

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/312192434>

Arborización y crimen urbano en Bogotá

Working Paper · December 2016

CITATIONS

2

READS

410

1 author:



Fernando Carriazo

Universidad del Rosario

30 PUBLICATIONS 744 CITATIONS

SEE PROFILE

No.37

DICIEMBRE DE 2016

Documentos CEDE

ISSN 1657-7191 Edición electrónica.

Edición especial
CESED

Arborización y crimen urbano en
Bogotá

Fernando Carriazo
Jorge Tovar

CESED
Centro de Estudios sobre Seguridad y Drogas

CEDE
CENTRO DE ESTUDIOS SOBRE DESARROLLO ECONÓMICO

 Universidad de
los Andes
Facultad de Economía

CESED
Centro de Estudios sobre Seguridad y Drogas

CEDE
CENTRO DE ESTUDIOS SOBRE DESARROLLO ECONÓMICO

 Universidad de
los Andes
Facultad de Economía

Serie Documentos Cede, 2016-37
ISSN 1657-7191 Edición electrónica.

Diciembre de 2016

© 2016, Universidad de los Andes, Facultad de Economía,
CEDE. Calle 19A No. 1 – 37 Este, Bloque W.
Bogotá, D. C., Colombia Teléfonos: 3394949- 3394999,
extensiones 2400, 2049, 3233
infocede@uniandes.edu.co
<http://economia.uniandes.edu.co>

Impreso en Colombia – Printed in Colombia

La serie de Documentos de Trabajo CEDE se circula con propósitos de discusión y divulgación. Los artículos no han sido evaluados por pares ni sujetos a ningún tipo de evaluación formal por parte del equipo de trabajo del CEDE.

El contenido de la presente publicación se encuentra protegido por las normas internacionales y nacionales vigentes sobre propiedad intelectual, por tanto su utilización, reproducción, comunicación pública, transformación, distribución, alquiler, préstamo público e importación, total o parcial, en todo o en parte, en formato impreso, digital o en cualquier formato conocido o por conocer, se encuentran prohibidos, y sólo serán lícitos en la medida en que se cuente con la autorización previa y expresa por escrito del autor o titular. Las limitaciones y excepciones al Derecho de Autor, sólo serán aplicables en la medida en que se den dentro de los denominados Usos Honrados (Fair use), estén previa y expresamente establecidas, no causen un grave e injustificado perjuicio a los intereses legítimos del autor o titular, y no atenten contra la normal explotación de la obra.

Universidad de los Andes | Vigilada Mineducación
Reconocimiento como Universidad: Decreto 1297 del 30 de mayo de 1964. Reconocimiento personería jurídica: Resolución 28 del 23 de febrero de 1949 Minjusticia.

Arborización y crimen urbano en Bogotá[‡]

Fernando Carriazo[†]
Jorge Tovar^{*}

Resumen

La relación entre vegetación y criminalidad ha sido motivo de investigación reciente entre estudiosos del entorno urbano. Se argumenta que si bien la vegetación puede tener efectos positivos sobre la salud humana, por otro lado podría relacionarse con una mayor propensión a determinadas actividades criminales. La literatura existente sobre el tema se concentra en estudios de caso en países desarrollados. Este estudio es el primer esfuerzo por cuantificar dicha relación en un país emergente. Utilizando datos censales y georreferenciados de árboles en Bogotá (Colombia) se logra establecer que el proceso de arborización tiene un efecto positivo sobre la criminalidad de la ciudad. Específicamente, mediante modelos econométricos espaciales se encuentra que el acto de plantar árboles tiene efectos estadísticos y económicos negativos sobre el hurto a personas.

Palabras claves: crimen urbano, arborización, árboles

Clasificación JEL: O29, O54, Q58

[‡] Se reconoce y agradece financiación del Centro de Estudios sobre Seguridad y Droga de la Universidad de Los Andes.

[†] Profesor Asistente, Facultad de Economía, Universidad de Los Andes – Bogota (Colombia). Correo electrónico: f.carriazo126@uniandes.edu.co.

^{*} Profesor Asociado, Facultad de Economía, Universidad de Los Andes – Bogota (Colombia). Email: jtovar@uniandes.edu.co. Correo electrónico: <http://economia.uniandes.edu.co/tovar>.

Trees and Urban Crime in Bogota

Fernando Carriazo

Jorge Tovar

Abstract

The relationship between vegetation and crime has been the subject of recent research among urban scholars. Using data for developed countries, the literature recognizes that vegetation has a positive effect on human health but it states that it may be positively related to certain type of criminal activities. This study is the first effort to quantify the relationship between planting trees and thefts in an emerging country. Based on census and georeferenced data of trees in Bogotá (Colombia), it is possible to establish that the process of afforestation has a positive effect on the criminality of the city. Specifically, spatial econometric techniques show that the act of planting trees has a negative effect on theft.

Keywords: urban crime, afforestation, trees

JEL Code: 029, 054, Q58

Introducción

El impacto que tiene la vegetación sobre el comportamiento humano en un entorno urbano ha sido recientemente objeto de un intenso debate. Si por un lado el entorno natural puede tener efectos positivos sobre la salud humana, por otro se ha relacionado la vegetación urbana con una mayor propensión a ciertas actividades criminales. Con respecto a lo primero, evidencia como la reportada por Kardan et al (2015) muestra que el contacto con la naturaleza puede, no solamente mejorar la percepción de salud, sino tener beneficios reales en esta e incluso promover un comportamiento más saludable. Evidencia adicional sugiere que la interacción con la naturaleza puede mejorar el funcionamiento cognitivo a través de un efecto restaurador psicológico (Berman, Jonides y Kaplan, 2008).

El canal por medio del cual una mayor arborización puede impactar el crimen es en buena parte psicológico. van den Berg et al. (2015) resumen esta literatura en la cual se argumenta que “espacios abiertos con elementos naturales o vegetales, por ejemplo, espacios verdes, proveen oportunidades” para entrar en un proceso de “retorno a un funcionamiento afectivo, cognitivo y psicofisiológico no afectado”. El trabajo específico de van den Berg et al. (2015) muestra que un grupo de individuos logra recuperarse tras situaciones de estrés cuando observa espacios con zonas verdes relativo a observar zonas edificadas sin zonas verdes claramente definidas. Bratman et al. (2015), en un experimento conceptualmente similar, encuentran que aquellos individuos que pasaron por 50 minutos en un área verde tuvieron reducción de ansiedad y mejoras cognitivas que aquellos que caminaron en un área urbana.

Existe igualmente una literatura relativamente rica que correlaciona positiva o negativamente la vegetación con actividades criminales en entornos urbanos. La mayor parte de estos trabajos estudian casos de ciudades ubicadas en países desarrollados. No existe, hasta donde tenemos conocimiento, evidencia cuantitativa para el caso colombiano en buena parte porque hasta hace relativamente poco no existía información que permitiese desarrollar este tipo de investigación.

El sentido del impacto de la vegetación sobre las tasas de criminalidad es, sin embargo, una cuestión empírica. Algunos estudios, como el de Schroeder y Anderson (1984) sugieren que así como los árboles facilitan el crimen, proporcionando a los criminales un lugar para esconderse y actuar sin ser vistos, las víctimas los pueden usar como barreras para poder escapar. Utilizando los datos de percepción de seguridad de estudiantes universitarios localizados en Illinois, Georgia y

Michigan relacionados con la densidad de la vegetación y la visibilidad de sitios recreativos ubicados en Chicago y Atlanta, se ha encontrado que los espacios abiertos con un alto nivel de visibilidad y que muestran signos de desarrollo en las zonas cercanas, están asociados con calificaciones superiores en materia de seguridad. Por el contrario, las zonas con vegetación densa podrían hacer que los individuos se sienten más vulnerables (Nasar y Fisher, 1993; Shaffer y Anderson, 1985).

El efecto negativo de la vegetación en la percepción de seguridad es apoyado por Michael, Hull, y Zahm (2001) quienes centrándose en los robos de automóviles en Washington DC, muestran que la vegetación densa facilita la huida de los criminales. Sin embargo, los autores concluyen que las características ambientales de este tipo no son una condición ni necesaria ni suficiente para explicar la delincuencia.

Donovan y Prestemon (2012) discuten que la correlación entre la vegetación y el crimen podría ser positiva o negativa dependiendo del tipo de vegetación bajo análisis, ya que el impacto depende de si la vegetación obstruye o no la vista. Utilizando datos de Portland (Oregón), los autores encuentran que los árboles pequeños que bloquean la vista de las ventanas del primer piso, aumentan la ocurrencia del delito, mientras que los árboles más altos y los árboles de la calle están relacionados con menores tasas de criminalidad, incluso después de controlar por otros posibles factores determinantes del crimen. Ellos argumentan que lo anterior es evidencia de que la vegetación también puede actuar como elemento disuasorio del delito bajo ciertas condiciones.

Éste último argumento encuentra soporte en los hallazgos de Kuo y Sullivan (2001a) quienes muestran que estar en contacto con la naturaleza puede reducir las tasas de criminalidad, ayudando a las personas a recuperarse de la fatiga mental, un precursor psicológico de un comportamiento violento. Para probar su hipótesis, se compararon los niveles de comportamiento violento de los residentes de un barrio del centro de la ciudad de Chicago que fueron expuestos diariamente a niveles diferentes de vegetación de acuerdo a la ubicación de sus respectivos apartamentos. Sus resultados muestran que las personas que viven en las zonas más verdes tienden a presentar niveles más bajos de violencia que aquellas en zonas de menor vegetación.

Kuo y Sullivan (2001b) presentan otro mecanismo por el que la naturaleza podría disuadir a la delincuencia: mayor vigilancia y seguimiento. Ellos argumentan que tener vegetación en espacios al aire libre en los vecindarios puede aumentar la presencia de "ojos en la calle" al aumentar el uso de esos espacios por parte de las personas. Este supuesto se basa en investigaciones previas que demuestran que los residentes de un barrio del centro de la ciudad estarían dispuestos a

hacer un mayor uso de los espacios públicos al aire libre si tuvieran más vegetación (Kuo, Bacaicoa, y Sullivan, 1998). Por lo tanto, a medida que más observadores se encuentren en la calle, el crimen podría ser disuadido por el aumento de la probabilidad de ser visto y capturado. Por otra parte, la vegetación puede incrementar la vigilancia implícita, dando así la impresión a los criminales de vigilancia incluso cuando no hay nadie en el área. Además, la vegetación bien cuidada puede actuar como marcador territorial, lo que sugiere a potenciales criminales que los residentes de la zona se preocupan activamente por su territorio, de esta manera podrían notar y enfrentar un intruso fácilmente. Los autores apoyan su hipótesis, mostrando que entre más verde sea el entorno de los edificios, menos crímenes se reportan.

En una línea similar de pensamiento, Wolfe y Mennis (2012), estudiaron la relación entre la ocurrencia del delito (asaltos agravados, robos y hurtos) y la vegetación en Filadelfia, Pensilvania. Con base en un índice de “vegetación” para medir la concentración de vegetación sana y verde, encontraron que los niveles más altos de este índice se relacionaron con un menor número de incidentes criminales. Troy, Grove, y O’Neil-Dunne (2012) también encontraron una correlación negativa entre la cobertura de árboles y el crimen en la ciudad en el condado de Baltimore. Este efecto fue significativo para los árboles en los espacios públicos y privados, pero mayor en los espacios públicos.

La evidencia que correlaciona la criminalidad urbana con la existencia de vegetación es sugestiva, pero no concluyente. Como se apuntó anteriormente, este tipo de trabajo no se ha realizado para ciudades en países emergentes como es el caso de Bogotá. El caso de la capital de Colombia es interesante porque, a nuestro saber y entender, es la primera vez que se indaga sobre este tipo de relación en una ciudad con niveles de criminalidad relativamente altos para los estándares del mundo desarrollado donde, además, la plantación de árboles requiere considerables recursos de los presupuestos públicos generalmente escasos. Según cálculos realizados tomando como base cifras de la *United Nations Office on Drugs and Crime*, la tasa promedio de crimen para Bogotá en el período 2005 a 2012, fue de 20.63 por cada 100 mil habitantes. Esta cifra, es significativamente superior a la de las ciudades más pobladas de Europa (2.45 por cada 100 mil habitantes) o incluso la de Nueva York (6.15 por cada 100 mil habitantes).

Otro elemento que llama la atención con respecto a la vegetación en la capital colombiana, es que mientras que la Organización Mundial de Salud (OMS) recomienda que una ciudad debe contar al menos con 9 m² de áreas verdes por habitante (Reyes y Figueroa, 2010), Bogotá cuenta con tan solo 6.3 m² por habitante (DADEP, 2009). Esta situación se ha ido intensificando con el crecimiento de la ciudad, que ha hecho que los espacios verdes sean escasos y

que Bogotá se aleje cada vez más de la cifra recomendada. En línea con esto, con base en los datos del censo de árboles que se manejan en este trabajo, Bogotá cuenta con 0,15 árboles por habitante entre 2010 y 2014¹.

El objetivo central del trabajo es, por tanto, correlacionar el proceso de arborización en Bogotá con actividades criminales, medidas estas como número de hurto a individuos. El ejercicio realizado se basa en información única georreferenciada de árboles (plantados y retirados) y crimen disponible desde el primer trimestre del 2008 a al primer trimestre del 2014.

Los hallazgos de esta investigación resultan del análisis de una base de datos única, superior en detalle a la mayor parte de la literatura previa. Los resultados de las estimaciones econométricas sugieren una relación negativa y significativa entre la actividad de arborización y la criminalidad medida como el número de hurto a personas. Estos efectos son significativos tanto temporalmente como espacialmente. Este trabajo contribuye cuantitativamente al entendimiento de los posibles impactos que puede tener la arborización sobre la criminalidad lo cual tiene implicaciones relevantes para la planificación urbana y las políticas públicas.

2. Descripción de los datos

Las estimaciones se basan en datos de cinco fuentes: 1) datos mensuales de arborización en Bogotá provenientes del Censo del Arbolado del Jardín Botánico (enero 2008-septiembre 2015). 2) Datos mensuales de hurto a personas reportados por la Policía Nacional (enero 2004-marzo 2014) 3) Información anual de la base predial de Bogotá de la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital de Bogotá (2013). 4) datos anuales de la Infraestructura de Datos Espaciales de Bogotá (Ideca) con base en el mapa de referencia para el distrito Capital (2016), y 5) Listado anual histórico de Centros de Atención Inmediata (CAIs) reportados en directorios telefónicos (2008-2015).

La base de arborización cuenta con información georreferenciada de árboles (plantados y retirados) de manera mensual desde enero del 2008 a septiembre del 2015. El stock inicial de árboles se basa en un censo de los árboles de la ciudad que fue implementado durante 2005 y 2007 por el Jardín Botánico de Bogotá. Este tipo de datos contrasta con los utilizados en la literatura existente que tiende a recolectar datos de vegetación sobre la base de muestras o imágenes aéreas.

¹ Según la página Web *World Cities Culture Forum* (visitada el 1 de diciembre de 2016), Ámsterdam tiene 13% de área verde, Buenos Aires 8,9%, Madrid 35% y Bogotá apenas 4,4%.

La información de delincuencia urbana, medida como hurto a personas, también se encuentra georreferenciada y disponible desde enero del 2004 hasta marzo del 2014. Dado que las bases de datos de arborización y hurto a personas tienen coberturas temporales diferentes, nuestro periodo de análisis es la ventana temporal común. Así, las bases de datos mensuales de hurtos y de árboles fueron trimestralizadas para el periodo comprendido entre el primer trimestre del 2008 y el primero del 2014.

Para consolidar una unidad espacial de análisis común a los datos de arborización y de hurto a personas, dividimos la superficie del área urbana de Bogotá en 42.596 polígonos (grillas) de 100 m por 100 m (el número aproximado de las manzanas de Bogotá) usando ArcGis®. La superficie de las grillas simula la superficie esperada en una unidad no uniforme como la manzana. Así, de aquí en adelante definimos a la manzana como la unidad espacial de análisis. Nuestra unidad de observación es entonces una manzana en un trimestre del periodo 2008:q1 a 2014:q1.

A lo anterior se suma información útil para utilizar como controles en los modelos empíricos descritos más adelante. En particular se cuenta con información georreferenciada sobre datos catastrales y de los Centros de Atención Inmediata (CAI) y estaciones de policía. Los datos catastrales tienen, entre otras variables, la información sobre el valor de las propiedades y el área de las mismas. Para nuestras estimaciones, usamos como control el valor promedio del m² en la manzana para el año 2013. Dado que la información catastral es anual y estaba disponible para el 2013, estamos suponiendo que estos valores no sufren cambios relativos significativos de un trimestre a otro. Esta variable nos permite controlar por el nivel de riqueza de la manzana ante la ausencia de información más explícita como pueden ser los datos de ingreso de los hogares en una manzana.

La seguridad relativa que puede otorgar presencia policial cercana debe afectar negativamente el crimen en zonas aledañas. Para la definición de variables espaciales se midieron distancias euclidianas desde el centroide de una manzana a CAIs, vías principales, estaciones de Transmilenio y hoteles. Además se calculó el porcentaje de la manzana que es ocupado por un parque. Para calcular las distancias mínimas a los atributos del entorno urbano y el porcentaje de ocupación de parques se usaron datos de la Infraestructura de Datos Espaciales de Bogotá (Ideca) con base en el mapa de referencia para el Distrito Capital de 2016. Las distancias del centroide de la manzana a cada una de las capas de Ideca se calcularon usando ArcMap®. El cálculo de las distancias del centroide de una manzana al CAI más cercano, se basó en el listado anual histórico de Centros de Atención Inmediata reportados en directorios telefónicos (2008-2015) los cuales fueron

georreferenciados a partir de las direcciones y en algunos casos manualmente, usando la herramienta Google Earth.

Estadísticas descriptivas

Para analizar la información disponible asociamos cada crimen y árbol a una de las manzanas de acuerdo con su ubicación. Esta estrategia nos permite establecer de manera preliminar la relación entre los atracos y los árboles por manzana. Las estadísticas descriptivas de las variables por manzana se reportan en la Tabla 1.

Tabla 1. **Estadísticas Descriptivas de las Variables Usadas en las Estimaciones**
2008:q1 – 2014:q1

Nombre	Definición	Total manzanas = 42.596				
		Media	Mediana	SD	Máximo	Mínimo
Variables de vegetación y crimen						
Árboles	Promedio árboles por manzana	27	5	106	7585	0
Número de hurtos a personas	Promedio hurtos a personas por manzana	2	0	6	235	0
Porcentaje de Manzana Ocupada por un parque	Porcentaje de parque por manzana	7	0	18	100	0
Distancia CAI (metros)						
	Distancia al CAI más cercano, 2008	956	765	710	5640	0
	Distancia al CAI más cercano, 2009	928	765	693	5640	0
	Distancia al CAI más cercano, 2010	890	741	676	5513	0
	Distancia al CAI más cercano, 2011	886	741	675	5513	0
	Distancia al CAI más cercano, 2012	880	723	673	5513	0
	Distancia al CAI más cercano, 2013	878	723	673	5513	0
	Distancia al CAI más cercano, 2014	877	723	673	5513	0
Variables bases UAEC						
Valor M ² (COP)	Valor m2 construido en el año 2013 por manzana	429.071	311.672	409.370	19.270.000	4.639
Variables tomadas de IDECA (Distancia Mínima en Metros)						
Malla vial	Distancia mínima a malla vial	200	158	274	3.642	0
Atractivo turístico	Distancia mínima a atractivos turísticos	1.517	1.202	1.196	7.300	0
Transmilenio	Distancia mínima a estaciones de Transmilenio	1.942	1.455	1.661	8.621	0
Hoteles	Distancia mínima al hotel más cercano	3.122	2.075	2.990	14.821	0

Fuente: Base de datos georreferenciada única de árboles en Bogotá-Censo realizado por el Jardín Botánico, base georreferenciada de hurtos a personas denunciados a la policía e Ideca. Cálculos de los autores.

Como lo sugiere la Tabla 1 existe una gran variabilidad espacial en el promedio de árboles por manzana. En promedio un polígono de 100 m² tiene 27 árboles. La manzana con mayor cobertura tiene 7.585 árboles pero hay manzanas que no tienen árboles. La cobertura de parques por manzana es relativamente baja, pues en promedio, tan solo hay parque en el 7% del área de una manzana. Estos datos confirman la baja cobertura vegetal que caracterizan a Bogotá. En cuanto a los hurtos a personas, el promedio trimestral en una manzana es de 2 hurtos. Aunque hay manzanas en las que no se reporta este delito, la manzana que más reporta presenta un promedio trimestral de 235 hurtos. Esta gran variación en las variables de crimen y arborización sugiere una dispersión espacial que más adelante analizamos y explotamos.

Por su parte, la distancia promedio a los Centros de Atención Inmediata presenta valores promedio entre 877 m. y 956 m con pequeñas variaciones pues el stock y la localización de los CAIs varia ligeramente en nuestro periodo de análisis. La variable de valor del m², como *proxy* de ingreso, refleja la gran desigualdad de la ciudad. El valor promedio del m² construido es de \$429,071. El menor valor promedio por manzana es de \$4.639 y el mayor promedio es de \$19.270.000. La variación estándar de esta variable es de \$409.370 confirmando la desigualdad existente. Aunque no es relevante para nuestras estimaciones empíricas, cabe anotar que estos valores corresponden a los reportados por catastro distrital y por lo tanto debe subvalorar los precios promedio por m² construido respecto a los precios de transacción.

Con respecto a las variables de acceso, los datos muestran que la distancia promedio del centroide de una manzana a una vía principal es de 200 m. La manzana más retirada a una vía principal se encuentra a 3,6 km. La distancia mínima promedio a una estación de Transmilenio es de 1,9 km. Esta distancia es relativamente grande y refleja en parte la baja cobertura de este sistema con respecto a toda la superficie urbana.

La Tabla 2 reporta el porcentaje de área de la superficie urbana para tres diferentes niveles según la densidad de árboles y la incidencia del hurto a personas. Los niveles de cobertura de árboles corresponden a 1) sin árboles, 2) Nivel bajo de árboles definidos como aquellas manzanas que tienen un poco más de una desviación estándar con respecto a la media, es decir manzanas con entre 1 y 110 árboles y 3) nivel alto de árboles, es decir manzanas con más de 110 árboles (Ver columna 1 de la Tabla 2). Los cortes naturales para determinar los niveles de hurto son 1) manzanas sin hurtos 2) nivel bajo de hurtos el cual corresponde a manzanas que presentan entre 1 y 7 hurtos y 3) nivel alto de hurtos, corresponde a manzanas que presentan más de 7 hurtos.

Los valores de los porcentajes que se encuentran en cada celda de la tabla corresponden al porcentaje del área urbana que describe conjuntamente niveles de cobertura de árboles y de hurto a personas. Así, la celda de la primera fila y la primera columna (28%) corresponde al área total de la superficie urbana que no presenta árboles y que a su vez, no presenta hurto a personas. Solamente el 0.2% del área total urbana corresponde a manzanas con altos niveles de arborización (>110 arb/manzana) y alto nivel de hurtos (>7 árboles/manzana). La última columna de la Tabla 2 indica que el 38,7% de la superficie urbana de Bogotá se encuentra sin arborizar.

**Tabla 2 Clasificación de zonas según número de árboles y hurto a personas
(Total: 42.596 grillas)**

Nivel arboles/Nivel hurtos	Sin hurtos a personas	1 a 7 hurtos a personas (Nivel bajo de hurtos)	Mayor a 7 hurtos a personas (Nivel alto de hurtos)	Total
Sin arboles	28,0%	9,6%	1,2%	38,7%
1 a 110 árboles (Nivel bajo de árboles)	25,9%	27,4%	3,9%	57,2%
Más de 110 árboles (Nivel alto de árboles)	2,4%	1,4%	0,2%	4,1%
Total	56,3%	38,4%	5,3%	100,0%

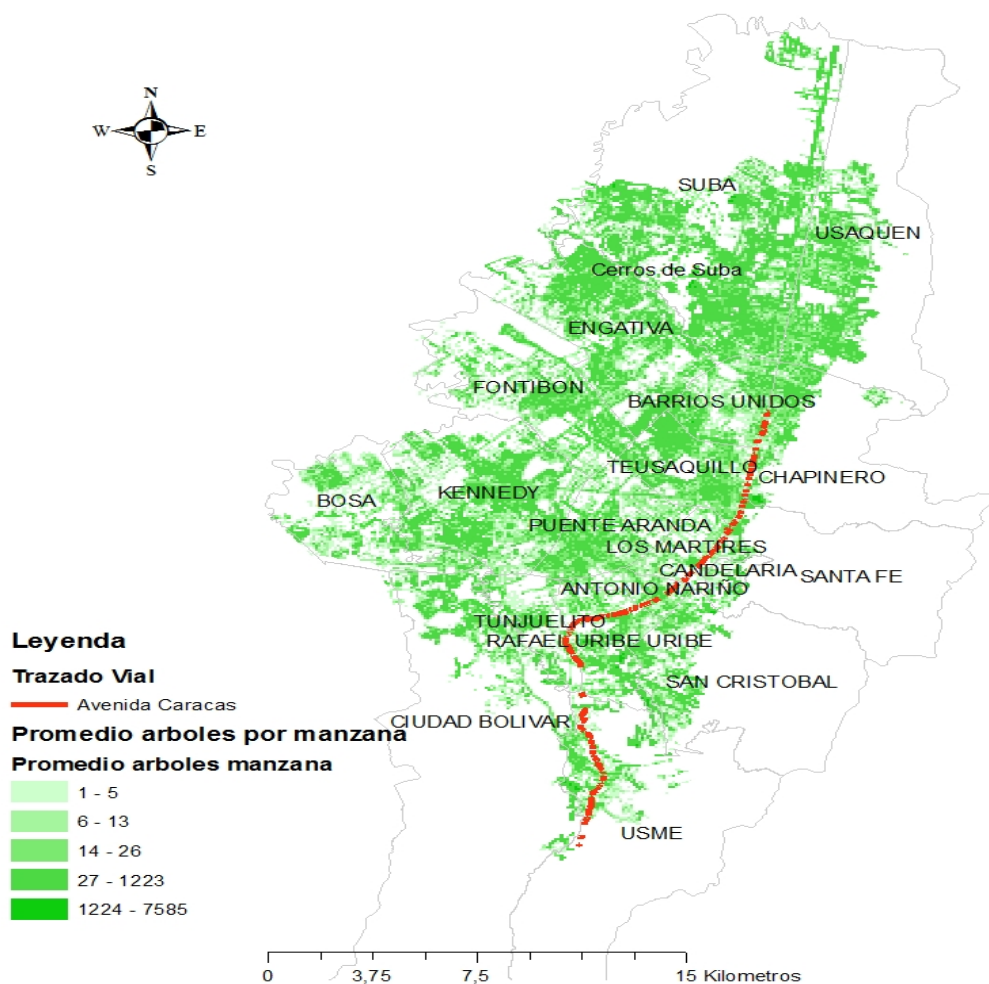
Fuente: Base de datos georreferenciada única de árboles en Bogotá-Censo realizado por el Jardín Botánico, base georreferenciada de hurtos a personas denunciados a la policía. Cálculos de los autores.

La Tabla 2 igualmente muestra que en 2,4% de la superficie urbana hay altos niveles de arborización (>110 árboles) y cero hurtos a personas, al tiempo que en 1,2% del área urbana no hay árboles pero el número de hurtos excede los siete.

Si bien la Tabla 1 y la Tabla 2 dan un sabor de cómo se distribuyen los datos, a continuación se presentan una serie de mapas que facilitan una precisa visualización del estado de las diferentes zonas de Bogotá, de acuerdo a la incidencia de hurtos y densidad de árboles.

El mapa 1 ilustra la densidad de árboles por manzana. Bogotá cuenta con presencia de árboles en el 61,5% del perímetro urbano de la ciudad. Hay concentración de árboles en el norte y oriente de la ciudad, situación que contrasta con las zonas cercanas a la Avenida Caracas a su paso por las localidades de Santa Fe, Candelaria y Mártires, y en las localidades de Fontibón y Bosa donde la densidad de árboles es relativamente baja respecto al resto de la ciudad.

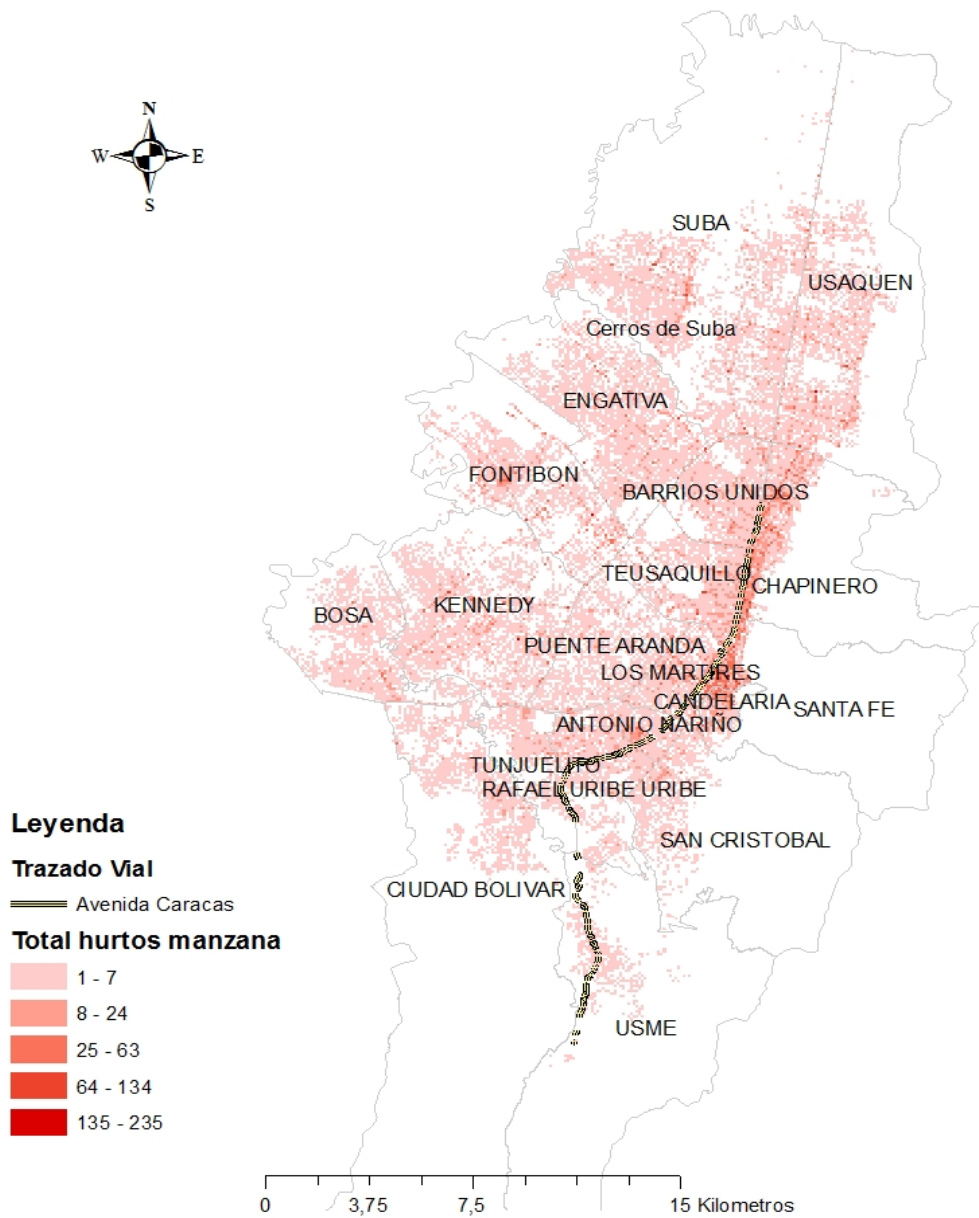
Mapa 1: Promedio histórico de árboles por grilla (2008 – 2014)



Fuente: Base de datos georreferenciada única de árboles en Bogotá-Censo realizado por el Jardín Botánico / Mapa Base Localidades-Malla Vial IDECA. Cálculos del autor.

La variable de hurto a personas, en general presenta bajos niveles en la mayoría de la superficie urbana, sin embargo se pueden identificar algunos puntos calientes (*hot spots*) en las zonas adyacentes a la Avenida Caracas correspondientes a las localidades de Mártires, Candelaria y Santa Fé y unas pequeñas áreas en Suba y Fontibón. (Ver color rojo intenso en mapa 2).

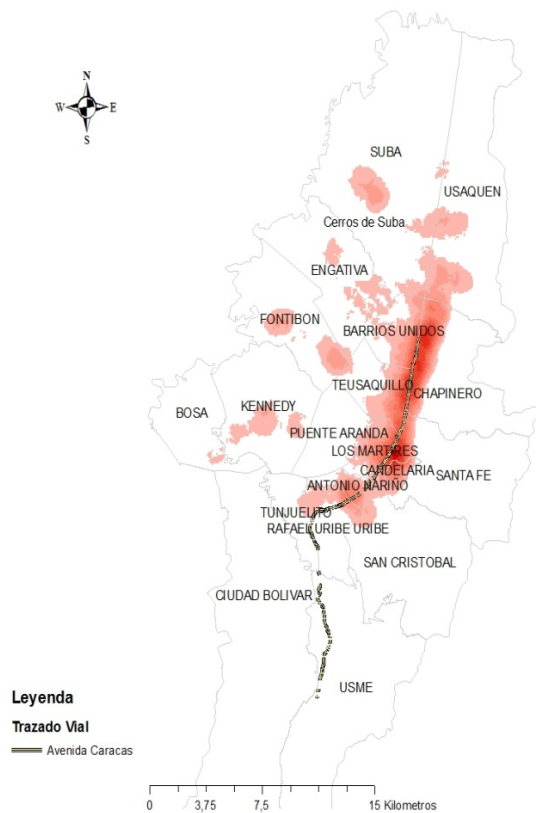
Mapa 2 Total crímenes a personas registrados en la grilla (2008 – 2014).



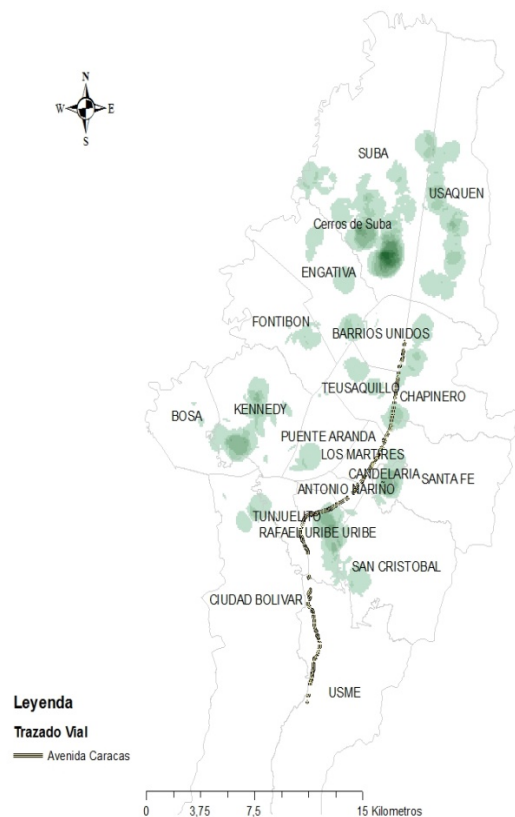
Fuente: Base georreferenciada de hurtos a personas denunciados a la policía e Ideca. Cálculos de los autores.

El mapa 3.a, ilustra lo reportado en la Tabla 2, zonas con bajos niveles de arborización y alta incidencia en hurto a personas y el mapa 3b muestra zonas con altos niveles de arborización y baja criminalidad.

Mapa 3.a: Zonas con bajos niveles de arborización y altos niveles de crimen



Mapa 3.b: Zonas con altos niveles de arborización y bajos niveles de crimen



Fuente mapa 1 y 2: Base de datos georreferenciada única de árboles en Bogotá-Censo realizado por el Jardín Botánico. Base georreferenciada de hurtos a personas denunciados a la policía. Ideca. Cálculos de los autores

Como se observa en el mapa 3.a, las zonas que conjuntamente presentan mayores niveles de hurto y menor arborización corresponden principalmente al corredor oriental a lo largo de la Avenida Caracas que se había identificado anteriormente como zona de alta criminalidad, y algunas áreas, principalmente de las localidades de Kennedy, Fontibón, Engativa y Suba. El mapa 3.b ilustra las zonas con alto nivel de arborización y bajo nivel de criminalidad destacando los Cerros de Suba en el noroccidente y zonas del suroccidente de la ciudad. La visualización anterior nos permite concluir que el fenómeno conjunto de altas tasas de hurto y de baja arborización (mapa 3.a) y de bajas tasas de hurto y baja arborización (mapa 3.b) no se distribuye espacialmente de manera uniforme en la superficie urbana. En la siguiente sección estimamos un modelo econométrico para identificar con mayor detalle la correlación entre criminalidad, medida como hurto a personas, y arborización, medida como el cambio en el número de árboles por manzana.

Modelo y resultados

Con el fin de cuantificar el impacto de la arborización sobre el hurto a personas en Bogotá se realizan varios ejercicios cuyo planteamiento y resultados se presentan en esta sección. La literatura sobre el tema no plantea una especificación estándar sobre la que basar las estimaciones. Más bien, la aproximación depende de los datos disponibles. En el caso que nos atañe, contamos con una información en forma de panel que, en principio, sugiere implementar regresiones tipo panel. Sin embargo, como se observó en la descripción de los datos hay un número significativo de zonas de Bogotá que no presentan variación a lo largo del período bajo estudio. Es decir, hay áreas donde no ha habido cambio en el número de árboles y zonas donde no ha habido cambios en el número de crímenes.

La relativamente poca variación espacial y temporal de los datos sugiere considerar un enfoque donde el objetivo sea estudiar el evento de plantar árboles: ¿cómo impacta el cambio en el número de árboles en una manzana dada, el número de hurto a personas?

Buscando robustez en los resultados, la estrategia de identificación se basa en dos ejercicios secuenciales. La primera se enfoca directamente en el impacto de plantar nuevos árboles en la ciudad en un momento dado. Es decir, mide cómo impacta el número de hurtos a personas el cambio porcentual en el número de árboles de un período a otro. La segunda estudia el impacto de este cambio promedio por manzana sobre el número de hurto a personas. Ésta última estrategia se extiende para considerar explícitamente la correlación espacial que puede existir entre una manzana y otra. En otras palabras, la actividad criminal en una manzana puede estar influenciada por lo que sucede en manzanas vecinas.

La ecuación (1) a continuación detalla la estimación básica correspondiente al primer ejercicio:

$$H_{m,t} = \alpha_0 + \alpha_1 \Delta A_{mt,t-1} + \alpha_3 C_m + \alpha_4 L + \varepsilon_{m,t} \quad (1)$$

donde $H_{m,t}$ hace referencia al número de hurtos en una manzana m dada en un trimestre t . $\Delta A_{mt,t-1}$ es la variable de interés, el cambio en el número de árboles en una manzana dada m entre un trimestre t y el trimestre anterior $t-1$. C representa diferentes controles necesarios para garantizar identificación de α_1 según se describieron en Tabla 1. Los datos de proximidad a CAI se incluyen

como proxy de medidas disuasorias a los hurtos. El porcentaje de la manzana ocupada por un parque controla el efecto que podría tener un área de estas características en la seguridad de la zona. La distancia del centro de la manzana a vías principales, a una vía de Transmilenio, a hoteles y a atractivos turísticos controla por la actividad urbana del área. Cabe recordar que estos indicadores están disponibles para el 2016 y se asume que no cambian sustantivamente durante nuestro período de análisis. La inclusión de estos impide, por definición, incluir efectos fijos de año. Su inclusión se justifica en que sí varían espacialmente, permitiendo así controlar por factores fijos a través del tiempo pero variables a través de manzanas. El ingreso es una variable importante a la hora de medir los hurtos en la ciudad. Este se controla utilizando el promedio del valor de metro cuadrado de cada unidad residencial según los datos catastrales de 2013. Finalmente se incluyen efectos fijos de localidad que controlan por factores no observables particulares a cada zona de Bogotá².

La Tabla 3 reporta los resultados de la ecuación (1) en cuatro especificaciones. La primera, columna (a), considera únicamente los trimestres en que hubo siembra de árboles, de ahí el número de observaciones 13.913. La variable de interés es estadísticamente significativa y negativa. Es decir, al sembrar árboles se reduce el número de hurtos a personas. Los resultados cuantitativos se discuten más adelante. Por ahora anotamos los efectos esperados de las variables de control. A mayor distancia de un CAI, menor el número de hurtos. A mayor distancia de la malla vial, de estaciones de Transmilenio (TM), de atractivos turísticos o de hoteles, menor el número de hurtos³. En otras palabras, cuando más aislada de movimiento urbano sea una manzana, menor el número de hurtos. La variable del valor de metro cuadrado construido de uso residencial no es estadísticamente significativa aunque buena parte del efecto ingreso se captura por medio del efecto fijo de localidad.

² La localidad es una subdivisión administrativa del Distrito Capital. Actualmente Bogotá está conformada por 20 localidades (1. Usaquén, 2. Chapinero, 3. Santa Fe, 4. San Cristóbal, 5. Usme, 6. Tunjuelito, 7. Bosa, 8. Kennedy, 9. Fontibón, 10. Engativá, 11. Suba, 12. Barrios Unidos, 13. Teusaquillo, 14. Los Mártires, 15. Antonio Nariño, 16. Puente Aranda, 17. La Candelaria, 18. Rafael Uribe Uribe, 19. Ciudad Bolívar, 20. Sumapaz). Cada localidad cuenta con un alcalde local, nombrado por el Alcalde Mayor, quien se encarga de coordinar las acciones administrativas del gobierno distrital en la localidad.

³ Hidalgo et al. (2013) reportan una relación de impacto negativa entre crimen y TM. Ellos también evalúan el impacto de TM sobre otras variables, algunas como valor del metro cuadrado construido que utilizamos como variable de control. A pesar de ello, no tenemos riesgos de colinealidad porque durante el período que consideramos, no se construyó en Bogotá ninguna línea de TM.

Tabla 3
El Efecto de Arborización sobre el Hurto a Personas

	(a)	(b)	(c)	(d)
Variable dependiente: Número de Hurto a Personas				
Árboles	-0.0045564 [0.001469]***	-0.0055363 [0.001913]***	-0.0056787 [0.002540]**	-0.0054113 [0.002657]*
Distancia CAI	-0.0400119 [0.010477]***	-0.0399074 [0.010488]***	-0.0177094 [0.012611]	-0.0272173 [0.015896]
Porcentaje de Manzana ocupada por un Parque	-0.1193758 [0.013805]***	-0.1194626 [0.013803]***	-0.1099291 [0.026113]***	-0.1113199 [0.027543]***
Distancia a la Malla Vial	-0.0124146 [0.027980]	-0.0123533 [0.027990]	-0.0097083 [0.051084]	-0.0019287 [0.040914]
Distancia a Atractivo Turístico	-0.0087138 [0.004756]*	-0.0086942 [0.004758]*	-0.0144081 [0.006654]**	-0.0137711 [0.007113]*
Distancia a Estación de Transmilenio	-0.0087091 [0.004274]**	-0.008639 [0.004272]**	-0.0042189 [0.009206]	-0.0074405 [0.007535]
Distancia a Hoteles	-0.0071595 [0.002356]***	-0.0071603 [0.002356]***	-0.0081568 [0.007740]	-0.0099581 [0.006853]
Valor M ²	0.000003 [0.000007]	0.000003 [0.000007]	0.0000029 [0.000013]	0.000003 [0.000013]
Constante	0.2767921 [0.036683]***	0.2772841 [0.036815]***	0.290689 [0.016525]***	0.2591778 [0.018011]***
Efectos Fijos de Localidad	SI	SI	SI	SI
R2	0.08	0.08	0.08	0.06
Observaciones	13,913	13,909	12,854	11,691
Errores estándar en corchetes				
* Significativo al 10%, ** al 5%, ***al 1%				
Nota: Árboles: Evento de siembra de árboles entre t y $t-1$. Medido en puntos porcentuales.				
Variables de distancia medidas en kilómetros.				
Columnas (c) y (d) efecto rezagado un trimestre y dos trimestres respectivamente.				
Ver texto para definición detallada de cada especificación.				
Fuente: Jardín Botánico. Policía Nacional. Cálculos propios				

En las estimaciones de la columna (a) existen unos pocos valores extremos en la variable de *árboles* que se retiran en la columna (b). Como se observa, si bien el número de observaciones no cae sustancialmente, el efecto de la arborización sobre el número de hurtos a personas se torna más fuerte. Esta es la especificación base para interpretar los resultados.

Con base en el coeficiente de la columna (b), y utilizando la media del hurto a personas (0,119 hurtos por manzana y trimestre) y de la tasa de siembra (36,78% incrementa de un trimestre a otro el número de árboles cuando se plantan), es posible estimar la elasticidad del número de hurtos a la tasa de siembra sobre la media. Cabe destacar esto último: la elasticidad es sobre la tasa de siembra. Es decir, con una elasticidad estimada de -0,017, el número de hurtos por manzana y

trimestre caerá -0,17 ante un incremento en la tasa de siembra del 10% o, considerando la media observada de la tasa de siembra, un aumento aproximado de 3,68 puntos porcentuales.

Con base en ese incremento del 10% en la tasa de siembra (un valor que consideramos conservador), y tomando en cuenta que hay 6.590 manzanas donde se registra plantaciones de árboles, el estimativo implica que caerá el número de hurtos en 1,34 por manzana/trimestre. La cifra, que a priori puede no parecer importante, lo es cuando se relativiza respecto al número total de hurtos registrados en las 6,590 manzanas. Entre el primer trimestre del 2008 y el primer trimestre del 2014, el mayor número de hurtos observado fue en el tercer trimestre del 2013 con 198 casos. El promedio de atracos registrados en ese mismo período fue de 71,82.

En resumen, incrementar en un 10% la tasa de siembra lleva a una caída de 1,34 hurtos por manzana/trimestre que representa un 0,68% de los hurtos registrados en el tercer trimestre del 2013 o un 1,87% del promedio de atracos reportados en ese período. El impacto de plantar árboles, por tanto, no es trivial.

El impacto sobre la criminalidad del proceso de arborización puede llegar con efectos rezagados. La columna (c) explora esa posibilidad. Allí la variable dependiente pasa a ser el número de atracos en el trimestre siguiente al evento de plantar árboles. Siguiendo el mismo procedimiento detallado para el caso de la columna (b) se encuentra que plantar árboles impactó el número de hurtos en 0,71% cuando se compara con los datos del tercer trimestre de 2013 y de 1,96% utilizando el promedio de atracos del período bajo estudio. Los datos para la columna (d), un rezago de dos trimestres, son 0,69% y 1,91% respectivamente. No se observan efectos sobre la criminalidad utilizando rezagos adicionales.

El segundo ejercicio se basa una sección cruzada de la misma forma funcional utilizada en la ecuación (1). Ahora H_m es el promedio de hurtos a personas entre el primer trimestre del 2008 y el primero del 2014 en cada una de las 42.596 manzanas en que se divide la ciudad de Bogotá. ΔA_m es la tasa de siembra promedio de cada manzana en el mismo período. Esta aproximación permite una estimación más robusta al permitir explorar los efectos espaciales. Estos se examinaron con base en tres especificaciones: 1) un modelo espacial Durbin (eq.2), 2) un modelo espacial autorregresivo o SAR (eq.3) y un modelo de error espacial o SEM (eq.4).

Modelo Espacial Durbin

En general, el modelo Espacial Durbin introduce al modelo de mínimos cuadrados ordinarios un rezago espacial de una variable independiente. En nuestro caso la especificación del modelo Durbin está dada por:

$$H_m = \alpha_0 + \alpha_1 \Delta A_m + \alpha_2 W \Delta A_m + \alpha_3 C_m + \alpha_4 L + \varepsilon_m \quad (2)$$

Donde H_m , son las variables definidas anteriormente, y C_m y L son las mismas definidas en la ecuación (1). La variable $W \Delta A_m$ es un rezago espacial de la variable de arborización que mide el valor promedio del incremento porcentual en las manzanas vecinas definidas por la matriz de contigüidad W . Esta es una matriz simétrica de pesos espaciales (tipo reina de orden 1) de dimensión 42.596×42.596 la cual especifica la interconexión o contigüidad entre las diferentes manzanas de la muestra. Este modelo nos indica intuitivamente que el hurto a personas en una manzana no solo podría verse afectado por la arborización en esa manzana sino también por la arborización de las manzanas contiguas. En este modelo suponemos que el error es $\varepsilon_m \sim N(0, \sigma^2)$

Modelo Espacial Autorregresivo

Esta especificación espacial nos indica que el hurto promedio a personas en una manzana depende de los niveles de hurto en las manzanas vecinas.

$$H_m = \alpha_0 + \rho W H_m + \alpha_1 \Delta A_m + \alpha_3 C_m + \alpha_4 L + \varepsilon_m \quad (3)$$

Las variables H_m , ΔA_m , C_m y L son las mismas definidas anteriormente, ρ es un parámetro de rezago espacial y la matriz W se define igual que antes. Esta especificación considera la posibilidad de contagio del hurto entre las unidades espaciales. Un signo positivo del parámetro ρ , indica que el número de hurtos a personas en una manzana se ve afectada por el hurto a personas en manzanas contiguas. El signo positivo se interpreta como un efecto de contagio o de desbordamiento de la criminalidad. En este modelo también suponemos $\varepsilon_m \sim N(0, \sigma^2)$.

Modelo Espacial con Error Autorregresivo

La tercera especificación supone una forma alternativa del proceso del error de la regresión:

$$H_m = \alpha_0 + \alpha_1 \Delta A_m + \alpha_3 C_m + \alpha_4 L + \varepsilon_m \quad (4)$$

En la ecuación (4) las variables se definen como se hizo anteriormente pero se supone que el error de la regresión presenta un proceso autorregresivo de primer orden descrito por la ecuación (5)

$$\varepsilon_m = \lambda W\varepsilon_m + \mu \quad (5)$$

Donde $\mu \sim N(0, \sigma^2 I)$. λ es el parámetro del error espacial autorregresivo. Intuitivamente, esta especificación del modelo captura posibles variables omitidas que se encuentren en el vecindario del polígono de análisis y que pueden afectar los niveles de hurto a personas.

Las salidas de los modelos descritos en las ecuaciones (2) Durbin, (3) SAR, (4)-(5) SEM, se presentan en las columnas (b), (c) y (d) de la Tabla 4.

Los resultados de los modelos de MCO, Durbin, SAR y SEM, al igual que la Tabla 3, indican una relación negativa y estadísticamente significativa entre el proceso de arborización y el número de atracos. Para el caso del modelo SAR y SEM (columnas c y d en la Tabla 4), los coeficientes positivos y significativos de *rho* y *lambda* sugieren la existencia de autocorrelación espacial en la variable de crimen y del error respectivamente. No obstante, la presencia de autocorrelación espacial en crimen y en el error no afectan el signo ni, notoriamente, la magnitud y la significancia de la variable de interés (Árboles).

Tabla 4. Hurto a Personas y Siembra de Árboles
(Promedio por manzana)

Variable dependiente: número de hurtos a personas

Variable	(a) MCO	(b) Modelo Durbin Espacial	(c) Modelo espacial autorregresivo	(d) Modelo de error espacial
Árboles	-1,7968 [0,8001]*	-1,5532 [0,80914]**	-1,5960 [0,7864]*	-1,46815 [0,00841]*
Rezago Espacial Arboles	n.a	-3,394589** 1,67641	n.a	n.a
Distancia CAI	-0,4647 [0,0577]***	-0,467313 [0,05780]***	-0,4080 [0,05678]***	-0,4665 [0,06438]***
Porcentaje Área Parque	-2,1340 [0,15256]***	-2,1291 [0,15258]***	-1,9781 [0,1499]***	-2,0967 [0,160107]***
Distancia a la Malla Vial	-1,5549 [0,1040]***	-1,5579 [0,1041]***	-1,3780 [0,10224]***	-1,5520 [0,11385]***
Distancia a atractivo turístico	-0,1710 [0,0370]***	-0,1759 [0,0374]***	-0,1543 [0,03680]***	-0,176316 [0,041832]***
Distancia a Estación de Transmilenio	-0,1723 [0,0335]***	-0,1740 [0,0336]***	-0,1505 [0,03301]***	-0,1634 [0,037514]***
Distancia a Hoteles	-0,02345 [0,0243]	-0,0227 [0,0243]	-0,0207 [0,02392]	-0,02971 [0,02713]*
Valor M ²	0,000369 [0,000071]***	0,000373 [0,00007]***	0,000306 [0,00007]***	0,000326 [0,000075]***
Constante	4,7615 [0,247766]***	4,774513 [0,24784]***	4,17821 [0,24387]***	4,661919 [0,275099]***
Rho	n.a	n.a	0,05197 [0,000398]***	n.a
Lambda	n.a	n.a	n.a	0,18999 [0,0026713]***
Efectos Fijos de Localidad	Si	Si	Si	Si
R2	0,1372	0,1378	0,1389	0,1651
Observaciones	42.596	42.596	42.596	42.596
Errores estándar en paréntesis *Significativo al 10%, ** al 5%, ***al 1%				
Nota: Árboles es el promedio del cambio porcentual de cada manzana entre 2008:q1 y 2014:q1.				
n.a: no aplica				

Fuente: estimaciones propias de los autores a partir de datos del Jardín Botánico, Catastro Distrital y Policía Nacional

Los coeficientes estimados fueron utilizados para calcular la elasticidad tal como se desarrolló en el ejercicio anterior. Es decir es el cambio del hurto a personas ante variaciones en la tasa de crecimiento de árboles por manzana, calculada en el valor medio de las variables. Las elasticidades ante un incremento de 10% en la tasa de crecimiento de siembra árboles en cada manzana se reportan en la última fila de la Tabla 5. Un aumento del 10% en la tasa de crecimiento de siembra trae consigo una reducción directa (columnas (a), (b), (d), (e)) en el número de hurtos que varía desde 0.037% (modelo SEM) hasta el 0.046% (modelo MCO).

Tabla 5. Elasticidad de la tasa de siembra sobre el número de hurtos por manzana

	MCO (a)	Durbin Efecto Directo (b)	Durbin Efecto Indirecto (c)	SAR (d)	SEM (e)
Atracos Media (#)	1,9423	1,9423	1,9423	1,9423	1,9423
Desv. Estándar	5,8235	5,8235	5,8235	5,8235	5,8235
Tasa de Siembra	0,0049%	0,0049%	0,0099%	0,0049%	0,0049%
Desv. Estándar	0,0328	0,0328	0,0473	0,0328	0,0328
Coefficiente estimado	-1,7968	-1,5532	-3,394589	-1,596	-1,46815
Elasticidad ante aumento del 10%	-0,0458%	-0,0396%	-0,1730%	-0,0407%	-0,0374%

Fuente: Tabla 4 y cálculos propios

El modelo espacial Durbin es de particular interés porque permite calcular tanto los efectos espaciales directos de la siembra de árboles como los efectos indirectos. Por estos últimos se entiende la influencia que puede tener sobre la manzana de interés arborizar manzanas vecinas o técnicamente, se define como el efecto de las manzanas contiguas tipo reina de orden 1 (que es como se definió la matriz W anteriormente). El modelo Durbin muestra que un aumento en el 10% en la tasa de crecimiento de siembra de árboles tiene un efecto directo en la reducción de hurtos de 0,039%. Notablemente, el efecto indirecto de un incremento en la tasa de siembra de las manzanas vecinas es significativamente mayor: un incremento del 10% de la tasa de siembra de las manzanas contiguas lleva a una reducción del número de hurtos de 0,17% en la manzana de interés.

Este efecto indirecto puede ser interpretado como un efecto de contagio de la actividad de arborización. En otras palabras, el coeficiente negativo de la variable de rezago espacial de árboles sugiere que mayores tasas de siembra de árboles en las manzanas vecinas tienen un efecto negativo en los niveles de hurto de una manzana específica. Teniendo como referencia el modelo Durbin, incrementar la tasa de siembra de árboles en un 10% llevaría a una reducción en el número de hurtos en aproximadamente 33 casos en toda la superficie de Bogotá. Esto es una reducción de 0,04% del número total de hurtos registrados en el periodo de estudio (82.738). El efecto indirecto de este incremento, por su parte, reduciría el número de hurtos en 143 casos en toda la superficie de Bogotá. Este efecto indirecto equivaldría a una reducción del 0,173% del total del número de hurtos registrados en el periodo de análisis. No deja de ser llamativo que el efecto indirecto es aproximadamente 4 veces el efecto directo, indicando que la actividad de arborización presenta un fuerte impacto espacial de desbordamiento o contagio sobre la criminalidad.

Discusión final

El trabajo explora, apoyado en una base de datos única, el impacto de un proceso de arborización sobre el número de atracos en Bogotá. Son pocos los trabajos que relacionan crimen con la existencia de árboles y, hasta donde tenemos conocimiento, éste es el primer trabajo que se realiza para un país emergente como Colombia. Además, la mayor parte de la literatura se enfoca en estudios de caso o experimentos para evaluar el potencial impacto de arborización sobre diferentes tipos de actividades ilegales urbanas. Este documento utiliza información de toda la ciudad de Bogotá, tanto en términos de árboles como del número de hurtos a personas.

Utilizando información trimestral se encontró que existe una relación estadísticamente significativa y negativa entre el proceso de arborización y el número de atracos en Bogotá. Se realizaron dos ejercicios complementarios con el fin de garantizar robustez en los resultados.

El primer ejercicio exploró los efectos directos del acto de sembrar árboles sobre el hurto en la capital de Colombia. Durante el período de estudio hubo siembra de árboles en 6.590 de las 42.596 manzanas que componen la ciudad. La siembra de árboles reduce directamente el número de hurtos tanto de forma contemporánea como con un rezago de hasta seis meses. Bogotá, como ya se anotó, es una ciudad con pocos árboles. Suponiendo un incremento del 10% en la tasa de arborización (algo más de tres puntos porcentuales respecto a la tasa media observada), se encuentra que los efectos de plantar árboles sobre el número de hurtos no es despreciable: los atracos llegan a caer entre 0,7% y 1,9% de los atracos observados a lo largo del período en las 6.590 manzanas donde se plantaron árboles. Nótese que a lo largo del documento trabajamos arbitrariamente con incrementos de 10% en la tasa de siembra. Esto nos permitió homogeneizar el análisis de nuestros ejercicios pero consideramos importante recalcar que es un número muy conservador.

El resultado de este primer ejercicio es que hay una correlación negativa, estadísticamente significativa, entre aquellas manzanas donde se plantan árboles y el número de atracos en las mismas. El efecto es directo y, evidentemente, orientado hacia aquellas manzanas donde se plantaron árboles. Nada dice sobre el efecto que pueda tener sobre manzanas contiguas el plantar árboles en una manzana dada.

Por otro lado, el número total de atracos en toda la ciudad de Bogotá durante el período de análisis fue de 82.738, es decir algo más de 31 atracos diarios. El número de atracos diarios en las manzanas donde se plantaron árboles no llega a uno (0,62). Esto sugiere que, medido por el número de hurto a personas, los árboles se están sembrando en zonas relativamente seguras.

La discusión anterior lleva a la necesidad de extender el ejercicio a uno que capture el efecto espacial del proceso de arborización al tiempo que se considere las 42.596 manzanas de la ciudad. Por ello, el segundo ejercicio explora explícitamente el efecto *contagio* de sembrar árboles.

La especificación del modelo Durbin permite explorar tanto los efectos directos de la arborización como los efectos de contagio o efectos de desbordamiento. Este modelo explícitamente nos indica que no solo aumentos en la tasa de siembra en una manzana determinada tendría efectos en la reducción del número de hurtos, sino que también los incrementos en las tasas de siembra de las manzanas **vecinas** reducen las tasas de hurto en una manzana determinada. Nuestro ejercicio de regresión espacial Durbin, sugiere que el efecto directo de aumentar la tasa de siembra en 10% en toda la ciudad reduce el número total de crímenes registrados en nuestro periodo de análisis en un 0,04% mientras que el efecto indirecto implicaría una reducción en la cantidad de hurtos a personas de un 0,17%, un impacto considerablemente mayor que el efecto directo.

Los efectos del segundo ejercicio son, en términos relativos, cuantitativamente menores. El resultado no debe sorprender. En Bogotá únicamente se plantó árboles, entre el 2008:q1 y 2014q1, en el 15,5% de las manzanas que además, no son en su conjunto, las más inseguras de la ciudad. El análisis espacial demostró que hay un efecto contagio no despreciable que lleva a que el número de hurtos a personas disminuya como producto de plantar árboles en manzanas adyacentes. Si el efecto directo es limitado, el efecto transversal lo es aún más en el sentido de que arborizar un sector del oriente de la ciudad tendrá un efecto sobre la manzana y sus vecinas, pero su efecto será obviamente nulo sobre manzanas ubicadas en el occidente de la capital. Es por ello que el impacto de plantar árboles estimado en el ejercicio espacial es menor que el reportado en el primer ejercicio.

En términos de política lo anterior es muy dicente. El efecto directo es importante. También lo es el efecto espacial sobre manzanas vecinas. Por ello debería aumentarse la tasa de siembra de árboles y ampliar el número de manzanas donde se planten. Una política de arborización tendría un mayor impacto si se realiza aumentando las coberturas de árboles de **todas** las manzanas de Bogotá y no solamente de manzanas seleccionadas.

El canal por el que los árboles reducen el crimen no es evidente, aunque hay que mencionar el rol de teorías de criminalidad como son las de ventanas rotas o actividad rutinaria en las que los árboles mejoran el ambiente y la presentación de la manzana lo cual envía señales de que es una zona donde los ciudadanos se interesan por su entorno, con lo cual potenciales ladrones de oportunidad pueden optar por no llevar a cabo el atraco (Kondo et al., 2017). El canal último, sin embargo, va más allá de la ciencia económica y se centra en las raíces psicológicas de cómo los

árboles generan una sensación de orden, tranquilidad y limpieza que en últimas reduce el crimen a través de un efecto restaurador psicológico (Berman, Jonides y Kaplan, 2008) que controla la ansiedad, disuade y produce mejoras cognitivas (van den Berg et al, 2015).

Para finalizar, cabe anotar que los resultados del trabajo no implican que simplemente plantando árboles se va a acabar con la criminalidad en una ciudad como Bogotá. Los efectos sobre el hurto a personas no son despreciables, pero si limitados, si bien en este trabajo no hemos considerado externalidades positivas adicionales de plantar árboles. Intuitivamente el impacto de la arborización sobre el hurto a personas es positivo porque éste tipo de acción criminal tiene mucho de oportunismo. Otras acciones como el robo a automóviles, a vivienda o incluso el asesinato no necesariamente tienen este componente que un ambiente tranquilo puede eventualmente prevenir. Nuestro trabajo de investigación futura se dirige en esta dirección.

Referencias

- Berman, M. G., Jonides, J., & Kaplan, S. (2008). The Cognitive Benefits of Interacting With Nature. *Psychological Science* 19(12).
- Bratman, G., Daily, G., Levy, B. y Gross, J. (2015) The Benefits of Nature Experience: Improved Affect and Cognition. *Landscape and Urban Planning*. Vol. 138, 41-50.
- Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público (DADEP) (2009). Indicadores de Espacio Público. Acceso: <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/documentacion-e-investigaciones/resultado-busqueda/indicadores-de-espacio-publico>. Fecha de acceso: Nov, 19 2016
- Donovan, G. H., & Prestemon, J. P. (2012). The Effect of Trees on Crime in Portland, Oregon. *Environment and Behavior*, 44(1), 3-30.
- Hidalgo, D., Pereira, L., Estupiñán, N., y Jiménez, P.L. (2013). Transmilenio BRT system in Bogota, high performance and positive impact – Main results of an ex-post evaluation. *Research in Transportation Economics*, Vol. 39. 133-138.
- Kardan, O., & et al. (2015). Neighborhood greenspace and health in a large urban center. *Scientific Reports* 5.
- Kondo, M., Han, S., Donovan, G. y MacDonald, J. (2017). The Association Between Urban Trees and Crime: Evidence From The Spread of The Emerald Ash Borer in Cincinnati. *Landscape and Urban Planning*, 157, 193-199.
- Kuo, F. E., & Sullivan, W. C. (2001a). Agression and Violence in the Inner City: Effects of Environment via Mental Fatigue. *Environment and Behavior*, 33(4) 543-571.
- Kuo, F. E., & Sullivan, W. C. (2001b). Environment and Crime in the Inner City: Does Vegetation Reduce Crime? *Environment and Behavior*, 33(3) 343-367.

- Kuo, F. E., Bacaicoa, M., & Sullivan, W. C. (1998). Transforming Inner-City Landscapes: Trees, Sense of Safety, and Preference. 30(1) *Environment and Behavior*.
- Michael, S. E., Hull, R. B., & Zahm, D. I. (2001). Environmental Factors Influencing Auto Burglary: A Case Study. *Environment and Behavior* 33(3), 368-388.
- Nasar, J. L., & Fisher, B. (1993). 'Hot spots' of fear and crime: A multi-method investigation. *Journal of Environmental Psychology*, 13(3) 187-206.
- Reyes y Figueroa (2010). Dsistribución, Superficie y Accesibilidad de las Áreas Verdes en Santiago de Chile. *Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales. EURE*. Vol 36, No 109, Pp 89-110.
- Schroeder, H. W., & Anderson, L. M. (1984). Perception of Personal Safety in Urban Recreation Sites. *Journal of Leisure Research* Second Quarter 178-194.
- Shaffer, G. S., & Anderson, L. M. (1985). Perceptions of the security and attractiveness of urban parking lots. *Journal of Environmental Psychology* 5(4), 311-323.
- Troy, A., Grove, M., & O'Neil-Dunne, J. (2012). The relationship between tree canopy and crime rates across an urban-rural gradient in the greater Baltimore region. *Landscape and Urban Planning*.
- van den Berg, M.; Maas, J., Muller, R.; Braun, A., Kaandrop, W.; van Lien, R.; van Poppel, M.; van Mechelen, W.; y van den Berg, A. (2015). Autonomic Nervous System Responses to Viewing Green and Built Settings: Differentiating Between Sympathetic and Parasympathetic Activity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Vol. 12, 15860-15874.
- Wolfe, M. K., & Mennis, J. (2012). Does vegetation encourage or suppress urban crime? Evidence from Philadelphia, PA. *Landscape and Urban Planning* 108(2-4), 112-122.