

**ANÁLISIS MULTI-TEMPORAL DE LA ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE
ZONAS VERDES EN ÁMBITOS URBANOS, COMO INSUMO PARA LA
PLANEACIÓN DEL TERRITORIO. CASO: CASCO URBANO DE MEDELLÍN
ENTRE LOS AÑOS 1948 Y 2014.**

Sara María Ramírez Flórez

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN MEDIO AMBIENTE Y GEINFORMÁTICA
MEDELLÍN
Junio 2019**

**ANÁLISIS MULTI-TEMPORAL DE LA ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE
ZONAS VERDES EN ÁMBITOS URBANOS, COMO INSUMO PARA LA
PLANEACIÓN DEL TERRITORIO. CASO: CASCO URBANO DE MEDELLÍN
ENTRE LOS AÑOS 1948 Y 2014.**

SARA MARÍA RAMÍREZ FLÓREZ

**Trabajo de Monografía para optar al título de Especialista en Medio Ambiente
y Geoinformática.**

**Profesor Asesor
OSCAR MEJÍA**

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN MEDIO AMBIENTE Y GEINFORMÁTICA
MEDELLÍN, JUNIO 2019**

Dedico este trabajo a Mónica Cano, por alentarme, apoyarme, colaborar y acompañarme en este camino, y a mi familia, en especial a mi madre por ser mi motivación más grande a diario.

Agradecimientos sinceros a mis compañeros de clase, a los profesores y a mi asesor Oscar Mejía por su diligencia, comprensión y aportes a mi aprendizaje.

Contenido

1. Objetivos	6
1.1. Objetivo General	6
1.2. Objetivos Específicos.....	7
2. Metodología	8
3. Marco Teórico - Estado del arte	11
3.1. Importancia de las zonas verdes en las ciudades	11
3.2. Técnicas de análisis espacial	14
3.3. Análisis de la evolución de las zonas verdes	16
3.4. El caso de Medellín.....	18
4. Desarrollo Metodológico.....	19
5. Resultados y discusión	21
6. Discusión Final.....	35
7. Literatura Citada.....	36

Título

Análisis multitemporal de la abundancia y distribución de zonas verdes en ámbitos urbanos, como insumo para la planeación del territorio. Caso: casco urbano de Medellín entre los años 1948 y 2014.

Resumen

El presente trabajo evaluó la dinámica evolutiva de las zonas verdes en ámbitos urbanos a partir del procesamiento de georegistros multitemporales. Se identificaron seis momentos en el estado de los espacios verdes en la zona urbana Medellín, los cuales fueron analizados en términos de área, abundancia y, distribución categórica y jerárquica; así como, de acuerdo a su tamaño relativo. Las valoraciones realizadas permitieron evidenciar que Medellín en principio, se preocupó por mantener y preservar sus grandes espacios verdes, pero, con el tiempo, estos amplios espacios decayeron y las zonas a mantener, pasaron a ser pequeños parches remotos de áreas verdes, con otras características y funciones para la ciudad, y, por tanto, con cambio en su oferta de servicios ecosistémicos.

1. Objetivos

Como parte fundamental de este trabajo se definió un objetivo general y cuatro objetivos específicos los cuales se describen a continuación:

1.1. Objetivo General

Evaluar la dinámica evolutiva de las zonas verdes en ámbitos urbanos a partir del procesamiento de georegistros multitemporales.

1.2. Objetivos Específicos

- 1.2.1. Identificar el conjunto de datos y geodatos disponible para el proceso de evaluación de distribución y abundancia de las zonas verdes en la ciudad de Medellín.
- 1.2.2. Definir técnicas de comparación y análisis de los georegistros multitemporales de áreas verdes en el casco urbano de Medellín.
- 1.2.3. Evaluar la abundancia y distribución de las áreas verdes de la zona urbana de Medellín a partir de los georegistros disponibles y las técnicas de análisis de geo-procesamiento definidas.
- 1.2.4. Construir un conjunto de métricas de caracterización del fenómeno estudiado.

2. Metodología

Para evaluar la dinámica evolutiva de las zonas verdes en la ciudad de Medellín, se desarrolló un esquema metodológico de cuatro fases, como se presenta:

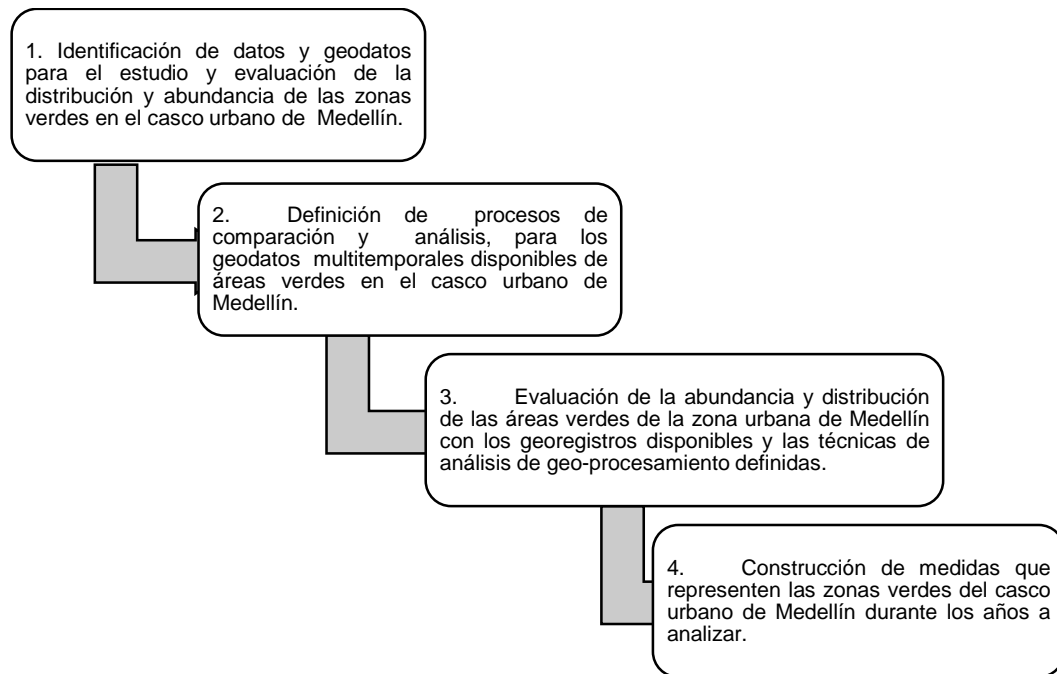


Figura 1. Esquema de metodología a desarrollar

Fuente: autor, 2019

Para la cuantificación y caracterización de los espacios verdes en el casco urbano de Medellín, se evaluarán las bases de datos disponibles que puedan contener información sobre estas zonas verdes. Se buscará información en los Planes de Ordenamiento Territorial de la ciudad y en los planes temáticos de Espacios Públicos Existentes, EPE, Medellín.

Se establecerá que todos los datos estén bajo las mismas coordenadas para garantizar la coherencia entre los mismos. Inicialmente, se ejecutarán algunos análisis de estadística descriptiva de los datos a emplear.

Con la información recolectada y organizada, se definirá los años de análisis y el tipo de variables que permitirán establecer la evolución de la abundancia y distribución de zonas verdes del casco urbano de la ciudad de Medellín.

Los datos se seleccionarán según la temporalidad a evaluar y, serán transformados a shapes, para unirlos con la capa del municipio de Medellín, para posteriormente hacer su transformación a archivos tipo raster.

Para cada uno de los archivos raster a generar, de las temporalidades unidas al municipio de Medellín, se determinará la cobertura de zonas verdes en cada año estudiado, se medirá el porcentaje de esta cobertura en cada uno de los cortes y su cambio a través del tiempo.

Igualmente, estos archivos raster por temporalidades se sumarán entre ellos, y se identificarán los cambios relacionados a áreas nuevas o perdidas.

Por último, se determinará el tamaño relativo de las áreas verdes presentes en el área estudiada, categorizando las áreas según el Índice de Tamaño Relativo de Zonas Verdes con la siguiente fórmula.

$$ITRZV = 1 + \left(\frac{A_i - A_{min}}{A_{max} - A_{min}} \right) * 9$$

Como resultado de este proceso se tendrán como mínimo:

- a. Dos mapas del casco urbano de Medellín con la abundancia y distribución de espacios verdes en ámbitos urbanos de los años estudiados.
- b. Dos mapas de distribución porcentual de las zonas verdes en Medellín de los años analizados.
- c. Un mapa de distribución de zonas verdes según su tamaño relativo.
- d. GDB con espacios verdes del casco urbano de Medellín bajo el enfoque de la distribución y abundancia.
- e. Documento de análisis de la distribución y abundancia de espacios verdes en el caso urbano de Medellín.

A continuación, se presenta el cronograma definido para el desarrollo y alcance de los objetivos del trabajo.

Tabla 1. Cronograma de Actividades

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Definición de tema a abordar, asesorías y primer acercamiento a la literatura	■	■	■									
Revisión de literatura, objetivos, primera exposición del tema a tratar				■	■	■						
Consolidación de información para elaboración del marco teórico y estado del arte, asesoría con asesor de concertación de títulos, objetivos y posibilidades de análisis a emplear							■	■	■			
Identificar el conjunto de datos y geodatos disponible para el proceso de evaluación de distribución y abundancia de las zonas verdes en la ciudad de Medellín							■	■	■			
Definir técnicas de comparación y análisis de los geo-registros multi-temporales de áreas verdes en el casco urbano de Medellín								■	■	■		
Evaluar la abundancia y distribución de las áreas verdes de la zona urbana de Medellín a partir de los geo-registros disponibles y las técnicas de análisis de geo-procesamiento definidas.							■	■	■	■	■	
Construir un conjunto de métricas de caracterización del fenómeno estudiado			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Elaboración de documento con proceso y síntesis de los resultados			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente: autor, 2019

3. Marco Teórico - Estado del arte

Los espacios verdes o infraestructura verde se reconocen como elementos del paisaje de ciudad caracterizados por coberturas naturales o vegetales, pueden ser parques municipales o privados, fajas protectoras de quebradas, áreas de preservación y conservación de fauna y flora, cementerios, jardines, entre otros. Estos espacios verdes son muy importantes dentro de las urbes por prestar beneficios al humano tales como, almacenamiento de carbono, intercambio de gases, amortiguación de ruido, viento, calor, hábitat para plantas y animales, áreas de descanso y disfrute (Aburrá, n.d.; H. Wang, Qin, & Hu, 2017; Zhou et al., 2018; Zhu et al., 2016).

3.1. Importancia de las zonas verdes en las ciudades

El fenómeno mundial de migración del campo a la ciudad y en consecuencia el aumento poblacional de las localidades, genera necesidades urbanas de construcción, mejoramiento vial, espacios públicos; que a su vez conducen a cambios en la configuración de paisaje y por tanto de sus componentes (verdes, grises y azules), con especial impacto en el medio ambiente de la ciudad. Actualmente y desde hace unos 15 a 20 años, se han venido incrementando los estudios acerca de los espacios verdes urbanos y su importancia a nivel de sostenibilidad y planificación territorial con el fin de tener una caracterización de los mismos para mejorar su uso y gestión (Husseini, 2018; Langevin & Stow, 2004; F. Li et al., 2017; Mendoza & Etter, 2002; Mucova, Filho, Azeiteiro, & Pereira, 2018; Pickett et al., 2001; Yang, Liu, Li, & Du, 2018).

En general, es un hecho que haya transformaciones en el paisaje por el comportamiento histórico y las tendencias de la población humana, pero, en consideración de los suministros ofertados por el entorno, así como, su apremiante

uso, es vital generar conocimiento acerca de cómo se encuentran y cómo pueden ser mejorados o por el contrario qué tanto han sido afectados (Brunbjerg et al., 2018; Dobbs, Hernández-Moreno, Reyes-Paecke, & Miranda, 2018; Kuo & Tsou, 2017; recUrbina Gabiña, 2017).

Se ha estudiado la disposición y características físicas de la infraestructura verde, sin embargo, hay que evaluar las transformaciones sucedidas ya que esto es determinante en la estimación de oferta de servicios ecosistémicos y en el cumplimiento de los valores establecidos como óptimos de espacios verdes en metros cuadrados por habitante. Adicional, permite observaciones espaciales de cambios y dónde son más recurrentes, o, dónde enfocar esfuerzos de recuperación, enriquecimiento y/o conservación (Aguilera-Benavente, 2018; Dobbs et al., 2018).

Los entes territoriales y diferentes actores de la ciudad de Medellín identificaron la importancia de la consideración y evaluación de los espacios verdes y han procurado encaminar proyecciones de ciudad incluyendo este aspecto como fundamental, en consecuencia, se tienen documentos y planes de acción donde se contemplan criterios para la modelación de ciudad, tales como el plan maestro de espacios verdes, propuesta para la gestión integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en Medellín, BIO 2030 Plan Director Medellín, Valle De Aburrá, POT 2014 (Aburrá, n.d.; Alcaldia de Medellin, n.d.; Medio, Alcaldia de Medellin Secretaria de Ambiente, Parque Explora & Jardin Botanico de Medellin, Parques Nacionales Naturales de Colombia, n.d.).

En conjunción, si bien hay transformaciones espaciales también se tienen los lineamientos para desarrollarlas óptimamente, y, justamente, este panorama es el objeto de estudio, en la medida de querer valorar la transformación temporal de espacios verdes buscando resolver requerimientos de infraestructura y el mantenimiento de zonas naturales que mantengan la prestación de servicios ecosistémicos y permitan la conectividad ecológica, así como, espacios de buen

vivir para los habitantes de las ciudades, tratando todos los elementos como parte de un solo sistema dado (Aguilera-Benavente, 2018; Jennings, Floyd, Shanahan, Coutts, & Sinykin, 2017; Mena, Ormazábal, Morales, Santelices, & Gajardo, 2011; Tian, Liu, Jim, & Song, 2017).

El análisis del paisaje de ciudad, en especial lo referente a los espacios verdes, tiene un interés y valor espacial, dado que estos elementos en las urbes son críticos para la obtención de beneficios de parte de los habitantes de ciudad, su transformación temporal es determinante en la sostenibilidad de las ciudades y su uso a largo plazo. Esta pesquisa lleva a datos indispensables para conocer la influencia de los humanos y la expansión de la urbanización sobre el paisaje, para así definir áreas donde se prioricen redes ecológicas, conservación de biodiversidad, recursos hídricos y también, espacios donde confluyan lo natural y lo construido.

La ampliación de la frontera urbana actualmente es acelerada y requiere de manera apremiante planificación, por el alto impacto que generan aun si la ocupación es menor, también porque el recurso suelo es finito y debe ser regulado, para asegurar las menores afectaciones al medio y protección de tierras con valor ecológico y vulnerables y su continuación en el tiempo. Los análisis multitemporales de las ciudades, así como los análisis de uso y aptitud de la tierra deben implementarse en las políticas estatales ya que son el soporte de la toma de decisiones, y debe estudiarse constantemente porque revelan causas de los problemas ambientales y por tanto permiten abordar las consecuencias de la mala planificación de manera más eficaz, detectando zonas de peligro o que mejoran la conectividad de los sitios verdes (Alphan, 2017; Canetti et al., 2018; Jupová et al., 2017; Katyambo & Ngigi, 2017; Kim, Choi, Kim, & Oh, 2016; Y. Li et al., 2019).

3.2. Técnicas de análisis espacial

Según lo anterior, los espacios verdes o infraestructura verde tienen un carácter espacial, su caracterización y cambios son cruciales para entender la provisión de recursos y sostenibilidad urbana y deben incluirse en los planes de desarrollo u ordenamiento territorial si se quieren ciudades sostenibles y saludables, y las herramientas SIG ofrecen un instrumento apropiado para su diseño, planeación e inclusión, que soporta su adición en las políticas públicas y manejo de territorio. Por otro lado, una evaluación con herramientas geo informáticas permite sobreponer capas para ver cambios dentro de elementos similares y, así mismo, vincular otros aspectos como la red hídrica o sitios de interés que podrían articularse y ampliar o mejorar los destinados espacios verdes y así sean suficientes y disponibles para toda la población de influencia (Aguilera-Benavente, 2018; J. Wang et al., 2018).

Ahora bien, la posibilidad de visualizar y estudiar los espacios verdes, dándoles su correspondiente importancia encaja en los programas estatales y las políticas globales de conservación de áreas naturales y su funcionamiento a través de conexiones y flujo o dinámica de las especies. Adicional, la información espacial obtenida de la caracterización y modificación de la infraestructura verde proporciona bases para su aplicación real en las urbes y diagnosticar su comportamiento y nuevos requerimientos (Hewitt, Delden, & Escobar, 2014; Soria-lara, Aguilera-benavente, & Arranz-lópez, 2016).

Para la valoración de la transformación de espacios verdes, se cuenta con los Sistemas de Información Geográfica –SIG-, que son de carácter esencialmente espacial y permiten analizar, almacenar, manipular, gestionar y representar datos geográficos de forma efectiva y precisa, en consecuencia, proporcionan elementos claves para monitorear cambios espaciales de una zona determinada y por lo tanto generar información útil para la planificación e interpretación del territorio que

potencialmente sugiera medidas óptimas para la expansión urbana y sus repercusiones ambientales y ecológicas (Anbazhagan & Paramasivam, 2016; Dunca, 2018; Mena et al., 2011; Shu, Wu, Zhang, & Han, 2015).

La evaluación de los espacios verdes utilizando los SIG, se ha analizado especialmente a través de la conversión de cobertura y métricas de paisaje, en la primera, se clasifican las áreas de acuerdo a los tipos de coberturas vegetales, concebidas como unidades biofísicas homogéneas ajustadas a los modelos estándar para cada región o según se asignen por el estudio. La clasificación se hace por medio de la detección de tonos, colores, formas, sombras. Esta metodología se aplica sobre todo a nivel regional ya que grandes áreas requieren mucho tiempo y esfuerzo. Respecto a las métricas de paisaje, se hacen estimaciones de área total de parches, número de parches, densidad de parches, porcentaje en el paisaje, distancia entre ellos, distancia del borde, entre otros, dando información cuantitativa de las clases en cuestión y su dinámica de cambio de cobertura en el tiempo (Alphan, 2017; Canetti, Garrastazu, Mattos, Braz, & Pellico Netto, 2018; Katyambo & Ngigi, 2017; Sha et al., 2018; Shukla & Jain, 2019).

En ambos casos se hace reconocimiento de las capas, se determina su escala y resolución y se efectúan análisis multitemporales, es decir, comparación de la información en un territorio con un mismo sitio geográfico para visualizar las variaciones en diferentes tiempos relacionadas a los cambios de cobertura o uso del suelo, y, de esta manera conocer el panorama actual, su surgimiento y posibles tendencias.(Di Somma, Ferrari, & Ramos de Las Heras, 2010; Jupová et al., 2017; Sha et al., 2018).

La valoración de espacios verdes a nivel multitemporal con la ayuda de un software de procesamiento de información –SIG-, resulta una herramienta adecuada y actualmente muy valorada dentro del urbanismo y el ordenamiento territorial ya que

permite conocer información de los recursos, extraer la configuración urbana y sus transformaciones a nivel de uso del suelo, igualmente, su impacto en torno a la oferta y demanda de los servicios ecosistémicos. Por otro lado, permite comprender los espacios verdes y el paisaje, contribuye a la toma de decisiones teniendo en cuenta afectaciones ambientales y su identificación según importancia y posible generación de inestabilidad de los ecosistemas clave, o, de acuerdo al valor de los recursos naturales y su uso sostenible. El monitoreo de los cambios paisajísticos es entonces fundamental porque los procesos de planificación del medio ambiente requieren información oportuna y confiable para la gestión eficaz de los recursos.(Alphan, 2017; Y. Li, Ma, Song, & Han, 2019) Alphan et al. (2014).

3.3. Análisis de la evolución de las zonas verdes

Se han desarrollado estudios involucrando técnicas de análisis de imágenes satelitales, métricas del paisaje, determinación de porcentaje de cobertura, tipos de cambios sucedidos en áreas verdes, actualización de mapas, teledetección uso de sistemas de información geográfica SIG, método de tendencia lineal simple SLT, etc (Langevin & Stow, 2004; Marraccini et al., 2015; Rafiee, Salman, & Khorasani, 2009; J. Wang, Zhou, Qian, Li, & Han, 2018; Zhu et al., 2016).

No obstante, es indispensable considerar que estos análisis multitemporales a través de los SIG, dependen de la calidad y eficiencia de los datos y como se procesen, los procedimientos más acertados darán información más exacta, también, se debe tener en cuenta los diversos posibles factores de cambio para conseguir análisis serios, contextualizados y aplicables al medio evaluado (Alphan, 2017; Sha et al., 2018).

Los análisis multitemporales, normalmente se realizan con el uso de objetos, imágenes o mapas, que están divididos en celdas cuadradas, a las cuales se

asignan ciertos valores que corresponden a un color para nosotros visible, cada celda es denominada un pixel y habitualmente consta de tres grupos de ocho bits, con valores entre 0 y 255 que definen específicamente las cantidades de rojo, verde y azul, y por tanto el color visible de cada pixel, esto se conoce como modelo RASTER. El número de celdas y la intensidad de color o información de cada pixel establece la calidad de la imagen RASTER y pueden ser de tipo imagen (TIFF, JPEG, sid, etc) o rejillas como se expresa en ArcGis. (Dunca, 2018; Shu et al., 2015).

El uso de información RASTER permite lograr análisis espaciales ya que la información es simple y hay posibilidad de combinar capas, generando nueva información partiendo de la ya existente en función de un objetivo, sin embargo, consume mucha memoria y no puede representar objetos lineales (Dunca, 2018).

Los análisis RASTER son empleados en hacer funciones de análisis estadístico, álgebra de mapas, análisis de campo, análisis hidrológicos, métodos de interpolación, y otros (Dunca, 2018).

En este caso particular se tratarán procesamientos de álgebra de mapas, donde con un conjunto de herramientas u operadores se analizan datos de dos o más RASTER, del mismo tamaño y localización que serán almacenados como nuevos RASTER una vez aplicado el tratamiento establecido. Las operaciones del álgebra de mapas pueden ser, aritméticas (suma, resta, multiplicación o división), relacionales (mínimo, máximo, promedio) o trigonométricos (Dunca, 2018).

Estas operaciones dan explicaciones multidireccionales de la zona evaluada y se emplean para divisar escenarios futuros y dar previsiones, pero, al mismo tiempo

permiten valorar el pasado, como es el caso, y, cuyo beneficio radica en conocer los cambios trascendentales y causas que dieron lugar al panorama actual y del mismo modo emplearlos para mejoramientos futuros, así, los datos son fiables y dan un análisis profundo que une el pasado y futuro y se pueden encaminar actividades o estrategias hacia un determinado objetivo, considerando factores determinantes e implementando condiciones realizables, en resumen, las operaciones con algebra de mapas de carácter multidireccional pueden dar medidas precisas y útiles, con menor incertidumbre (Deal, Pan, Timm, & Pallathucheril, 2017; Dunca, 2018; Shu et al., 2015).

3.4. El caso de Medellín

Ya que Medellín se ha perfilado como una ciudad en exploración e implementación de espacios verdes y su conectividad, resulta imprescindible la medición espacial de las transformaciones para evaluar sus aciertos y posibles mejoras, así mismo, identificar dónde suceden las mayores pérdidas de espacios verdes y cuales sectores a nivel de barrios o comunas presentan proporcionalidad o deficiencia de este recurso. Si se conoce espacialmente los cambios de la infraestructura verde se puede planificar la disposición adecuada de nuevos proyectos de ciudad y vincular o disponer áreas para para uso, conservación o enriquecimiento, que permitan el desarrollo necesario a nivel de infraestructura respetando y fortaleciendo las áreas de provisión, regulación o disfrute de los recursos naturales, en resumen, mejoramiento de la planificación urbana de la ciudad de Medellín.

4. Desarrollo Metodológico

Para la cuantificación y caracterización de la abundancia y distribución de los espacios verdes en el casco urbano de Medellín, se evaluaron inicialmente las bases de datos de los POT 2006, 2014 (Planes de Ordenamiento Territorial) y Espacios Públicos Existentes EPE Medellín, este último archivo, fue construido con la compilación de información de estos aspectos que comprende desde los años 1948 hasta 2014.

Dada la robustez de datos incluida en el EPE Medellín, se decidió trabajar con este documento los análisis subsiguientes. Se estableció que todos los datos estuviesen bajo las mismas coordenadas para garantizar la coherencia entre los conjuntos de datos, y, se ejecutaron análisis de estadística descriptiva de los datos empleados, incluidos en el EPE Medellín.

El mapa de EPE Medellín cuenta con 2101 datos de espacios públicos existentes, comprendiendo los años 1948, 1970, 1985, 1996, 2006 y 2014. Estos datos fueron seleccionados según la temporalidad y se transformaron a shapes, que seguidamente se unieron con la capa del municipio de Medellín para ejecutar posteriormente su transformación a archivos tipo raster.

Una vez se obtuvo los archivos tipo raster de cada una de las temporalidades y su respectiva unión con Medellín, se procedió a establecer la cobertura de EPE en cada año estudiado.

Se hizo medición del porcentaje de cobertura de los EPE en cada uno de los cortes y su cambio a través del tiempo. Igualmente, estos archivos raster por temporalidades fueron sumados entre ellos, y se identificaron los cambios relacionados a áreas nuevas o perdidas.

Por último, se determinó el tamaño relativo de las áreas verdes presentes en el área estudiada, durante la época valorada, esto, categorizando las áreas de 1 a 10, y con el uso de la fórmula de Índice Tamaño Relativo de Zonas Verdes, *ITRZV*, mencionado anteriormente.

5. Resultados y discusión

El mapa de EPE Medellín, tiene en total 2101 datos, distribuidos por años según se encuentra en la Tabla 2.

Tabla 2. Datos de las temporalidades a analizar

Año	No de datos	Área Ha
1948	61,0	276,4
1970	334,0	75,7
1985	587,0	277,4
1996	344,0	109,0
2006	390,0	111,7
2014	385,0	170,7
Total	2101,0	1020,9

Fuente: autor, 2019

En la Figura 2, se muestra la dinámica de las zonas verdes durante el tiempo estudiado, se encuentra la variación en Hectáreas por año y de manera acumulada. En cuanto al área acumulada, se evidencia un incremento general a través del tiempo. No sucede lo mismo en el cambio de año a año estudiado, respecto al área por año, para el 1948, sobresalen las zonas verdes de los cerros tutelares como, el Pan de Azúcar, el Cerro Nutibara, La Asomadera, también, el Jardín Botánico, y parques reconocidos como el del Poblado, Barrio Boston, Laureles, entre otros, siendo las áreas de este año, las segundas con mayor cantidad de área en hectáreas (276,4 Ha), de las zonas verdes en la ciudad de Medellín durante el tiempo que es objeto de estudio.

Para el año 1970, las zonas verdes de Medellín destacadas son los parques, las zonas verdes de uso recreativo y algunos ecoparques. En 1985 hubo de nuevo un incremento representativo en el área de zonas verdes, siendo este periodo el de

mayor área de zonas verdes referenciadas (277,4 Ha), y este comportamiento se debe importantemente a la inclusión en este año del parque norte, zona verde Santa Rosa de Lima y zona verde Altamira, los tres sitios con una extensión mayor, en relación a los demás sectores alta.

Para los años 1996, 2006 y 2014, hubo leves incrementos en el área total de zonas verdes, en especial en lo referente a Ecoparques, parques recreativos y pequeñas áreas de zonas verdes.

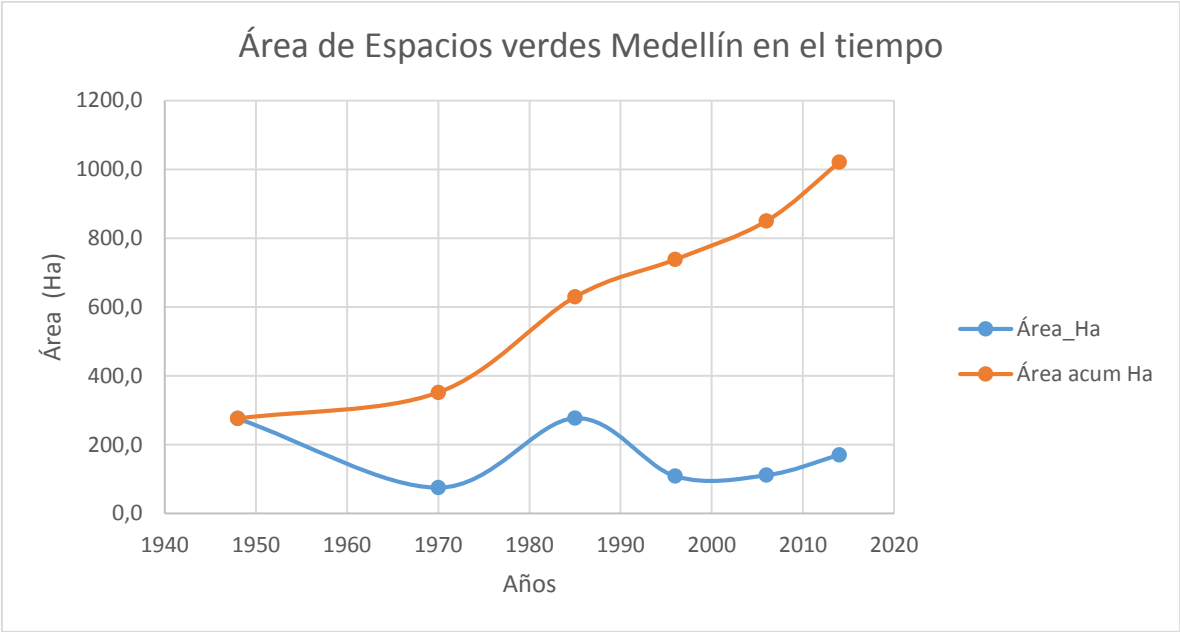


Figura 2. Área de espacios verdes de Medellín y su dinámica en el tiempo.

Fuente: autor, 2019

Se ejecutó el análisis del área de EPE en m² por habitante, a través del tiempo, Figura 3. Como era de esperarse entre los años 50s y 70s, el espacio verde por m², era mayor para la población (7,72 m²), pero, de los años 80s en adelante decreció, con datos al 2014 de 3,71 m², por habitante; lo que evidencia no sólo la pérdida de disponibilidad de espacio público y zonas verdes, sino también, la disminución de oferta de servicios ecosistémicos mientras la demanda crece continuamente. Por

otra parte, el área por habitante está muy distante de la recomendada por OMS (9 m²), no sólo actualmente, sino desde el inicio de los datos analizados.

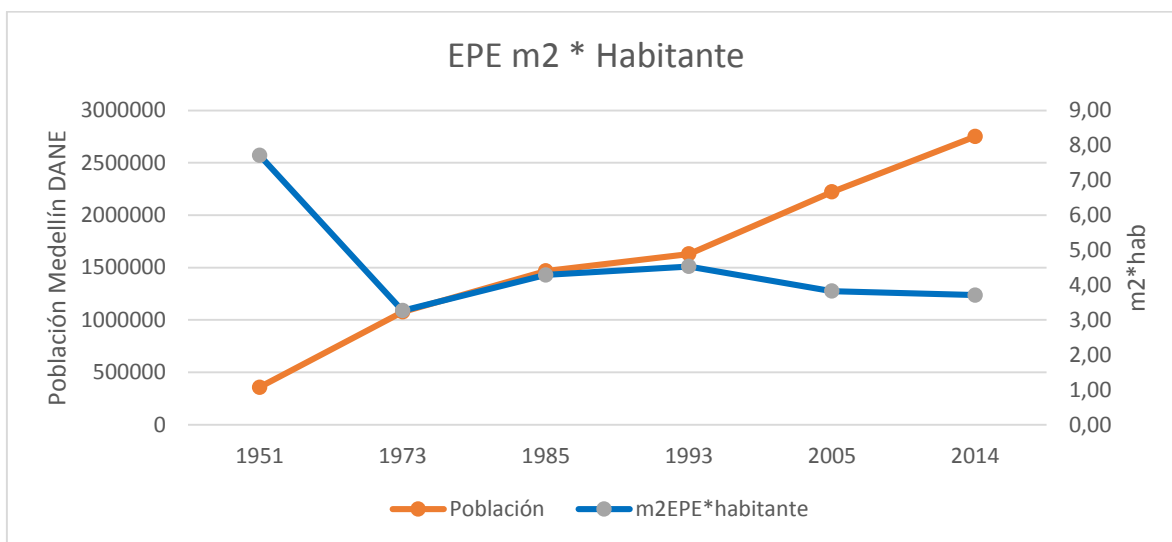


Figura 3. EPE en m² por habitante.

Fuente: autor, 2019

Los datos de EPE Medellín, permitieron realizar otros análisis respecto a las categorías diferenciadas en el mismo. En la Figura 4, está la transición de los EPE por categorías diferenciadas como parques, plazas, zonas verdes y mirador panorámico, los datos muestran que, las zonas verdes han permanecido en aumento y, las demás categorías, se han mantenido o decrecido en el tiempo.

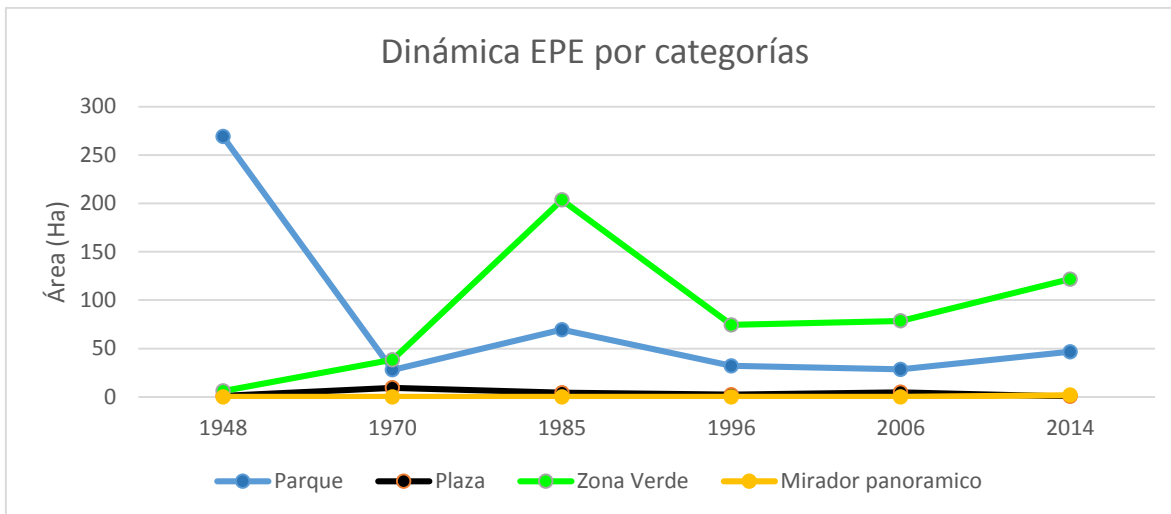


Figura 4. EPE según Categorías.

Fuente: autor, 2019

En torno a las subcategorías (fig 5), se tienen ítems de ecoparque, parque recreativo, plazuela, mirador panorámico, plaza, zona verde recreacional, parque cívico y plazoleta, nuevamente los mayores aumentos fueron para las zonas verdes recreacionales y parques recreativos, los ecoparques se comportaron de manera descendente, y las plazas, plazoletas y plazuelas se mantuvieron medianamente constantes.

Se puede inferir entonces, que en principio Medellín, apuntó a establecer sus parches naturales “grandes” como los cerros y ecoparques y una vez sucedido esto, no hubo expansión o aumento de los mismos en el tiempo; contrario a lo sucedido con zonas verdes y parques cuyo auge ha aumentado en el tiempo. Ambas condiciones están relacionadas con la expansión urbana, donde se presentan reducciones y fragmentación de coberturas naturales, dando en consecuencia, menores posibilidades de mantenimiento y conservación de áreas verdes extensas y trasladando estas necesidades de espacio público verde a nivel más pequeño, repartido y sectorizado de la ciudad.

Se apunta que la estabilidad de las plazas, plazoletas y plazuelas está influenciada por su valor histórico y apropiación cultural por parte de los habitantes de la ciudad.

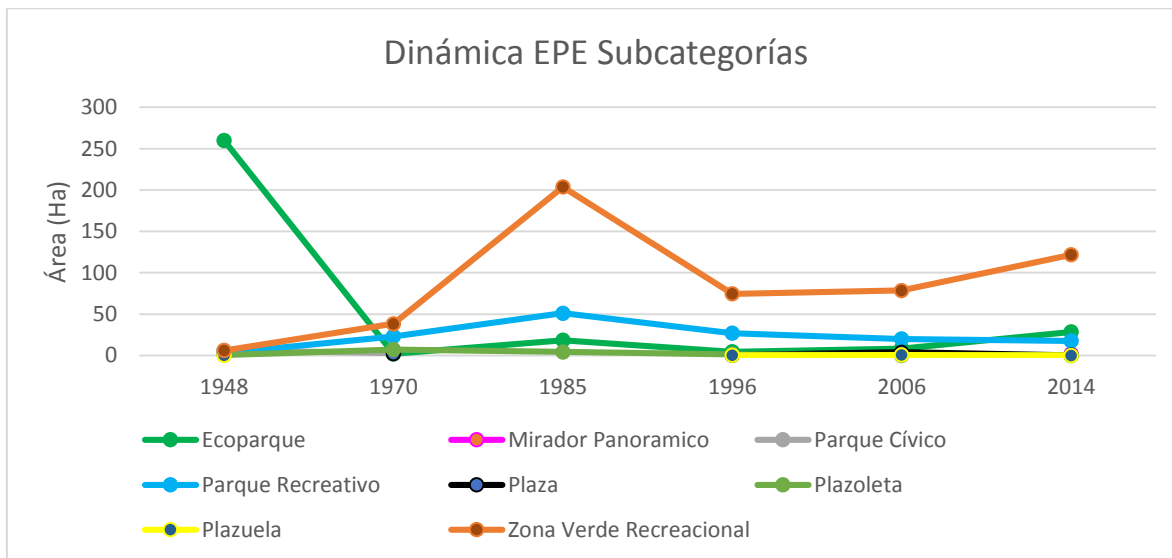


Figura 5. EPE según Sub-Categorías.

Fuente: autor, 2019

Un análisis complementario se hizo con los EPE según jerarquías, (fig 6), aquí es claro que las zonas verdes fueron tendientes a escenarios metropolitanos hace unos 70 años, pero, con el avance de los años, esta inclinación cambió y se desplazó a aumentar a nivel más específico, como está en la Figura 6, en especial a escala barrial y comunal, donde se mantienen áreas verdes pequeñas en las que hay parques, o al interior de urbanizaciones o solares de las antiguas casonas.

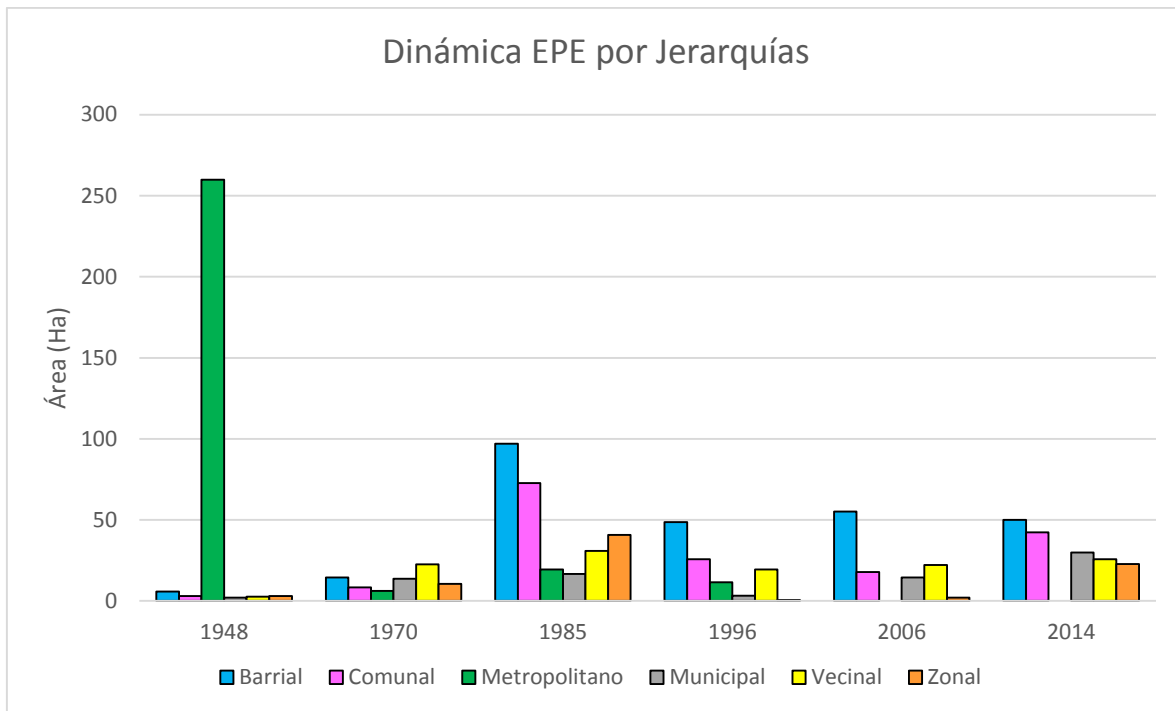
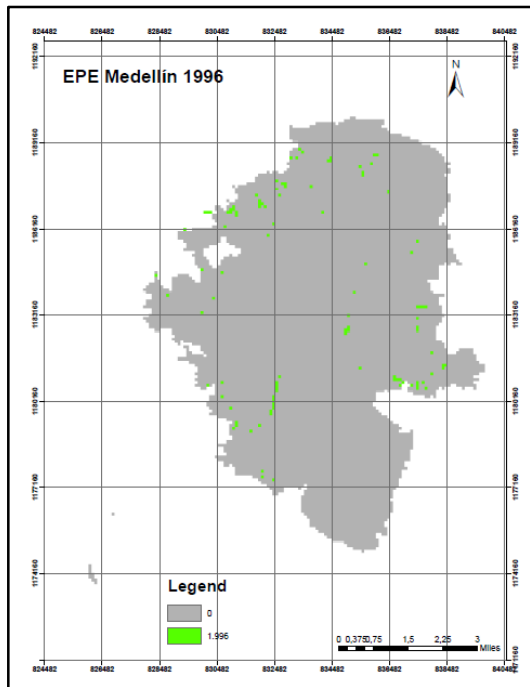
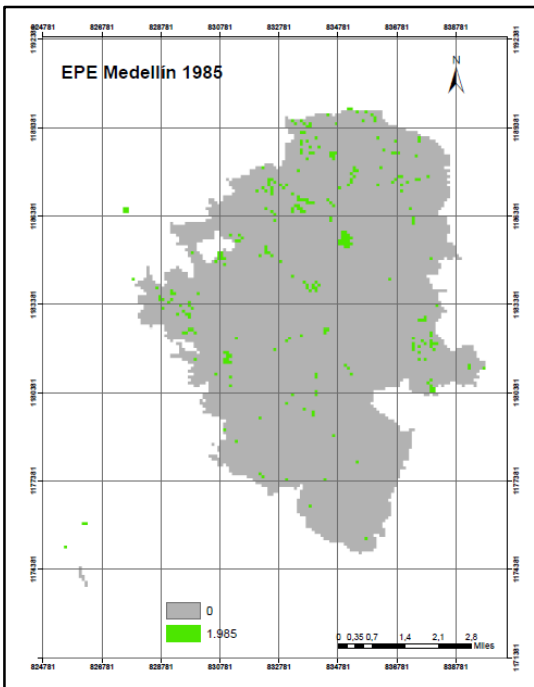
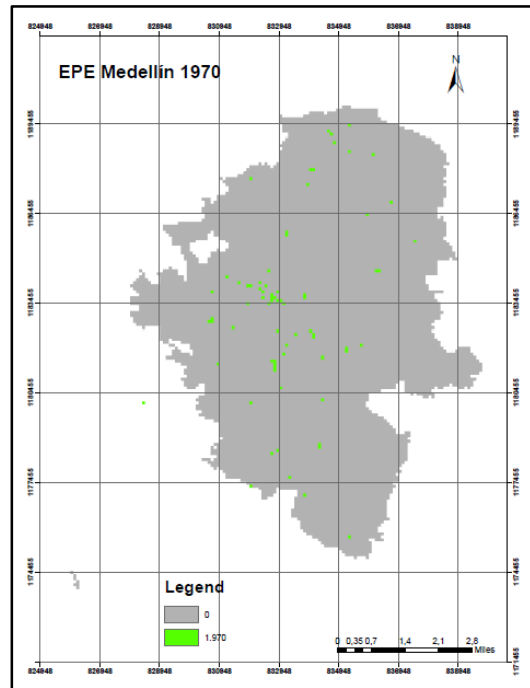
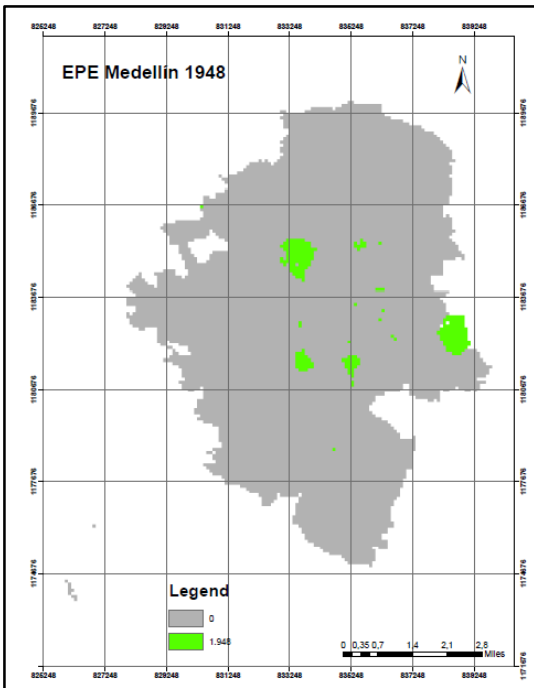
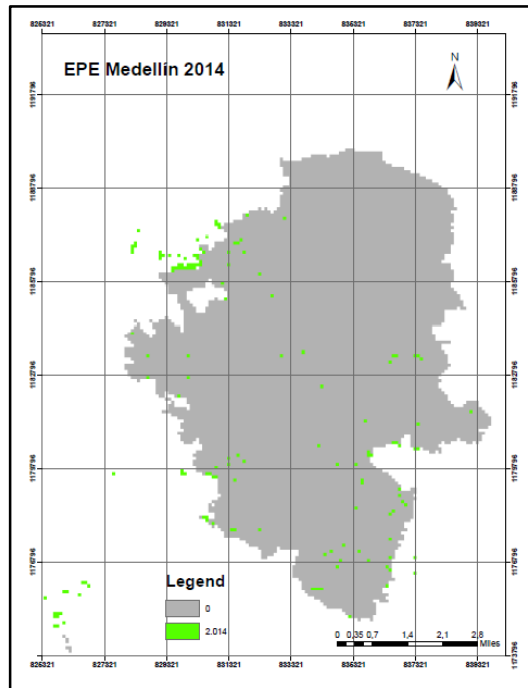
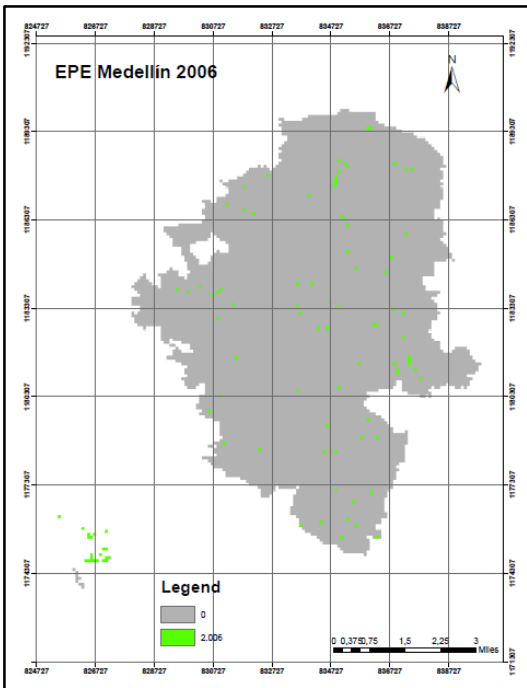


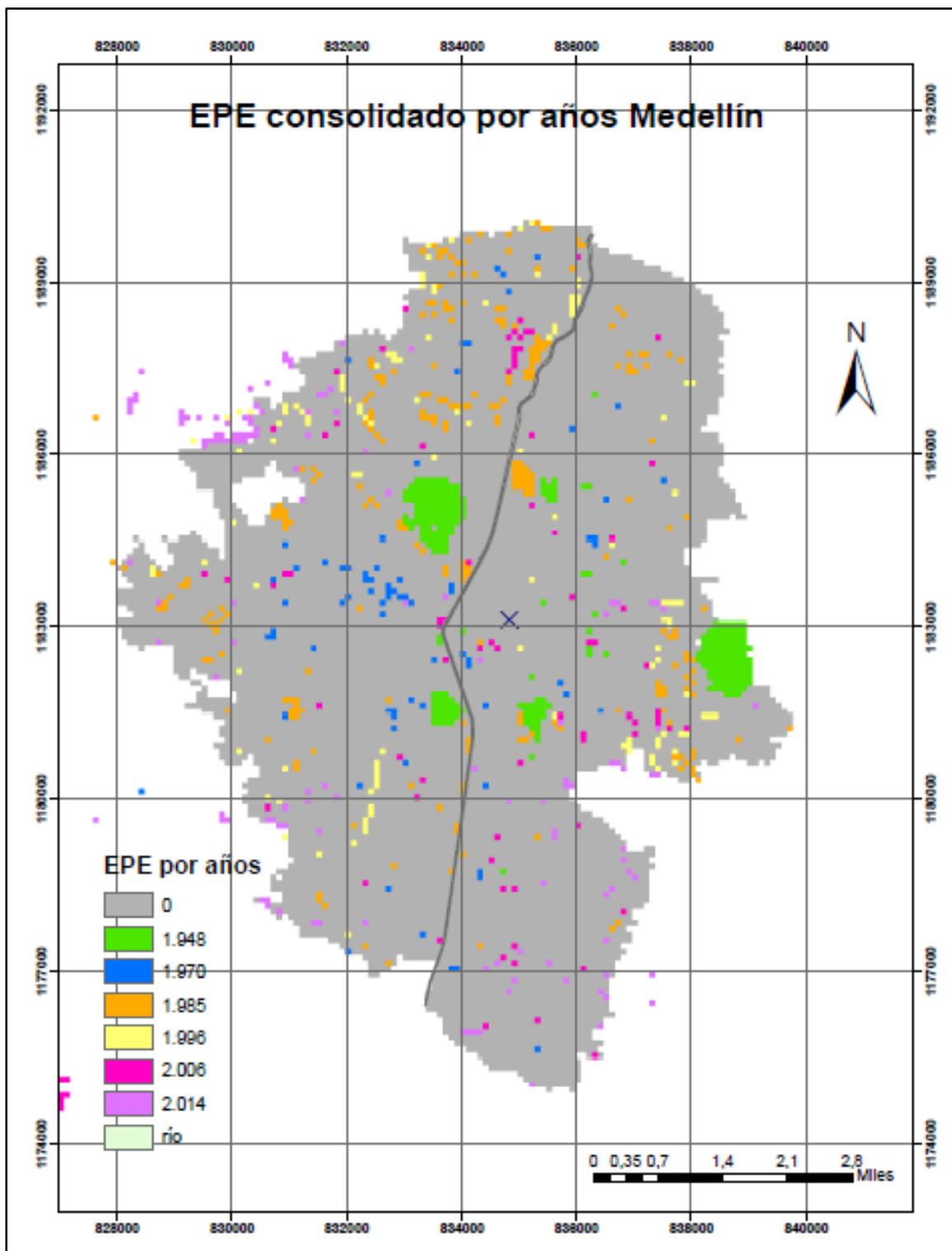
Figura 6. EPE según Jerarquías.

Fuente: autor, 2019

A continuación, se muestran los mapas raster obtenidos de cada uno de los EPE por las temporalidades y en consolidado, así mismo, su respectiva unión con el polígono del mapa de Medellín.







En las Figuras 7 y 8, está el porcentaje de cobertura de zonas con EPE y sin EPE en el tiempo, acorde a esto, el porcentaje de cobertura de áreas sin EPE, en todos los años, es ampliamente mayor a los encontrados para el porcentaje de cobertura de áreas con EPE, específicamente este valor de porcentaje para áreas con EPE, no sobrepasa en ningún caso el 3% del territorio evaluado, y ha tenido dos momentos significativos, en 1948 con la inclusión de los cerros tutelares y en 1985, cuando se adiciona el área correspondiente al parque norte, lugar con amplia extensión, que resulta significativo dentro de los datos valorados.

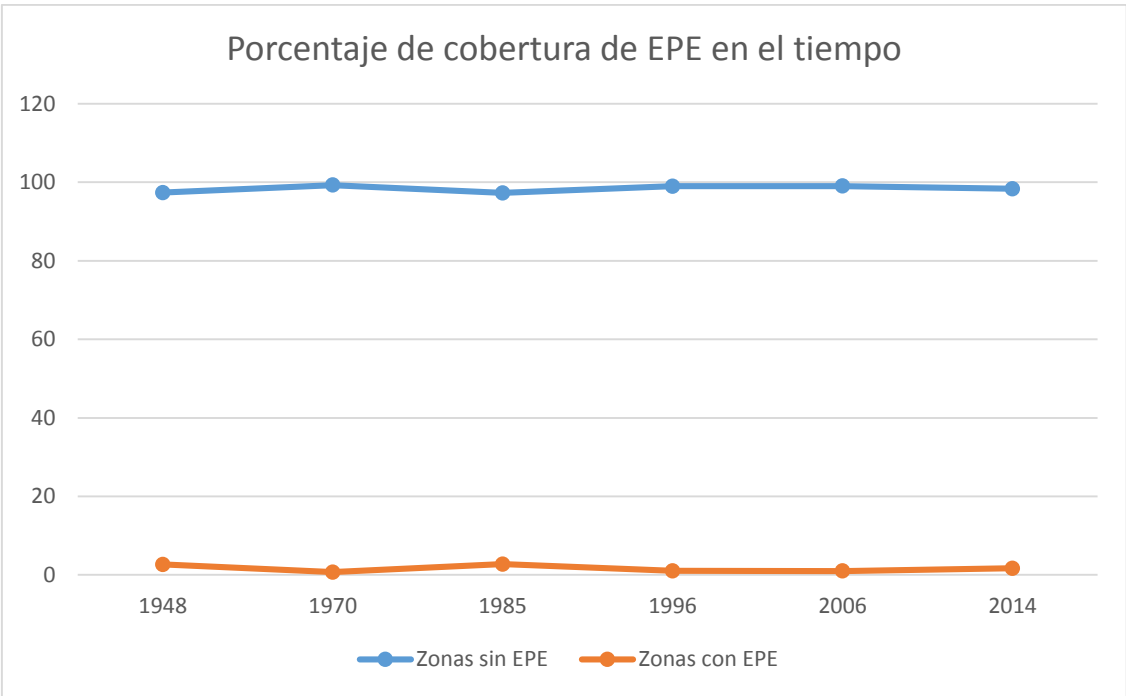


Figura 7. Porcentaje de cobertura EPE en el tiempo.

Fuente: autor, 2019

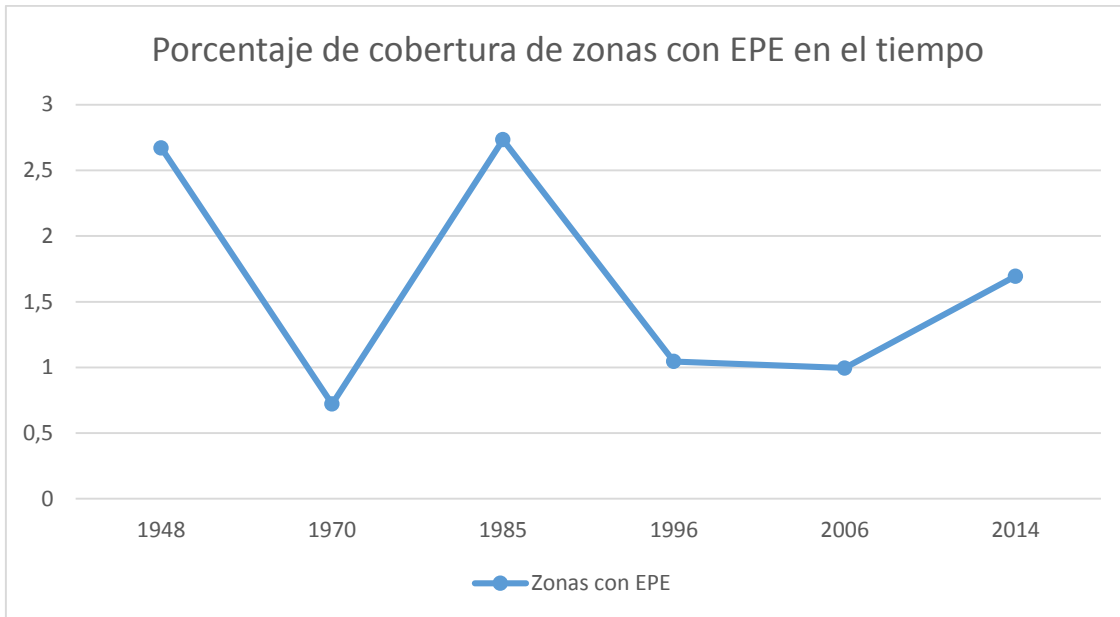
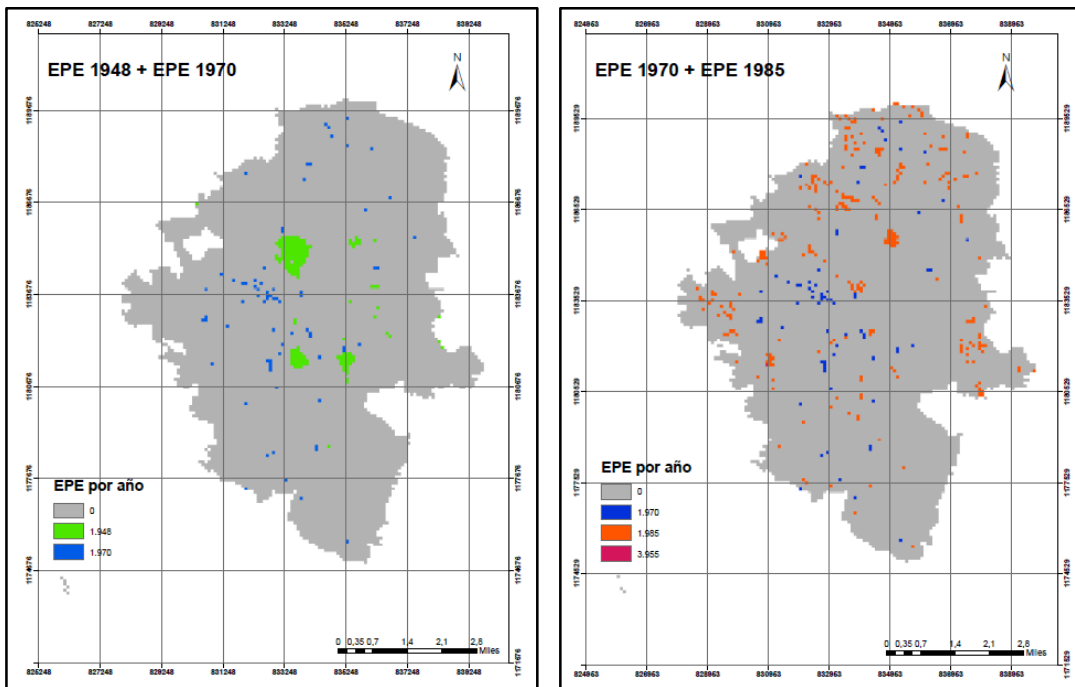
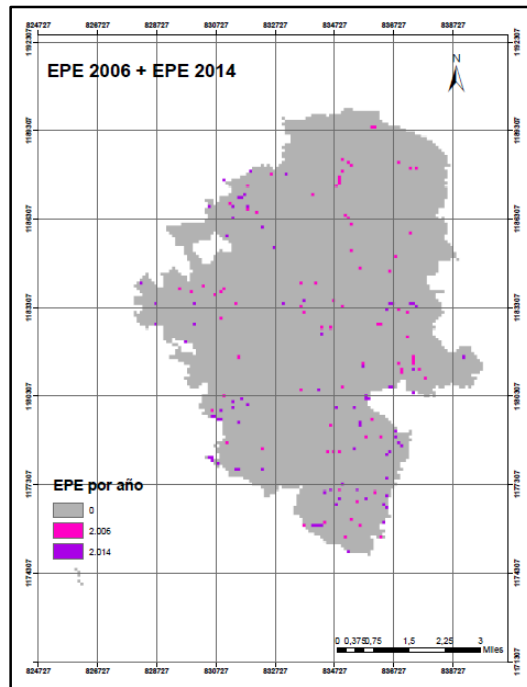
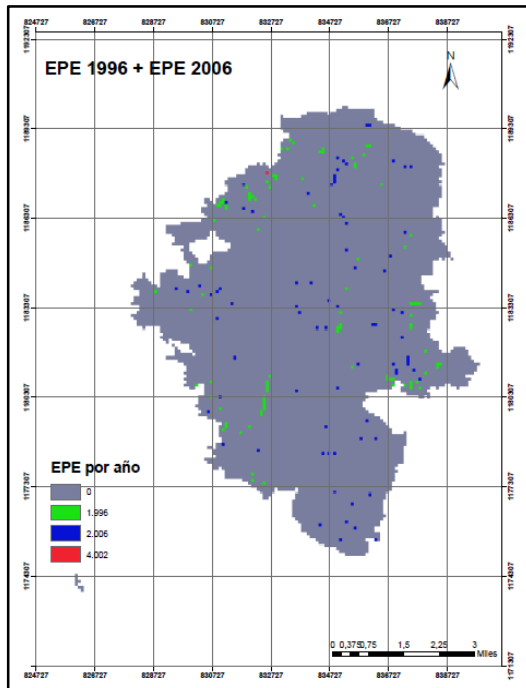
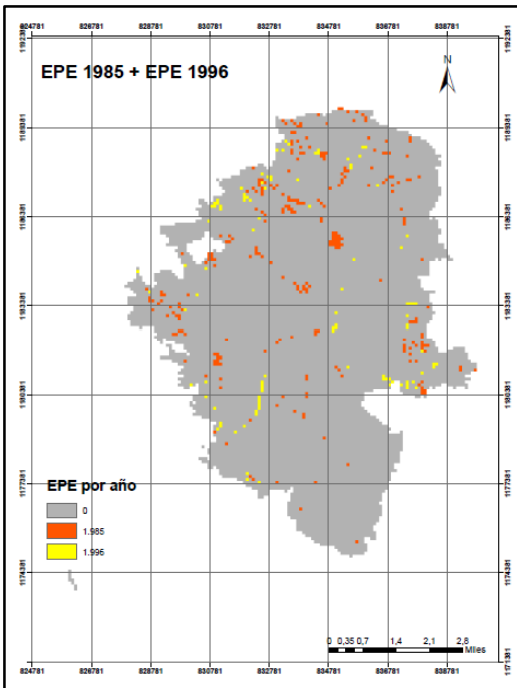


Figura 8. Porcentaje de cobertura de zonas con EPE en el tiempo.

Fuente: autor, 2019

Los siguientes mapas contienen información de los EPE, con la sumatoria de los mismos cada dos temporalidades.





En el siguiente mapa están representados los EPE según su tamaño relativo, este mapa se obtuvo al categorizar las zonas verdes de acuerdo a su área en 10 tipos, de 1 a 10, utilizando el *ITRZV*, siendo 1, los EPE con menor área y 10 los de área mayor, se determinó que la mayoría de los datos o EPE (99%) pertenecen a la categoría 1, cuyo rango de área en m² va desde 0,00485 a 53680,0723, el restante 1% de las categorías se agrupó en cuatro grupos, cuyos valores son consecutivos a la categoría 1, dejando sin datos las clasificaciones entre 5 y 9, y con un solo dato a la categoría 10.

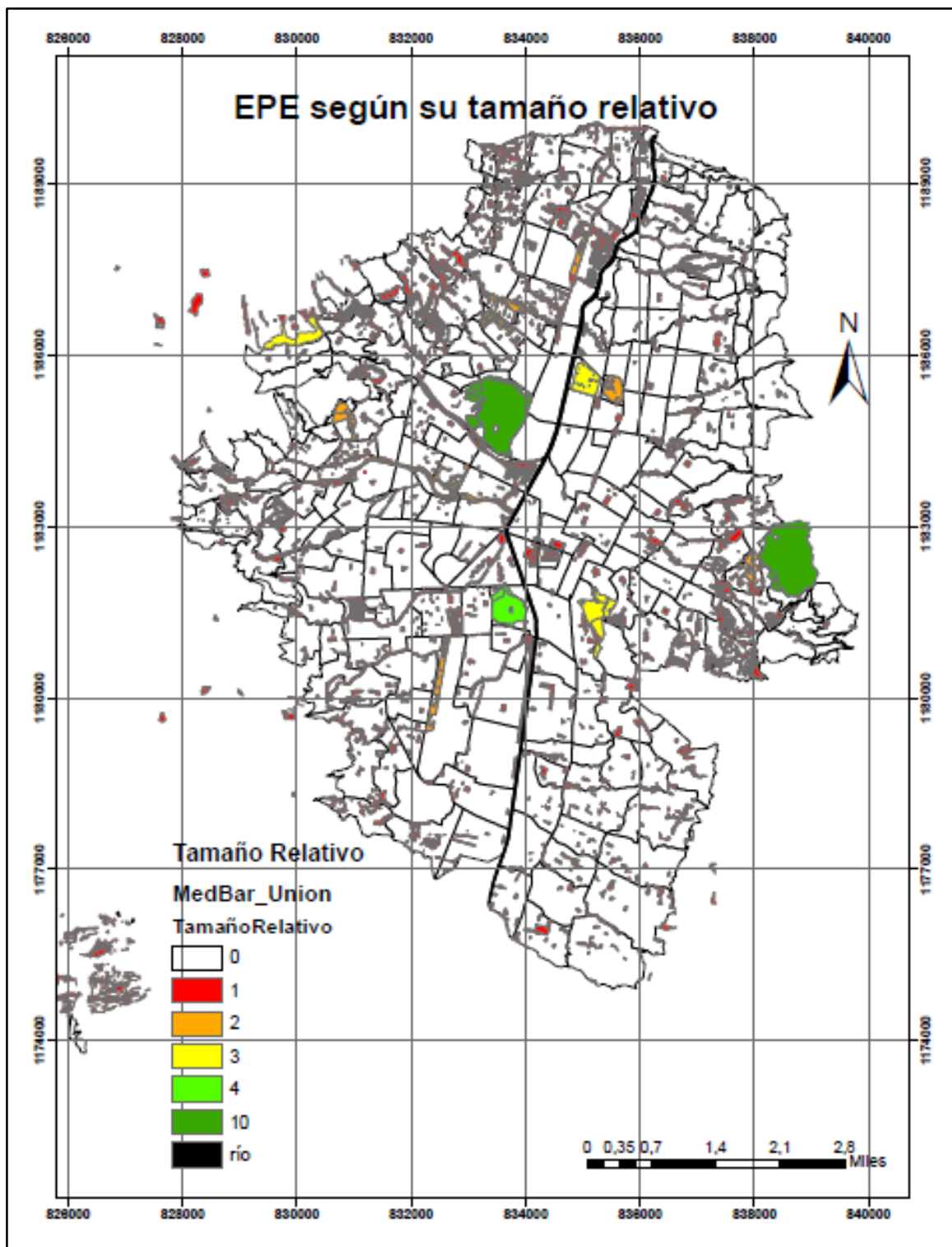
Es decir que, en Medellín prevalecen los EPE de tamaño relativamente pequeño, seguidos de otros EPE consecutivos, también pequeños, los espacios verdes de áreas amplias son mínimos y son conocidos o se refieren a los cerros tutelares.

Dada la tendencia de EPE pequeños, se provoca que la oferta de servicios ecosistémicos tienda especialmente al carácter cultural, con pocas o nulas ofertas de regulación y provisión ecosistémica, lo que genera nuevos retos a la planificación del territorio y sus requerimientos en el tiempo.

Tabla 3. Resumen de categorización de EPE de acuerdo a su tamaño relativo

Categoría	Rango	Área m²	No datos	%
1	Min	0,00485	2082	99,09566873
	Max	53680,0723		
2	Min	62076,3777	13	0,618752975
	Max	152344,128		
3	Min	191098,668	3	0,142789148
	Max	254282,964		
4	Min	288879,183	1	0,047596383
	Max			
10	Min	951046,669	2	0,095192765
	Max	999522,865		

Fuente: autor, 2019



6. Discusión Final

Se determinaron seis cortes temporales para analizar la abundancia y distribución de zonas verdes en el casco urbano de Medellín, respecto al área acumulada total de zonas verdes, aumentó de manera regular en tiempo, sin embargo, teniendo en cuenta las áreas de zonas verdes año a año, sólo hubo incrementos considerables en 1948 y 1985, esto, por la inclusión de los cerros tutelares y luego el parque norte dentro de las zonas verdes de la ciudad.

La cobertura de área verde por habitante ha disminuido en el tiempo, sustancialmente después de los años 70's, pero, en general esta cifra se ha mantenido y mantiene por debajo de los valores establecidos por la OMS.

Respecto a las categorías evaluadas, en general, se estableció que las zonas verdes grandes, así como las de carácter metropolitano o municipal, solo sucedieron hace unos 70 años, luego de eso, la ciudad y la población ha extendido sus fronteras y ocupación, en consecuencia, hay una reducción de áreas verdes amplias a conservar, actualmente se implantan áreas de niveles más específicos como barrial y comunal.

La conservación de figuras como plazas, plazuelas y plazoletas se relaciona con su valor histórico y social, y las áreas que se conservan en barrios se debe a que se encuentran al interior de urbanizaciones o solares de las antiguas casonas.

Este panorama fue confirmado por el mapa de EPE según su tamaño relativo, donde claramente se observa la prevalencia de los pequeños espacios verdes en la ciudad, con sólo unos sitios muy específicos de zonas verdes de relativo gran tamaño.

7. Literatura Citada

- Aburrá, Á. de. (n.d.). Plan Maestro de Espacios Públicos Verdes Urbanos de la Región Metropolitana del Valle de Aburrá". ... *Público Verde Urbano En La Región Metropolitana Del ...*, (2006), 145–153.
- Aguilera-Benavente, F. (2018). Definición De Infraestructuras Verdes: Una Propuesta Metodológica Integrada Mediante Análisis Espacial., *64*(iv), 1–29.
- Alcaldia de Medellin. (n.d.). El NUEVO POT Plan de Ordenamiento Territorial, Una ciudad para la gente, una ciudad para la vida., 1–28.
- Alphan, H. (2017). Analysis of landscape changes as an indicator for environmental monitoring. *Environmental Monitoring and Assessment*, *189*(1). <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5748-7>
- Anbazhagan, S., & Paramasivam, C. R. (2016). Assessment of land use and land cover changes in magnesite mining region, Salem, India. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, *9*(3), 898–905.
- Brunbjerg, A. K., Hale, J. D., Bates, A. J., Fowler, R. E., Rosenfeld, E. J., & Sadler, J. P. (2018). Can patterns of urban biodiversity be predicted using simple measures of green infrastructure? *Urban Forestry and Urban Greening*, *32*(March 2017), 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.015>
- Canetti, A., Garrastazu, M. C., Mattos, P. P. de, Braz, E. M., & Pellico Netto, S. (2018). Understanding multi-temporal urban forest cover using high resolution images. *Urban Forestry and Urban Greening*, *29*(May 2017), 106–112. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.10.020>
- Deal, B., Pan, H., Timm, S., & Pallathucheril, V. (2017). Computers , Environment and Urban Systems The role of multidirectional temporal analysis in scenario planning exercises and Planning Support Systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, *64*, 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.01.004>
- Di Somma, A., Ferrari, V., & Ramos de Las Heras, N. (2010). El uso del suelo y el análisis multitemporal – Modificaciones del tejido urbano en la Provincia de Roma (Italia). *Colóquio Ibérico de Geografía*, *XII*. Retrieved from

<http://web.letras.up.pt/xiicig/comunicacoes/183.pdf>

- Dobbs, C., Hernández-Moreno, Á., Reyes-Paecke, S., & Miranda, M. D. (2018). Exploring temporal dynamics of urban ecosystem services in Latin America: The case of Bogota (Colombia) and Santiago (Chile). *Ecological Indicators*, 85(June 2017), 1068–1080. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.062>
- Dunca, E. C. (2018). Spatial Analysis Methods of Raster Data Used into the Geographical Information Systems, 151–158.
- Girma, Y., Terefe, H., Pauleit, S., & Kindu, M. (2018). Urban Green Spaces Supply in Rapidly Urbanizing Countries: The Case of Sebeta Town, Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 13(December 2017), 138–149. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.10.019>
- Hewitt, R., Delden, H. Van, & Escobar, F. (2014). Environmental Modelling & Software Participatory land use modelling , pathways to an integrated approach. *Environmental Modelling and Software*, 52, 149–165. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.10.019>
- Hussein, S. O. (2018). Monitoring urban greenness evolution using multitemporal Landsat imagery in the city of Erbil (Iraq). *Central European Geology*, 1–12. <https://doi.org/10.1556/24.61.2018.10>
- Jennings, V., Floyd, M. F., Shanahan, D., Coutts, C., & Sinykin, A. (2017). Emerging issues in urban ecology : implications for research , social justice , human health , and well-being, 69–86. <https://doi.org/10.1007/s11111-017-0276-0>
- Jupová, K., Bartaloš, T., Soukup, T., Moser, G., Serpico, S. B., Krylov, V., ... Rochard, N. (2017). Monitoring of green, open and sealed urban space. *2017 Joint Urban Remote Sensing Event, JURSE 2017*, (March). <https://doi.org/10.1109/JURSE.2017.7924561>
- Katyambo, M. M., & Ngigi, M. M. (2017). Spatial Monitoring of Urban Growth Using GIS and Remote Sensing : A Case Study of Nairobi Metropolitan Area , Kenya, 6(2), 64–82. <https://doi.org/10.5923/j.ajgis.20170602.03>
- Kim, H. Y., Choi, Y., Kim, H., & Oh, S. H. (2016). Planning for the suitable? Land use suitability and social and ecological factors for locating a new hazardous facility.

- KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(1), 359–366.
<https://doi.org/10.1007/s12205-014-0199-6>
- Kuo, H. F., & Tsou, K. W. (2017). Modeling and simulation of the future impacts of urban land use change on the natural environment by SLEUTH and cluster analysis. *Sustainability (Switzerland)*, 10(1).
<https://doi.org/10.3390/su10010072>
- Langevin, C., & Stow, D. A. (2004). Identifying change in a dynamic urban landscape: A neural network approach to map-updating. *Progress in Planning*, 61(4), 327–348. [https://doi.org/10.1016/S0305-9006\(03\)00067-9](https://doi.org/10.1016/S0305-9006(03)00067-9)
- Li, F., Liu, X., Zhang, X., Zhao, D., Liu, H., Zhou, C., & Wang, R. (2017). Urban ecological infrastructure: an integrated network for ecosystem services and sustainable urban systems. *Journal of Cleaner Production*, 163, S12–S18.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.079>
- Li, Y., Ma, Q., Song, Y., & Han, H. (2019). Bringing conservation priorities into urban growth simulation: An integrated model and applied case study of Hangzhou, China. *Resources, Conservation and Recycling*, 140(July 2018), 324–337.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.032>
- Marraccini, E., Debolini, M., Moulery, M., Abrantes, P., Bouchier, A., Chéry, J. P., ... Napoleone, C. (2015). Common features and different trajectories of land cover changes in six Western Mediterranean urban regions. *Applied Geography*, 62(January), 347–356. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.05.004>
- Medio, Alcaldía de Medellín Secretaria de Ambiente, Parque Explora, I. de I. de R. B. A. von H., & Jardín Botánico de Medellín, Parques Nacionales Naturales de Colombia, S. A. de O. (n.d.). *Propuesta de Gestión Integral de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos para Medellín*.
- Mena, C., Ormazábal, Y., Morales, Y., Santelices, R., & Gajardo, J. (2011). Índices De Área Verde Y Cobertura Vegetal Para La Ciudad De Parral (Chile), Mediante Fotointerpretación Y Sig Green Area and Vegetation Cover Indexes for Parral City (Chile) Using Photointerpretation and Gis. *Ciência Florestal*, 21(3), 521–531. Retrieved from <http://www.scielo.br/pdf/cflo/v21n3/1980-5098-cflo-21-03->

00521.pdf

- Mendoza, J. ., & Etter, A. (2002). Multitemporal analysis (1940 ± 1996) of land cover changes in the Å highplain (Colombia) southwestern Bogota. *Landscape and Urban Planning*, 59, 147–158.
- Mesa, Mesa, M., & Toledo, R. (n.d.). *BIO 2030 PLAN DIRECTOR MEDELLÍN, VALLE DE ABURRÁ Un sueño que juntos podemos alcanzar*.
- Mucova, S. A. R., Filho, W. L., Azeiteiro, U. M., & Pereira, M. J. (2018). Assessment of land use and land cover changes from 1979 to 2017 and biodiversity & land management approach in Quirimbas National Park, Northern Mozambique, Africa. *Global Ecology and Conservation*, 16, e00447. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00447>
- Pickett, S. T. A., Cadenasso, M. L., Grove, J. M., Nilon, C. H., Pouyat, R. V., Zipperer, W. C., & Costanza, R. (2001). U RBAN E COLOGICAL S YSTEMS : Linking Terrestrial Ecological , Physical , and Socioeconomic. *Urban Ecosystems*. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114012>
- Rafiee, R., Salman, A., & Khorasani, N. (2009). International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation Assessment of changes in urban green spaces of Mashad city using satellite data, 11, 431–438. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.08.005>
- Sha, Z., Wang, Y., Tan, X., Ali, Y., Chen, J., & Li, R. (2018). Mapping the Changes in Urban Greenness Based on Localized Spatial Association Analysis under Temporal Context Using MODIS Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(10), 407. <https://doi.org/10.3390/ijgi7100407>
- Shu, J., Wu, L., Zhang, L., & Han, B. (2015). Spatial Power Network Expansion Planning Considering Generation Expansion. *IEEE Transactions on Power Systems*, 30(4), 1815–1824. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2014.2358237>
- Shukla, A., & Jain, K. (2019). Critical analysis of spatial-temporal morphological characteristic of urban landscape. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(4). <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4270-y>
- Soria-lara, J. A., Aguilera-benavente, F., & Arranz-lópez, A. (2016). Integrating land

- use and transport practice through spatial metrics. *Transportation Research Part A*, 91, 330–345. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.06.023>
- Tian, Y., Liu, Y., Jim, C. Y., & Song, H. (2017). Assessing structural connectivity of urban green spaces in metropolitan Hong Kong. *Sustainability (Switzerland)*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/su9091653>
- Toure, S. I., Stow, D. A., Shih, H. chien, Weeks, J., & Lopez-Carr, D. (2018). Land cover and land use change analysis using multi-spatial resolution data and object-based image analysis. *Remote Sensing of Environment*, 210(January 2017), 259–268. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.03.023>
- Urbina Gabiña, M. (2017). Los conflictos socioambientales en la planificación y gestión de la infraestructura verde urbana: El caso de Vitoria-Gasteiz.
- Wang, H., Qin, J., & Hu, Y. (2017). Influence of Three Types of Boundary on the Level of Greenspace in Cities. *Procedia Engineering*, 198(September 2016), 482–489. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.102>
- Wang, J., Zhou, W., Qian, Y., Li, W., & Han, L. (2018). Quantifying and characterizing the dynamics of urban greenspace at the patch level: A new approach using object-based image analysis. *Remote Sensing of Environment*, 204(March 2017), 94–108. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.039>
- Yang, Y., Liu, Y., Li, Y., & Du, G. (2018). Quantifying spatio-temporal patterns of urban expansion in Beijing during 1985–2013 with rural-urban development transformation. *Land Use Policy*, 74(July 2017), 220–230. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.07.004>
- Zhou, W., Wang, J., Qian, Y., Pickett, S. T. A., Li, W., & Han, L. (2018). The rapid but “invisible” changes in urban greenspace: A comparative study of nine Chinese cities. *Science of the Total Environment*, 627, 1572–1584. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.335>
- Zhu, Z., Fu, Y., Woodcock, C. E., Olofsson, P., Vogelmann, J. E., Holden, C., ... Yu, Y. (2016). Including land cover change in analysis of greenness trends using all available Landsat 5, 7, and 8 images: A case study from Guangzhou, China (2000–2014). *Remote Sensing of Environment*, 185, 243–257.

<https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.03.036>