin de reducir la fragmentación y aumentar la conectividad y la biodiversidad.
2. El humedal, además de contar con la protección legal actual, debería tener una pronta intervención que promueva la conservación del mismo, teniendo en cuenta que se encuentra expuesto a fuertes amenazas que aumentan con el paso del tiempo y limitan sus capacidades de prestación de Servicios Ecosistémicos. Esto se puede llevar a cabo por medio de procesos investigativos desarrollados desde la academia, entidades y organizaciones ambientales, que estén orientadas hacia la restauración de servicios ecosistémicos, no sólo para el ser humano sino para el mantenimiento de la diversidad.
3. Se resalta la importancia de incluir este tipo de estudios en las políticas de conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, de manera

que sea un mecanismo de integración de las diferentes dimensiones que componen el territorio. Como ejemplo de ello se propone que con base en los resultados de esta investigación y estudios ya realizados o que se estén realizando en el humedal, se elabore lo más pronto posible un Plan de Manejo Ambiental. Que se permitan llevar a cabo proyectos de recuperación propuestos por las diferentes entidades educativas y grupos sociales ambientalistas principalmente de las localidades de Ciudad Bolívar Y Tunjuelito, con el fin de que la comunidad continúe con el proceso de apropiación y recuperación del ecosistema.

4. Con el fin de evitar que la calidad de hábitat se continúe reduciendo en el humedal, se recomienda que dentro de las medidas de manejo se proponga controlar la distancia de los usos o actividades que han propiciado el deterioro del ecosistema en general y exigir compensaciones por parte de aquellas industrias que están sobre el humedal.
5. El estudio permite identificar la importancia de la geografía ambiental, y su relación con SE mapeados al permitir monitorear de forma múltiescalar, reconocer conflictos, formular e implementar políticas de estado sobre determinados aspectos ambientales, tomar decisiones sobre la planificación del uso del territorio y un manejo integrado de cuencas hidrográficas.

## ANEXOS

### *Anexo 1. Crecimiento poblacional y urbano de Bogotá.*

Evolución de la población total de Bogotá	
Año del censo	Población total
1843	40086
1881	84723
1907	116951
1918	143994
1928	235421
1938	330312
1951	715250
1964	1697311
1973	2855065
1985	4441470
1993	5484244
2005	6778691

Tasa de crecimiento urbano de Bogotá (1918-2005)	
Años	Tasa de crecimiento promedio anual de Bogotá
1918-1928	5,04
1928-1938	3,45
1938-1950	6,27
1950-1955	6,99
1955-1960	7
1960-1965	6,77
1965-1970	5,84
1970-1975	4,87
1975-1980	2,96
1980-1985	2,96
1985-1990	2,97
1990-1995	2,95
1995-2000	2,92
2000-2005	2,91
2005-2010	2,47

Fuente: Censo 1918, 1928, 1938, 1951, 1964, 1973, 1985. Saldarriaga Roa A, Fuente: (2000)/ DANE. Tomado de: (Beuf, n.d.).

*Anexo 2. Cantidad de población por localidades de Bogotá desde 1973.*

<b>Población Ajustada de Bogotá D.C., por localidad</b>				
<b>Localidades</b>	<b>1973<sup>1</sup></b>	<b>1985<sup>2</sup></b>	<b>1993<sup>2</sup></b>	<b>2005<sup>3</sup></b>
	<b>24 de octubre</b>	<b>15 de octubre</b>	<b>24 de octubre</b>	<b>30 de junio</b>
<b>Total</b>	<b>2.496.172</b>	<b>4.262.127</b>	<b>5.440.401</b>	<b>6.840.115</b>
Kennedy	195.955	561.710	758.870	951.073
Suba	97.459	334.700	564.658	923.064
Engativá	319.367	530.610	671.360	804.470
Ciudad Bolívar	35.451	326.118	418.609	570.619
Bosa	23.871	122.737	215.816	508.828
Usaquén	71.427	216.320	348.852	425.192
San Cristóbal	177.445	346.001	439.559	407.552
Rafael Uribe	255.454	283.213	379.259	378.164
Fontibón	90.060	166.427	201.610	301.375
Usme	6.394	164.847	200.892	298.992
Puente Aranda	221.776	305.123	282.491	253.638
Barrios Unidos	221.839	199.701	176.552	223.073
Tunjuelito	164.871	85.217	204.367	184.528
Teusaquillo	127.251	132.501	126.125	137.530
Chapinero	90.324	110.235	122.991	122.827
Antonio Nariño	116.283	111.247	98.355	116.828
Santa Fe	118.130	120.694	107.044	109.107
Los Mártires	127.768	113.778	95.541	94.842
La Candelaria	35.047	30.948	27.450	22.621
Sumapaz				5.792

Fuente: (CCRP)<sup>1</sup> Proyecciones de población del Distrito Capital y su distribución espacial al año 2010, (DANE)<sup>2</sup> Edición de información por localidades de Santafé de Bogotá Censo 1993 y (DANE)<sup>3</sup> Colombia. Proceso de conciliación censal 1985-2005.

*Anexo 3. Unidades de Coberturas de la Tierra presentes en el Territorio Nacional de Colombia*

<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>	<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMI-NATURALES</b>
<b>1.1. Zonas urbanizadas</b>	<b>3.1. Bosques</b>
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1. Bosque denso
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme
<b>1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación</b>	3.1.1.2. Bosque denso alto inundable
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme
1.2.2. Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable
1.2.3. Zonas portuarias	3.1.2. Bosque abierto
1.2.4. Aeropuertos	3.1.2.1. Bosque abierto alto de tierra firme
1.2.5. Obras hidráulicas	3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable
<b>1.3. Zonas de extracción minera y escombreras</b>	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme
1.3.1. Zonas de extracción minera	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable
1.3.2. Zonas de disposición de residuos	3.1.3. Bosque fragmentado
<b>1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas</b>	3.1.4. Bosque de galería y ripario
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.1.5. Plantación forestal
1.4.2. Instalaciones recreativas	<b>3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva</b>
<b>2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS</b>	3.2.1.1. Herbazal denso
<b>2.1. Cultivos transitorios</b>	3.2.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
2.1.1. Otros cultivos transitorios	3.2.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2.1.2. Cereales	3.2.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	3.2.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado
2.1.4. Hortalizas	3.2.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado
2.1.5. Tubérculos	3.2.1.2.3. Arracachal
<b>2.2. Cultivos permanentes</b>	3.2.1.2.4. Helechal
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2. Herbazal abierto
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso
2.2.1.2. Caña	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
2.2.1.3. Plátano y banano	3.2.2.1. Arbustal denso
2.2.1.4. Tabaco	3.2.2.2. Arbustal abierto
2.2.1.5. Papaya	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
2.2.1.6. Amapola	<b>3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación</b>
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	3.3.1. Zonas arenosas naturales
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	3.3.2. Afloramientos rocosos
2.2.2.2. Café	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
2.2.2.3. Cacao	3.3.4. Zonas quemadas
2.2.2.4. Viñedos	3.3.5. Zonas glaciares y nivales
2.2.2.5. Coca	<b>4. ÁREAS HUMEDAS</b>
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	<b>4.1. Áreas húmedas continentales</b>
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	4.1.1. Zonas Pantanosas
2.2.3.2. Palma de aceite	4.1.2. Turberas
2.2.3.3. Cítricos	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
2.2.3.4. Mango	<b>4.2. Áreas húmedas costeras</b>
2.2.4. Cultivos agroforestales	4.2.1. Pantanos costeros
2.2.5. Cultivos confinados	4.2.2. Salitral
<b>2.3. Pastos</b>	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
2.3.1. Pastos limpios	<b>5. SUPERFICIES DE AGUA</b>
2.3.2. Pastos arbolados	<b>5.1. Aguas continentales</b>
2.3.3. Pastos enmalezados	5.1.1. Ríos (50 m)
<b>2.4. Áreas agrícolas heterogéneas</b>	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
2.4.1. Mosaico de cultivos	5.1.3. Canales
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	<b>5.2. Aguas marítimas</b>
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	5.2.1. Lagunas costeras
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	5.2.2. Mares y océanos
	5.2.3. Estanques para acuicultura marina

Fuente: Grupo Coberturas de la Tierra. IDEAM, 2010



*Anexo 4. Fotografías aéreas e imagen satelital del área de estudio.*

**1940**

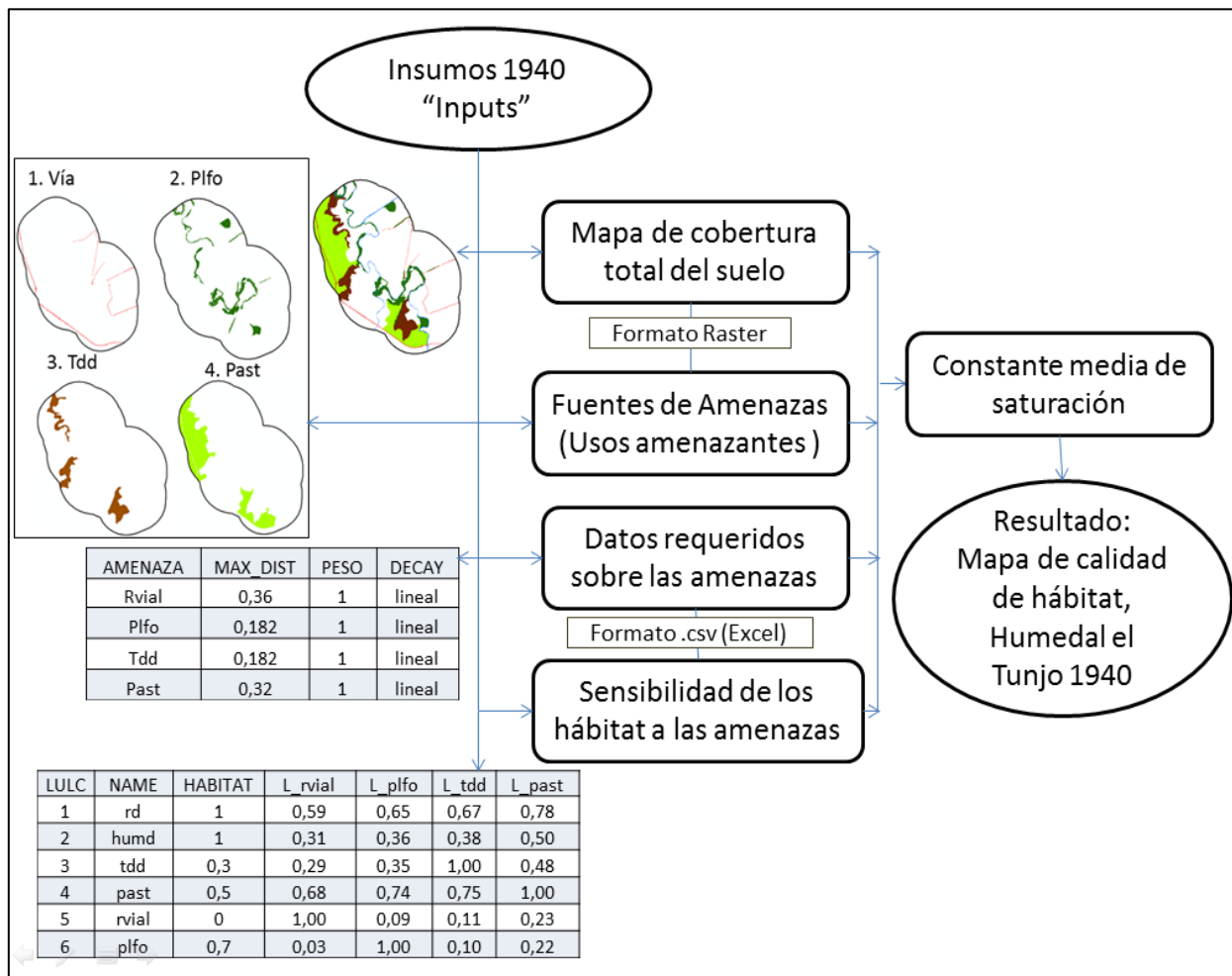
**1992**

**2014**



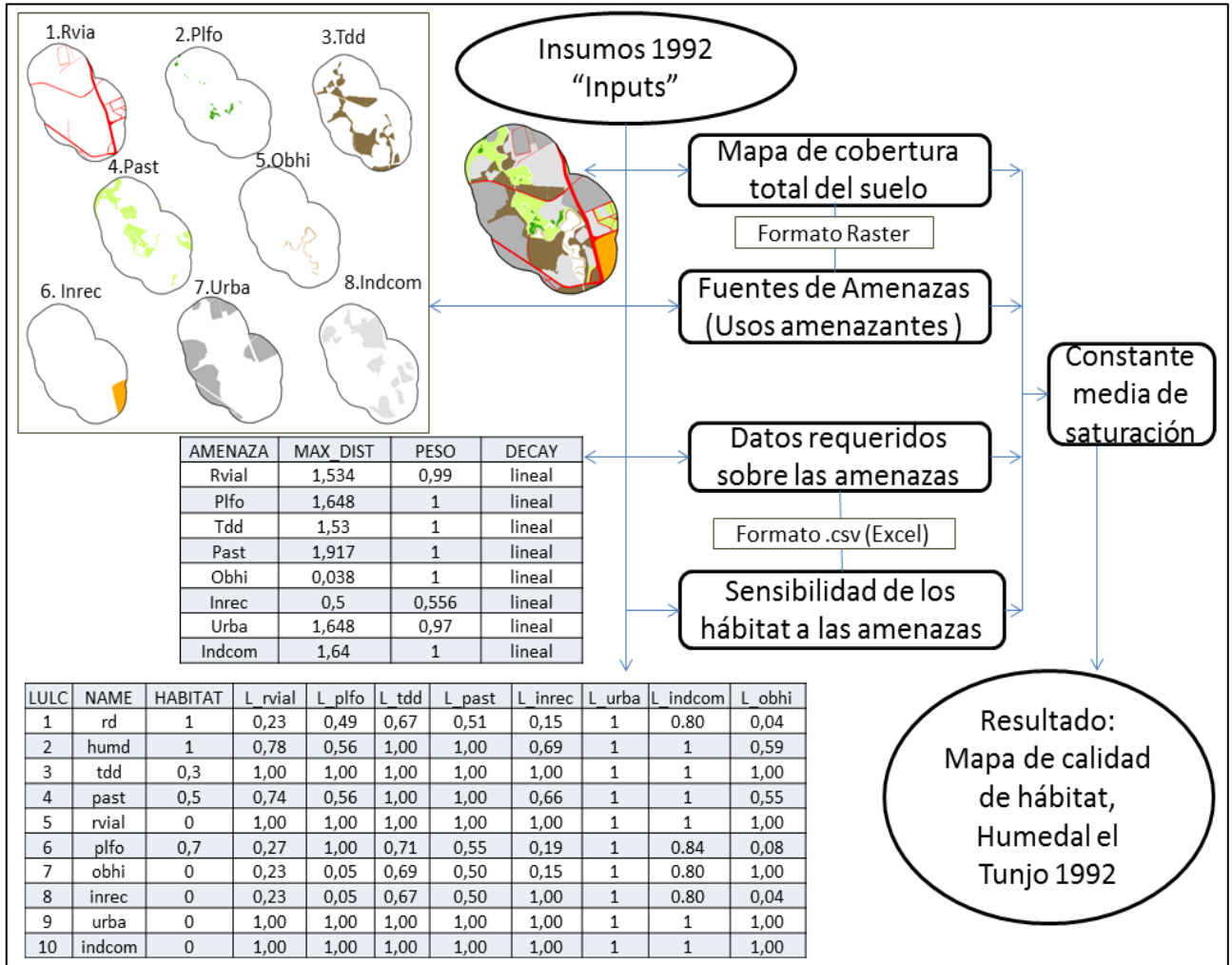
Fuente: (IGAC 1940, 1992) y (Sasplanet, 2014)

Anexo 5. Insumos requeridos para ejecutar el modelo de calidad del hábitat para el año 1940.



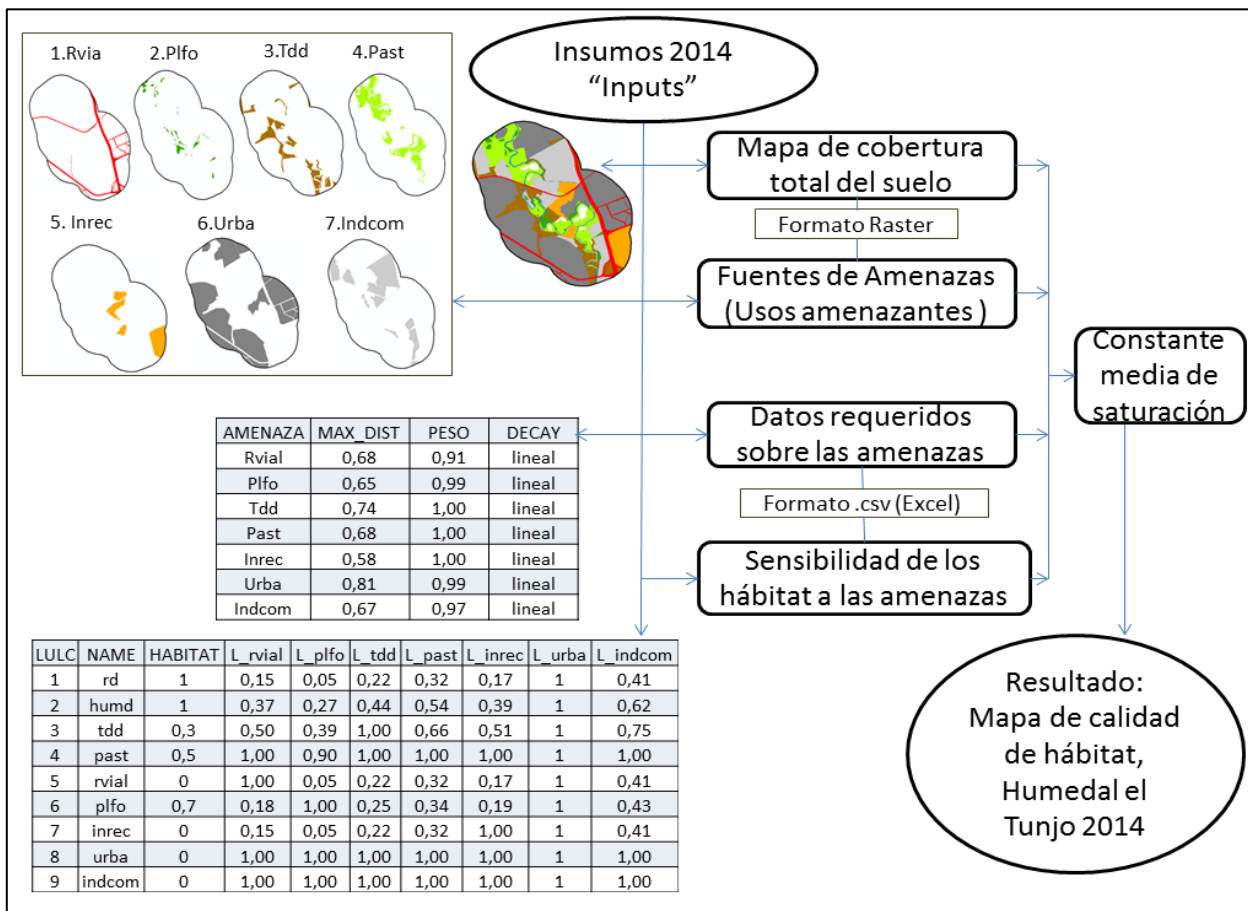
Fuente: elaboración propia.

Anexo 6. Insumos requeridos para ejecutar el modelo de calidad del hábitat para el año 1992.



Fuente: elaboración propia.

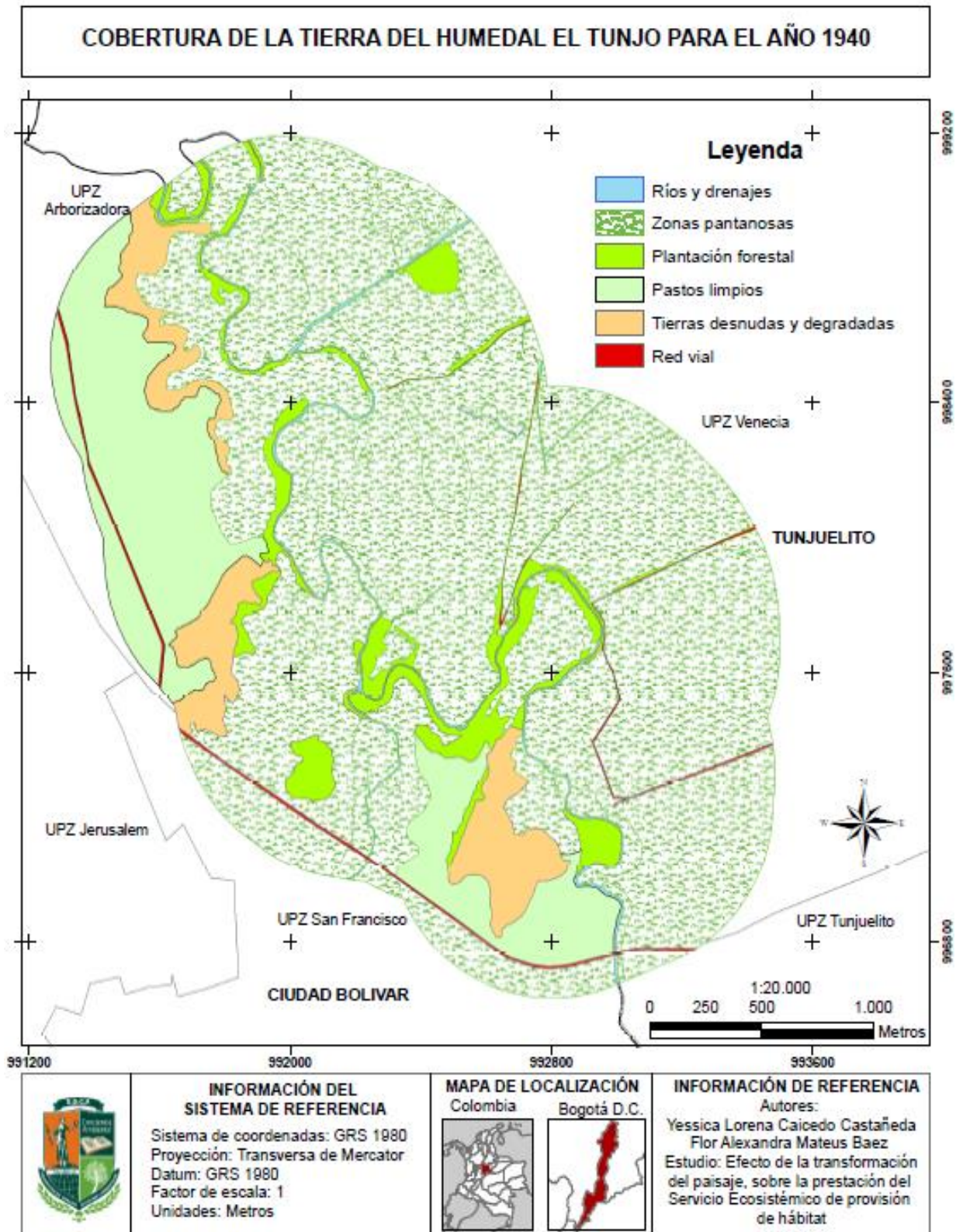
Anexo 7. Insumos requeridos para ejecutar el modelo de calidad del hábitat para el año 2014.



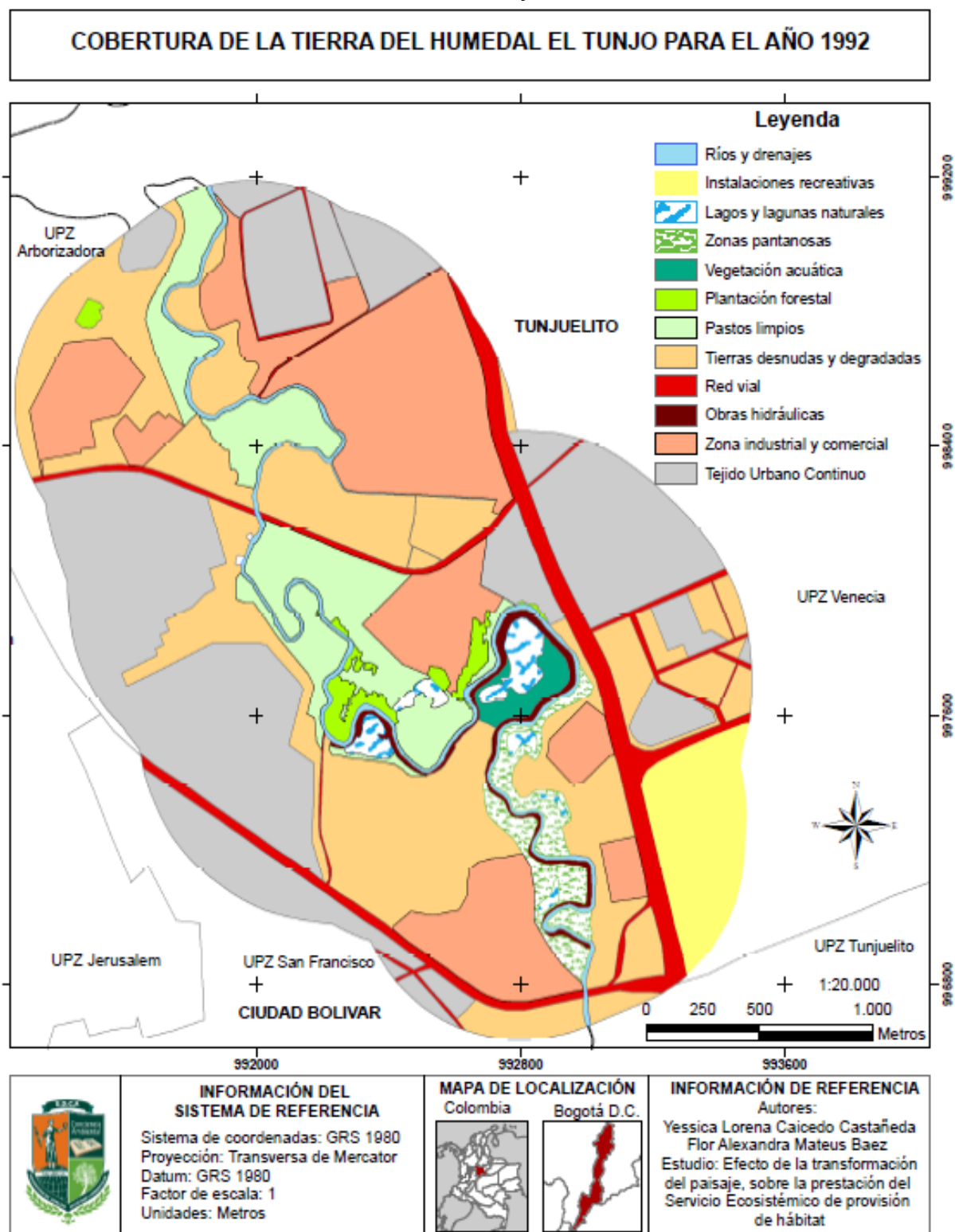
Fuente: elaboración propia.



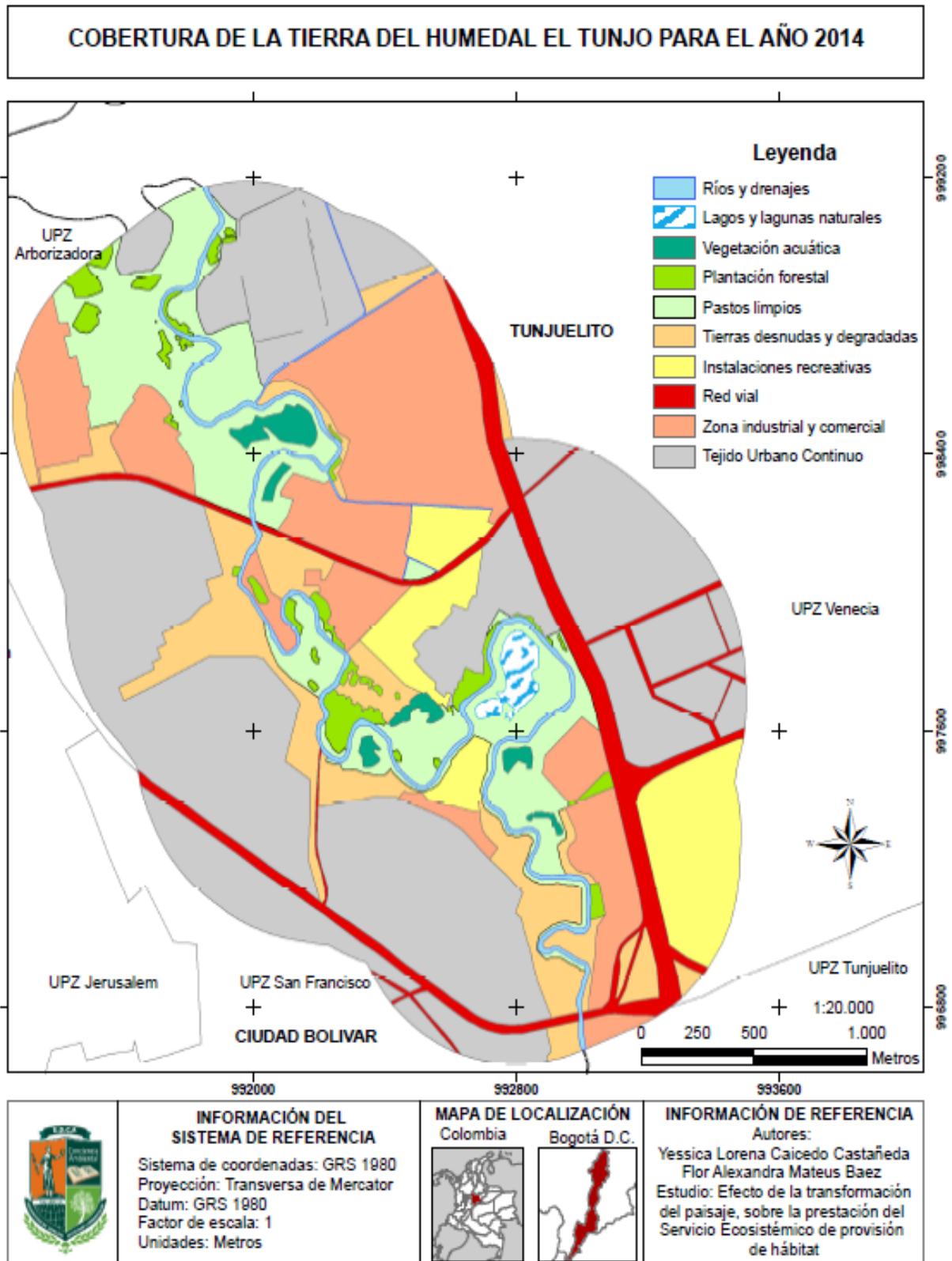
Anexo 8. Cobertura de la Tierra del Humedal el Tunjo - año 1940.



Anexo 9. Cobertura de la Tierra del Humedal el Tunjo - año 1992.

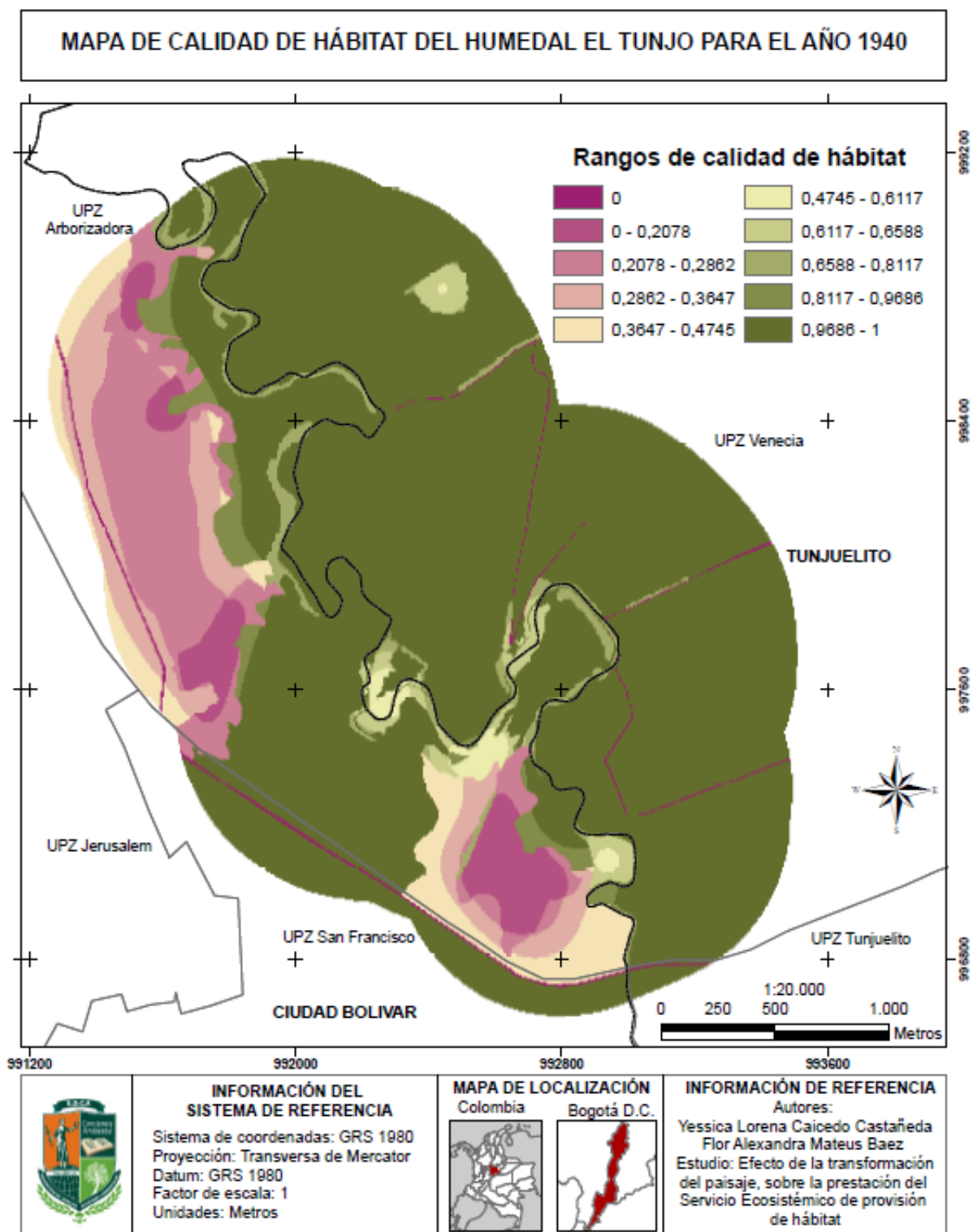


Anexo 10. Cobertura de la Tierra del Humedal el Tunjo - año 2014.



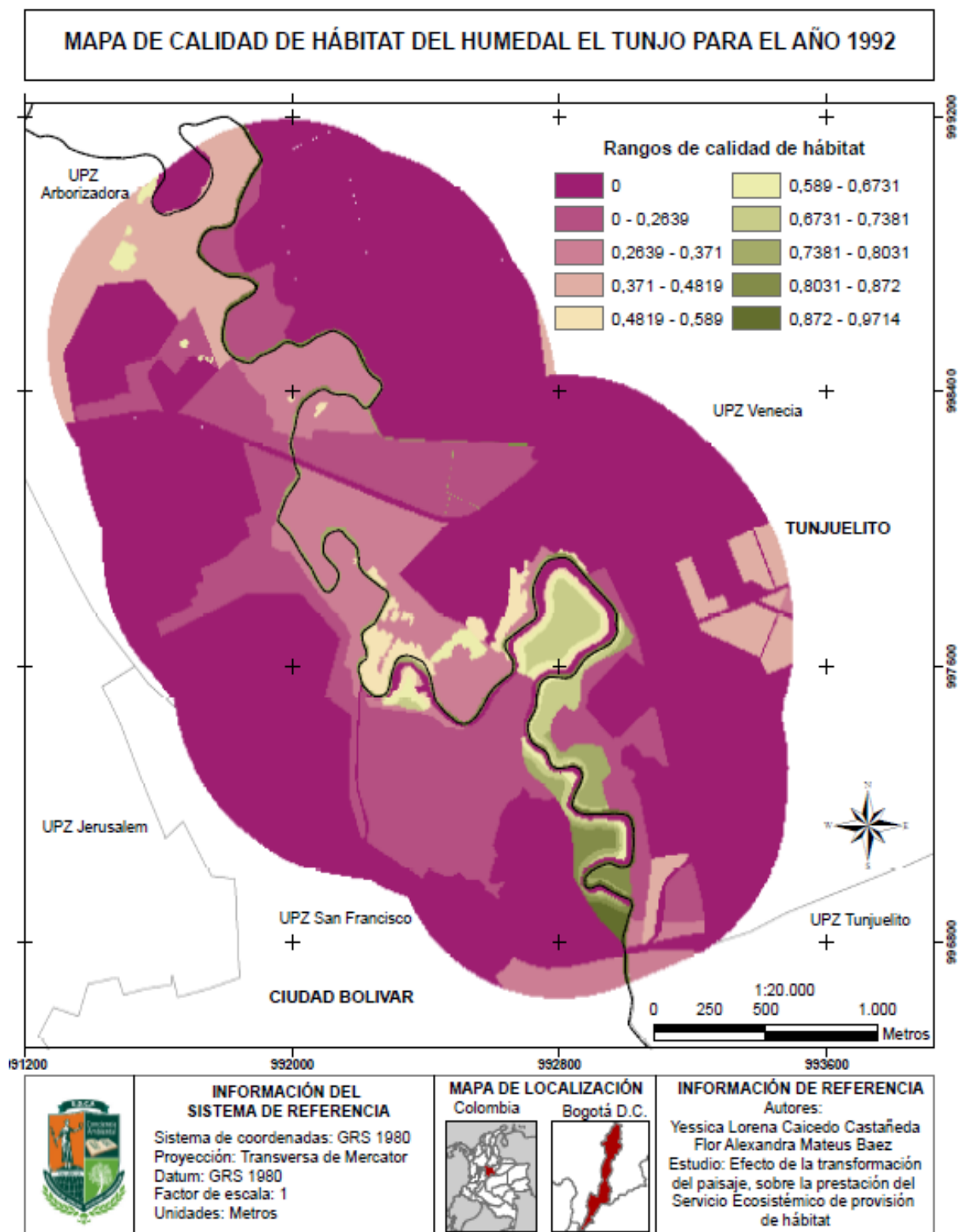


Anexo 11. Mapa de Calidad de Hábitat del Humedal el Tunjo - año 1940

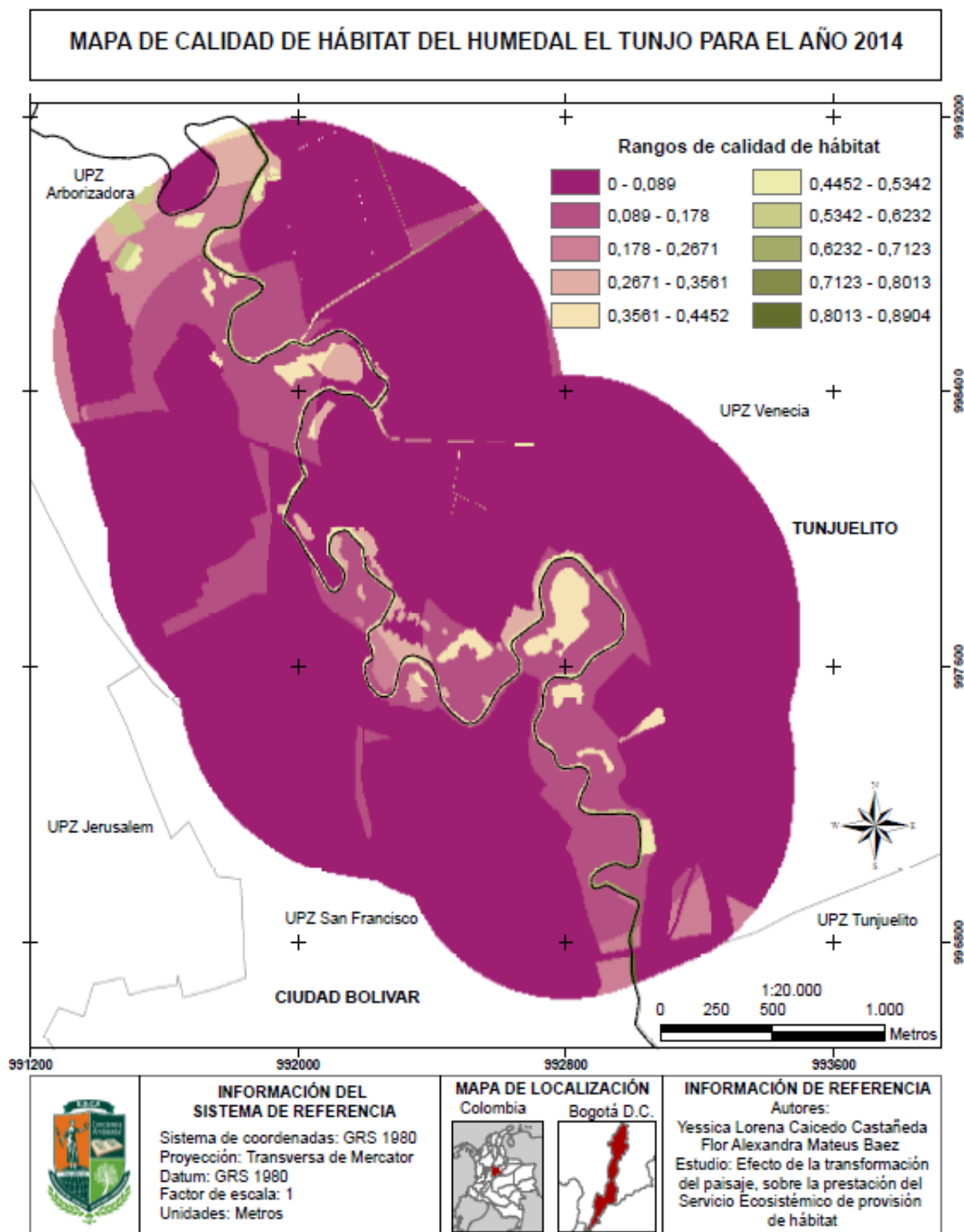




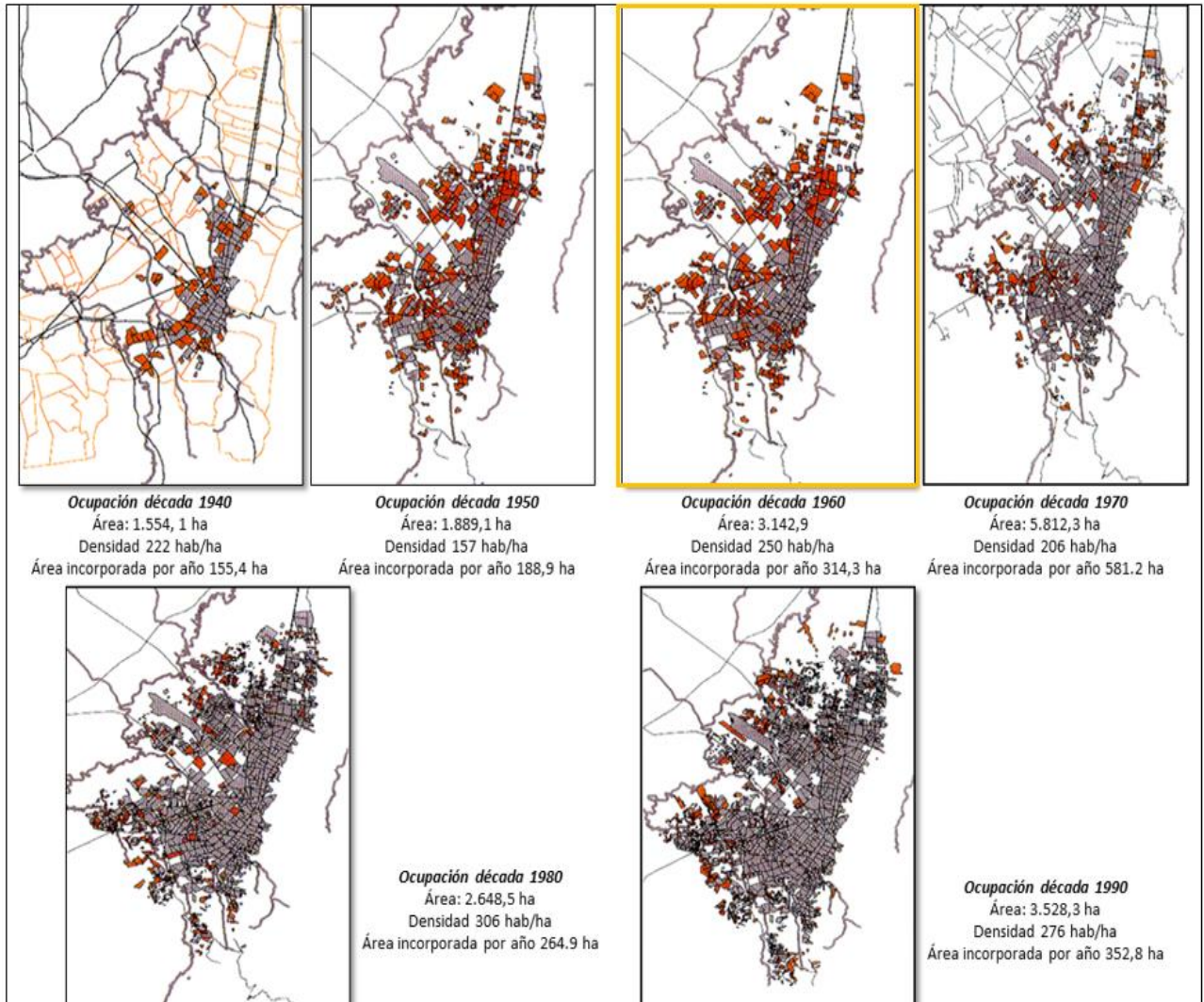
Anexo 12. Mapa de Calidad de Hábitat del Humedal el Tunjo - año 1992




Anexo 13. Mapa de Calidad de Hábitat del Humedal el Tunjo - año 2014



Anexo 14. Evolución urbana de Bogotá.



 Ordenanza 7 de 1954 (incorporación de seis Municipios al Municipio de Bogotá)

Fuente: (Modificado de [InstitutoDeEstudiosUrbanos.info](http://InstitutoDeEstudiosUrbanos.info), 2015)

## BIBLIOGRAFÍA

- Abadía, J. G. (2011). Cambios en la cobertura del paisaje y fuerzas conductoras en los Llanos Orientales Colombianos ( Puerto López , Meta )
- Aguayano, M., Pauchard, A., Azócar, G., & Parra, O. (2009). Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista Chilena de Historia Natural*, 361–374.
- Alcaldiabogota.gov.co, (2015). Consulta de la Norma. [En línea] Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4125> [Consultado 22 Dic. 2015].
- Alcamo, J., & Neville, J. A. (2003). *Ecosistemas y bienestar humano: Marco para la evaluación. Evaluación de Ecosistemas del Milenio.*
- Aldana, J. (2014). *Biodiversidad Caribe y servicios ecosistémicos* (Uiversida.). Bogotá, Colombia.]
- Ambiente, S. D. de. (2013). *Ultimos lineamientos políticos normativos.* Bogota.
- Ambientebogota.gov.co, (2016). Secretaria Distrital de Ambiente (SDA). [En línea]. Disponible en: <http://www.ambientebogota.gov.co> [Consultado 15 Dic. 2015].
- Angel, A. M. G. (2009). *Estudio multitempral de la dinámica de transformación espacial de la cobertura por crecimiento urbano, en una zona de la localidad de Suba, Bogotá-Colombia, en el periodo 1955-2006.*
- Augustin Berque. (2009). El pensamiento paisajero. *Biblioteca Nueva, Madrid*, 134.
- Baral, H., Keenan, R. J., Sharma, S. K., Stork, N. E., & Kasel, S. (2014). Spatial assessment and mapping of biodiversity and conservation priorities in a heavily modified and fragmented production landscape in north-central Victoria, Australia. *Ecological Indicators*, 36, 552–562. doi:10.1016/j.ecolind.2013.09.022
- Batista, M & Rodriguez, A. (2012). *Cambio reciente de la cobertura del suelo en tres humedales de Bogotá. Casos. La conejera, Santa maria del lago y Techo.* Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales.
- Beuf, A. (n.d.). *Concepción de centralidades urbanas y planeación del crecimiento urbano en la Bogotá de siglo xx* (pp. 1–21).
- Bocco, G., & Urquijo, P. S. (2013). Geografía ambiental: reflexiones teóricas y práctica institucional Introducción, (443).

- Biodiversidad.gob.mx, (2015). Convenio sobre la Diversidad Biológica. [En línea] Disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/internacional/cbd.html> [Consultado 17 Dic. 2015].
- Bustamante, M., & Ochoa, E. (2014). Guía práctica para la valoración de servicios ecosistémicos en Madre de Dios. *The effects of brief mindfulness intervention on acute pain experience: An examination of individual difference*, 1. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Camacho, V., & Ruiz, L. (2011). Marco conceptual y clasificación de los servicios ecosistémicos. *Revista Bio Ciencias*, 1(4), 3–15.
- Carvajal, A. (2010). Servicios Ecosistémicos: Su Relación Con La Geografía Y La Toma De Decisiones Ambientales. *Revistanadir.Yolasite.Com*, 11.
- Chávez, E. S., & Fernandez, J. A. Q. (2000). Paisajes y ordenamiento territorial: obtención del mapa de paisajes del estado de Hidalgo en México a escala media con el apoyo de los SIG. *Revista de investigación del bajo segura-España*.
- Chuvieco, E. 1996. "Empleo de Imágenes de Satélite Para Medir La Estructura Del Paisaje: Análisis Cuantitativo y Representación Cartográfica." *Serie Geográfica* 6: 131–47.
- Corantioquia. (2012). *Protección de ecosistemas estratégicos en la jurisdicción de Corantioquia* (pp. 1–31).
- Costanza, R. (2008). Ecosystem services: Multiple classification systems are needed. *Biological Conservation*, 141(1997), 350–352. doi:10.1016/j.biocon.2007.12.020
- Costanza, R., Arge, R., Groot, R. De, Farberk, S., Grasso, M., Hannon, B., ... van den Belt, M. (1997). The value of the world 's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(May), 253–260. doi:10.1038/387253a0
- Costanza, R., & Daly, H. E. (1992). Capital Natural and Sustainable Development. *Society of Conservation Biology*, 6(1), 37–46. doi:10.1111/j.1365-2036.2008.03913.x
- Costanza, R., & Farber, S. (2002). Introduction to the special issue on the dynamics and value of ecosystem services: integrating economic and ecological perspectives. *Ecological Economics*, 41(3), 367–373. doi:10.1016/S0921-8009(02)00087-3
- Cubides, J. P. (2011). *Modelo de conectividad espacial empleando sistemas de información geográfica, calidad de hábitat y distribución caso Tapir de*

*Montaña (tapirus pinchaque) en el eje cafetero colombiano.* Universidad Nacional de Colombia.

Cubides, P. J. (2012). *Definición de las alternativas de conectividad ecológica posibles desde el análisis físico, biótico y espacial de las áreas rurales priorizadas por la subdirección científica* (pp. 1–51). Bogotá.

Daily, G. C. (1997). Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*, 412.

Departamento Administrativo del Medio Ambiente, (2006). Política de humedales del distrito capital, 120.

Datateca.unad.edu.co, (2015). Lección 13. Clases Y Modelos De Normatividad (Ley, Decreto, Resolución Y Norma). [En línea] Disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211619/Contenido\\_en\\_linea\\_eXe/leccion\\_13\\_clases\\_y\\_modelos\\_de\\_normatividad\\_ley\\_decreto\\_resolucion\\_y\\_norma.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211619/Contenido_en_linea_eXe/leccion_13_clases_y_modelos_de_normatividad_ley_decreto_resolucion_y_norma.html) [Consultado 22 Dic. 2015].

Dávila, E. A. (n.d.). Cuánto vale la NATURALEZA? Bosques, biodiversidad y servicios ecosistémicos en Antioquia.

De Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393–408. doi:10.1016/S0921-8009(02)00089-7

Eco-ser.com.ar, (2016). Protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial. [En línea]. Disponible en: "<http://www.eco-ser.com.ar/> [Consultado 5 Enero 2016].

Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. (2005). Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Humedales y Agua. *Director*.

Etter, A. (1990). Introducción a la ecología del paisaje. Un marco de integración para los Levantamientos Ecológicos. Bogotá D.C.

Farina, A. (2011). *Ecología del paesaggio* (p. 651). España: Universidad de Alicante.

Ferrer, G., Francesc, L. R., & Gual, M. (2012). *Servicios ecosistémicos: ¿una herramienta útil para la protección o para la mercantilización de la naturaleza?* (Vol. 1, pp. 281–294). Sevilla.

- Fonseca, & Gomez. (2012). Análisis multitemporal mediante imágenes landsat caso de estudio: cambio de área laderas de la ciénaga de Tumaradó Parque Natural los Katíos.
- Forman, R., Godron, M. (1986). Emerging directions in landscape ecology and applications in natural resource management. En: Etter, A. (1990). Introducción a la ecología del paisaje un marco de integración para los levantamientos rurales. (pp. 10-42, 50-54, 58, 81, 82). Bogotá, Colombia.
- Forman, R. (1995). *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. (Primera edición). Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press.
- Francis, R. A. (2011). Research resource review of Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem. (P. Kareiva, H. Tallis, T. H. Ricketts, G. C. Daily, & S. Polasky, Eds.) *Progress in Physical Geography*, 35(5), 701–704. Retrieved from 10.1177/0309133311417953
- García, M. P. (2009). *Identificación de escenarios de calidad de hábitat para fauna silvestre. Caso de estudio; cuenca media y alta del río Otún (Risaralda)*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Giannini, T. C., Tambosi, L. R., Acosta, A. L., Jaffé, R., Saraiva, A. M., Imperatriz-Fonseca, V. L., & Metzger, J. P. (2015). Safeguarding Ecosystem Services: A Methodological Framework to Buffer the Joint Effect of Habitat Configuration and Climate Change. *PLoS ONE*, 10(6), 1–19. Retrieved from 10.1371/journal.pone.0129225
- Goldman, R., Benitez, S., Davidson, S., Ennaanay, D., & McKenzie, E. (2010). Linking People and Nature through Watershed Conservation in the East Cauca Valley , Colombia, 1–6.
- Gurrutxaga, S. V. M. (2003). Índices de fragmentación y conectividad para el indicador de biodiversidad y paisaje de la Comunidad Autónoma del País Vasco. *Biodiversidad y paisaje*.
- Hall, L. S., Krausman, P. R., & Morrison, M. L. (2009). The Habitat Concept and a Plea for Standard Terminology, 25(1), 173–182.
- Help.arcgis.com, (2015). ArcGIS Desktop. [En línea] Disponible en: <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help./index.html#//005p000000800000> [Consultado 13 Dic. 2015].
- Humedalesbogota.com, (2015). Fundación Humedales Bogotá. [En línea]. Disponible en: <http://humedalesbogota.com/> [Consultado 4 Enero 2016].

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, (2014). *Memoria de los Foros Técnicos sobre servicios ecosistémicos en Uruguay. Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). Montevideo, Uruguay. doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- Institutodeestudiosurbanos.info, (2015). Red Bogotá. [En línea] Disponible en: <http://institutodeestudiosurbanos.info/endatos/0100/0140/01412.htm> [Consultado 22 Dic. 2015].
- Jobbagy, E., & Laterra, P. (2010). *Valoración de Servicios Ecosistémicos Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Mexico.
- Lara., G. N. R., González., S. L. C., Artigas, R. C., Guillermo, J. B., & Pacheco, J. F. M. (2010). Modelación del Servicio Ambiental de calidad del hábitat para la biodiversidad en la cuenca Guayalejo-Tamesí (Tamaulipas, México).
- Laterra, P. (2013). Evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos. Retos para la gestión territorial en América Latina. *Valoración integral Biodiversidad Servicios ecosistémicos*.
- Latorre, R., Clavijo, I., & Forero, P. (2014). Bienes y servicios ecosistémicos en la planificación y gestión de áreas urbanas consolidadas. *Territorios*, 191–218.
- López, M. B., & González, J. . (2007). Biodiversidad y bienestar humano : el papel de la diversidad funcional. *Ecosistemas*, 3(3), 69–80.
- Lopez, M.-B., & Montes, C. (2011). Biodiversidad y servicios de los ecosistemas. *Biodiversidad en España: base de la sostenibilidad ante el cambio global. Observatorio de la Sostenibilidad en España*, 8(Figura 1), 444–465.
- Martin, G., & Ceballos, M. (2003). *Bogotá: Anatomía de una transformación Políticas de seguridad ciudadana 1995-2003*.
- Martí Llambrich, C., & Pintó, J. (2011). Pautas teórico-metodológicas para el estudio de la transformación del paisaje litoral de la Costa Brava. *Ería*, 215–236.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, (2010). *POLITICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LA BIODIVERSIDAD Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS*.



- Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible, (2012). *La Gestión Integral Y Sus Servicios Ecosistémicos ( Pngibse )*.
- Molina, G. Z., & Albarran, A. J. (2013). Análisis multitemporal y de la estructura horizontal de la cobertura de la tierra : Parque Nacional Yacambú , estado Lara, Venezuela. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 22, 1–19.
- Montes, C. (2014). *Biodiversidad Caribe y servicios ecosistémicos*. (J. Aldana-domínguez, Ed.) (p. 93). Barranquilla: Universidad del Norte.
- Morláns, M. C. (2000). Estructura del paisaje (matriz, parches, bordes, corredores) sus funciones, fragmentación del hábitat y su efecto borde. Argentina: Científica Universitaria - Universidad Nacional de Catamarca. [En línea] Disponible en:  
<http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/Ecologia/imagenes/pdf/004-estructuradepaisaje.pdf> [Consultado 20 Nov. 2015].
- Morláns, M. C. (2005). Introducción a la ecología del paisaje. Catamarca.
- Murcia, C. (1995). Edge effects in fragmented forest: implications for conservations. *Tree*, 10, 58–62.
- Narváez, L., Lavell, A., & Pérez, G. (2009). *La Gestión del Riesgo Un enfoque basado en procesos*.
- Natural Capital Project. (2011). Habitat Quality Model. Retrieved from [www.naturalcapitalproject.org/models/habitat\\_quality.html](http://www.naturalcapitalproject.org/models/habitat_quality.html)
- Nogué, J., & Vela, J. (2011). La dimensión comunicativa del paisaje: Una propuesta teórica y aplicada. *Revista de geografía Norte Grande*, (49), 25-43. Recuperado en 07 de febrero de 2016, de [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34022011000200003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34022011000200003&lng=es&tlng=es). 10.4067/S0718-34022011000200003.
- Nogué, J. (2007). Paisaje, identidad y globalización. *Fabrikart. Arte, Tecnología, Industria, Sociedad* 7: 136-145.
- Oab.ambientebogota.gov.co, (2015). Secretaria Distrital de Ambiente (SDA) [En línea]. Disponible en: <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/con-la-comunidad/noticias/concejo-declaro-en-primer-debate-a-la-isla-y-el-tunjo-como-nuevos-humedales-de-bogota> [Consultado 20 Dic. 2015].

- Ortiz, W. E. (2014). *Dinámica de un humedal urbano: cambios históricos en sus coberturas y cambios recientes en la comunidad de aves (humedal córdoba, Bogotá)*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Osorio, J. A. (2007). *El río Tunjuelo en la historia de Bogotá 1900-1990*. Bogota, D.C.
- Pacha, M. J. (2014). *Valoración de los servicios ecosistémicos como herramienta para la toma de decisiones: Bases conceptuales y lecciones aprendidas en la Amazonía* (p. 92). Brasilia.
- Peña, F., Rebolledo, G., Hermosilla, K., Hauenstein, E., Bertrán, C., Schlatter, R., & Tapia, J. (2006). Dinámica del paisaje para el período 1980-2004 en la cuenca costera del Lago Budi, Chile. Consideraciones para la conservación de sus humedales. *Ecología Austral*.
- Perea, F. A. (n.d.). Legislación Básica Ambiental. Descargado de: [http://www.colombiaaprende.edu.co/html/docentes/1596/articles-178898\\_archivo.doc](http://www.colombiaaprende.edu.co/html/docentes/1596/articles-178898_archivo.doc)
- Pérez, S. (2016). BC3 Basque Centre for Climate Change - ARIES: proyecto de inteligencia artificial para cuidado del medio ambiente. Bc3research.org. [En línea]. Disponible en: [http://www.bc3research.org/prentsa/news/aries\\_proyecto\\_de\\_inteligencia\\_artificial\\_para\\_cuidado\\_del\\_medio\\_ambiente](http://www.bc3research.org/prentsa/news/aries_proyecto_de_inteligencia_artificial_para_cuidado_del_medio_ambiente) [Consultado 7 Enero 2016].
- Ramsar, S. de la C. R. (2013). Manual de la Convención de Ramsar , 6ª edición.
- Rudas, G., Rodríguez, N., Sarmiento, A., & G, C. M. V. (2007). *Biodiversidad y actividad humana: relaciones en ecosistemas de bosque Subandino en Colombia* (p. 128). Bogota, D.C.
- Sala, O. E., Chapin, F. S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., ... Wall. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 1–13.
- Sánchez, N., & Rocha, Z. (2014). *LA EVALUACIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES DE SOPORTE*. Saudi Med J. Universidad de Boyacá, Colombia.
- Sauer, C. O. (2006). La morfología del paisaje. *Polis: Revista Latinoamericana*, 15, 24.
- Secretaria Distrital de Ambiente. (2007). *Diagnostico POMCA Tunjuelito, 2007* (p. 490). Bogotá.

- Sharp, E. R., Chaplin-kramer, R., Wood, S., Guerry, A., Tallis, H., Ricketts, T., ... Mandle, M. (2015). InVEST User Guide.
- Subirós, J. V., Linde, D. V., Pascual, A. L., & Palom, A. R. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje ( landscape ecology ) ., 48, 151–166.
- Tallis, H., Benitez, S., Davidson, S., Ennaanay, D., Mckenzie, E., & Goldman, R. (2010). Linking People and Nature through Watershed Conservation in the East Cauca Valley , Colombia, 1–6.
- Terrado, M., Sabater, S., Chaplin-Kramer, B., Mandle, L., Ziv, G., & Acuña, V. (2015). Model development for the assessment of terrestrial and aquatic habitat quality in conservation planning. *The Science of the total environment*. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.03.064
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity, (2008). *La economía de los ecosistemas y la biodiversidad - Informe provisional*.
- Triviño, A., Vicedo, M., & Soler, G. (2007). Análisis de sensibilidad a factores de escala y propuesta de normalización del índice de fragmentación de hábitats empleado por la agencia europea de medio ambiente. *GeoFocus*, 148–170.
- Trueba, G. J. J. (2012). Carl Troll y la geografía del paisaje: Vida , obra y traducción de un texto fundamental. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 59, 173–200.
- Turner, R. K., Georgiou, S., & Fisher, B. (2008). Valuing Ecosystem Services: The Case of Multi-functional Wetlands, 240.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, (2010). Servicios de los ecosistemas y bienestar humano. *World Resources Institute, Washington DC*, 86.
- Utrera, A. (2004). Basada en le recurso fauna silvestre. Methodology to evaluate sensitivity of habitat based on wildlife as a resource, 22(1), 1–19.
- Viglizzo, E. F., Carreño, L. V., Volante, J., & Mosciaro, M. J. (n.d.). Valuación de bienes y servicios ecosistémicos: ¿verdad objetiva o cuento de la buena pipa? Argentina.
- Wallner, E. (1975) Sociología. Conceptos y problemas fundamentales. Herder, Barcelona.
- Ziv, G. (2012). Ecosystem Services Assessment at Watershed Scale using InVEST.