

RELACIÓN ENTRE CALIDAD DE VIDA Y DISTRIBUCIÓN DEL ARBOLADO URBANO EN BOGOTÁ: UNA PERSPECTIVA DESDE LA JUSTICIA AMBIENTAL URBANA.

RELATIONSHIP BETWEEN QUALITY OF LIFE AND URBAN TREE DISTRIBUTION IN BOGOTÁ: A PERSPECTIVE FROM URBAN ENVIRONMENTAL JUSTICE.

José Mario Mayorga Henao¹
Diego Felipe Lopez²

RESUMEN

El artículo problematiza respecto a la relación en Bogotá de la distribución de los grupos socioeconómicos según su calidad de vida y la distribución del arbolado, como una evidencia de injusticia ambiental. A partir del análisis territorial de la estructura urbana de Bogotá, se calculan indicadores de calidad de vida, los cuales se relacionan mediante el uso de técnicas econométricas con la distribución de árboles de la ciudad. Se encuentra que las características del modelo urbano de Bogotá presentan una estrecha relación entre los patrones espaciales de segregación socioeconómico de la población con baja calidad de vida y baja distribución de árboles por persona. Se concluye que la ciudad presenta una condición de injusticia ambiental a nivel espacial, en beneficio de poblaciones con mayores condiciones de vida urbanas.

Palabras clave: justicia ambiental, segregación urbana, arbolado urbano, econometría espacial.

ABSTRACT

The article problematizes the relationship in Bogotá between the distribution of socioeconomic groups according to their quality of life and the distribution of trees, as evidence of environmental injustice. From the territorial analysis of Bogotá's urban structure, quality of life indicators are calculated which are related through the use of econometric techniques with the distribution of trees in the city. It is

¹ Sociólogo, Candidato a Doctor en Geografía. Magister en Geografía y Magister en Planeación Urbana y Regional. Especialista en Derecho Urbanístico y Especialista en Estadística Aplicada. Bogotá. Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1039-0407>. E-mail: jmmayorgahenao@gmail.com

² Economista. Especialista en economía urbana y regional, estadística aplicada y desarrollo rural. Magíster en Administración Pública. Afiliación: Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Colombia. E-mail: diegof.lopezo@gmail.com.

found that the characteristics of the urban model of Bogotá present a close relationship between the spatial patterns of socioeconomic segregation of the population with low quality of life and low distribution of trees per person. It is concluded that the city presents a condition of environmental injustice at a spatial level, to the benefit of populations with greater urban living conditions.

Keywords: environmental justice, urban segregation, urban trees, spatial econometrics.

1. INTRODUCCIÓN

La expresión justicia ambiental emerge en los años setenta, sobre la base de los movimientos sociales que luchaban contra las desigualdades raciales en la distribución de los residuos peligros y las industrias contaminantes en Estados Unidos. Al respecto, algunos referentes en la identificación del fenómeno son Gelobter (1994), Sarokin y Schulkin (1994), Cutter (1995) y Harvey (1996).

A partir de la comprensión del medio construido como parte del medio ambiente urbano, la reflexión sobre la Justicia Ambiental se abre hacia nuevos horizontes de investigación. La Justicia Ambiental Urbana investiga las implicancias de la distribución de la población en los espacios urbanos, teniendo en cuenta tanto la distribución social de los males ambientales como las diferencias en la accesibilidad que tienen distintos grupos a los bienes ambientales o amenidades de la ciudad. Por ende, se reflexiona que al igual que los efectos ambientales negativos derivados de las industrias contaminantes o rellenos sanitarios, las funciones ambientales favorables provistas por, por ejemplo, las áreas verdes urbanas igualmente se distribuyen de manera asimétrica en la población. Por tanto, la Justicia Ambiental Urbana no solo se interesa por cómo los impactos ambientales de la contaminación o del riesgo tienen una distribución injusta entre los distintos grupos sociales, sino también de cómo se distribuyen los atributos ambientales positivos entre la población.

Históricamente las investigaciones sobre justicia ambiental en la ciudad se han enfocado en la distribución negativa de daños o males ambientales que afectan a los grupos sociales de bajos ingresos o minorías étnicas (Flocks et al., 2011; Dandorf et al., 2014). Mientras que las condiciones negativas del medio ambiente han recibido una considerable atención por parte de la academia, son pocos los estudios que se han centrado en demostrar las inequidades espaciales asociadas con la distribución de atributos ambientales positivos (Landry y Chakraborty, 2009).

En el caso de los árboles en un entorno urbano, se ha identificado que proporcionan importantes beneficios sociales y ecológicos, por lo cual la distribución desigual en diferentes ciudades del mundo ha concitado preocupaciones respecto a la justicia ambiental urbana. Dicha inequidad puede constituirse en un fenómeno de injusticia ambiental si es que son los grupos sociales más vulnerables en términos socioeconómicos, de género, étnicos u etarios, y que normalmente están sobre cargados por problemas ambientales (contaminación y riesgos entre otros) los que tienen menor acceso a los beneficios entregados por el arbolado urbano, no participan de las decisiones que los afectan y los procedimientos y regulaciones no cautelan adecuadamente sus derechos (Kerns y Watters, 2012).

Actualmente se plantea que el arbolado urbano deber tener una distribución equitativa entre los diferentes grupos sociales, y que el Estado debe mitigar las asimetrías actuales y evitar las futuras a través de instrumentos de planificación urbana, el aumento de la participación de estos grupos en las decisiones y fortalecer los movimientos sociales.

Investigaciones sobre los beneficios de los árboles en ambientes urbanos, han identificado que remueven la polución del aire y del agua, reducen las islas de calor y con ello los asociados al consumo energético de las construcciones, permiten un mejor manejo del agua y el drenaje urbano, así como en la reducción del ruido. Además de ello, los árboles en la ciudad contribuyen de manera positiva a la salud psicológica de los habitantes dado que incrementan la sensación de seguridad, disminuyen el estrés, la disminución en la fatiga, el mejoramiento de la productividad y la reducción de sentimientos de ira, depresión o ansiedad. Incluso, algunos autores argumentan que los árboles y espacios verdes propician una mejora en las relaciones sociales de un barrio al disminuir el crimen o incrementar el sentido de pertenencia a una comunidad en torno al cuidado y el mantenimiento de los mismos (Conway, Shakeel y Atallah, 2011; Kerns y Watters, 2012; Schwarz et al, 2015; Landry y Chakraborty, 2009; Flocks et al., 2011; Dandorf et al., 2014; Berland et al., 2015)

En Estados Unidos se han desarrollado múltiples estudios en los que por medio de métodos estadísticos y espaciales se evalúa la relación entre la distribución de los árboles en la ciudad y diferentes variables socioeconómicas como la etnia, ingreso promedio del hogar y la edad.

En el caso de Minneapolis and St Paul, Minnesota se identifica que la distribución de árboles está fuertemente asociada con el estatus socioeconómico y poco con la etnia y la edad de los grupos sociales (Kerns y Watters, 2012). En Cincinnati se identifica que las condiciones propias de la topografía del lugar influyen en la distribución de árboles en la ciudad, lo cual lleva a una mejor distribución en las partes altas ocupadas por población blanca de altos ingresos, generando una mejor condición ambiental en

comparación con las partes bajas ocupadas por población negra e hispana (Berland et al., 2015). En Tampa los investigadores se centran en estudiar los árboles que están en las calles públicas dado que su mantenimiento es de responsabilidad del Estado, e identifican que estos están distribuidos inequitativamente de manera tal que los grupos de nivel socioeconómico bajo y las minorías étnicas no reciben los beneficios aportados por los árboles (Landry y Chakraborty, 2009). En Miami-Dade Country, los investigadores identifican que, si bien algunos indicadores sobre la estructura forestal en la ciudad no presentan diferencias sustanciales entre grupos socioeconómicos según su ingreso y raza, los servicios ecosistémicos proporcionados por dichos arboles si son limitados en algunos sectores y por tanto tienden a ser inequitativos (Flocks et al., 2011). En Boston los resultados de la investigación realizada indican que los barrios de bajos ingresos y de minorías étnicas se asocian con niveles desproporcionadamente bajos de cobertura arbórea (Dandorf et al., 2014)

En una investigación comparativa entre Baltimore, Los Ángeles, New York, Philadelphia, Raleigh, NC, Sacramento and Washington los autores identifican igualmente mediante métodos estadísticos que hay una fuerte relación positiva entre la distribución de árboles y el ingreso, aunque matizan los hallazgos según las condiciones geográficas e históricas de cada ciudad (Schwarz et al., 2015).

Por otro lado, autores como Perkins y Heynen (2004) y Heynen, Perkins y Roy (2006) logran demostrar como a través de la política pública de reforestación en Milwaukee se pueden realizar importantes esfuerzos para mejorar las condiciones ambientales de sectores de baja renta en los que el mercado inmobiliario por sí mismo no puede responder a las necesidades de un mejor ambiente para sus pobladores.

Iguales resultados se han obtenido en otros contextos como Australia, en donde la investigación realizada por Kirkpatrick, Daniels y Davison (2011) llega a conclusiones sobre la desigualdad en la presencia de árboles en el espacio público de seis ciudades, si se comparan internamente los grupos según sus ingresos económicos.

En el contexto latinoamericano se identifican dos investigaciones al respecto. Por un lado, la investigación de Escobedo et al. (2008) concluye que la política pública de reforestación para el mejoramiento de la calidad de vida en Santiago de Chile tiene un mayor impacto entre los grupos socioeconómicos bajos dado que allí se evidencia una inequidad en el acceso a los servicios ecosistémicos que prestan los árboles en la ciudad. En segundo lugar, la investigación realizada por Pedlowsky, Corabi y Heynen (2003), demuestra cómo en Río de Janeiro hay una evidente desigualdad en

la presencia y calidad del arbolado urbano entre barrios según el nivel educativo y los ingresos de los habitantes.

En el caso de Bogotá³, la condición de ser la principal aglomeración de población de Colombia y ser una ciudad con una alta concentración de pobreza y desigualdad, justifica la importancia de analizar la distribución espacial de la población con respecto a atributos ambientales que permitan inferir condiciones territoriales injustas. Sin embargo, son escasas las investigaciones que se han realizado sobre justicia ambiental en Colombia en general y en Bogotá en particular. Sin embargo, hay un importante aporte realizado por Brown (2012) y Escobedo et al. (2015; 2018) para entender la relación entre la distribución de árboles en la ciudad y la diferenciación de grupos sociales en el espacio.

Brown por su parte identifica que hay una diferencia notable entre estratos y la distribución de arbolado en las calles en la ciudad (Brown, 2012). Por su parte, Escobedo et al. (2015) identifica diferencias estadísticas y espaciales entre la estructura forestal de la ciudad con respecto a la distribución de estratos, usos del suelo y localidades. Años más adelante, Escobedo et al. (2018), relaciona la distribución de los arboles con la distribución de los delitos de alto impacto en Bogotá. Sin embargo, ninguna de las anteriores investigaciones analiza la inequidad en la distribución de los arboles bajo una reflexión de la justicia ambiental urbana. Frente a ello los autores plantean que estos hallazgos son probablemente el resultado de complejas interacciones socioeconómicas y biofísicas que se remontan al proceso mismo de la expansión de la ciudad y sus procesos de crecimiento y desarrollo urbano

Si bien han sido estudios que son un significativo avance en la investigación sobre el tema, y han llegado a interesantes conclusiones que permiten la comprensión del fenómeno en la ciudad, han tenido limitaciones metodológicas en la disponibilidad de información socioeconómica y su escala de medición. En primer lugar, al respecto de la clasificación de los grupos sociales para estimar las diferencias en la distribución del arbolado urbano, el uso de la estratificación oficial de la ciudad como forma de

³ Bogotá es la capital y principal ciudad de Colombia, la cual se emplaza en el centro del país. La ciudad cuenta con un área de 1.775,98 Km², de los cuales 1.298,15 Km² son rurales, 307,36 Km² son urbanos y 170,45 Km² son de expansión. Según la información de la Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá (2011), la ciudad en el 2015 cuenta con 7'878.783 habitantes, de los cuales 7.862.277 estarían ubicados en el área urbana del municipio y 16.506 en el resto, lo que representa una densidad aproximada de 4.436,30 habitantes por Km². Lo anterior hace de Bogotá una de las ciudades más pobladas en el contexto latinoamericano. Respecto a las características socioeconómicas de la ciudad, las mediciones básicas de pobreza hechas indican que hay un 12,4% de población en situación de pobreza monetaria y un 2,4% en pobreza extrema, en tanto que la medición de pobreza multidimensional muestra que entre el 10% y el 12% de los hogares son pobres. Por otro lado, el coeficiente de GINI, da cuenta de una alta desigualdad en la distribución del ingreso, al bordear el valor 0.5 (SDP 2013).

clasificación social presenta algunos problemas conceptuales y metodológicos. Los estratos se han constituido en un referente social y de autopercepción para calificar la situación de la población, no obstante utilizarlos como fuente para el desarrollo de estudios que permitan establecer las condiciones socioeconómicas, no es lo más adecuado, en tanto es una medición que no se elabora en función de las características de los hogares, las personas y sus viviendas. Es necesario resaltar que la estratificación, si bien puede usarse como variable proxy, es un indicador inadecuado para la medición de condiciones sociales, ya que se trata de una medida de características físicas de las manzanas residenciales y no de la población. Además, en estas investigaciones se hacen estimaciones por localidades las cuales presentan en su interior una heterogeneidad social y urbanística bastante amplia, lo que dificulta la lectura de la incidencia territorial del fenómeno a estudiar.

Teniendo en cuenta que aún está por explorar en Bogotá la relación entre la distribución de la población según sus condiciones de vida y la distribución del arbolado público, se plantea la pregunta del presente artículo ¿existe en Bogotá una diferencia en la distribución del arbolado urbano con respecto a los niveles socioeconómicos concentrados en el territorio? Dar respuesta a este interrogante implica responder primero: ¿cómo se localizan los grupos socioeconómicos en el territorio de Bogotá? y ¿cuál es la distribución del arbolado urbano en Bogotá?

Los resultados obtenidos contribuyen a ampliar el conocimiento de la justicia ambiental urbana en Bogotá. En primer lugar, se aborda un tema poco estudiado, del que apenas existen aplicaciones empíricas. Además, se aplican enfoques novedosos, que permiten considerar medidas de relación como un mecanismo para descubrir fenómenos que pueden pasar desapercibidas en la reflexión urbanística.

2. MÉTODO

Metodológicamente se utilizaron tres procedimientos para dar cuenta del objetivo de la investigación:

- a) Cálculo de un indicador de distribución del arbolado urbano
- b) Cálculo de indicadores de segregación de grupos socioeconómicos clasificados por un Indicador de Calidad de Vida Básico (ICVB) generado a través de un análisis factorial.
- c) Establecimiento de la relación estadística y espacial entre el ICVB y el indicador de distribución de arbolado urbano.

Dichos procedimientos se describen a continuación.

2.1. INDICADOR TERRITORIAL DE CALIDAD DE VIDA.

Para calcular un indicador de calidad de vida en la escala territorial más próxima, se procedió a espacializar la información disponible del Censo del año 2005⁴ por sectores censales. En primer lugar, se consultó el modulo del Censo Básico del REDATAM del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), dado que dispone de información para todas las unidades territoriales (Manzana, Sección, Sector, Localidad) y se evaluaron las variables disponibles para construir indicadores de logro que se pudieran sintetizar en un indicador de calidad de vida básico.

De acuerdo con dicha disponibilidad y el conocimiento de las variables que tradicionalmente se asocian a la calidad de vida urbana, se seleccionaron siete dimensiones referidas tanto a factores demográficos como a calidad residencial y capital humano, las cuales, aunque no son exhaustivas, han sido abordadas en diversas metodologías de medición de la calidad de vida.

Se construyeron indicadores para cada una de estas dimensiones (tabla 1), los cuales fueron tomados como variables en las pruebas estadísticas. En la mayoría de los casos estos indicadores presentan una escala negativa, ya que entre mayor el indicador peor la calidad de vida del sector censal. Únicamente el indicador de Promedio de años de estudio alcanzado presenta una escala positiva, por lo cual fue necesario realizar una homologación de la escala de medición de los indicadores.

Tabla 1. Dimensiones e indicadores/variables a considerar

Dimensiones	Indicador
Hacinamiento no mitigable	Hogares por vivienda
Tamaño del hogar	Promedio de personas por hogar
Cobertura de servicios públicos	Tasa de hogares sin servicio de acueducto Tasa de hogares sin servicio de alcantarillado Tasa de hogares sin servicio de energía
Tipología de vivienda	Tasa de hogares en viviendas tipo cuarto
Actividad desarrollada por los integrantes del hogar	Tasa de dependencia económica Tasa de población mayor de 17 años sin empleo
Grado educativo alcanzado por los integrantes del hogar	Promedio de años de estudio alcanzado Tasa de población mayor de 17 años sin educación

⁴ Se utiliza el Censo del año 2005, dado que es el último disponible en Colombia.

No consumo de alimentos en la última semana	Tasa de personas que no consumieron ninguna de las 3 comidas, algún día de la última semana
--	--

Fuente: Mayorga, García y Hernández (2017).

Con estos indicadores, se procedió a aplicar un Análisis Factorial para producir un Índice Compuesto que contiene el peso de cada variable. El Análisis Factorial es una técnica estadística multivariada cuyo objetivo es la definición de una estructura subyacente en una matriz de datos. Esta técnica permite estudiar la estructura de las correlaciones existentes entre variables y casos definiendo un número de factores comunes y subyacentes. Como lo afirma Navarro et al. (2014), la técnica permite analizar la dependencia entre las variables, la asociación entre atributos permitiendo una revisión de la intensidad de las atracciones y repulsiones entre las modalidades que pueden presentar las características cualitativas a partir del estudio de las frecuencias conjuntas observadas.

2.2. INDICADOR DE ARBORIZACIÓN

La información sobre arborización utilizada se extrajo del censo de árboles de la ciudad realizado por el Jardín Botánico entre los años 2005 y 2015. Éste incluye un levantamiento de árboles de más de 30 cm de altura presentes en el suelo público del área urbana de la ciudad, dejando fuera la totalidad de árboles presentes en las zonas comunes privadas de unidades residenciales o centros comerciales, los árboles fuera del perímetro urbano de Bogotá, los árboles presentes en propiedades privadas (usos residenciales, comerciales, dotacionales o industriales) y los árboles con una altura inferior a 30 cm (DANE-Jardín Botánico, 2006).

La información colectada contiene detalles como la altura, el ancho de la corona del árbol y su localización espacial para más de 1 millón de individuos, lo cual hace de la base de datos una de las más completas en una ciudad latinoamericana (Escobedo et al, 2015). El uso de este tipo de información contrasta con la utilizada generalmente en estudios similares donde se utilizan imágenes satelitales para estimar la cobertura de árboles en las ciudades.

Además, el que la base de datos no contenga árboles en propiedad privada permite identificar posibles situaciones de inequidad y de injusticia ambiental por el actual del Estado, ya que mientras que los árboles en suelo privado generalmente son el resultado de inversión privada, las entidades públicas tienen la responsabilidad principal de la plantación y mantenimiento de árboles en las áreas públicas. Por

tanto, la información disponible permite abrir cuestionamiento sobre si la inversión pública en árboles se distribuye espacialmente para beneficiar a todos los residentes por igual (Landry y Chakraborty, 2009)

El indicador de distribución de árboles, se construyó a partir de la siguiente ecuación, en el que P corresponde a la población total de la sección i y A corresponde al total de árboles en el sector i

$$I_i = \frac{A_i}{P_i}$$

2.3. Relación entre ICVB e indicador de arborización

La relación entre el indicador territorial de calidad de vida y el indicador de arbolado se contrasta utilizando dos metodologías. La primera surge de la aplicación de una regresión por mínimos cuadrados ordinarios, el cual de forma general se presenta de la siguiente manera:

$$y_i = \alpha + \gamma X_i + \varepsilon$$

En donde α es el intercepto de la regresión; entre tanto γ corresponde al coeficiente de relación entre la variable independiente X y la variable dependiente y , para el caso, el indicador de arbolado y el índice de calidad de vida. No obstante, los coeficientes que se obtienen pueden presentar problemas por la existencia de dependencia espacial; esto conlleva a problemas de validez. De acuerdo con Paelinck y Klaassen (1979) desarrollos que tengan aproximaciones con datos espaciales presentan problemas de independencia espacial.

Por esta razón es conveniente complementar las estimaciones por métodos tradicionales con aplicaciones de modelos propios de la econometría espacial. Este tipo de modelos permiten incorporar el espacio y los elementos geográficos con los que se cuenta, utilizando para esto matrices de pesos espaciales.

Las matrices de pesos espaciales (W) sirven como elemento de captura del espacio y los efectos entre las unidades de análisis geográficas. Estas matrices son binarias, compuestas de 1 y 0 que marcan la contiguidad entre unidades geográficas por contar límites en común. El elemento w_{ij} de una matriz de contiguidad será 1 si se cumple la condición que la unidad geográfica i es vecina de la unidad j , de no

serlo, será 0; Lo anterior identifica una simetría en la matriz W. Dado que ninguna unidad geográfica puede ser vecina de si mismo, 0 será el valor de la diagonal de la matriz W (Kuscevic y Del Río, 2013) y (Getis y Aldstadt, 2010). Esta forma de relación de contigüidad entre las unidades geográficas corresponde al método *queen*. También se cuentan con matrices de pesos espaciales de distancia inversa, las cuales tienen en cuenta la distancia euclidiana entre los centroides de las unidades geográficas objeto de análisis.

Siguiendo a Anselin y Rey (2010) y Elhorst (2014) los modelos espaciales permiten incorporar el espacio dentro de la estimación, solucionando el problema de independencia espacial. De forma general, un modelo espacial cuenta con la siguiente especificación:

$$y_i = \rho W y_i + X \beta_i + \delta W X_i + u_i$$

$$u_i = \lambda W u_i + \varepsilon_i$$

Donde y es la variable dependiente, X un vector de variables independientes, W es la matriz de pesos espaciales de tamaño $N \times N$, y ρ es el parámetro espacial autorregresivo asociado a la variable dependiente, δ es el parámetro espacial autorregresivo derivado de las variables independientes y λ es el coeficiente de autocorrelación espacial. A partir de esta forma general, introduciendo algunas restricciones sobre los parámetros a estimar, se obtienen 4 tipos de modelos:

El *Spatial Autorregresive Model* (SAR) el cual se caracteriza por solo contar con el rezago espacial de la variable dependiente.

$$y_i = \rho W y_i + X \beta_i + u_i$$

El *Spatial Error Model* (SEM) que no cuenta con rezago en la variable dependiente, pero si con un parámetro de autocorrelación espacial en el término de error, donde un choque exógeno tiene un efecto contagio sobre unidades contiguas

$$y_i = X \beta_i + u_i$$

$$u_i = \lambda W u_i + \varepsilon_i$$

El *Spatial AutoRegressive with additional AutoRegressive error structure* (SARAR) en donde existe tanto el rezago de espacial de la variable dependiente como el parámetro de autocorrelación en el término de error.

$$y_i = \rho W y_i + X \beta_i + u_i$$
$$u_i = \lambda W u_i + \varepsilon_i$$

Finalmente, el modelo DURBIN que asume la existencia del rezago espacial de la variable dependiente, una adicional sobre las variables independientes, pero no sobre el término de error.

$$y_i = \rho W y_i + X \beta_i + \delta W X_i + u_i$$

3. RESULTADOS

3.1. DISTRIBUCIÓN ICVB EN BOGOTÁ

Al aplicar el análisis factorial, las 10 variables incluidas se redujeron a tres factores que explican el 77% de la varianza, lo cual permite afirmar que el modelo es válido.

Al aplicar una rotación (ver tabla 2), para mejorar la distribución de las correlaciones entre las variables y los factores, se obtuvo que el factor 1 explica el 31.4% de la varianza total de las variables. Los componentes principales del factor son el ayuno, el promedio de años de educación de la población, el porcentaje de población sin educación y el porcentaje de población desempleada. Dado que se compone de características de los individuos y su inserción en la estructura económica, se ha denominado como Factor Socioeconómico. El factor 2 que explica el 23.9% de la varianza total nominado Servicios Públicos en la Vivienda se compone de viviendas con energía eléctrica, porcentaje de viviendas con servicio de acueducto y el porcentaje de viviendas con servicio de alcantarillado. El factor 3 (Composición Demográfica) que por su parte explica el 21.5% de la varianza inicial, se compone por variables relativas al número de hogares por vivienda, número de personas por hogar y el indicador de dependencia económica (Mayorga, García y Hernández, 2017)

Tabla 2. Matriz de componentes rotados

	Componente		
	1	2	3
Personas por hogar	,128	,100	,817
Hogares por vivienda	,083	,053	,768
Población que ayunó	,852	,221	,166
Promedio de años de educación	,732	,210	,457
Índice de dependencia económica	,607	,218	,663
Porcentaje de población en desempleo	,874	,021	-,083
Porcentaje de población sin educación	,782	,267	,431
Porcentaje de viviendas sin energía eléctrica	,257	,807	,131
Porcentaje de viviendas sin acueducto	,003	,862	,085
Porcentaje de viviendas sin alcantarillado	,228	,881	,085

Fuente: Mayorga, García y Hernández (2017)

Por último, para obtener un índice a partir de los tres factores, dado que en ellos ya están los pesos de las variables, el índice se concibe como un promedio en el que cada factor tiene el mismo peso (en adelante ICV Básico).

$$ICVB = \frac{f_1 + f_2 + f_3}{3}$$

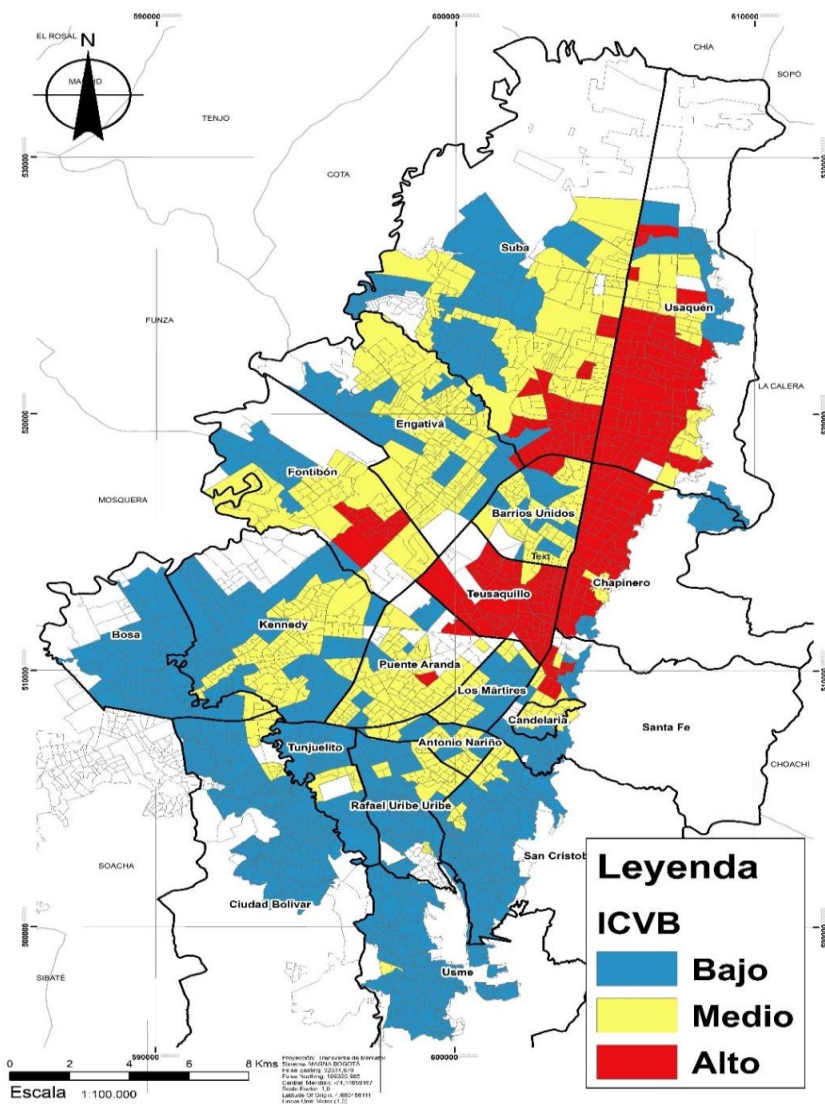
f1: Características socioeconómicas

f2: Servicios públicos en la vivienda

f3: Composición demográfica

Al espacializar los resultados del ICVB en Bogotá, se obtiene una distribución con un patrón fuerte de concentración espacial (figura 1). Índices altos están presentes en el eje que va desde el centro hacia el norte por el sector oriente de la ciudad. Recíprocamente, se obtienen índices bajos hacia el sur, en una franja que se extiende de oriente a poniente

Figura 1. Bogotá: Patrón espacial del ICVB por sección censal

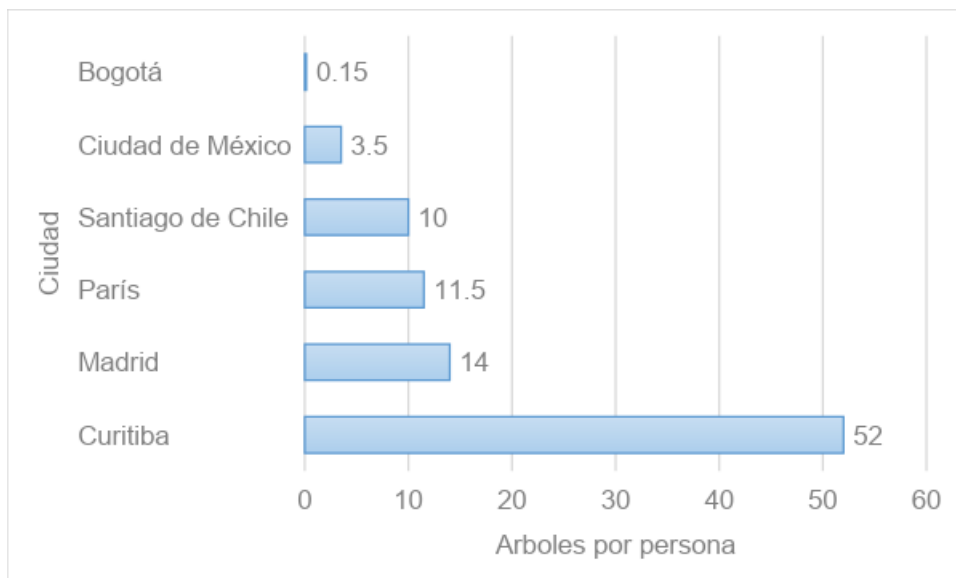


Fuente: Mayorga, García y Hernández (2017).

3.2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL INDICADOR ARBORIZACIÓN

El resultado del indicador para Bogotá es de 0,15 árboles por persona, lo cual quiere decir que hay 6.6 personas por árbol en la ciudad. Este dato es muy bajo en comparación con otras ciudades. Por ejemplo, Ciudad de México cuenta con 3,5 árboles por persona, valor significativamente más alto que el censado en Bogotá. Santiago, París y Madrid oscilan entre 10 y 14 árboles por persona. Existen también datos atípicos como el de Curitiba donde este valor alcanza a ser de 52.

Figura 2. Árboles por persona en ciudades capitales

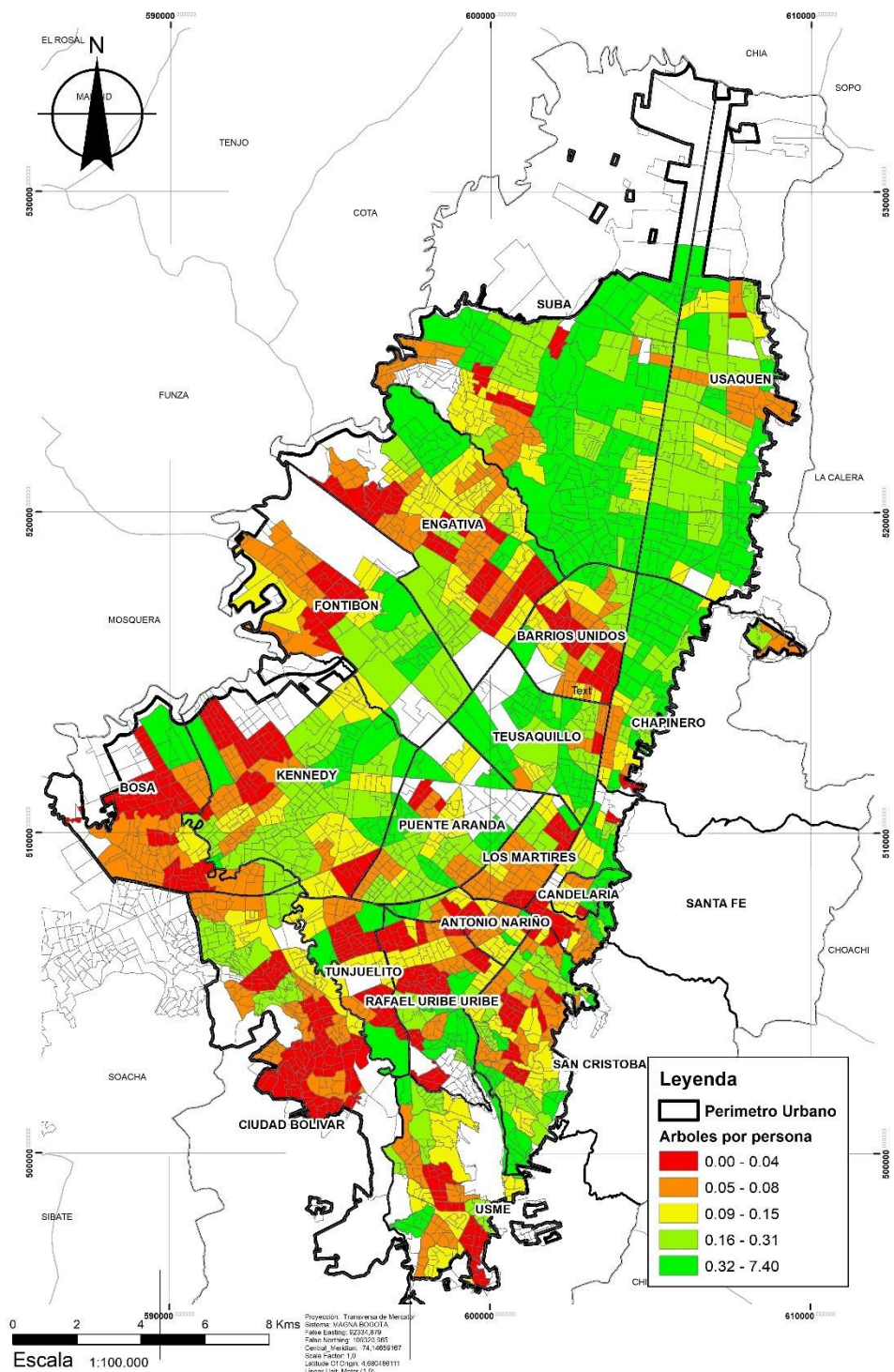


Fuente: elaboración propia

No obstante, el valor medio de la ciudad, cuando se analiza la distribución espacial del indicador, se observa agrupaciones de sectores con un indicador bajo, principalmente en las zonas sur y occidente de la ciudad, especialmente en las localidades de Bosa, Kennedy, Ciudad Bolívar, Tunjuelito, Rafael Uribe, San Cristobal y Usme. En localidades centrales de Mártires, Puente Aranda y Antonio Nariño, se identifica también una baja distribución del indicador. Así mismo se identifica un eje del centro al occidente en las localidades de Barrios Unidos y Engativá.

Por el contrario, en el norte de la ciudad se presenta un patrón consolidado de distribución de árboles, el cual alcanza valores de 7 árboles por persona. De esta forma se cuenta con evidencia espacial en favor de la existencia de agrupaciones de secciones censales con indicadores de mayor magnitud. La tendencia descrita se puede observar en la figura 2.

Figura 2. Bogotá: Patrón de distribución de árboles por sección censal



Fuente: Elaboración Propia.

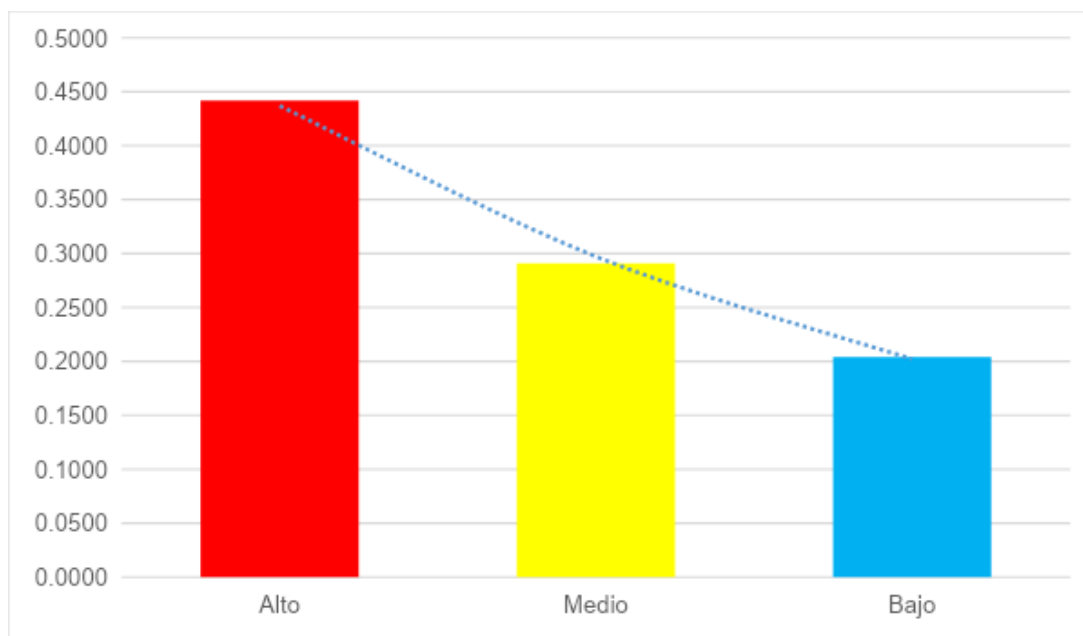
Al aplicar el índice de Moran para la distribución del indicador de árboles se obtiene que, con un P valor menor a un nivel de significancia de 0.05, se acepta la hipótesis de que los valores presentan auto correlación espacial y se agrupan en clusters. Al aplicar el Índice de Moran y generar los clusters espaciales, se obtiene la tendencia anteriormente descrita.

3.3. RELACIÓN ICVB E INDICADOR ARBORIZACIÓN

Los resultados del indicador de distribución de árboles por persona en las secciones censales muestran que hay una diferencia entre los grupos sociales, según su clasificación en ICV bajo, medio y alto. Al aplicar una prueba de hipótesis para establecer la diferencia de las medias entre los grupos, con un P valor menor a 0,05 se aprueba la hipótesis alterna de que hay diferencias en el indicador de distribución de árboles.

Se puede observar en la figura 3 que los grupos clasificados con ICVB alto tienen un mayor indicador de árboles por persona.

Figura 3. Análisis de media por ICVB



Fuente: Elaboración Propia.

Si se busca determinar el efecto del índice de arbolado sobre el índice de calidad de vida estimado a partir de análisis por componentes principales. La aproximación empírica de esta medición se realiza aplicando 5 diferentes metodologías, la primera que apela al uso de una regresión por mínimos cuadrados ordinarios y las 4 siguientes a variaciones de econometría espacial, de forma específica modelos SAR, SEM, SARAR y DURBIN. La especificación de las estimaciones es la siguiente:

$$ICV_i = \alpha + \gamma IndArb_i + \varepsilon$$

$$ICV_i = \rho W y ICV_i + \beta IndArb_i + \delta W IndArb_i + u_i$$

$$u_i = \lambda W u_i + \varepsilon_i$$

Es importante resaltar que la ecuación anterior es la forma general aplicable a los modelos de econometría espacial y que a partir de las variaciones explicadas metodológicamente se obtienen los resultados de las 4 variaciones del modelo general. Los resultados se observan en la tabla 3.

Tabla 3. Variable dependiente: ICVB

	MCO	SAR	SEM	SARAR	DURBIN
Intercepto	-0.2887 (0.02651)	-0.096*** (0.0216)	0.0017 (0.0190)	-0.1517*** (0.0281)	-1.3502*** (0.2039)
IndArb	0.1036*** (0.0390)	0.0508 (0.0341)	0.0508 (0.0397)	0.0401 (0.0308)	0.0628** (0.0303)
ρ		2.4844*** (0.1393)		4.505*** (0.6128)	1.5160*** (0.1346)
λ			2.4416*** (0.2445)	2.110*** (0.4356)	
W*(ICV)					4.939*** (0.7838)
R2 Ajustado	0.0106	0.1365	0.0124	0.0767	0.2911

Errores estándar robustos entre paréntesis. Para el cálculo del estimador de los modelos SAR, SEM, SARAR y DURBIN se utilizó mínimos cuadrados generalizados espaciales en dos etapas. Coeficientes significativos diferente de cero son denotados por el siguiente sistema: *10%, **5% y ***1%.

Los resultados muestran a partir del R2 ajustado que la forma de los modelos espaciales mejora la identificada en el modelo por mínimos cuadrados ordinarios. El modelo DURBIN presenta los mejores resultados al contar con el R2 de mayor valor; en cuanto a los coeficientes, un aumento de una unidad en el índice de arbolado aumenta en 0.0628 el índice de calidad de vida, resultado significativo a todos los niveles. De otra parte, existe un efecto derrame de la variable dependiente, indicando que, ante aumentos en el índice de calidad de vida de un sector catastral, las unidades contiguas se ven beneficiadas y aumentan sus propios niveles de calidad de vida. Misma situación se observa del rezago del índice de arbolado, hay efectos derrame positivos sobre unidades geográficas vecinas. Estos resultados permiten empíricamente comprobar que existe un efecto positivo entre el arbolado y la calidad de vida a nivel urbano en Bogotá.

4. CONCLUSIONES

El presente artículo muestra una relación entre niveles de calidad de vida bajos y baja distribución de árboles por persona, lo cual da cuenta que en el territorio de Bogotá se manifiestan las asimetrías en los beneficios ambientales que prestan los árboles. Se confirma que el espacio de la ciudad ha respondido a lógicas que han consolidado condiciones territoriales y ambientales de injusticia.

Bajo los conceptos de la justicia ambiental urbana, que hay un problema de inequidad en la distribución de árboles en Bogotá. A partir de la aplicación de metodologías de carácter cuantitativo, que permiten poner de manifiesto y de manera objetiva la situación de desigualdad de los grupos sociales con respecto a la calidad de su medio ambiente en la ciudad. De tal forma, la investigación se ha centrado en la identificación y descripción cuantitativa del fenómeno distributivo.

Los resultados de este trabajo indican que es un tema de relevancia para considerar dentro de la formulación de políticas públicas, dado que la población con bajas condiciones de calidad de vida cuenta con un medio ambiente que refuerza esas condiciones negativas. De ahí que resulte de principal interés la exploración en el contexto colombiano de la relación entre condiciones de salud de la población y la distribución de árboles en la ciudad, así como la exploración de la relación entre estatus socioeconómico y el acceso a otro tipo los bienes y servicios públicos en la ciudad.

Es importante resaltar algunas conclusiones de orden metodológico. En primer, para el caso de Bogotá resulta de vital importancia la generación de información socioeconómica a escalas territoriales más adecuadas. Resulta importante insistir en la necesidad de contar con información pública

actualizada, lo cual impone la necesidad de volver a estimar modelos a partir de los resultados del nuevo censo del año 2018.

El segundo aspecto relevante es la espacialización del índice de arbolado construido, lo cual permite interactuar este dato con otros relacionados con la calidad de vida de las personas. Un tercer elemento es la relación econométrica a nivel espacial encontrada entre la calidad de vida y el arbolado urbano, el cual cuenta con un coeficiente positivo y significativo, marcado la relación positiva de los árboles con las condiciones de vida de las personas. El cuarto y último aspecto relevante del documento es la relación empírica encontrada en la ciudad de Bogotá, lo cual constituye en una construcción metodológica que puede ser replicable no solo en la ciudad cuando se actualice la información censal nacional, sino a diferentes ciudades de distintas escalas.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anselin, L., & Rey, S. (2010). *Perspectives on Spatial Data Analysis*. London: Springer.

Berland, A., Schwarz, K., Herrmann, D. L., & Hopton, M. E. (2015). How Environmental Justice Patterns are Shaped by Place: Terrain and Tree Canopy in Cincinnati, Ohio, USA. *Cities and the Environment (CATE)*, Article 1.

Brown, M. (2012). The Bogotá Green Divide: Inequality in Street Tree Coverage Across Estratos. Obtenido de http://www.citnature.org/uploads/4/7/4/0/4740372/citnature_report_bogota_green_divide.pdf

Conway, T. S. (2011). Community groups and urban forestry activity: Drivers of uneven canopy cover? *Landscape and Urban Planning*, 321-329.

Cutter, S. (1995). Race, class and environmental justice. *Progress in Human Geography*, 111-122. doi:10.1177/030913259501900111

Danford, R. S., Cheng, C., Strohbach, M. W., Ryan, R., Nicolson, C., & Warren, P. S. (2014). What Does It Take to Achieve Equitable Urban Tree Canopy Distribution? A Boston Case Study. *Cities and the Environment (CATE)*, 7, Article 2.

Elhorst, J. (2014). *Spatial Econometrics From Cross-Sectional Data to Spatial Panels*. New York: Springer.
Escobedo, F. J., Clerici, N., Staudhammer, C. L., & Tovar Corzo, G. (2015). Socio-ecological dynamics and inequality in Bogota, Colombia's public urban forests and their ecosystem services. *Urban Forestry and Urban Greening*, 1040-1053. doi:10.1016/j.ufug.2015.09.01

Escobedo, F. J., Clerici, N., Staudhammer, C. L., Feged Rivadeneira, A., Corzo, G. T., & Bohorquez, J. C. (2018). Trees and Crime in Bogota, Colombia: Is the link an ecosystem disservice or service? *Land Use Policy*, 583-592. doi:10.1016/j.landusepol.2018.07.029

Escobedo, F., Wagner, J., Nowak, D., De la Maza, C., Rodríguez, M., & Crane, D. (2008). Analyzing the Cost Effectiveness of Santiago, Chile's Policy of Using Urban Forests to Improve Air Quality. *Journal of environmental management*, 148-57.

Flocks, J., Escobedo, F., Wade, J. S., Varela, S., & Wald, C. (2011). Environmental Justice Implications of Urban Tree Cover in Miami-Dade County, Florida. *Environmental Justice*, 4, No 2. Obtenido de <https://ssrn.com/abstract=1925146>

Gelobter, M. (1994). The meaning of urban environmental justice. *Fortham Urban Law Journal*, 21(3), 841-856.

Getis, A., & Aldstadt, J. (2010). Constructing the Spatial Weights Matrix Using a Local Statistic. En L. Anselin, & S. Rey, *Perspectives on Spatial Data Analysis* (págs. 147-163). Berlin: Springer.

Harvey, D. (1996). *Justice, nature and the geography of difference*. Cambridge: Blackwell Publishers.

Heynen, N., Perkins, H. A., & Roy, P. (2006). The Political Ecology of Uneven Urban Green Space: The Impact of Political Economy on Race and Ethnicity in Producing Environmental Inequality in Milwaukee. *Urban Affairs Review*, 42(1), 3-25.

Kerns, P., & Watters, M. (2012). Urban Forest Inequality: Assessing the Distribution of Trees and Their Services Across Twin Cities Neighborhoods. *Unpublished thesis*, Carleton College. Obtenido de <https://apps.carleton.edu/curricular/ents/assets/KernsWattersComps.pdf>

Kirkpatrick, J. B., Daniels, G. D., & Davison, A. (2011). Temporal and Spatial Variation in Garden and Street Trees in Six Eastern Australian Cities. *Landscape and Urban Planning*, 101(3), 244-252. doi:10.1016/j.landurbplan.2011.02.029

Kuscevic, C., & Del Río, M. (2013). Convergencia en Bolivia: un enfoque espacial con datos panel dinámicos. *Revista de economía del Rosario*, 233 - 256.

Landry, S. M., & Chakraborty, J. (2009). Street Trees and Equity: Evaluating the Spatial Distribution of an Urban Amenity. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 41(11), 2651-2670. doi:10.1068/a41236

Mayorga, J. M., García-García, D. M., & Hernández, L. (2017). Calidad de vida y su correlación con los precios del suelo: aproximación a la segregación residencial en Bogotá. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 10(19), 22-40. doi:10.11144/Javeriana.cvu10-19.cvcpc

Navarro, J., Vanegas, F., & Zamora, A. (2014). Migración y desarrollo económico en México: Un análisis factorial de correspondencias. *Migración y Desarrollo*, 123-145.

Paelinck, J., & Klaassen, L. (1979). *Spatial econometrics*. Farnborough: Saxon House.

Pedlowski, M. A., Da Silva, V. A., Adell, J. J., & Heynen, N. C. (2002). Urban forest and environmental inequality in Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brazil. *Urban Ecosystems*, 9-20.

Perkins, H. A., Heynen, N., & Wilson, J. (2004). Inequity in an urban reforestation program: The impact of housing tenure on urban forests. *Cities* 21, 291-299.

Sarokin, D., & Jay, S. (1994). Environmental justice: co-evolution of environmental concerns and social justice. *The Environmentalist*, 14(2), 121-129. doi:10.1007/BF01901305

Schwarz, K., Fragkias, M., Boone, C., W, Z., McHale, M., & Grove, J. (2015). Trees Grow on Money: Urban Tree Canopy Cover and Environmental Justice. *PLoS ONE*, 10(4). doi:10.1371/journal.pone.0122051

Trabalho enviado em 27 de abril de 2020

Aceito em 28 de outubro de 2021