

Diagnóstico y propuestas para la gestión de los residuos de construcción y demolición en la ciudad de Ibagué (Colombia)

Diagnosis and proposals for the management of construction and demolition waste in the city of Ibagué (Colombia)

Sindy Suárez-Silgado^{1,3}, Juan David Andrés Molina¹,
Leandro Mahecha¹, Lucrecia Calderón²

RESUMEN

La gestión de los residuos es un tema de vital importancia a tener en cuenta en las políticas y planes de desarrollo de una localidad. Una de las condiciones necesarias para implementar la buena gestión de los residuos es un estudio preliminar o diagnóstico sobre la generación de los mismos en la zona. En este artículo se presenta, a modo de diagnóstico, la gestión actual de los residuos de construcción y demolición (RCD) en la ciudad de Ibagué (Colombia) y se analizan sus fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas. Para llevar a cabo el estudio, además de la revisión bibliográfica, se estableció contacto directo con 56 empresas constructoras localizadas en Ibagué. Adicionalmente se visitaron organismos institucionales, escombreras y plantas de tratamiento de metal. Por la información y datos obtenidos, se observó que las empresas presentan poco conocimiento sobre la problemática asociada a los RCD y sus diferentes sistemas de gestión. Se encontró también que los residuos producidos en las actividades constructivas son generalmente tierras de excavación, depositadas en el vertedero por la mayoría de las empresas analizadas. En estudios posteriores se recomienda realizar análisis de esta tierra para comprobar su estado y composición, con el fin de hacer una buena gestión de este residuo.

PALABRAS CLAVE: eliminación de desechos; construcción; reciclaje; norma ambiental.

ABSTRACT

Waste management is a topic of vital importance that should be considered in the policies and development plans of a town or city. A required condition for an adequate waste management is a preliminary study or assessment of waste generation in the area. In this paper, the current management of construction and demolition waste (CDW) in the city of Ibagué (Colombia) is assessed and its strengths, weaknesses, opportunities and threats are analysed. In addition to a literature review, 56 construction companies based in Ibagué were contacted directly, and institutional organisations, waste tips and metal treatment plants were visited. Results showed that companies currently have little knowledge of the problem associated with CDW and its various management systems. It was also determined that waste generated in construction activities is mainly comprised of excavated earth, which is generally taken by companies to the dump. Future studies should be carried out to analyse the earth and assess its state and composition, so that it can be managed efficiently.

KEYWORDS: waste disposal; construction; recycling; environmental law.

1 Universidad Antonio Nariño. Ibagué, Colombia. ORCID Suárez-Silgado, S.: 0000-0002-9867-3443; Molina, J.D.A.: 0000-0001-9379-3983; Mahecha, L.: 0000-0002-9867-3443

2 Escuela Técnica de Arquitectura de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Cataluña, España. ORCID Calderón, L.: 0000-0003-4167-9147

3 Autor de correspondencia: sindysofia@uan.edu.co

Recepción: 31 de diciembre de 2017. Aceptación: 01 de junio de 2018

Introducción

La industria de la construcción es responsable de muchos de los impactos medioambientales actuales. Estos impactos se deben tanto al consumo de materia prima, como a la gran generación de residuos. De acuerdo con Arenas (2007), el sector de la construcción es responsable del 40% de la energía consumida, del 50% de los recursos naturales empleados y del 50% de los residuos generados a nivel mundial.

A estos residuos que resultan de la construcción, remodelación, reparación y demolición de viviendas, edificios y otras estructuras se les denomina 'Residuos de Construcción y Demolición (RCD)', según Clark et al. (2006). Su problemática queda referida principalmente al impacto por el volumen que generan. Según EUROSTAT (2017), solo en la Unión Europea el 35% de todos los residuos generados corresponden a los de construcción y demolición.

Debido a la problemática por la generación de estos residuos a nivel mundial, se han ido implementando estrategias y medidas para su gestión. A nivel internacional dicha gestión se ha enfocado principalmente en las denominadas 3R: reducir, reutilizar y reciclar los RCD. El Reino Unido trata los residuos como recursos, aumentando la reutilización y el reciclaje, y las inversiones en tratamiento. Dinamarca, Países Bajos y Bélgica utilizan los materiales reciclados como áridos reciclados en ámbitos muy variados: construcción de explanaciones (terraplenes y rellenos), capas de firmes de carreteras y fabricación de hormigón (CEDEX, 2010). Así mismo, en Honduras se fabrican muros hechos con neumáticos y tierra (Reyes et al., 2014).

Sin embargo, en América Latina las actividades de recuperación están enfocadas principalmente a los residuos sólidos urbanos. No obstante, Brasil ha sido el primer país de esta región en gestionar los RCD. Este manejo consiste en obligar a los constructores a dar un mejor manejo a los residuos generados e incentivar la clasificación de los RCD en obra. En países como Colombia, México y Argentina la gestión y el manejo de los RCD ya están ordenados, sin embargo, no se cumplen por parte de muchos de los agentes relacionados, perjudicando el

entorno y aumentando la cantidad de escombreras ilegales.

Específicamente, en Colombia se han ido dando avances reflejados en estudios realizados a nivel nacional acerca de las perspectivas y limitaciones de la gestión de estos residuos (Castaño et al., 2013; Pinzón, 2014) y la situación actual de los mismos en algunos municipios (Jiménez, 2013). Además, se han llevado a cabo diagnósticos técnicos del aprovechamiento de los RCD en el Distrito Capital (Escandón, 2011; Chávez et al., 2014) y estudios de cuantificación y caracterización de los RCD (SDA, 2012; Pinzón, 2014). Por último, en algunos casos, se han efectuado propuestas piloto de plantas de reciclaje (Chávez et al., 2014).

En la ciudad de Medellín, Mejía-Restrepo et al. (2015) han caracterizado la química y minerales de los RCD generados, determinando su uso potencial en la biorremediación de suelos degradados por la minería. Así mismo, en otras zonas del país se ha llegado a usar materiales reciclados para construir bloques de pavimento en carreteras de bajo volumen (Serrano-Guzmán et al., 2011) y se ha desarrollado un enfoque holístico sobre el uso de pavimentos reciclados como alternativa económica y ambiental en las futuras obras de pavimentos (Camacho, 2014). Además, Mena y Valdés (2014) han evaluado las propiedades físicas y mecánicas del agregado reciclado para el diseño de nuevos hormigones utilizados en obras civiles de bajo tránsito.

A pesar de lo anteriormente mencionado, en el caso concreto de Ibagué no existe un tratamiento adecuado de estos residuos y en algunas ocasiones son depositados en los cauces de los ríos o lotes baldíos, con la problemática ambiental, social y política asociada. Se deteriora visualmente el paisaje, ocasionando invasión del espacio público y alteraciones en el suelo y en el agua. Además, los residuos provocan graves problemas de contaminación del aire por medio del aumento de material particulado (Jiménez, 2013; Agudelo y Rodríguez, 2014).

El objetivo de esta investigación consiste en realizar un diagnóstico de la gestión actual de los RCD en Ibagué y analizar sus fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas con el fin de proponer mejoras.

Residuos de construcción y demolición (RCD) a nivel mundial

La generación de residuos de construcción y demolición (RCD) en la Unión Europea (UE) presenta diferencias notorias entre los Estados Miembros. En la Tabla 1 se observa que los residuos totales alcanzaron los 2.503 millones de toneladas en el año 2014 y se especifican las toneladas totales por país. La información contenida en la Tabla 1 demuestra que los RCD son un porcentaje muy elevado del total de residuos generados de cada país. Por ejemplo, en Luxemburgo el 85%; en Malta el 75%; y en Holanda, Alemania, Dinamarca y Reino Unido, 68%, 53%, 53% y 48%, respectivamente.

En la Tabla 2 se expone la tasa de recuperación de estos residuos. En el 2014 la UE presenta una tasa media del 88% (28 países), mientras que el restante 12% se deriva a vertederos. Los países más desarrollados en la gestión de residuos alcanzaron una tasa de recuperación muy alta: en Malta fue del 100%, en Holanda del 99%, en Alemania del 94%, en Dinamarca del 92% y en Reino Unido del 95%. Sin embargo, Serbia tiene una tasa del 3%, pero de una producción total de RCD de 0,6%.

En el año 2014 se aprecia de modo general un incremento en los porcentajes, en comparación con el año 2012. Se intuye una tendencia cada vez mayor por gestionar los RCD en los países europeos.

De acuerdo con los datos recopilados por la EPA (2014) correspondientes al año 2003, en Estados Unidos se generaron 170 millones de toneladas de RCD con una tasa de recuperación del 48%, mientras que el restante 52% fue desechado a vertederos. Una década después (EPA, 2016) se alcanzaron los 534 millones de toneladas de RCD, triplicando los residuos en el 2014. Las fuentes no mencionan datos de la tasa de recuperación.

La situación en Asia varía mucho de un país a otro. A excepción de Corea y Japón, existe poco conocimiento y concienciación sobre las prácticas de construcción eficientes. En general, en estos países se genera un 40% de RCD, que prácticamente no se recicla.

En Colombia la producción de RCD se estima en 100 mil toneladas por día que equivale a tres veces la generación de residuos sólidos urbanos (Red Gestora de Residuos, 2016). Es interesante apuntar que

Tabla 1. Generación de residuos (datos del 2014)

Origen	Millones de toneladas	Kg por habitante	Porcentaje RCD generados
UE (28 países)	2502,9	4931	34,7
Bélgica	65,6	5838	40,2
Bulgaria (1)	179,7	24872	0,7
Republica checa	23,4	2223	40,2
Dinamarca	20,1	3558	52,6
Alemania	387,5	4785	53,3
Estonia	21,8	16587	3,1
Irlanda (1)	15,2	3285	12,4
Grecia	69,8	6404	0,7
España	110,5	2378	18,5
Francia	324,5	4913	70,2
Croacia (1)	3,7	879	16,6
Italia	159,1	2617	32,5
Chipre (2)	2,1	2406	31,0
Letonia	2,6	1315	17,3
Lituania	6,2	2114	7,0
Luxemburgo	7,1	12713	84,5
Hungría	16,7	1688	20,7
Malta (1)	1,7	3896	74,5
Países Bajos	133,2	7901	68,1
Austria	55,9	6541	72,1
Polonia	179,0	4710	9,5
Portugal	14,6	1402	10,3
Rumania (1)	175,6	8820	0,6
Eslovenia	4,7	2273	17,4
Eslovaquia (1)	8,9	1636	15,6
Finlandia	96,0	17572	17,0
Suecia	167,0	17226	5,3
Reino Unido	251,6	3885	48,0
Islandia (3)	4,5	1651	2,1
Liechtenstein	0,6	14919	0
Noruega (1)	11,7	2283	23,0
Montenegro	1,2	1872	9,2
República Yugoslava de Macedonia	2,2	1058	0,5
Serbia	49,1	6890	0,6
Turquía (4)	73,1	947	
Bosnia y Herzegovina (3)	0,5	1161	0
Kosovo (UNSCR 1244)	1,0	574	0,3

(1) Otras actividades económicas incluyen también industria. (2) Otras actividades económicas incluyen también minería, canteras, industria y energía. (3) 2012. (4) Otras actividades económicas incluyen también industria, construcción y demolición.

Fuente: EUROSTAT (2017).

Tabla 2. Tasa de recuperación (%) de los residuos de construcción y demolición (RCD)

Años	2010	2012	2014
UE (28 países)	78	86	88
Euro área (19 países)	:	:	:
Bélgica	74	99	32
Bulgaria	62	12	96
Republica checa	91	91	90
Dinamarca	84	87	92
Alemania	95	94	c
Estonia	96	96	98
Irlanda	97	100	100
Grecia	0	0	0
España	65	84	70
Francia	66	66	71
Croacia	2	51	69
Italia	97	97	97
Chipre	0	60	38
Letonia	91	96	92
Lituania	73	88	92
Luxemburgo	98	99	c
Hungría	61	75	86
Malta	16	100	100
Países Bajos	100	100	99
Austria	92	92	94
Polonia	93	92	96
Portugal	58	74	96
Rumania	47	67	65
Eslovenia	94	92	98
Eslovaquia	47	38	54
Finlandia	5	12	83
Suecia	78	81	55
Reino Unido	95	94	95
Islandia	75	100	86
Liechtenstein	:	:	:
Noruega	44	75	78
Suiza	:	:	:
Montenegro	:	:	:
La Antigua República Yugoslava de Macedonia	0	0	0
Albania	:	:	:
Serbia	5	0	3
Turquía	0	20	:

:=no disponible; c=confidencial

Fuente: EUROSTAT (2018).

investigadores como Chávez et al. (2014) y Mena y Valdés (2014) han estudiado el comportamiento de los materiales reciclados provenientes de los escombros. Han encontrado que los componentes de estos agregados tienen semejanza a los obtenidos de forma natural.

En el sur de Colombia, concretamente en la ciudad de Santiago de Cali, se producen cerca de 2480 m³ de residuos por día, cifra que en un año aumenta a un millón de metros cúbicos (Robayo et al., 2015). Pasando al centro del país, según la Red Gestora de Residuos (2016) en Medellín se generan 6.000 toneladas por día y en Bogotá 14 millones de metros cúbicos por año. Algunas ciudades intermedias como Ibagué también se destacan en la generación de estos residuos. De acuerdo con los datos suministrados por Ibagué Limpia (2017), la tasa promedio de generación de RCD es de 488 mil toneladas por año.

Sin embargo, en la Tabla 3 se observa que ciudades como Bogotá, Medellín y Cali han desarrollado normativas específicas que reflejan un significativo progreso en el tema de RCD. Es importante notar que todas estas ciudades, incluida Ibagué, utilizan como referente normativo el Comparendo Ambiental. Además, plantean modelos y procesos de gestión integral para reducir la generación de los RCD.

A nivel mundial se están desarrollando posibles soluciones a la problemática de la generación de RCD. La Comisión Europea (2016) propone aumentar la confianza, tanto en el proceso de gestión de los RCD, como en la calidad de los materiales reciclados. Para ello sugiere jerarquizar los residuos: preparar para reutilizar y reciclar; y recuperar material y energía.

En Holanda desde el año 1997 y en Flandes desde 1998 se utiliza como alternativa la aplicación de restricciones y prohibiciones sobre el vertido de los RCD. En el caso de Alemania, siguiendo el mandato contenido en la “Ley de Ciclos”, los residuos recuperables de RCD no deben ser vertidos, y Austria obliga por ley a separar (demolición selectiva) y reciclar estos residuos desde el año 1993. Finalmente, Suecia prohíbe el vertido de residuos combustibles desde el 2002 y de materia orgánica a partir del 2005, en el que se incluye el vertido de los RCD.

Tabla 3. Normativa representativa acerca de los RCD en diferentes ciudades de Colombia

Ciudad	Normativa	Temática
Bogotá	Resolución n° 1115 de 2012 (modificada por la Resolución 932 de 2015).	Utilización de elementos reciclados provenientes de los Centros de Tratamiento y/o Aprovechamiento de RCD.
	Plan de Desarrollo Municipal "Bogotá Humana" (2012-2015).	El programa Basura Cero – Escombros Cero.
	Decreto 586 de 2015	Modelo eficiente y sostenible de gestión de los escombros en la ciudad de Bogotá – RCD.
	Decreto 349 DE 2014	Comparendo Ambiental
Medellín	Decreto N° 0874 de 2010	Comparendo Ambiental.
	Decreto N° 0440 de 2009	Manual para el manejo integral de residuos sólidos.
	Ordenanza 10 de 2016	Programa "Basura cero" en el departamento de Antioquia.
Cali	Decreto 291 de 2105	Estatuto de escombros.
	Acuerdo 282 de 2009	Comparendo Ambiental.
Ibagué	Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de Ibagué (2015)	Promover la gestión integral de escombros.
	Acuerdo N° 19 del 2013	Comparendo Ambiental.

Fuente: elaboración propia.

Otra medida es la imposición de impuestos para los RCD desechados. En el caso de Hong Kong, desde el 2005 se cobra un impuesto por la disposición de RCD. Países como Dinamarca, Holanda, Suecia, Finlandia, Bélgica, Austria, Italia y Francia cobran impuestos por la disposición de los RCD (IHOBE, 2004). También se han aplicado impuestos para el uso de materiales naturales con el fin de desestimular su utilización, con lo cual las empresas tenderán a usarlos menos para abaratar sus costos. Dinamarca y Gran Bretaña han promulgado un plan de impuestos hacia los materiales naturales para reducir aún más la diferencia de costo entre reciclar materiales y usar materiales naturales.

La concesión de subsidios, tales como la reducción de las medidas fiscales o recompensa por las actividades de reciclaje, es otra alternativa aplicada por algunos países. En Holanda, si el contratista utiliza los materiales reciclables, el gobierno otorga un bono de seguro como un incentivo (Ramírez, 2014).

En el caso de Colombia, el Comparendo Ambiental es el instrumento de control que permite la imposición de sanciones a las personas cuando se causa un impacto negativo al medio ambiente,

según lo dispuesto en la Ley 1259 (Congreso de la República, 2008).

Metodología

Esta investigación se ha llevado a cabo mediante un estudio descriptivo para diagnosticar el estado actual de la gestión de los RCD en la ciudad de Ibagué. Se empleó el método de observación y el método inductivo. Partiendo de la situación concreta de Ibagué, y su análisis posterior con un marco teórico general, se pueden establecer pautas aplicables a situaciones similares.

Las técnicas y procedimientos empleados fueron: recopilación, selección, estudio y análisis.

Recopilación de información

Se obtuvo por dos medios: información primaria e información secundaria. La información primaria se recogió gracias al contacto directo con entidades gubernamentales (nacionales y regionales) y con entidades privadas de la industria de la construcción. Se llevó a cabo por medio de correos electrónicos, llamadas telefónicas y visitas presenciales. Se elaboró

un cuestionario con preguntas acordes a la revisión bibliográfica y al objetivo del estudio (Zamorano et al., 2011; Jiménez, 2013; Gangolells et al., 2014; Esa et al., 2017).

El cuestionario estaba constituido por 23 preguntas: ocho abiertas (tres de opinión) y 15 cerradas (Anexo A). Una vez finalizado y revisado se contactó con la escombrera legal existente y con las 56 empresas constructoras radicadas en Ibagué e inscritas actualmente en CAMACOL (gremio de la construcción en Colombia). A cada una de las empresas se les suministró una carta de presentación del proyecto de investigación y una invitación para participar en ella. También se les explicó el propósito del estudio, el contenido y la estructura del cuestionario propuesto, y las directrices a seguir para su diligenciamiento.

La información secundaria se obtuvo mediante la lectura de artículos en revistas indexadas, trabajos de investigación, tesis de grado y proyectos efectuados tanto a nivel local, nacional e internacional. Esta documentación fue recopilada mediante el uso de bases de datos y revistas científicas como Elsevier, Scielo y Dialnet.

Selección de la información

La información primaria se levantó por medio de las encuestas en un período de 8 meses, con el fin de obtener el mayor número de respuestas. También se realizó un registro fotográfico en aquellas empresas que lo permitieron. Posteriormente, se procedió a la selección y depuración de la información para su posterior análisis. Con respecto a la información secundaria, una vez recopilada se seleccionaron los temas principales y secundarios en tres niveles: regional, nacional e internacional.

Estudio y análisis de la información

Tras depurar la información, se procedió a realizar los análisis cualitativos y cuantitativos correspondientes. Se tuvieron en cuenta diferentes categorías: materiales de construcción más empleados, tipos de residuos y proceso de gestión actual de dichos residuos. La información obtenida mediante la revisión de documentos o fuentes bibliográficas se representó de forma escrita y mediante tablas. Los

datos obtenidos de las encuestas se representaron con tablas y figuras.

Teniendo en cuenta los resultados se realizó un análisis DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas) para obtener nuevos conocimientos sobre aspectos cruciales en esta temática.

La información obtenida se analizó confrontando los resultados con estudios efectuados previamente, tanto nacionales como internacionales.

Resultados

Generación y tipología de los RCD

De las 56 empresas constructoras contactadas, el 21% aportó información confidencial de los procesos que realizan en las obras de construcción que ejecutan o han ejecutado. El 79% restante, a pesar de enviar recordatorios 7 y 15 días después del primer contacto, no respondieron o se negaron a responder el cuestionario debido a políticas de privacidad de la empresa o a otros motivos que no les permitieron describir la cantidad y características de los residuos generados por su negocio. Por ello, los resultados que se presentan en este documento son únicamente de las empresas que suministraron información (21%).

El 100% de las empresas son constructoras y sólo el 8% realizan actividades de demolición y de rehabilitación, además de la construcción. Adicionalmente, los resultados indicaron que los residuos generados en la ciudad de Ibagué están constituidos en su mayoría por tierras, seguidos por hormigón y cerámica, y en menor proporción por metales, plásticos y yeso.

El 100% de las empresas encuestadas mencionaron que la tierra se genera durante las excavaciones realizadas en sus obras. El 64% ratificó que en sus proyectos de construcción se obtienen altos volúmenes de tierra de excavación, mientras que el 36% indicó que obtuvieron bajos volúmenes de tierra, comparados con el resto de RCD. Estos resultados coinciden con los suministrados por Ibagué Limpia (2017), que indican que la mayor cantidad de residuos generados en las obras constructivas corresponde a tierras de excavación (Figura 1).

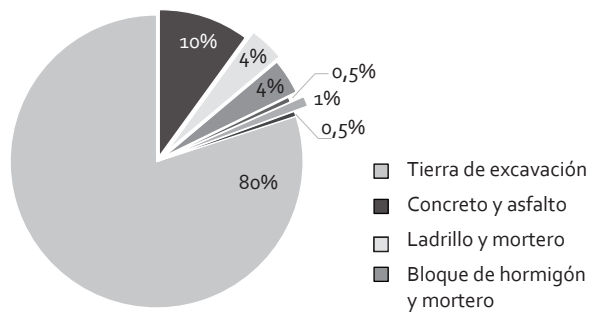


Figura 1. Composición de los RCD en Ibagué, Colombia. Fuente: Ibagué Limpia (2017)

Procesos de gestión actual

Como resultado de la encuesta se evidenció que el 45% de los constructores tienen conocimiento sobre la problemática que propicia el mal manejo, tratamiento y disposición de los RCD, mientras que el 55% argumentó no conocer esta problemática en la ciudad. A pesar de esto, las empresas constructoras de Ibagué están empezando a tomar conciencia de la importancia que tiene, para el medio ambiente y para la sostenibilidad de sus proyectos, la implementación de procesos de gestión para los RCD generados en sus obras. El 33% de las empresas que suministraron información tienen conocimiento de algún sistema de gestión para los RCD generados, el 17% no logra tener una concepción clara de estos sistemas y el 50% definitivamente no tienen conocimiento.

Una alternativa aceptable y aplicable para llevar a cabo la gestión integral de los residuos a nivel mundial es su clasificación en el sitio donde se generan.

El 50% de las constructoras en Ibagué aplican esta alternativa de clasificar los residuos en obra, el 17% indicó que lo hace en ocasiones y el 33% deja esta actividad a la empresa que realiza la disposición final de sus residuos. Por el contrario, los países anglosajones poseen una amplia experiencia en la clasificación y reutilización de materiales, la cual queda reflejada en sus procedimientos de trabajo y en su normativa (López et al., 2017).

En cuanto a los sistemas de gestión que se pueden implementar en Ibagué están: el reciclaje, la reutilización y la disposición final en escombreras, con el fin mitigar y darle un valor agregado a los residuos. De acuerdo a la encuesta realizada, el 67% de las constructoras están implementando la disposición final de los residuos generados en escombreras legales; es decir, con permiso de las entidades medioambientales para hacer la recepción de los RCD. El 33% está acogiéndose a la clasificación y selección de estos residuos en obra con el objetivo de aprovechar al máximo sus residuos en el mismo proyecto. No obstante, se tienen evidencias fotográficas de que algunos residuos no están llegando a su destino final en la escombrera, sino que son depositados en otros lugares dando lugar a la alteración del paisaje y al aumento de la problemática ambiental. Esto tal vez sea causado por constructoras que no están legalmente constituidas y que al realizar pequeñas reformas, originan y disponen dichos residuos en sitios indebidos, con el fin de evitar los costes de disposición final (Figura 2).



Figura 2. A, disposición de escombros en la avenida Pedro Tafur (Ibagué); B, disposición de escombros en el barrio Santa Rita (Ibagué, Colombia). Fuente: fotografías propias.

Sin embargo, algunas empresas ya clasifican los residuos de los metales y las tierras de excavación a pie de obra. Los metales, una vez separados, son vendidos a empresas que realizan la clasificación y compactación de este residuo en la misma ciudad de Ibagué. Con los residuos de tierras generadas se están llevando a cabo procesos de reutilización por parte de algunas de estas constructoras. El 58% de ellas no está aprovechando este residuo mientras que el 42% sí lo está reutilizando, principalmente para realizar rellenos al interior de la misma obra.

Es evidente que en la actualidad no se tiene mucho conocimiento sobre las ventajas de la reutilización de los residuos de tierras excavadas. El 58% de las empresas constructoras que suministraron información comentan que los residuos de excavación sobrantes son llevados al sitio de disposición final o vertedero. No obstante, cabe destacar que según López et al. (2017) un 89% del total de estas tierras sin tratamiento podría aprovecharse como relleno y se podría llegar al 100% si se pueden tratar previamente.

Por otro lado, según la información suministrada por las empresas consultadas, el porcentaje de humedad de las tierras de excavación generadas es alto. Se encontró que el 42% de las empresas generan tierras de excavación cuyo contenido de humedad está entre un 30% y 60%. El 33% genera tierras con una humedad entre 0% y 30%.

Tabla 4. Porcentaje de humedad de las tierras extraídas de los RCD en Ibagué, Colombia

Porcentaje de humedad de las tierras	Nº de empresas	Empresas (%)
No saben	1	8
0%-30%	4	33
30%-60%	5	42
60%-100%	2	17

Fuente: datos propios.

A partir de los valores de la Tabla 4 se puede analizar qué uso se le puede dar a los residuos de tierras excavadas. Si los residuos presentan un porcentaje de humedad elevado podrían ser utilizados como abono. 42% de las constructoras consideraron que una humedad admisible para su uso como abono es

la comprendida entre 30% y 60%, lo cual coincide con los estudios efectuados por Román et al. (2013) y Estrada-Prado et al. (2015), en los que concluyen que esta es la humedad óptima para ser reutilizadas para este fin. No obstante, según Román et al. (2013) y Julca-Otiniano et al. (2006), para que la tierra pueda ser apta para abono es necesario tener en cuenta, además de la humedad, otros parámetros como: el contenido de materia orgánica, la temperatura, el pH y el tamaño de partícula. Por esta razón es necesario efectuar previamente ensayos granulométricos (NTC 77, ICONTEC, 1994a), ensayos de humedad (NTC 1776, ICONTEC, 1994b) y ensayos para conocer el contenido de materia orgánica (NTC 127, ICONTEC, 2000).

Además de lo anterior, la Guía de gestión de los residuos de excavación publicada por el Gobierno de Cantabria (2011) en España, destaca que el suelo de excavación puede provenir o no de un terreno en el que se haya desarrollado una actividad potencialmente contaminante. Es por esto que sería conveniente según Garrido et al. (2015) conocer —además de la composición granulométrica y la forma de las partículas— el contenido de arena, arcilla, lima y demás elementos por medio de un análisis químico del suelo con el fin de comprobar su composición, ya que de esto dependerá su tratamiento. Si se demuestra la inocuidad de estos materiales, se puede autorizar su traslado a una obra de restauración, acondicionamiento o de relleno. Adicionalmente, para el uso del suelo como relleno para restauración o relleno de canteras, se recomienda realizar ensayos que permitan determinar su humedad (ensayo Próctor modificado-INV E-142) para definir si puede ser compactado, o en caso contrario, cuantificar el exceso o defecto de humedad correspondiente (López et al., 2017).

Por último, el 58% de las empresas constructoras que suministraron información indicaron que en ningún momento han implementado materiales reciclados en sus proyectos, tal vez por el poco conocimiento que se tiene sobre estas nuevas alternativas que ofrece el mercado para la industria de la construcción. Un 42% ha empleado el metal reciclado en sus proyectos, pero sin uso estructural, como es el caso de sardineles para andenes y para placas de piso.

Al pedir opinión a las empresas acerca de las medidas para reducir los residuos y mejorar su gestión en obra, éstas recomendaron: la planificación de los materiales en las obras, la reutilización y el reciclaje, y por último, la separación de residuos en la fuente. En cuanto a los instrumentos que pueden ayudar a que la gestión de los residuos sea más sustentable, las empresas mencionaron los siguientes: capacitaciones por parte de la constructora a sus empleados, realización de campañas de sensibilización sobre el reciclaje, localización estratégica de las infraestructuras de gestión, y mejora de las técnicas constructivas teniendo en cuenta los factores costo y tiempo.

Análisis DOFA

A partir de los datos de las encuestas se llevó a cabo un análisis de las Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas (DOFA) con el fin de obtener nuevos conocimientos relacionados con la gestión de los RCD en Ibagué. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 5.

Discusión

A partir de los resultados obtenidos en Ibagué, se deduce que la mayoría de los RCD generados corresponden a residuos de excavación. En otras ciudades de Colombia como Villavicencio, los principales componentes de los RCD son los pétreos conformados por: agregado fino, agregado grueso, concreto y mampostería, representando alrededor del 70% del total de estos residuos (Agudelo y Rodríguez et al., 2014). Así mismo, en países europeos, a diferencia de Ibagué, la mayor cantidad de residuos de construcción y demolición están conformados por hormigón, ladrillo y cemento. Esto puede deberse a que en Ibagué predominan las empresas que se dedican solo a actividades de construcción, las cuales sobresalen por los movimientos de tierra.

Los residuos de excavación generados en Ibagué durante las actividades constructivas no siempre reciben un tratamiento adecuado. De hecho, el 58% de las empresas encuestadas los depositan

Tabla 5. Análisis DOFA la gestión de los RCD en Ibagué, Colombia

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • Existe un aumento en la reutilización de la tierra de excavación en actividades propias al proyecto de construcción. • Las empresas constructoras están empezando a implementar materiales reciclados en sus proyectos. • En los proyectos de construcción se está incursionando en la clasificación y recolección de los residuos, con el objetivo de aprovechar este recurso. • Gran parte de las constructoras están implementando la disposición final de los residuos generados en la escombrera legal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo interés por parte de las empresas constructoras en temas de gestión medioambiental. • La mayor parte de las empresas no están aprovechando las tierras de excavación generadas, sino que son dispuestas en la escombrera. • La mayoría de empresas encuestadas no emplean material reciclado en sus construcciones. • Más de la mitad de las empresas encuestadas no conocen la problemática relacionada con la gestión inadecuada de los RCD. • Un alto porcentaje de las empresas no conoce o conoce muy poco sobre los sistemas de gestión de los RCD. • Inexistencia de una planta de reciclaje de RCD en la localidad que permita efectuar el reciclaje de los residuos pétreos.
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Más de la mitad de los constructores encuestados poseen conocimientos acerca de cómo se pueden llegar a reciclar los RCD. • Las empresas constructoras en Ibagué están generando residuos que son fácilmente reutilizables y/o reciclables. • Alto porcentaje de tierra de excavación generada, con potencialidad para ser reutilizada en la misma obra o en otra cercana. • Un porcentaje considerable de empresas están generando tierras que pueden llegar a ser aptas para restauración de suelos. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se lleva a cabo una gestión integral de los residuos de construcción y demolición, generando posibles efectos sobre el medio ambiente. • Las constructoras no están efectuando inventarios y bases de datos acerca de la cantidad de residuos generados en obra. • Desaprovechamiento de las tierras de excavación generadas en las obras constructivas. • Aumento en el consumo de recursos naturales debido al poco y/o nulo aprovechamiento de los residuos provenientes de las obras constructivas. • Alto consumo de combustible por el transporte de la materia prima a las obras.

Fuente: elaboración propia.

en vertederos como sitio de disposición final. Sin embargo, en otros países el tema de recuperación del material excavado en las obras está mucho más avanzado. En Inglaterra se ha propuesto una metodología que consiste en la clasificación y aprovechamiento de los materiales excavados durante la fase de licitación. Dicha metodología permite tener un conocimiento profundo de las tierras de excavación en un proyecto (López et al., 2017).

En España se ha promulgado la Ley 22/2011 del 28 de julio, que trata sobre la actividad de restauración de una mina o cantera utilizando tierras limpias de excavación. También se han publicado manuales de minimización y gestión de residuos en las obras de construcción y demolición. Además, el gobierno Vasco ha expedido la “Guía para el relleno de canteras con materiales naturales de excavación”. Actualmente en Ibagué los recursos normativos son escasos, en comparación con este país europeo.

México utiliza los residuos de excavación en la fabricación de bloques de tierra comprimida (BTC) que reducen el uso de ladrillo cerámico en obra. Gracias al estudio mecánico de los bloques tradicionales de tierra y otros estabilizados con hidróxido de calcio, según Roux et al. (2015), la resistencia es mayor cuando se emplea el hidróxido. Otra alternativa ha sido la construcción de ladrillos de adobe, en los que también se emplea tierra (Gama-Castro et al., 2012). En Argentina se construyen ladrillos de suelo cemento (Gatani, 2000).

De acuerdo a los resultados obtenidos, el 67% de las empresas que suministraron información disponen los RCD en general en escombreras legales, dada la inexistencia de plantas de tratamiento para estos residuos en Ibagué. En países europeos, a diferencia de Ibagué y de otras ciudades de Colombia como Villavicencio, Cartagena y Barranquilla, se fomenta el reciclaje de los residuos de construcción y demolición. En Dinamarca, Países Bajos o Bélgica se alcanzan porcentajes de estos reciclajes superiores al 75% (Zabalza et al., 2011), mientras que en España se recicla el 33% de la producción total de RCD (FERCD, 2015). El alto nivel de reciclaje en algunos países europeos se debe en primer lugar a los elevados precios y tasas para la utilización de depósitos controlados, así como a las tasas impuestas por el uso de agregados vírgenes; y en segundo lugar,

a los incentivos que fomentan la investigación para las diferentes salidas de los RCD, para las instalaciones de reciclaje y para la producción y uso de los agregados reciclados (Suárez, 2016).

En Colombia y específicamente en Ibagué existen barreras para una gestión integral de estos residuos. Por un lado, la falta de conocimiento de los problemas generados por la mala gestión de los agentes involucrados. Por otro, la poca conciencia medioambiental que impide una correcta clasificación de los residuos en la obra y limita el uso de materiales reciclados. En Ibagué, al igual que en otras ciudades de Colombia como Cali, Barranquilla y Villavicencio, existen las mismas barreras para gestionar los RCD que las encontradas por Tam (2008) en un estudio efectuado en China: bajos incentivos financieros, incrementos de gastos generales, bajos costos de disposición, falta de educación y cultura.

Conclusiones

De acuerdo a las encuestas realizadas, los residuos generados de las actividades constructivas en la ciudad de Ibagué se encuentran constituidos en su mayoría por tierras de excavación. Debido al alto volumen de tierras de excavación generadas (80% del total de RCD), es conveniente asegurar el aprovechamiento de este residuo, bien sea dentro del mismo proyecto, y/o para utilizarlo en proyectos alternos. Estas tierras al parecer poseen un porcentaje de humedad óptimo que brinda la posibilidad de ser usadas como abono en la restauración de suelos, después de pasar por un tratamiento. También podrían llegar a ser usadas para la elaboración de bloques de tierra comprimida o bloques de suelo cemento. En todo caso, lo mejor sería realizar ensayos físico-químicos que permitan determinar su uso como fuente de nutrientes y comprobar su estado y su composición, ya que de esto dependerá su tratamiento.

Tras el análisis DOFA efectuado, se constató que más del 50% de las empresas encuestadas no conocen la problemática asociada a los RCD ni los diferentes sistemas de gestión de estos residuos, por lo que no se está llevando a cabo una gestión integral de los RCD en Ibagué. El 67% de las constructoras están implementando la disposición final

de los residuos generados en la escombrera legal, incluyendo las tierras de excavación generadas. Sin embargo, actualmente en la ciudad de Ibagué, los constructores están empezando a tomar conciencia de la importancia de implementar procesos de gestión para los RCD en sus obras, obteniendo mejoras en el medio ambiente y en la puesta en marcha de proyectos sostenibles. De hecho, el 50% de las constructoras está aplicando la clasificación de los residuos en obra y el 42% está empezando a utilizar materiales reciclados, como es el caso de los metales para uso no estructural.

Partiendo de los resultados encontrados en Ibagué y realizando un análisis con la situación presentada en el resto de ciudades de Colombia y a nivel internacional, se pudo constatar una gran brecha entre los países latinoamericanos y los europeos respecto a la gestión de RCD. Internacionalmente se vienen desarrollando diversos modelos de gestión ambiental y tratamientos técnicos para estos residuos, así como la imposición de impuestos y concesión de subsidios. Sin embargo, en Colombia, concretamente en Ibagué, los avances en este sentido son aún incipientes. Aunque se han dado adelantos normativos, se aprecia en esta ciudad una falta de control para el cumplimiento de la norma, así como ausencia de incentivos e impuestos que estimulen la gestión de estos residuos.

El análisis de esta problemática puede ayudar a orientar futuras investigaciones sobre el tema de la gestión integral de residuos de construcción, tanto en Ibagué como en el resto del país.

Recomendaciones

§ Debido al poco conocimiento sobre la adecuada gestión de los residuos por parte de los funcionarios de las empresas constructoras, se recomienda realizar campañas de capacitación que permitan dar a conocer los diferentes sistemas de gestión existentes para los RCD. Además, concientizar a la población en general sobre la necesidad de efectuar la separación selectiva *in situ* para su posterior aprovechamiento. Así mismo, destacar las ventajas de una buena gestión de los RCD y no disponerlos en sitios ilegales.

§ Por el alto volumen de tierras de excavación generadas en las obras constructivas en Ibagué, sería conveniente realizar en próximos estudios ensayos físico-químicos (granulométricos, de humedad, de contenido de materia orgánica, medición de pH, ensayos químicos del suelo y ensayos de compactación, y consolidación) para comprobar el estado y la composición de las tierras, y así poderlas utilizar como abono o relleno en restauración de suelos o canteras.

§ Como en la actualidad la ciudad de Ibagué no cuenta con empresas que se dediquen a reciclar RCD, se recomienda en futuros estudios proponer el diseño de una planta de reciclaje que además de aprovecharlos adecuadamente y disminuir su volumen de generación, pueda ser una fuente generadora de empleo para la ciudad. Se propone llevar a cabo en estudios posteriores un análisis ambiental, financiero, legal y social más a fondo sobre la creación de plantas de procesamiento de RCD en ciudades intermedias.

§ Se recomienda desarrollar estudios de investigación que se enfoquen en el reciclaje de los RCD, con el fin de contar con un soporte técnico y científico que incentive y avale la reutilización, el reciclaje y el aprovechamiento de los RCD en Ibagué.

Agradecimientos. Agradecemos la Universidad Antonio Nariño por el apoyo financiero para la ejecución del proyecto de investigación (Proyecto No. 2017102) y toda la ayuda brindada por las empresas constructoras de Ibagué y organizaciones que colaboraron a través del suministro de información. También a la Universidad Politécnica de Cataluña por el apoyo en especie de la investigadora asociada al proyecto.

Contribuciones de autoría. Suárez-Silgado, S.: propuesta y dirección de la investigación. Contribuyó en el esquema, revisión bibliográfica, análisis de resultados, discusión, conclusiones, bibliografía y redacción del documento. Molina, J.D.A.: procesamiento de la información recolectada (tablas y figuras), con la redacción de los resultados e introducción. Mahecha, L.: recolección de la información en campo, realización de entrevistas, evidencias fotográficas y realización parcial de resultados. Calderón, L.: elaboración parcial de la introducción y el estado del arte. Revisión y corrección exhaustiva de la redacción de todo el documento.

Conflicto de intereses. El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que ponga en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

Bibliografía

- Aguadelo, M., Rodríguez, J., 2014. Estimación de generación y composición de residuos de construcción en la ciudad de Villavicencio. En: Memorias, V Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia.
- Arenas, F., 2007. El impacto ambiental en la construcción industrial. Criterios para una construcción sostenible. Tesis de doctorado. Departamento de Ingeniería de Construcción y Fabricación, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Madrid. 330 p.
- Camacho, H., 2014. Estudio sobre pavimentos reciclados como posible alternativa económica y ambiental en las futuras obras del país. Tesis de grado. Programa de Ingeniería Civil, Facultad de Estudios a Distancia (FAEDIS), Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá. 42 p.
- Castaño, J., Misle, R., Lasso, L., Gómez, A., Ocampo, M., 2013. Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes. *Tecnura* 17, 121-129. DOI: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2013.4.a09
- CEDEX, 2010. Residuos de construcción y demolición. Fichas Técnicas 4.1. Disponible en: <http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/0AF8BEF6-2BE2-4456-AE0C-7181B3A2975B/119974/RESIDUOSDECONSTRUCCIONYDEMOLICION1.pdf>; consultado: diciembre de 2017.
- Chávez, A., Mejía, A., Bernal, Ó., 2014. Análisis de información sobre el manejo y gestión de escombros a nivel nacional e internacional. *Rev. Gest. Integral Ing. Neogradina* 3, 11.
- Clark, C., Jambeck, J., Townsend, T., 2006. A review of construction and demolition debris regulations in the United States. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 36, 141-186. DOI: 10.1080/10643380500531197
- Comisión Europea, 2016. Protocolo de gestión de residuos de construcción y demolición de la UE. Disponible en: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/20509/attachments/1/translations/es/renditions/native>; consultado: marzo de 2018.
- Congreso de la República de Colombia, 2008. Ley 1259, por medio de la cual se instaura en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones. *Diario Oficial* 47.208. Bogotá.
- EPA, 2014. Estimating 2003 building-related construction and demolition materials amounts. EPA530-R-09-002. Washington, DC.
- EPA, 2016. Advancing sustainable materials management: 2014 fact sheet. Assessing trends in material generation, recycling, composting, combustion with energy recovery and landfilling in the United States. EPA530-R-17-01. Washington, DC.
- Esa, M., Halog, A., Rigamonti, L., 2017. Strategies for minimizing construction and demolition wastes in Malaysia. *Resour. Conserv. Recycl.* 120, 219-229. DOI: 10.1016/j.resconrec.2016.12.014
- Escandón, J., 2011. Diagnóstico técnico y económico del aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en edificaciones en la ciudad de Bogotá. Trabajo de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Estrada-Prado, W., Lescay-Batista, E., Álvarez-Fonseca, A., Maceo-Ramos, Y., 2015. Niveles de humedad en el suelo en la producción de bulbos de cebolla. *Agron. Mesom.* 26, 111-117. DOI: 10.15517/am.v26i1.16934
- EUROSTAT, 2017. Estadísticas sobre residuos. Disponible en: Comisión Europea, http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics/es; consultado: marzo de 2018.
- EUROSTAT, 2018. Recovery rate of construction and demolition mineral waste. Disponible en: Comisión Europea, http://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/cei_wm040_esmsip2.htm; consultado; marzo de 2018.
- Federación Española de Gestores de Residuos de Construcción y Demolición (FERCD), 2015. Informe de producción y gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) en España, periodo 2009-2013. Madrid.
- Gama-Castro, J., Cruz y Cruz, T., Pi-Puig, T., Alcalá-Martínez, R., Cabadas-Báez, H., Jasso-Castañeda, C., Díaz-Ortega, J., Sánchez-Pérez, S., López-Aguilar, F., Vilanova de Allende, R., 2012. Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. *Bol. Soc. Geol. Mex.* 64, 177-188. DOI: 10.18268/BSGM2012v64n2a3
- Gangolells, M., Casals M., Forcada N., Macarulla M., 2014. Analysis of the implementation of effective waste management practices in construction projects and sites. *Resour. Conserv. Recycl.* 93, 99-111. DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.10.006
- Garrido de la Torre, M., Hidalgo, C., Preciado, J., 2015. Ensayos básicos de mecánica de suelos. Prácticas de geotecnia. Colección Académica. Universitat Politècnica de València, Valencia, España.
- Gatani, M., 2000. Ladrillos de suelo-cemento: mampuesto tradicional en base a un material sostenible. *Inf. Constr.* 51, 35-47. DOI: 10.3989/ic.2000.v51.i466.713

- Gobierno de Cantabria, 2011. Guía de gestión de residuos de excavación. Disponible en: Consejería de Medioambiente, <http://www.aexca.es/wp-content/uploads/2017/02/GUIA-GESTION-DE-RESIDUOS-DE-EXCAVACION.pdf>; consultado: febrero de 2018.
- ICONTEC, 1994a. NTC 77, método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. Bogotá.
- ICONTEC, 1994b. NTC 1776, método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados. Bogotá.
- ICONTEC, 2000. NTC 127, método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto. Bogotá.
- IHOBE, 2004. Monografía sobre residuos de construcción y demolición. Sociedad Pública de Gestión Ambiental, Gobierno Vasco, Bilbao, España. pp. 12-15
- Jiménez, H., 2013. Evaluación de la situación actual del manejo de residuos de construcción y demolición (RCD) en el municipio de Madrid (Cundinamarca). Tesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. p. 41.
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., Bello-Amez, S., 2006. La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *Idesia* 24, 49-61. DOI: 10.4067/S0718-34292006000100009
- López, M., Sanz, E., García, G., 2017. Metodología para la clasificación y reutilización de materiales procedentes de excavación en el entorno anglosajón. *Ingeniería Civil* 185, 59-86.
- Mejía-Restrepo, E., Osorno-Bedoya, L., Osorio-Vega, N., 2015. Residuos de la construcción: una opción para la recuperación de suelos. *Rev. EIA* 12, 55-60. DOI: 10.24050/reia.v1i1.706
- Mena, C., Valdés, Y., 2014. Dosificación óptima de una mezcla de concreto con materiales reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD) de la ciudad de Cali para uso en obras viales de bajo tránsito. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia. 109 p.
- Pinzón, A., 2014. Formulación de lineamientos para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá. Tesis de grado. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.
- Ramírez, J., 2014. Instrumentos para el mejoramiento en la gestión de la política de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en Bogotá D.C. a partir de las percepciones de los constructores de obras públicas. Tesis de maestría. Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. pp. 38-39.
- Red Gestora de Residuos, 2016. Manejo actual de residuos de construcción y demolición requiere soluciones y educación. En: Seminario Internacional Estrategias y soluciones para la gestión de RCD para ciudades y municipios de Colombia. 5-6 de mayo de 2016. Sinesco, Conesco, Acodal, Medellín, Colombia.
- Reyes, D., Cornejo, Y., 2014. Estado del arte de la construcción con material reciclable. Tesis de grado. Programa de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Colombia, Bogotá. p. 99.
- Robayo, R., Matthey, P., Silva, Y., Burgos, D., Delvasto, S., 2015. Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali: un análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento. *Tecnura* 19, 157-170. DOI: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.2.a12
- Román, P., Martínez, M., Pantoja, A., 2013. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. FAO, Santiago.
- Roux, R., García, V., Espuna, J., 2015. Los materiales alternativos estabilizados y su impacto ambiental. *Nova Sci.* 7, 243-266.
- Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), 2012. Escombros, conceptos básicos. Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/web/escombros/conceptos-basicos>; consultado: septiembre de 2016.
- Serrano-Guzmán, M., Pérez-Ruiz, D., 2011. Use of recycled materials to build paver blocks for low-volume roads in developing countries. *Transp. Res. Rec.: J. Transp. Res. Board* 2205, 138-146. DOI: 10.3141/2205-18
- Suárez, S., 2016. Propuesta metodológica para evaluar el comportamiento medioambiental y económico de los residuos de construcción y demolición (RCD) en la producción de materiales pétreos. Tesis de doctorado. Programa de Doctorado en Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Tam, V., 2008. On the effectiveness in implementing a waste-management-plan method in construction. *Waste Manage.* 28, 1072-1080. DOI: 10.1016/j.wasman.2007.04.007
- Zabalza, I., Valero, A., Aranda, A., 2011. Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Build. Environ.* 46, 1133-1140. DOI: 10.1016/j.buildenv.2010.12.002
- Zamorano, M., Grindlay, A., Molero, E., Rodríguez, M., 2011. Diagnosis and proposals for waste management in industrial areas in the service sector: case study in the metropolitan area of Granada (Spain). *J. Clean. Prod.* 19, 1946-1955. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.07.004