

	MACROPROCESODE APOYO	CODIGO: AAAR113
	PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO	VERSION:1
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	PAGINA: 1 de 7

FECHA miércoles, 23 de noviembre de 2016

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad

SEDE/SECCIONAL/EXTENSIÓN	Sede Fusagasugá
---------------------------------	-----------------

DOCUMENTO	Trabajo De Grado
------------------	------------------

FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
-----------------	------------------------

NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
---	----------

PROGRAMA ACADÉMICO	Tecnología en Cartografía
---------------------------	---------------------------

Autores:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	NO. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Cantor Gutiérrez	Deyvit	1.069.750.028
Leal Jaramillo	Miguel Angel	1.121.854.763

	MACROPROCESODE APOYO	CODIGO: AAAr113
	PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO	VERSION:1
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	PAGINA: 2 de 7

Director del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Camargo Vargas	Sergio Alejandro

TÍTULO DEL DOCUMENTO
ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA UBICACIÓN DE CONTENEDORES SOTERRADOS EN EL MUNICIPIO DE FUSAGASUGÁ, UTILIZANDO TÉCNICAS DE ANÁLISIS ESPACIAL

SUBTITULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TITULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
TECNÓLOGO EN CARTOGRAFÍA

AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS (Opcional)
22/11/2016	68

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLES: (Usar como mínimo 6 descriptores)	
ESPAÑOL	INGLES
1. Análisis de red	Network analysis
2. Contenedor soterrado	Underground container
3. Análisis espacial	Spatial analysis
4. Análisis estadístico	Statistic analysis
5. Sistema de Información Geográfica	Geographic information system
6. Residuos sólidos urbanos	Solid urban waste
7. Cartografía temática	Thematic cartography

	MACROPROCESODE APOYO	CODIGO: AAAr113
	PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO	VERSION:1
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	PAGINA: 3 de 7

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLES: (Máximo 250 palabras – 1530 caracteres):

La aplicación y puesta en marcha de un sistema de información geográfica en cual se localicen las zonas o ubicaciones óptimas para la instalación de una isla de contenedores soterrados, específicamente en el municipio de Fusagasugá, donde los residuos urbanos actualmente no cuentan con una debida gestión para su posterior clasificación y aprovechamiento, así que este estudio propone el análisis tanto espacial como estadístico de los modelos resultantes de las posibles ubicaciones para contenedores soterrados, con su debida cartografía temática y adicionalmente el proyecto se visualizara a través de una aplicación web. Actualmente el problema del depósito de residuos sólidos (basuras) presenta diversos enfoques para abordarlo, conceptualizarlo y dar así una solución, se espera que las entidades encargadas, bajo las normativas que actualmente rigen en el territorio Colombiano en especial en el municipio de Fusagasugá, logren poner en marcha un programa de instalación de contenedores soterrados en el municipio, utilizando técnicas de modelamiento y geoprocetos espaciales.

The application and implementation of a geographic information system which locates zones or optimal ubications for the installation of underground container, specifically in the municipality of Fusagasugá, where urban waste currently do not have a proper management for further sorting and utilization, so this study proposes the spatial and statistical analysis of the models resulting from the possible locations for underground containers, with their appropriate thematic mapping and additionally the project will be visualized through a web application. Currently the problem of deposit municipal solid waste presents various approaches for addressing it, conceptualize and thus give a solution, it is expected that the entities under the regulations currently governing in the Colombian territory especially in the municipality of Fusagasuga, achieve implement a program of installation of underground containers in the city, for which modeling techniques and spatial geoprocessing are used.

	MACROPROCESODE APOYO	CODIGO: AAAr113
	PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO	VERSION:1
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	PAGINA: 4 de 7

--

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizamos a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre nuestra obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son:

Marque con una "x":

AUTORIZAMOS	SI	NO
1. La conservación de los ejemplares necesarios en la Biblioteca.	X	
2. La consulta física o electrónica según corresponda.	X	
3. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.		X
4. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
5. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.		X
6. La inclusión en el Repositorio Institucional.	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso nuestra obra sea explotada en las condiciones aquí

	MACROPROCESODE APOYO	CODIGO: AAAR113
	PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO	VERSION:1
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	PAGINA: 5 de 7

estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizamos en nuestra calidad de estudiantes y por ende autores exclusivos, que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de nuestra plena autoría, de nuestro esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de nuestra creación original particular y, por tanto, somos los únicos titulares de la misma. Además, aseguramos que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifestamos que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de nuestra competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaremos conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, *“Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”*, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la

	MACROPROCESODE APOYO	CODIGO: AAAr113
	PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO	VERSION:1
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	PAGINA: 6 de 7

investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. **SI** **NO** **X** .

En caso afirmativo expresamente indicaremos, en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titulares del derecho de autor, conferimos a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) Los Autores, garantizamos que el documento en cuestión, es producto de nuestra plena autoría, de nuestro esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de nuestra creación original particular y, por tanto, somos los únicos titulares de la misma. Además, aseguramos que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifestamos que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de nuestra competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

	MACROPROCESODE APOYO	CODIGO: AAAR113
	PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO	VERSION:1
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	PAGINA: 7 de 8

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en las "Condiciones de uso de estricto cumplimiento" de los recursos publicados en Repositorio Institucional, cuyo texto completo se puede consultar en biblioteca.unicundi.edu.co

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons : Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el siguiente archivo.

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. Título Trabajo de Grado o Documento.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA	Texto



MACROPROCESODE APOYO

CODIGO: AAAr113

PROCESO GESTION APOYO ACADEMICO

VERSION:1

DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA
DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

PAGINA: 8 de 8

LA UBICACIÓN DE CONTENEDORES SOTERRADOS EN EL MUNICIPIO DE FUSAGASUGÁ, UTILIZANDO TÉCNICAS DE ANÁLISIS ESPACIAL.pdf	
2.	
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, firmamos el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA
Deyvit Cantor Gutierrez	
Miguel Angel Leal Jaramillo	

**ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA UBICACIÓN DE CONTENEDORES SOTERRADOS EN EL
MUNICIPIO DE FUSAGASUGÁ, UTILIZANDO TÉCNICAS DE ANÁLISIS ESPACIAL**

**DEYVIT CANTOR GUTIÉRREZ
MIGUEL ÁNGEL LEAL JARAMILLO**

**TUTOR DE PROYECTO:
SERGIO ALEJANDRO CAMARGO VARGAS
INGENIERO CATASTRAL Y GEODESTA
MsC. GEOFÍSICA**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
TECNOLOGÍA EN CARTOGRAFÍA
FUSAGASUGÁ
2016**

CONTENIDO

LISTA DE ILUSTRACIONES.....	3
LISTA DE MAPAS.....	4
LISTA DE TABLAS.....	5
RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN	7
JUSTIFICACIÓN	8
OBJETIVOS	9
OBJETIVO GENERAL	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
descripción del ÁREA DE ESTUDIO.....	10
MARCO TEÓRICO.....	13
MARCO CONCEPTUAL	19
MARCO LEGAL	20
DISEÑO METODOLÓGICO.....	22
Captura de Información y recopilación de datos	22
Análisis espacial y estadístico.....	23
Ubicación de puntos estratégicos	31
Publicación del mapa de ubicaciones óptimas en la web (ArcGIS Online)	40
Información Técnica sobre los contenedores soterrados.....	52
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS.....	66

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Metodología utilizada en el estudio	22
Ilustración 2 Geoproceso para unir la información poblacional a las secciones censales.....	23
Ilustración 3 Geoproceso para obtener el área construida en cada sección censal.....	25
Ilustración 4 Demostración del geoproceso Split Polygons with lines	26
Ilustración 5 Geoproceso en el cual cada predio obtiene atributos de población y área construida	26
Ilustración 6 Gráfica de toneladas mensuales en Fusagasugá 2014	28
Ilustración 7 Caracterización de residuos del municipio de Fusagasugá 2014	29
Ilustración 8 Base de datos geográfica para la creación del Network Dataset	32
Ilustración 9 Vista previa del proceso de Network Analyst	35
Ilustración 10 Punto crítico 1	42
Ilustración 11 Punto crítico 2	42
Ilustración 12 Punto crítico 3	43
Ilustración 13 Punto crítico 4	43
Ilustración 14 Punto crítico 5	44
Ilustración 15 Punto crítico 6	44
Ilustración 16 Punto crítico 7	45
Ilustración 17 Punto crítico 8	45
Ilustración 18 Punto crítico 9	46
Ilustración 19 Punto crítico 10	46
Ilustración 20 Punto crítico 11	47
Ilustración 21 Punto crítico 12	47
Ilustración 22 Punto crítico 13	48
Ilustración 23 Punto crítico 14	48
Ilustración 24 Punto crítico 15	49
Ilustración 25 Punto crítico 16	49
Ilustración 26 Punto crítico 17	50
Ilustración 27 Punto crítico 18	50
Ilustración 28 Punto crítico 19	51
Ilustración 29 Punto crítico 20	51
Ilustración 30 Punto crítico 21	52
Ilustración 31 Punto crítico 22	52
Ilustración 32 Sistema soterrado estándar	53
Ilustración 33 Grúa ECO 806 R.2.....	53
Ilustración 34 Grúa ECO 806 R.2.....	54
Ilustración 35 Boceto de grúa para contenedores soterrados	54
Ilustración 36 Instalación de arqueta.....	55
Ilustración 37 Ubicación de arquetas	56
Ilustración 38 Relleno de grava entre foso y arqueta	56
Ilustración 39 Canal de desagüe	57
Ilustración 40 Colocación y remate del pavimento	57
Ilustración 41 Arqueta de hormigón.....	58
Ilustración 42 Tapa de la arqueta de hormigón	58
Ilustración 43 Apertura de la plataforma del contenedor soterrado	60
Ilustración 44 Enganche para levantar el contenedor	60
Ilustración 45 El contenedor es guiado hacia el camión.....	61
Ilustración 46 Vaciado del contenedor sobre el camión compactador.....	61

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 Ubicación del municipio de Fusagasugá en el departamento de Cundinamarca	10
Mapa 2 Ubicación del casco urbano del municipio de Fusagasugá	11
Mapa 3 Población por secciones censales 2016.....	24
Mapa 4 Predios casco urbano del municipio de Fusagasugá	25
Mapa 5 Población estimada por predio en el casco urbano del municipio de Fusagasugá	27
Mapa 6 Red vial del casco urbano del municipio de Fusagasugá.....	31
Mapa 7 Ubicaciones candidatas para la construcción de una isla de contenedores soterrados	33
Mapa 8 Ubicaciones seleccionadas para la construcción de una isla de contenedores soterrados y demanda cubierta a 200 metros	36
Mapa 9 Ubicaciones seleccionadas para la construcción de una isla de contenedores soterrados y demanda cubierta a 300 metros	37
Mapa 10 Ubicaciones seleccionadas para la ubicación de contenedores normales	38
Mapa 11 Contenedores que tienen una demanda que sobrepasa la capacidad, de la fracción de vidrio.....	39
Mapa 12 Contenedores que tienen una demanda que sobrepasa la capacidad, de la fracción de cartón y papel.....	40
Mapa 13 Ubicación de puntos críticos en el casco urbano según PGIRS 2014.....	41

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Proyecciones de población casco urbano DANE	24
Tabla 2 Registro de toneladas mensuales en Fusagasugá 2014.....	28
Tabla 3 Cálculos de generación de residuos en Fusagasugá por mes, año y día	29
Tabla 4 Cálculo de producción per cápita	29
Tabla 5 Cálculo cantidades de residuos generadas por mes según el material.....	30
Tabla 6 Cálculo cantidades de residuos generadas por persona según el material.....	30
Tabla 7 Densidades (kg/m ³) para cada tipo de residuos	30
Tabla 8 Cálculo de volumen para cada tipo de residuo.....	30
Tabla 9 Análisis de las distancias de las personas hacia los contenedores.....	36
Tabla 10 Costos básicos isla de contenedores soterrados	62

RESUMEN

La aplicación y puesta en marcha de un sistema de información geográfica en cual se ubique las zonas o ubicaciones óptimas para la instalación de una isla de contenedores soterrados, específicamente en el municipio de Fusagasugá, donde los residuos urbanos actualmente no cuentan con una debida gestión para su posterior clasificación y aprovechamiento, así que este estudio propone el análisis tanto espacial como estadístico de los modelos resultantes de las posibles ubicaciones para contenedores soterrados, con su debida cartografía temática y adicionalmente el proyecto se visualizara a través de una aplicación web. Actualmente el problema del depósito de residuos sólidos (basuras) presenta diversos enfoques para abordarlo, conceptualizarlo y dar así una solución, se espera que las entidades encargadas, bajo las normativas que actualmente rigen en el territorio Colombiano en especial en el municipio de Fusagasugá, logren poner en marcha un programa de instalación de contenedores soterrados en el municipio, utilizando técnicas de modelamiento y geoprocetos espaciales.

INTRODUCCIÓN

La eficiencia a la hora de realizar la gestión de los residuos urbanos de una ciudad es uno de los principales retos actuales con los que el gobierno local debe tratar. La generación de residuos va en aumento a la par de la normativa relacionada con el tratamiento de los mismos, lo que obliga a implementar adecuados sistemas de recolección y gestión de residuos sólidos urbanos. En los países industrializados la producción de residuos contaminantes ha rebosado los límites admisibles y tolerables por la población a tal punto de no contar con los lugares necesarios para disponer, enterrar y verter sus propios residuos. El poder económico con que cuentan estos les hace posible pensar en la imperiosa necesidad de expandir su contaminación a otras fronteras; sin importar a que otros países ayuden a incrementar el impacto generado por los residuos sólidos a todos los elementos del ambiente y contribuyendo al debilitamiento en la salud y bienestar y del resto que habitamos este planeta (OMS, 1997).

Los residuos sólidos en Colombia están compuestos principalmente de: parte orgánica (65%), el conjunto del plástico, vidrio, papel, cartón, metales, son un 24 %, el caucho, textiles, escombros, patógenos y peligrosos el 11% restante. De esta composición se infiere que nacionalmente el porcentaje reciclable es del 25%, cifra que difiere significativamente de las que se citan por la OPS en el Estudio sobre el Sector para América Latina (CONPES 2004).

Según estudios realizados por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico y Ambiental de Colombia desarrollados en el seminario sobre Aprovechamiento y manejo de los Residuos Sólidos (2004) la producción per cápita por habitante en Bogotá es de 0.95 Kg./hab./día y en promedio entre 0.6 Kg./hab./día -0.81 Kg./hab./día en ciudades intermedias y de 0.31 Kg./hab./día en poblaciones menores. (Ministerio de Ambiente 2004).

El poder determinar la posición más adecuada para situar diversos tipos de instalaciones es un importante problema geográfico, lo que conlleva a repercusiones económicas, sociales y ambientales. Dentro de la toma de decisiones espaciales sobre equipamientos puede requerirse un análisis muy variado, por lo que también lo serán las técnicas aplicables (MORENO 1995), de acuerdo con esta apreciación es necesario proponer un análisis integrando el uso de los Sistemas de Información Geográfica SIG y los Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial SADE.

JUSTIFICACIÓN

La creación de un sistema de información geográfica para la gestión de la información obtenida a partir del análisis espacial de aquellas zonas donde existe una inadecuada disposición de los residuos sólidos en el municipio de Fusagasugá, el cual no cuenta con rutas de recolección selectiva de materiales potencialmente reciclables de forma organizada, siendo recolectados estos materiales por personas, de oficio recicladores, y bodegas, para la venta de los materiales por peso; por lo tanto el 86% de los residuos son depositados en el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo y el 14% restante en el relleno sanitario Praderas del Magdalena, siendo reciclado un 3 a 5% respecto al potencial total del material reciclable que oscila entre un 30 y 47%. (CYDEP SAS 2015).

El proyecto pretende proveer un marco que se viabilice como herramienta para la gestión y el adecuado manejo de la información espacial de los residuos o desechos urbanos y en la futura toma de decisiones, específicamente que sea un soporte en la implementación y puesta en marcha de contenedores soterrados (es decir, contenedores que están ocultos bajo la superficie) al nivel municipal, claro está, por parte de las entidades gubernamentales. Es así como el proyecto va encaminado, en primera medida, a un análisis espacial en el casco urbano, donde se recogerá la información pertinente a través de herramientas cualitativas y cuantitativas determinando en el espacio las zonas afectadas por los residuos, posteriormente se aplicará una serie de geoprocesos en la información y la misma será visualizada en una aplicación web.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Estudiar la viabilidad de la ubicación y uso de contenedores soterrados en el municipio de Fusagasugá, a través de un análisis espacial

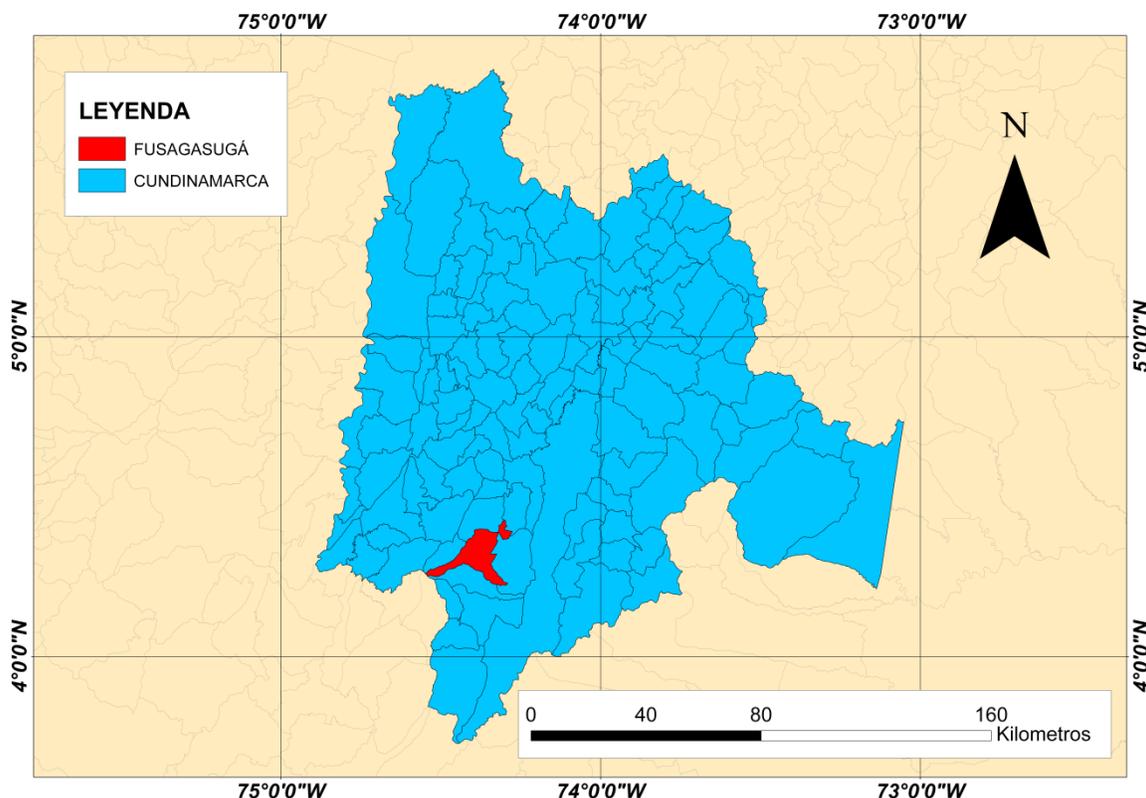
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y Analizar espacialmente los puntos críticos donde se evidencia mayor concentración de residuos y desechos sólidos sobre el casco urbano del municipio de Fusagasugá.
- Realizar la cartografía temática de los puntos estratégicos (ubicación adecuada de los contenedores soterrados) de acuerdo al análisis espacial previamente realizado.
- Usar una aplicación web (Arcgis online), para facilitar al usuario la ubicación de los posibles y diferentes contenedores soterrados.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Fusagasugá, que en lengua Chibcha significa “Mujer detrás de la montaña”, fue erigido como pueblo de blancos el 7 de mayo de 1776 y trazado por el comisionado Ignacio Pérez de la Cadena. Estuvo habitado previamente por los indígenas sutagaos, que se consideraban hijos del Sol y sobre los cuales aún no se tiene la certeza de su antigüedad y si pertenecieron al imperio de los Muisca o, por el contrario, su propio territorio era nación independiente (ASOCENTRO & BOGOTÁ, 2010).

El municipio de Fusagasugá, capital de la provincia de Sumapaz, se localiza al suroccidente del departamento de Cundinamarca. El territorio se encuentra entre los 550 y los 3.050 msnm, con una altura promedio de 1.728 m. La zona de piso térmico cálido (550 a 900 msnm) se caracteriza por producir frutales en predios pequeños, otros por su dedicación al turismo y la recreación contemplativa, algunos de ellos con problemas de aguas y disposición final de vertimientos y tendencia a la densificación predial (ASOCENTRO & BOGOTÁ, 2010).



Mapa 1 Ubicación del municipio de Fusagasugá en el departamento de Cundinamarca
Sistema de Coordenadas: Magna Colombia Bogotá
Fuente: Elaboración propia

Su temperatura promedio es de 19°C. Posee los siguientes climas:

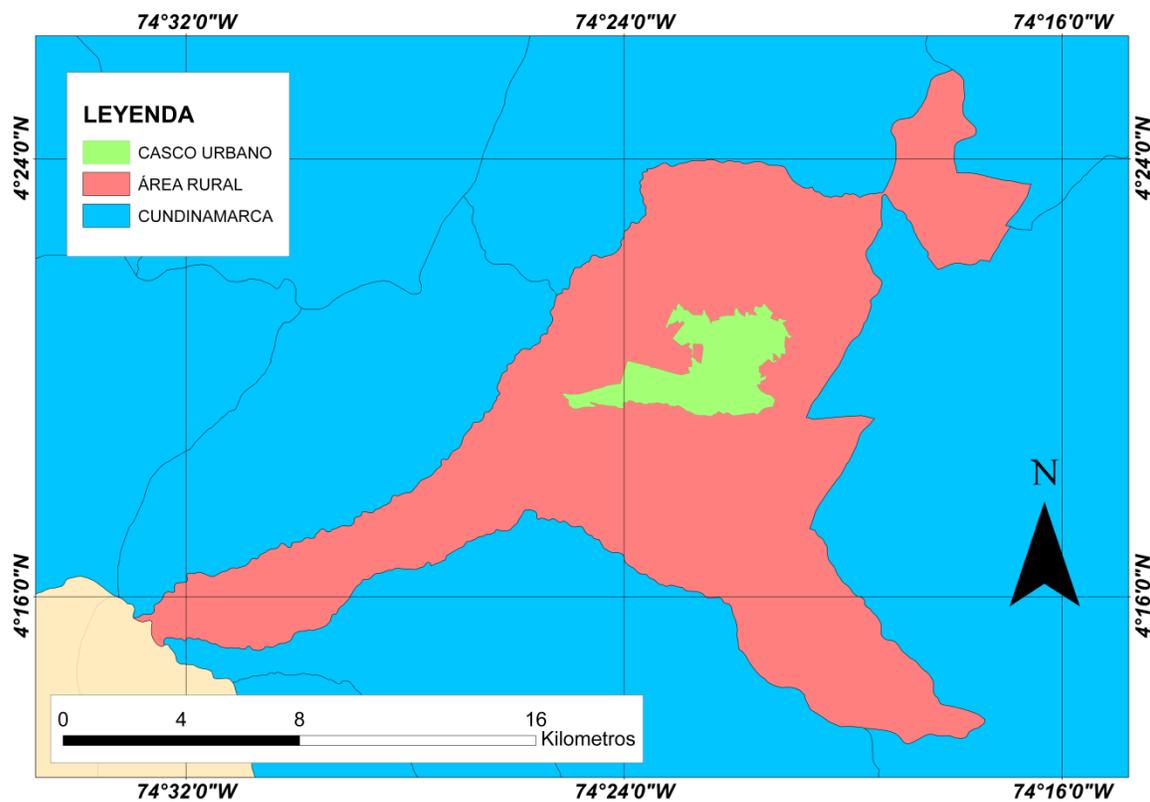
- Cálido: 9,21% con temperaturas entre 20°C y 28°C.
- Templado: 54% con temperaturas entre 13°C y 19°C.
- Frío: 32,2% con temperaturas entre 9°C y 12°C.
- Páramo: 4,19% con temperaturas entre 0°C y 8°C.

Fusagasugá está enmarcada topográficamente dentro de los cerros Fusacatán y Quinini, y desplegada en la parte superior de la altiplanicie de Chinauta. La humedad relativa del ambiente de la cabecera municipal y otras subzonas climáticas del municipio es de 85%, con máximos mensuales de 93% y mínimos de 74%.

Su actividad comercial se basa, principalmente, en la agricultura, en especial las plantas ornamentales, por lo que ha sido llamada “La Ciudad Jardín”. También se cultivan el café, frutas y hortalizas. La actividad agropecuaria es una franja importante centrada en la agricultura, la avicultura y la ganadería. Su central mayorista concentra el comercio de todos los productos agropecuarios de la región, convirtiéndose así en el eje económico del Sumapaz.

Uno de los ejes de desarrollo que ha alcanzado niveles importantes de aporte a la actividad económica es la industria turística, cuya infraestructura está conformada por buenos hoteles, balnearios ubicados principalmente hacia el sector de Chinauta, donde la temperatura promedio es superior a 25°C. Además, en el área urbana se encuentran parques, centros nocturnos, comerciales y deportivos.

Para el proyecto de investigación, el área del casco urbano del municipio de Fusagasugá es el área específica para el estudio.



Mapa 2 Ubicación del casco urbano del municipio de Fusagasugá
 Sistema de Coordenadas: Magna Colombia Bogotá
 Fuente: Elaboración propia

El perímetro urbano está comprendido en el polígono que define los límites máximos de la ciudad. En dicho polígono se demarca el área urbana que está consolidada y aquella con aptitud, define el desarrollo urbano municipal brindando condiciones óptimas sanitarias de seguridad, técnicas y



ambientales para el crecimiento futuro de la ciudad, presentando posibilidades en los servicios públicos (Fusagasuá, 2001).

MARCO TEÓRICO

Dado que el presente trabajo se centra principalmente en el uso de los sistemas de información geográfica, resulta de fundamental importancia plantear algunas aproximaciones teóricas a la definición de SIG. Éstos empujan hacia conceptualizaciones que se identifican más en un contexto que en otro.

Un SIG es un potente equipo instrumental para la recogida, el almacenamiento, recuperación, transformación y representación de datos espaciales relativos al mundo real. (PETER BURROUGH, 1986); Sistema digital para el análisis y manipulación de todo tipo de datos geográficos, a fin de aportar información útil para las decisiones territoriales (ROGER TOMLINSON, 1987); Sistema para capturar, almacenar, validar, integrar, manipular, analizar y representar datos referenciados sobre la Tierra (Department of Environment (DoE), Gran Bretaña 1987); Sistema informático capaz de realizar las tareas para manejar datos georreferenciados: entrada, almacenamiento, recuperación, manipulación, análisis y representación (STAN ARNOFF, 1989).

Los SIG son aplicados a una gran diversidad de áreas (Quiñonez Marquez, 1997):

- Estructuración de bases de datos espaciales.
- Inventario de recursos naturales
- Manejo de recursos naturales
- Planificación urbana, regional y nacional.
- Modelaje y simulación de procesos naturales, sociales, económicos, etc.
- Levantamiento de catastro urbano rural.
- Evaluación de la calidad ambiental.
- Evaluación de riesgos naturales.
- Evaluaciones socioeconómicas.
- Administración de recursos.
- Etc.

Existen dos tipos de SIG cuya diferencia fundamental es el modo de la representación digital de los datos geográficos. Como es sabido, una de las dificultades de los SIG estriba en que es necesaria una conversión de los datos geográficos analógicos (mapas) a una representación digital. Las dos formas de realizar esta conversión son: (Arévalo García & Martínez Hita, 2009)

Representación vectorial: se representa los objetos espaciales codificando, de modo explícito, sus fronteras o límites. Estas líneas que actúan de fronteras son representadas mediante las coordenadas de los vértices de los segmentos que la forman. Entonces, los objetos puntuales se representará, mediante su par de coordenadas (X, Y), las líneas mediante las coordenadas de los vértices de los segmentos que las forman, y los polígonos se codifican aproximando sus fronteras a segmentos de los que se guardarán las coordenadas de sus vértices. Este tipo de representación digital es la más intuitiva y cercana a los mapas tradicionales, por lo que su uso es extendido, aunque sea más complejo. (Arévalo García & Martínez Hita, 2009)

Representación tipo ráster: Mientras que en el modelo vectorial se codificaban las fronteras de los objetos, en este caso sólo se va a registrar el interior de los mismos, quedando los límites implícitamente representados. Para realizar este tipo de codificación, se superpone al mapa analógico una rejilla de unidades elementales, de igual forma y tamaño, y en cada unidad se registra el valor que el mapa analógico adopta. La resolución de la conversión dependerá directamente del tamaño de la unidad. (Arévalo García & Martínez Hita, 2009)

Componentes de un SIG:

En los SIG cabe destacar dos de sus componentes principales, el componente técnico, es decir, el hardware, los equipos, y el componente lógico, el software, el manejo de la información. En cuanto al hardware, es el grupo de componentes materiales que se utilizan en un sistema informático, formado por la unidad central de procesamiento y los periféricos, estos últimos con dependencia de la CPU y bien pueden ser según el tipo de función que realizan: de entrada, salida o almacenamiento de datos. El software es el soporte lógico que organiza, dirige y da consistencia a todo el sistema; para la tecnología SIG se pueden reconocer dos tipos de software o programas (Quiñonez Marquez, 1997):

- Programas no gráficos: involucran algoritmos, rutinas, que permiten realizar operaciones dentro y con el sistema. Se pueden mencionar los manejadores de bases de datos, sistemas de cálculo estadístico y matemático, los lenguajes de programación y otras utilidades.
- Programas gráficos: programas que propician la expresión analógica de la información no gráfica, siendo esta orientación la más extendida, desde el trazado de cartografía automatizada, graficación estadística, programas para el manejo de imágenes satelitales.

Funciones de los SIG

Básicamente los SIG poseen cuatro funciones básicas (Quiñonez Marquez, 1997):

- **Funciones de entrada de datos:** proceso consistente en convertir cartografía analógica a formato digital en base a un sistema de referencia, información complementada con datos alfanuméricos, depuración, organización en bases de datos geográficos, etc.

- **Funciones para la representación gráfica y cartográfica de la información:** proceso en el que se muestra al usuario los datos incorporados al SIG, resultados de operaciones analíticas con estos datos, tratamiento de textos, simbolización, teniendo como resultado mapas, gráficos o tablas.

- **Funciones de gestión de la información espacial:** proceso llevado a cabo por un subsistema del SIG, el sistema gestos de la base de datos que controla la organización físico-lógica de los datos, su almacenamiento, recuperación y actualización, así se aprovecha la información espacial y temática, realizando consultas y obtener los datos deseados.

- **Funciones Analíticas:** estas son las funciones más representativas y utilizadas de los SIG, porque en estas se trata conjuntamente los datos cartográficos y sus atributos temáticos, gracias a ella se pueden estudiar simulaciones sobre un mismo caso para obtener un mejor análisis.

Cabe destacar que dentro de las **funciones analíticas** se distinguen cuatro tipos de funciones (STAN ARNOFF, 1989):

- **Funciones de recuperación:** permiten la consulta de datos espaciales, pero sólo sus atributos pueden ser modificados o creados, así que no representan cambios en la localización o creación de entidades. Pueden realizarse operaciones de consulta, búsqueda, mediciones de distancias entre puntos, longitud de líneas, perímetros y áreas, estadística espacial descriptiva.

- **La superposición topológica:** con dos aspectos, el primero, la superposición geométrica que implica la generación de nuevas entidades producto de la intersección de entidades originales; el segundo, la superposición de los atributos que tiene dos variantes, la nominal o lógica y la aritmética. La nominal genera nuevas categorías en la capa resultante, la aritmética combina variables numéricas a través de operadores matemáticos generando una nueva capa.

- **Funciones de vecindad:** evalúan las características del área que envuelve una localización específica, a partir de tres parámetros: localizaciones de referencia, ámbito de vecindad de estas localizaciones y función concreta a realizar entre las dos anteriores.

- **Funciones de conectividad:** son aquellas que tienen en común el uso de operaciones que van acumulando valores a lo largo del área que atraviesan. Se basan en la medida de uno o más atributos, además de un contador que registra los valores acumulados. El resultado final acumulado puede ser cuantitativo, como por ejemplo, el tiempo consumido en el desplazamiento entre dos puntos, o cualitativo, como por ejemplo, estar o no estar a cien metros de una estación nuclear. **Los procedimientos de conectividad más notorios son: medidas de contigüidad, de proximidad, análisis de redes, cálculo de volúmenes e intervisibilidad, etc.**

El objetivo central de esta investigación es ubicar los lugares óptimos para la instalación de contenedores soterrados, por lo que el análisis de redes presenta la utilidad que se adapta a esta necesidad. En un SIG podemos realizar análisis como cálculo de caminos mínimos, conectividad en redes eléctricas o accesibilidad en redes de transporte. La capacidad de tratar de forma conjunta las propiedades de los objetos junto con su localización espacial es de uso general, y en realidad resulta más difícil discernir en qué campos no serían de utilidad que sus campos de aplicación. De hecho, están siendo aplicados en actividades muy diferentes. **Estudios como el impacto ambiental, la planificación urbanística, los estudios de viabilidad, la utilización de recursos naturales, hacen uso extensivo de los Sistemas de Información Geográfica.**

Cualquier sistema de elementos interconectados mediante líneas, como las carreteras, las vías de tren, los ríos o las redes eléctricas, puede ser concebido como una red. El movimiento de personas, el transporte de bienes y servicios, las comunicaciones y los flujos de energía, todos ellos se realizan a partir de redes. (Marquez Perez, 2004)

Una red es un procedimiento para modelizar fenómenos naturales y antrópicos, que se suele aplicar en campos tan diversos como la Informática, Biología, Logística, Geografía, etc. Aquí se aplica el análisis de redes, dado que la multitud de problemas geográficos pueden ser modelados mediante redes: fenómenos hidrológicos, sistema relacional de ciudades, estudio de los movimientos pendulares, urbanismo, etc. Una red se configura como un sistema de nodos entre los que se establecen relaciones a través de arcos (Marquez Perez, 2004). Por esa red puede viajar energía o materia. Definiciones más concretas del concepto son las siguientes:

- “Una red es un sistema interconectado de elementos lineales, que forma una estructura espacial por la que pueden pasar flujos de algún tipo: personas, mercancías, energía o información” (Bosque Sendra, 1997).
- “Una red está formada por una serie de arcos interconectados, a través de los cuales es posible el movimiento de recursos, de acuerdo con ciertas restricciones” (Gutiérrez y Gould, 1998).

Componentes de un problema de localización

En general, podemos considerar que la localización de las actividades humanas sobre el territorio está ligada, entre otros, a dos conceptos geográficos fundamentales: 1) Los movimientos y flujos de personas y mercancías, y 2) la distancia (accesibilidad) entre lugares. De este modo, en la teoría de la localización podremos distinguir varios componentes que son básicos y que, de una forma o de otra, siempre aparecen y deben ser considerados por cualquier procedimiento de análisis (Fuenzalida Días, y otros, 2011).

- La actividad humana que se desea situar en algún lugar del espacio. En muchas ocasiones, esta actividad se lleva a cabo en algún tipo de instalación material específica,

por lo tanto al final, en estos casos, lo que se localizan son instalaciones. Cada una de estas instalaciones ocasionara como resultado la aparición de flujos de otros elementos. En otras ocasiones se trata de saber donde se podrán desarrollar actividades humanas más difusas, y menos relacionadas con instalaciones materiales, por ejemplo donde llevar a cabo cultivos de cierto tipo. Vamos a denominar a cualquiera de estos elementos las instalaciones/actividades a situar.

- Los elementos existentes en el medio que inciden en la posición mas adecuada para colocar una instalación. Pueden ser muy variables y diferentes según el problema de localización que estudiemos: las personas que demandan un servicio (los niños que van a los colegios, por ejemplo), los productos obtenidos de la explotación del medio físico que se utilizan en la producción industrial (el carbón extraído en distintos lugares y que se emplea en la siderurgia), etc. Estos elementos estimularan la aparición de flujos espaciales de ellos mismos o de otros elementos. Los denominamos como los factores de la localización.
- Los sistemas e infraestructuras a través de los cuales se mueven sobre el territorio los elementos anteriores. Es decir, la red de comunicaciones o transportes. En resumen, la teoría general de la localización tendrá diferentes variantes dependiendo de cómo se consideren estos tres elementos. Podremos, por tanto, plantear varios problemas de localización.

Tipos de problemas de localización

Varían en función de que elementos tienen predefinida su posición sobre el territorio y cual es necesario localizar. Elementos posibles (Fuenzalida Días, y otros, 2011):

- Hechos que producen/atraen movimientos.
- Redes por donde se producen los movimientos.

Problema A: Están fijos en el espacio los elementos que producen/atraen movimientos (instalaciones/actividades y factores de localización). Se debe entonces localizar, de la mejor manera posible, la red por donde se producen los movimientos.

Es el problema del trazado óptimo de redes de comunicación: carreteras, vías férreas, etc. Esta cuestión, a su vez, tiene dos variantes dependiendo de si lo que se trata es de establecer una nueva red o tramo de una red o si, por el contrario, se trata de escoger dentro de una red ya existente la trayectoria más adecuada para un desplazamiento concreto (Fuenzalida Días, y otros, 2011).

Problema B: Esta prefijado el sistema para encauzar los movimientos, la red de comunicaciones. Se deben situar, de la mejor manera posible, los elementos que generan los movimientos. Es el problema mas clásico de localización de algún tipo de instalación/actividad.

Refiriéndose únicamente a los problemas del tipo B antes mencionados, se puede formular otra distinción entre variantes de esta opción básica, en función del tipo de distribución espacial de los factores de localización de un hecho (una instalación/actividad): puede ser continua u homogénea en el espacio o discreta y heterogénea en el espacio (Fuenzalida Días, y otros, 2011).

Los programas dedicados especialmente al análisis de redes, como el módulo Network de ArcView 3.2, están diseñados para la solución de una gran variedad de problemas relacionados con las redes. Este software puede ayudar, siempre a través de redes, a encontrar el “camino óptimo” entre dos puntos, a seleccionar cual es el elemento de determinado tipo más cercano a un punto

dado, o bien a determinar cuáles son los elementos que se encuentran a una distancia o tiempo específicos de un punto concreto. Todas estas operaciones, relativamente sencillas, pueden volverse más complejas en función de las características de la red y del problema a resolver. (Marquez Perez, 2004)

El análisis de datos con SIG tiene por finalidad descubrir estructuras espaciales, asociaciones y relaciones entre los datos, así como modelar fenómenos geográficos. Los resultados reflejan la naturaleza y calidad de los datos así como la pertinencia de los métodos y funciones aplicadas. Las tareas y transformaciones que se llevan a cabo en el análisis espacial precisan datos estructurados, programas con las funciones apropiadas y conocimientos sobre la naturaleza del problema, para definir los métodos de análisis. El proceso convierte los datos en información útil para conocer un problema determinado. Es evidente que los resultados del análisis espacial añaden valor económico y, sobre todo, información y conocimiento a los datos geográficos (GÓMEZ DELGADO 2006).

La aplicación modelos de análisis geográficos orientados a la planificación de servicios se presenta, como un campo de investigación la cual genera estudios que integran el uso de los Sistemas de Información Geográfica SIG y los Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial, SADE. Los modelos de mayor aplicación han quedado establecidos desde un punto de vista conceptual y práctico desde hace aproximadamente cuatro décadas pero han comenzado lentamente a difundirse en el ambiente digital a través de software destinado al apoyo en la toma de decisiones (DENSHAM 1991).

El producto final de un ejercicio de análisis espacial apoyado con la implementación de un sistema de Información Geográfica es la materialización de este elaborando la cartografía temática pertinente, la cual define la Asociación Internacional de Cartografía (ICA) como “un mapa temático es aquel que está diseñado para mostrar características o conceptos particulares”. Lo que supone un concepto amplio que abarca no solo elementos visibles de la superficie terrestre, sino cualquier clase de fenómeno que posee una variabilidad espacial. Es evidente que en Colombia, se aplican y utilizan de manera infructuosa las tecnologías de la información y comunicación (TICS) y tecnologías emergentes de las ciencias ambientales para lograr eficacia en el transporte, manipulación, clasificación y ubicación en vertederos de los residuos urbanos.

El desarrollo de infraestructuras subterráneas para recolección de residuos urbanos permitiría una mayor eficiencia y disponibilidad en su uso, lo que resulta en una máxima utilización del espacio urbano sumado a un tiempo de uso mayor y menores costos de mantenimiento. La utilización del espacio subterráneo permite una facilidad para ser construido en un lugar de alto impacto de acumulación de residuos lo que con una instalación de superficie no es posible, ya sea debido a la falta de espacio en la superficie o porque la construcción de una instalación de superficie en ese lugar no es aceptable desde la comunidad. (MAIRE et al., 2006).

En Colombia el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial estableció en 1998 la Política para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, la cual está orientada a promover procesos de minimización, aprovechamiento, valorización, tratamiento y disposición final controlada de los residuos sólidos. De igual manera se articuló el Manejo Integral de los Residuo Sólidos con la prestación del servicio público de aseo, a través del decreto 1713 de 2002, que obliga a los municipios a elaborar, implementar y a mantener actualizado el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS. (SEPÚLVEDA, 2006)

La caracterización de los residuos generados en el municipio de Fusagasugá, según el estudio realizado para analizar la viabilidad de la implementación en el municipio de una estación de transferencia en el año 2014, muestra una participación de residuos orgánicos de 42.5%, y un 47.5% lo conforman residuos con potencial reciclable. Se realizó un análisis a los residuos recolectados por una ruta de recolección ordinaria proveniente del área urbana cuyos resultados muestran que el 49,13% de los residuos corresponde a materia orgánica y el 30,3% son materiales potencialmente reciclables.(CYDEP SAS, 2015)



Con la falta de organización de un sistema de manejo de residuos se pueden generar una serie de riesgos indirectos como la proliferación de animales, portadores de microorganismos que transmiten enfermedades a toda la población; conocidos como vectores dentro de los cuales tenemos moscas, mosquitos, ratas y cucarachas, que además de alimento, encuentran en los residuos sólidos un refugio y ambiente favorable para su reproducción, lo que se convierte en un caldo de cultivo para la transmisión de enfermedades, desde simples diarreas hasta cuadros severos de tifoidea u otras dolencias de mayor gravedad. (JARAMILLO 2003)

MARCO CONCEPTUAL

Para poder entender correctamente los conceptos manejados a lo largo de este documento, se opta por explicar de manera breve conceptos relacionados. Para empezar podemos mencionar sobre residuos sólidos que, son todos aquellos materiales que no tienen ningún valor económico para el usuario pero si un valor comercial para su posterior recuperación; concepto diferente al de desechos sólidos, que es todo material o conjunto de materiales que resultan de cualquier proceso que esté destinado al desuso, es decir que no vaya a ser utilizado, recuperado o reciclado.

En repetidas ocasiones se menciona el contenedor soterrado, adjetivo poco escuchado, los contenedores soterrados están destinados a la recogida de residuos y desechos sólidos urbanos el cual queda bajo tierra, oculto bajo una tapa, a veces poseen un sistema o plataforma elevadora que es accionada hidráulicamente para realizar la recogida del contenido, además de que están diseñados, protegidos y revestidos para garantizar la durabilidad del mismo, el buzón donde se vierten los residuos está compuesto por acero inoxidable en las zonas en contacto y claro, la apertura y cierra de las tapas permite evitar en la medida de lo posible accidentes

Al mencionar los tres tipos de clasificación de residuos se deben conceptualizar, así que como primer concepto se menciona separación en la fuente, que es la recuperación de los materiales reciclables en su punto de origen como por ejemplo, el hogar, comercio, etc. Estos materiales recuperables son llevados a los centros de reunión y reciclaje correspondiente en donde los procesan; en segundo lugar, la separación manual después de la recogida no es recomendado al presentar problemas de seguridad porque los materiales ya se han mezclados con otros desechos posiblemente contaminados; el tercer tipo de clasificación es la separación mecánica la cual es la recuperación de materiales por medios mecánicos o electromagnéticos después ser recogidos.

Siendo concepto fundamental y base en el proyecto, el análisis espacial el cual se centra en el estudio, de manera dividida, de los componentes del espacio, definiendo los elementos que lo constituyen y la manera como éstos se comportan bajo ciertas condiciones. El proyecto destaca la ubicación de un objeto en el espacio tridimensional con respecto a la tierra utilizando un sistema de coordenadas y un Datum determinado lo cual se define como Georreferenciación. La definición de sistema de información geográfica es amplia y abarca diferentes contextos, en este proyecto optamos por el punto de vista que la puntualiza como una integración organizada de hardware, software y datos geográficos la cual es diseñada para capturar, almacenar, gestionar, analizar y desplegar de diferentes formas la información referida al espacio geográfico con el fin de resolver problemas complejos. Integrando las tecnologías de la información y comunicación, el concepto de aplicación web como una utilidad informática diseñada para que los usuarios puedan utilizar accediendo a un servidor web a través de internet.

Uno de los fines subyacentes de este proyecto es la educación ambiental, que debe ser entendida, como un proceso dinámico y participativo, orientado a la formación de personas que generen crítica y reflexión, con capacidades para comprender los problemas ambientales en sus contextos (local, regional y nacional). Participando activamente en la construcción de apuestas integrales y que se encaminen a la transformación de la realidad, en función de construir sociedades ambientalmente sustentables y sostenibles.

MARCO LEGAL

NORMATIVIDAD	DESCRIPCIÓN
Decreto 2811 de 1974/Título III	Proponer utilizar los mejores métodos que la ciencia y la tecnología ponga al servicio del hombre, para el manejo de los residuos, basuras, desechos y desperdicios, se incentiva la investigación científica para desarrollar nuevos métodos para el tratamiento, recolección, aprovechamiento y disposición final de los residuos, mitigando los impactos nocivos de estas actividades sobre el hombre y el medio en el que vive.
Ley 9 de 1979/ Título I	Se establecen las bases legales para mantener unas condiciones sanitarias del ambiente que permitan asegurar el bienestar y la salud humana
Ley 142 de 1994	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Esta Ley se aplica a los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, distribución de gas combustible, telefonía fija pública básica conmutada y la telefonía local móvil en el sector rural; a las actividades que realicen las personas prestadoras de servicios públicos.
Decreto 605 de 1996	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994 en relación con la prestación del servicio público domiciliario de aseo.
Acuerdo Nº 29 de 2001 POT Fusagasugá	<p>Acerca de residuos sólidos: Buscar concientizar a la comunidad de la necesidad de un manejo adecuado de los residuos sólidos en cuanto a la disposición se refiere (horario, zonas verdes, vías públicas, etc.); optimizar la infraestructura de servicio de aseo para que el mismo tenga la calidad y cantidad deseada, propuesta y ordenada por el decreto 605/96; evaluar y determinar la alternativa más viable para el manejo de los residuos sólidos en su disposición final, buscando con ello el beneficio tanto social como ambiental</p> <p>Política de residuos sólidos: el manejo de aseo correspondiente a Barrido, recolección y disposición final, requiere de manejo y reglamentación especial el cual permitirá que este componente ofrezca un eficiente servicio no solo por la Entidad encargada, si no que se haga participe en forma activa a la comunidad en general ya que es la productora de los residuos por diferentes motivos y a su vez es la que recibirá los beneficios por el servicio prestado siempre y cuando haya apoyo mutuo</p>
Ley 1549 del 2012	Por medio de la cual se fortalece la institucionalización de la política nacional de educación ambiental y su incorporación efectiva en el desarrollo territorial
Resolución 754 de 2014 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los planes de gestión integral de residuos sólidos
Decreto 1077 del 26 de Mayo de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio
	Es el instrumento de planeación municipal o regional que contiene un conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos, actividades y recursos definidos por uno o más entes territoriales



<p>PGIRS del municipio de Fusagasugá, contrato de consultoría N° 291 de 2015</p>	<p>para el manejo de los residuos sólidos, fundamentado en la política de gestión integral de los mismos, el cual se ejecutará durante un período determinado, basándose en un diagnóstico inicial, en su proyección hacia el futuro y en un plan financiero viable que permita garantizar el mejoramiento continuo del manejo de residuos sólidos y la prestación del servicio de aseo a nivel municipal o regional, evaluado a través de la medición permanente de resultados.</p>
---	--

DISEÑO METODOLÓGICO

Para conseguir los objetivos mencionados con anterioridad es necesario establecer una serie de pasos que se desarrollaron a lo largo del trabajo y que se pueden resumir en el siguiente gráfico:



Ilustración 1 Metodología utilizada en el estudio
Fuente: Elaboración propia

Captura de Información y recopilación de datos

Como primer paso tenemos la captura de información, donde se ha realizado una búsqueda y valoración de estudios relacionados con el tema, para de esta manera, seleccionar la información proveniente de distintos organismos y fuentes, tanto cartografía como datos alfanuméricos para proceder al estudio.

Para la realización de este trabajo, se realizó la estimación de la población por predio, esto con el fin de conocer la cantidad de residuos generados por vivienda. Aclarado lo anterior, se obtuvo la cartografía oficial del municipio suministrada por la Secretaría de Planeación, la cual contiene la información de todo el municipio como hidrografía, curvas de nivel, puntos de interés, vías, siendo relevante para este estudio la información vectorial relacionada con predios, vías y andenes. Además de la información oficial del municipio, se obtuvo información del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, esta entidad tiene información publicada en el sitio web llamado GEOPORTAL.

“Es un proyecto desarrollado, para la difusión de información estadística e información georreferenciada producida por las investigaciones estadísticas del DANE.

El Geoportal integra aplicaciones como consulta del Marco Geoestadístico Nacional -MGN, Consulta de la Codificación de la Divipola, Consulta de estadísticas georreferenciadas, Cartografía colaborativa, apoyo operativo, cartografía colaborativa, Banco de Mapas, Sedes DANE, Atlas Estadístico y servicios Geográficos Web, entre otros. El Geoportal se constituye en el punto de acceso vía Internet a información geográfica disponible del DANE.” (DANE, 2016)

En el aplicativo web Marco Geoestadístico Nacional MGN están listados los departamentos del país, donde se descarga la cartografía del departamento de Cundinamarca con vigencia 2005. En este archivo se encuentra información clasificada por el estándar nacional DIVIPOLA, donde la identificación para el municipio de Fusagasugá es el número 252901. Los datos mostrados incluyen vías, límite departamental y municipal, cabeceras municipales, centros poblados, puntos de interés, hidrología básica, sectores urbanos y rurales, etc.

Análisis espacial y estadístico

Para este proyecto es significativa la información vectorial de las manzanas o secciones censales del MGN del municipio de Fusagasugá, dado que estas secciones dividen el área urbana en partes, sobre cada parte o área es donde se realizó el Censo Nacional del 2005, además éstos polígonos contienen una codificación del DIVIPOLA que permite realizar un join o unión con una tabla con información poblacional del 2005; la tabla de información poblacional se descargó del portal Sistema de Consulta Información Censal del mismo DANE.



Ilustración 2 Geoproceso para unir la información poblacional a las secciones censales
Fuente: Elaboración propia

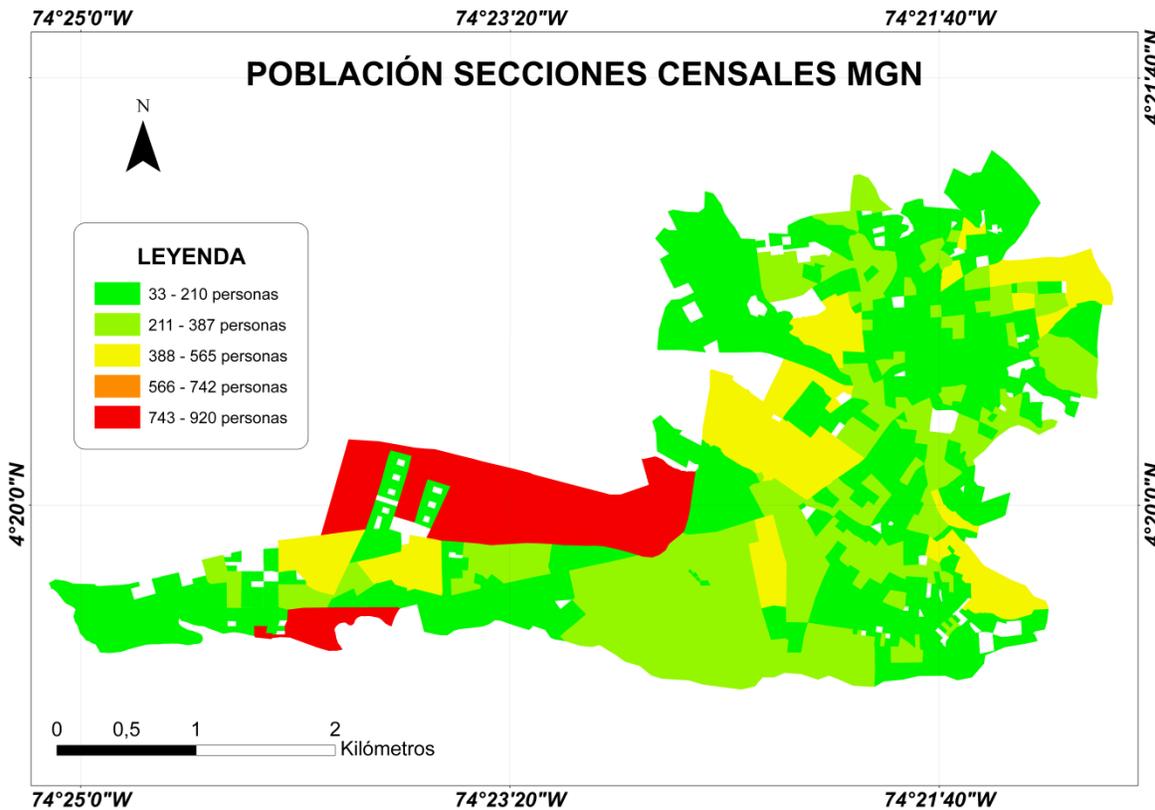
La unión de los datos poblacionales con las manzanas o secciones censales se realizó de la siguiente forma: la cantidad de secciones censales del MGN que cubren el área urbana del municipio son 999 polígonos, la tabla con los valores de población para el municipio de Fusagasugá son 855 filas con registro, así que esta unión arrojó como resultado 831 polígonos (o secciones censales) con valores de población, 165 polígonos sin valor y 3 polígonos con valor 0.

Teniendo en cuenta la proyección de la población del casco urbano del municipio de Fusagasugá para el año 2016 (información descargada del portal web del DANE), se realizó una estimación o aproximación de la población residente por vivienda en el área urbana. Lo anterior consistió en sustraer la proyección de población del casco urbano para el 2016 con la del 2005. El resultado es

24156 personas, esta cantidad se dividió entre el número de manzanas o secciones censales con población (del proceso inmediatamente anterior) las cuales son 831 polígonos, el resultado se aproximó a 29 y esta cifra se adicionó a cada una de las cifras de población que están en la tabla de atributos de los polígonos que representan las secciones censales, esto con el objetivo de distribuir la población en cada manzana o sección censal

PROYECCIÓN DE POBLACIÓN CASCO URBANO - DANE	
2005	86232
2016	110388
Diferencia	24156
24156 / 831 = 29,0685 personas	

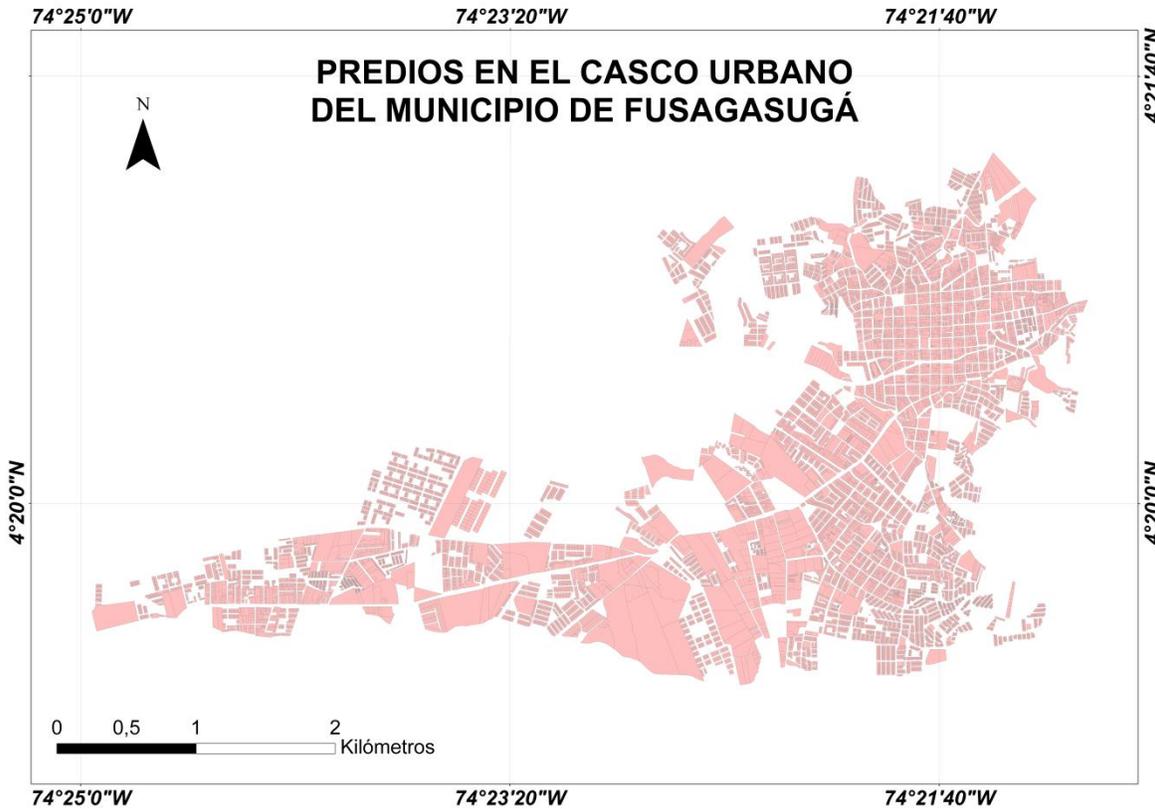
Tabla 1 Proyecciones de población casco urbano DANE
Fuente: Elaboración propia



Mapa 3 Población por secciones censales 2016
Sistema de Coordenadas: Magna Colombia Bogotá
Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso en la estimación de la población es conocer la superficie total que abarcan los predios dentro de cada sección censal. Para evitar distorsiones en el cálculo, se depura la información de los predios, eliminando aquellos que son baldíos o de vocación agrícola para finalmente tener 27882 polígonos que representan los predios (dado que la Secretaría de Planeación del municipio no tuvo una base de datos unificada de los predios en el momento de la

investigación, este paso resulta de la Observación directa en campo y el uso de Google Street View); después de la depuración, se unieron todos los polígonos de predios en un solo polígono (unificando el área de todos los predios del casco urbano) para luego dividirlo por las líneas limítrofes de las secciones censales, utilizando para este geoproceto una herramienta llamada Split Polygons with lines descargada del repositorio ArcGIS, donde existen herramientas creadas y compartidas por los usuarios, esta herramienta fue creada por el usuario DALTONGIS, permite dividir polígonos con líneas que crucen o atraviesen totalmente el polígono y al final del proceso crea nuevas entidades. Una vez que el área unificada de los predios fue dividida, se calculó el área de cada nueva porción, representando el área construida dentro de cada sección censal.



Mapa 4 Predios casco urbano del municipio de Fusagasugá
 Sistema de Coordenadas: Magna Colombia Bogotá
 Fuente: Elaboración propia

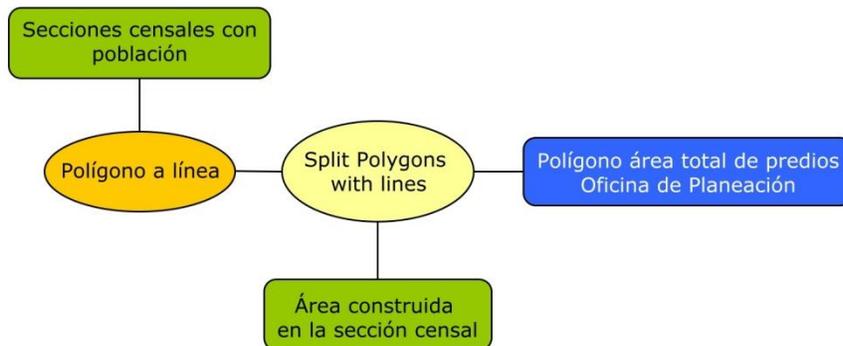


Ilustración 3 Geoproceso para obtener el área construida en cada sección censal

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de mostrar gráficamente el anterior geoproceso, se presenta la siguiente ilustración, es parcial ya que se busca sólo mostrar el funcionamiento de la herramienta y con el propósito de que se diferencie el resultado del geoproceso, se agregaron colores aleatorios:

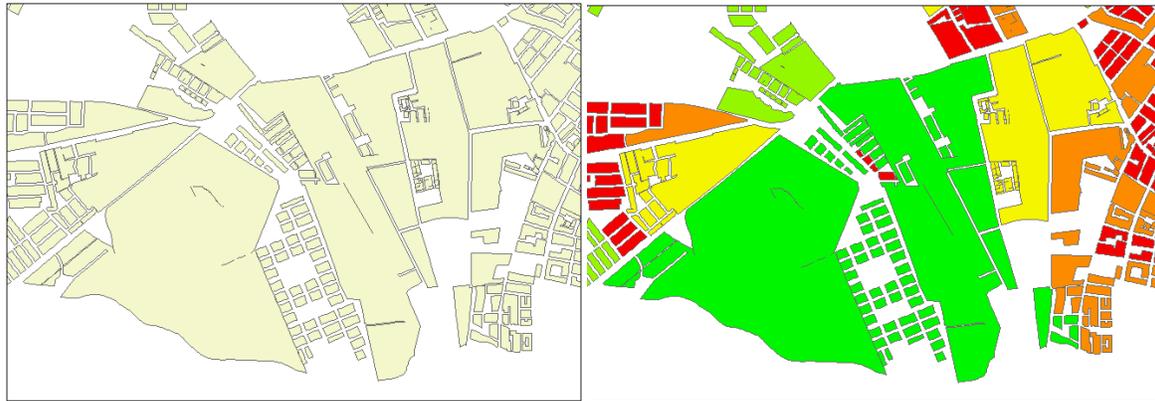


Ilustración 4 Demostración del geoproceso Split Polygons with lines
 Fuente: Elaboración propia

Lo siguiente, fue convertir los polígonos de los predios a una geometría tipo punto. Con estos puntos se realizó un spatial join o unión espacial (que consiste en una unión de tablas en función de la localización compartida de los elementos de dos capas) con los polígonos de secciones censales (para así obtener el atributo de población), posteriormente una segunda unión espacial con los polígonos de las áreas construidas en la sección censal del proceso anterior (para el atributo de área construida), finalmente una tercera unión espacial de estos puntos con los polígonos de los predios iniciales.

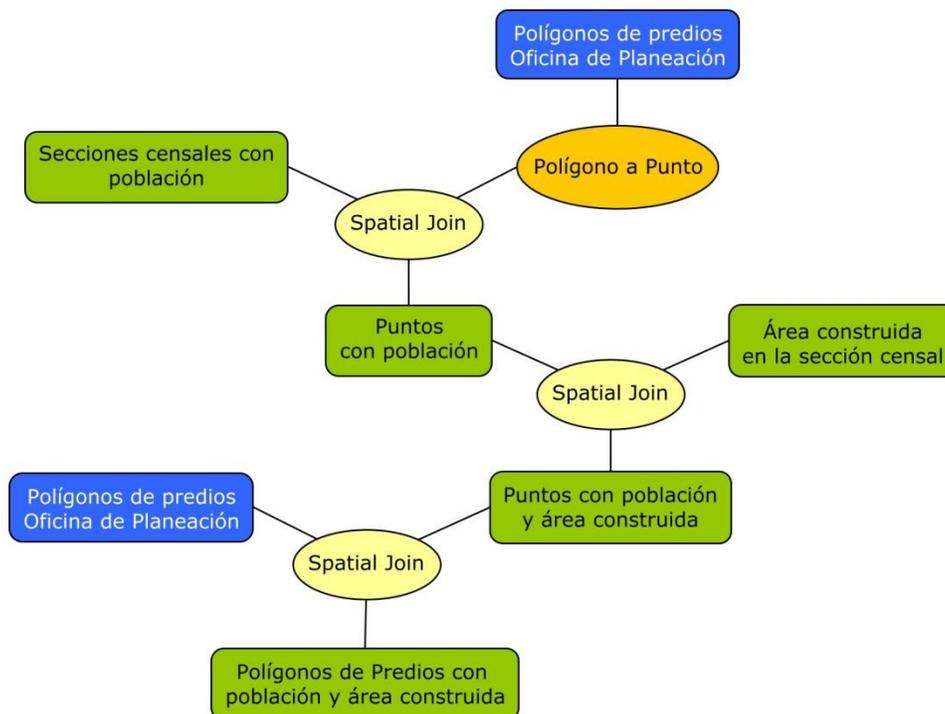


Ilustración 5 Geoproceso en el cual cada predio obtiene atributos de población y área construida

Fuente: Elaboración propia

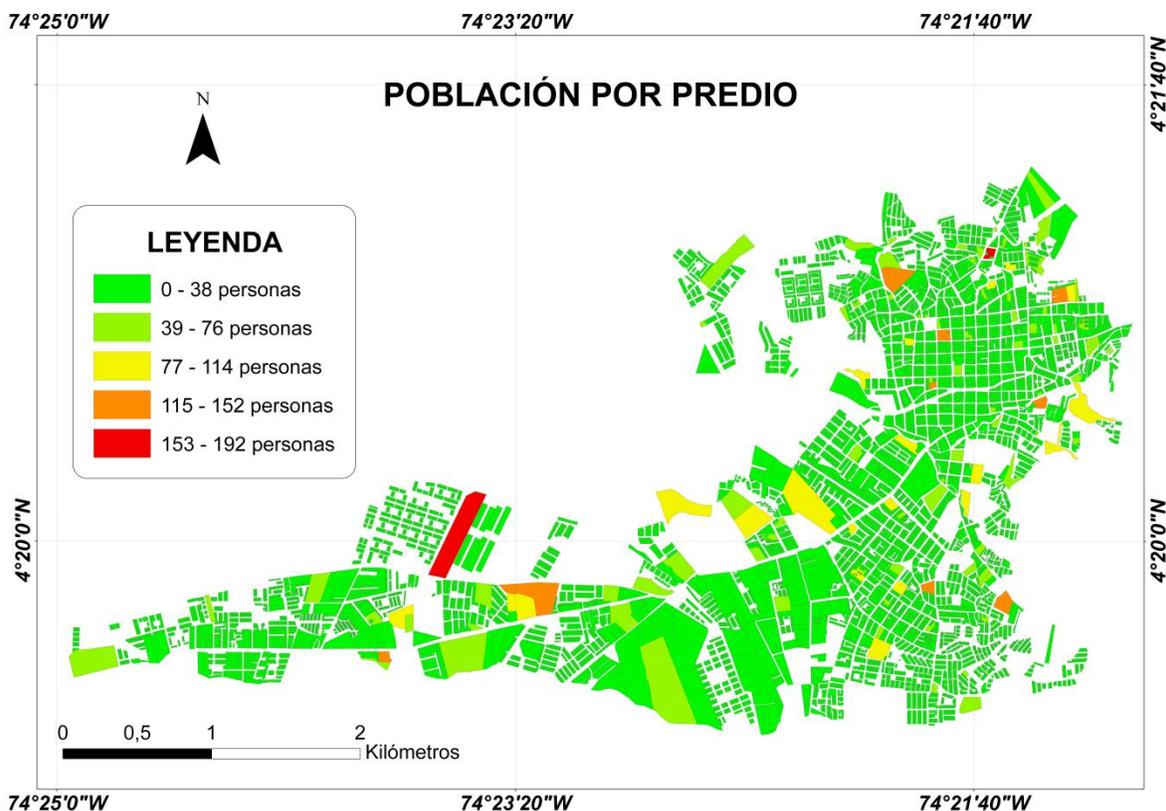
En la tabla de atributos de la capa de los predios (que tienen en ese momento atributos de población y área construida) se añadieron dos campos: uno es un coeficiente de superficie que se aplicó para conocer la población estimada de cada predio en función del tamaño del mismo respecto al área construida:

$$\frac{\text{Área predio} * 100}{\text{Área construida en la sección censal}}$$

Y el otro campo será la población por predio, resultado de la siguiente operación:

$$\frac{\text{Población} * \text{Coeficiente de superficie}}{100}$$

Con los anteriores cálculos se pudo obtener la población repartida por predio, esto con la meta de posteriormente calcular los residuos generados por predio en función de la población del mismo.



Mapa 5 Población estimada por predio en el casco urbano del municipio de Fusagasugá
Sistema de Coordenadas: Magna Colombia Bogotá

Fuente: Elaboración propia

Se agregaron campos X e Y para calcular las coordenadas X e Y del centroide respectivamente de cada predio, para eliminar a partir de estos campos polígonos repetidos que fueron creados

durante los geoprocesos. Una vez que se tuvo la cartografía respectiva con la estimación de la población por predio, lo siguiente es estimar la generación de residuos sólidos urbanos por la población residente. Para este propósito se consultó el documento Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS del municipio de Fusagasugá, donde se expone la cantidad de residuos sólidos recolectados que son dispuestos en el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo y Praderas del Magdalena (donde la cobertura es del 100% para el área urbana y 40% para el área rural):

PROMEDIO TONELADAS AÑO 2014	
MES	TON/MES
Enero	2979
Febrero	2366
Marzo	2632
Abril	2652
Mayo	2659
Junio	2499
Julio	2792
Agosto	2495
Septiembre	2492
Octubre	2643
Noviembre	2649
Diciembre	3137
PROMEDIO	2666,25

Tabla 2 Registro de toneladas mensuales en Fusagasugá 2014 (CYDEP SAS 2015)

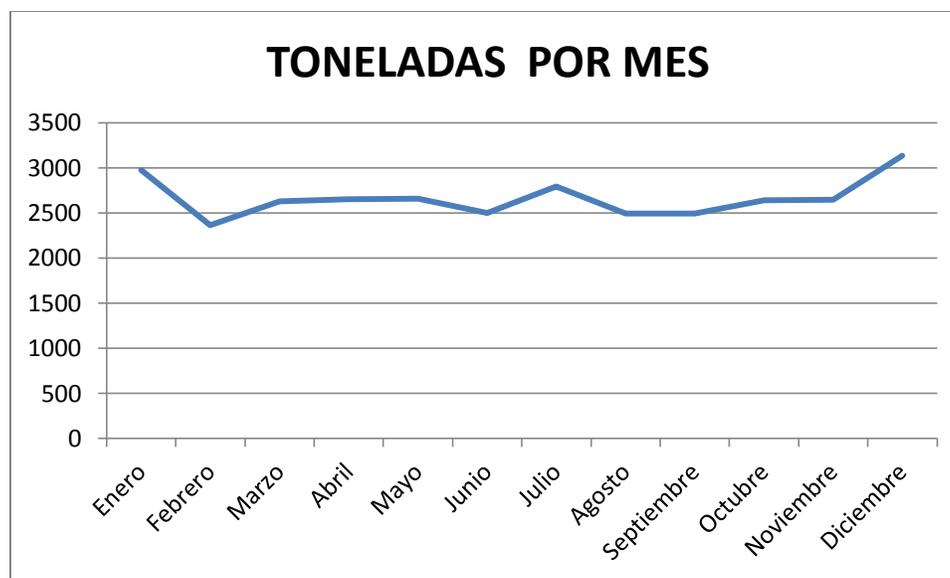


Ilustración 6 Gráfica de toneladas mensuales en Fusagasugá 2014 (CYDEP SAS 2015)

Para saber la Producción Per Cápita (PPC), es decir los residuos generados por persona se realizó el siguiente cálculo:

CANTIDADES GENERADAS MUNICIPIO DE FUSAGASUGÁ	
	$2666,25 \text{ Ton/mes} * 1000 = 2666250 \text{ kg/mes}$
	$2666250 * 12 \text{ meses} = 31995000 \text{ kg/año}$
	$31995000 / 365 \text{ días} = 87657,5 \text{ kg/día}$

Tabla 3 Cálculos de generación de residuos en Fusagasugá por mes, año y día
Fuente: Elaboración propia

PRODUCCIÓN PER CÁPITA	
	$87657,5 \text{ kg/día} / 116333 \text{ hab} = 0,753505318 \text{ kg/día/hab}$

Tabla 4 Cálculo de producción per cápita
Fuente: Elaboración propia

De esta manera se obtiene que 0.75 kg son generados por habitante en Fusagasugá. En el mismo documento del PGIRS se menciona una caracterización de los residuos sólidos durante un estudio para analizar la viabilidad de la estación de transferencia de residuos sólidos en el año 2014:

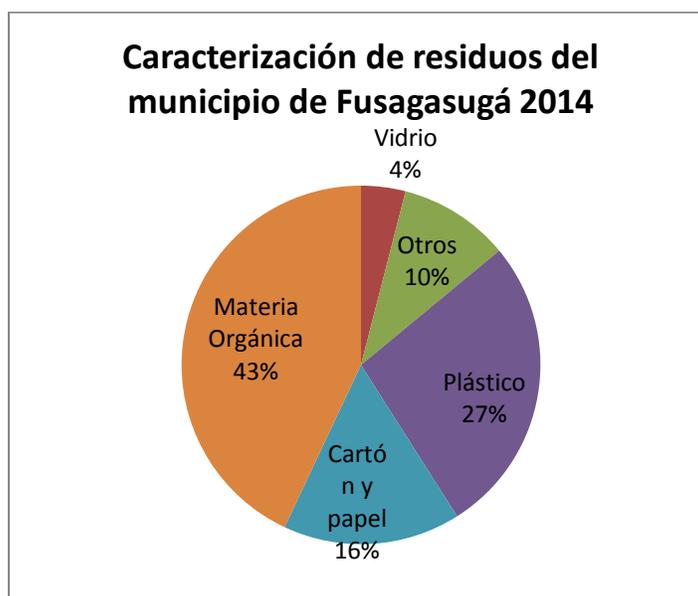


Ilustración 7 Caracterización de residuos del municipio de Fusagasugá 2014 (CYDEP SAS 2015)

A partir de esta caracterización se realizó el cálculo para conocer la cantidad generada de cada fracción de residuo por habitante al día en el municipio de Fusagasugá:

CARACTERIZACIÓN 2014		TON/MES	KG/MES
Vidrio	4%	106,65	106650
Otros	10%	266,625	266625
Plástico	27%	719,8875	719887,5

Cartón y papel	16%	426,6	426600
Materia Orgánica	43%	1146,4875	1146487,5
TOTAL	100%	2666,25	2666250

Tabla 5 Cálculo cantidades de residuos generadas por mes según el material
Fuente: Elaboración propia

RESIDUO	KG/AÑO	KG/HAB/AÑO	KG/HAB/DÍA
Vidrio	1279800	11,00117765	0,030140213
Otros	3199500	27,50294413	0,075350532
Plástico	8638650	74,25794916	0,203446436
Cartón y papel	5119200	44,00471062	0,120560851
Materia Orgánica	13757850	118,26265978	0,324007287
TOTAL	31995000	275,029441345	0,7535053

Tabla 6 Cálculo cantidades de residuos generadas por persona según el material
Fuente: Elaboración propia

Una vez determinado la producción en kilogramos por habitante (de cada fracción), se calculó el volumen en metros cúbicos de los residuos, teniendo en cuenta su densidad, esto con el fin de comprender la demanda que tendrá cada contenedor soterrado:

DENSIDAD RESIDUOS		
RESIDUO	DENSIDAD KG/M3	
	RANGO	TÍPICO
Vidrio	160-481	196
Plástico	42-131	65
Cartón y papel	42-80	50
Materia Orgánica	131-481	291

Tabla 7 Densidades (kg/m3) para cada tipo de residuos
(Crites & Tchobanoglous, 1998)

VOLUMEN RESIDUOS			
RESIDUO	RESIDUOS KG/HAB/DÍA	DENSIDAD KG/M3	VOLUMEN M3
Vidrio	0,03	196	0,000153061
Plástico	0,203	65	0,003123077
Cartón y papel	0,12	50	0,0024
Materia Orgánica	0,324	291	0,001113402
TOTAL			0,00678954

Tabla 8 Cálculo de volumen para cada tipo de residuo
Fuente: Elaboración propia

Una vez que se conoció el volumen de cada fracción que cada habitante genera al día, se procedió a multiplicar cada volumen por la población de cada vivienda, de esta manera se crearon cuatro

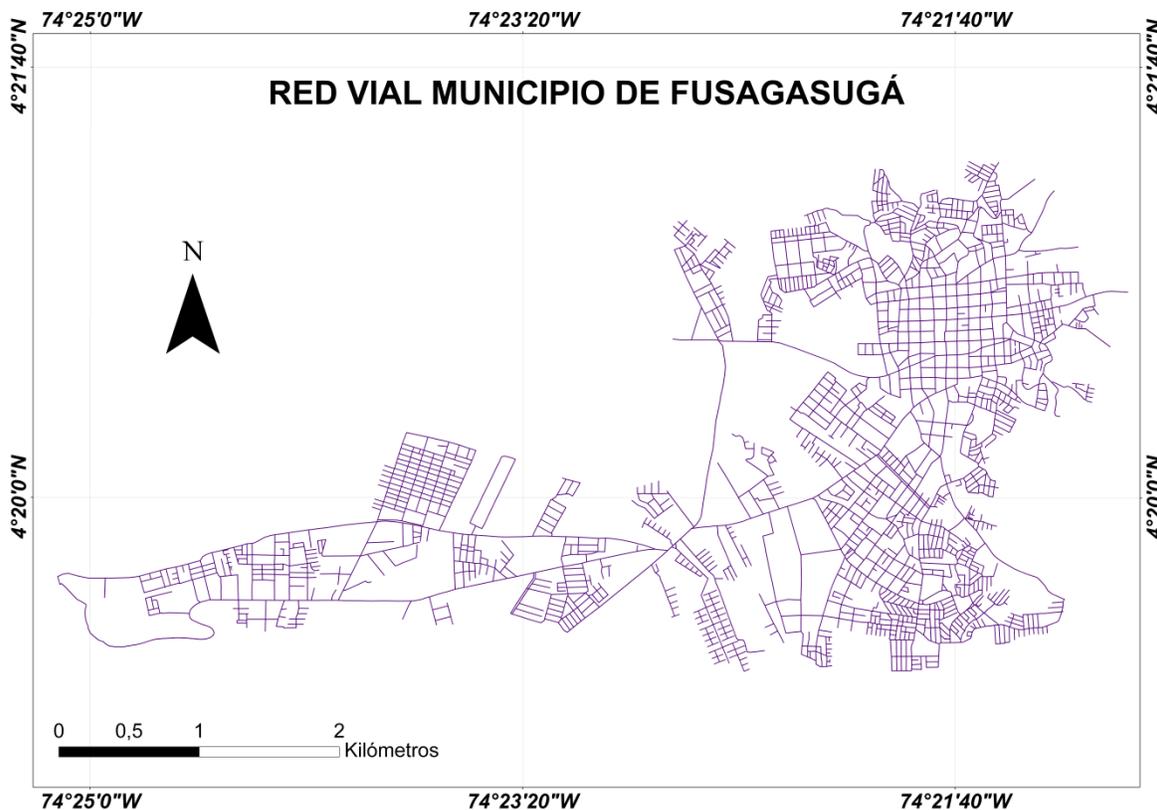
campos en la capa de los predios, un campo de cada fracción generada por predio: vidrio, plástico, cartón y papel y materia orgánica o residuos orgánicos.

Ubicación de puntos estratégicos

Para lograr el objetivo de ubicar contenedores soterrados de manera óptima, se utilizó la herramienta Network Analyst del software ArcGIS, la cual es una herramienta geoespacial basada en redes compuestas de tramos (líneas) y nudos (puntos) para apoyar la toma de decisiones, permite resolver preguntas como:

- ¿Cuál es la manera más rápida de ir desde un punto A hacia un punto B?
- ¿Qué casas están a cinco minutos de un parque de bomberos?
- ¿Qué áreas de mercado cubre un negocio?
- ¿Qué sucursal de un almacén debería visitar un cliente potencial para minimizar el tiempo de viaje?
- ¿Dónde puede abrirse una tienda para maximizar beneficios?

Esta herramienta utiliza redes para concretar soluciones, por ello se usó la información vectorial de la red vial del municipio, teniendo como fuente la información vectorial tipo línea del MGN, contrastándola con la información suministrada por la Secretaría de Planeación del municipio de Fusagasugá.



Mapa 6 Red vial del casco urbano del municipio de Fusagasugá

Sistema de Coordenadas: Magna Colombia Bogotá
Fuente: Elaboración propia

Con esta red, es posible emplear la herramienta de redes de ArcGIS. Fue necesaria la creación de una base de datos geográfica o GDB, en la cual se creará un Feature Dataset para integrar la capa de la red vial con un campo de distancia en metros y además crear un Network Dataset a partir de la entidad de vías, en este último es donde se realiza el análisis.



Ilustración 8 Base de datos geográfica para la creación del Network Dataset
Fuente: Elaboración propia

Para determinar las ubicaciones óptimas de cada contenedor teniendo en cuenta los predios, se utilizó la herramienta de Network Analyst llamada Location-Allocation o Ubicación-Asignación, y de esta manera es como la define la ayuda de ArcGIS:

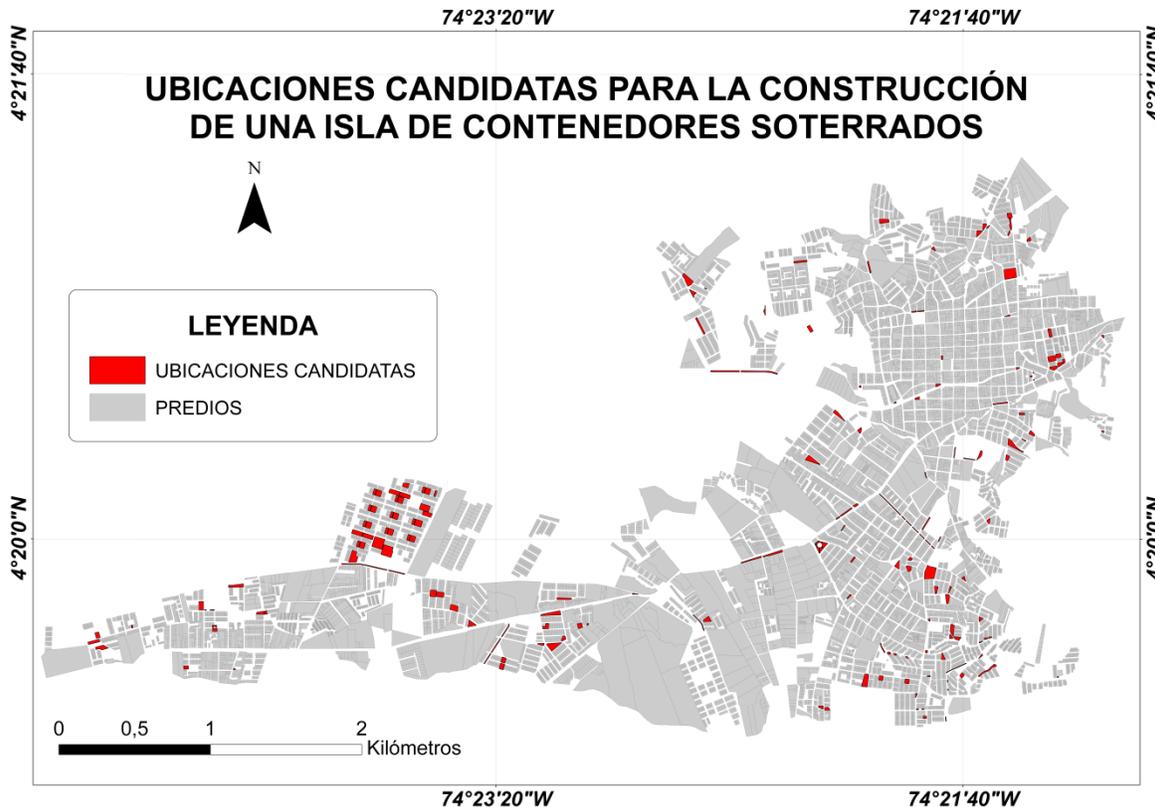
“Dadas instalaciones que proporcionen bienes y servicios, y un conjunto de puntos de demanda que los consumen, el objetivo de la ubicación-asignación es buscar instalaciones de modo que suministren a los puntos de demanda de la manera más eficiente. Como el nombre sugiere, la ubicación-asignación es un problema doble que, simultáneamente, busca instalaciones y asigna puntos de demanda a las instalaciones. “ (ArcGIS, sitio Web de ArcGIS for Desktop, 2016)

De esta manera, ayuda a elegir qué instalaciones de un conjunto de instalaciones operar en función de su interacción potencial con los puntos de demanda. (ArcGIS, ArcGIS Resource Center, 2016)

En este caso, las instalaciones son los contenedores soterrados, los puntos de demanda son todos los predios. Para las instalaciones se buscó aquellos lugares donde se posibilita la construcción de una isla de contenedores soterrados, la situación que se presentó en el momento de la investigación en el municipio de Fusagasugá fue:

- Los andenes o corredores peatonales son estrechos para el fin que se busca.
- En consulta con la Empresa de Servicios Públicos de Fusagasugá EMSERFUSA E.S.P., la mayoría de la red de acueducto está instalada bajo los andenes a una distancia que no sobrepasa 1.5 metros.
- En consulta con la Empresa Alcanos de Colombia S.A. E.S.P. la mayoría de la red de gas natural domiciliario está instalada bajo los andenes.

Considerando las condiciones presentadas, se optó por buscar lugares como parques, rotondas, algunos andenes amplios, zonas verdes, etc utilizando para ello la observación directa en campo y Mapa de espacio público de Fusagasugá suministrado por la Secretaría de Planeación del municipio de Fusagasugá. Las ubicaciones candidatas se ingresaron en una nueva capa de geometría tipo polígono en el software SIG.



Mapa 7 Ubicaciones candidatas para la construcción de una isla de contenedores soterrados
Sistema de Coordenadas: Magna Colombia Bogotá
Fuente: Elaboración propia

La herramienta de Network Analyst funciona partiendo de información vectorial tipo punto, por lo que los polígonos de ubicaciones candidatas y los predios se convierten a esta geometría. En las propiedades avanzadas del análisis de red Ubicación-Asignación se muestran diferentes tipos de problema, donde se debe seleccionar el que mejor se adapte a la necesidad, a partir de la selección de uno u otro tipo, el análisis parte de éste y el resultado va a diferir. A continuación se describe la función de cada uno:

- **Minimizar la impedancia:** Las instalaciones se ubican de modo que se minimice la suma de todos los costes ponderados (por ejemplo el costo en tiempo de un automóvil que se desplaza de un punto a otro) entre los puntos de demanda y las instalaciones de la solución. (ArcGIS, sitio Web de ArcGIS for Desktop, 2016)
- **Maximizar la cobertura:** Las instalaciones se ubican de modo que el máximo número de puntos de demanda se asignen a instalaciones de la solución, el análisis tomará en cuenta, la tolerancia de impedancia que sea ingresada por el usuario. (ArcGIS, sitio Web de ArcGIS for Desktop, 2016)
- **Minimizar las instalaciones:** Las instalaciones se ubican de modo que se asigne el máximo número de puntos de demanda a las instalaciones de la solución dentro de la tolerancia de impedancia; además, se minimiza el número de instalaciones necesarias para cubrir los puntos de demanda. (ArcGIS, sitio Web de ArcGIS for Desktop, 2016)

- **Maximizar la asistencia:** Las instalaciones se eligen de modo que se asigne el máximo peso de demanda posible a las instalaciones asumiendo que el peso de la demanda se reduce en relación con la distancia entre la instalación y el punto de demanda. (ArcGIS, sitio Web de ArcGIS for Desktop, 2016)
- **Maximizar la cuota de mercado:** Se elige un número concreto de instalaciones de modo que la demanda asignada se maximice en presencia de competidores. El objetivo es captar la máxima cuota de mercado posible con un número dado de instalaciones que se especifique. La cuota de mercado total es la suma de todo el peso de demanda para los puntos de demanda válidos. (ArcGIS, sitio Web de ArcGIS for Desktop, 2016)
- **Cuota de mercado objetivo:** Cuota de mercado objetivo elige el número mínimo de instalaciones necesarias para captar un porcentaje concreto de la cuota de mercado en presencia de competidores. La cuota de mercado total es la suma de todo el peso de demanda para los puntos de demanda válidos. (ArcGIS, sitio Web de ArcGIS for Desktop, 2016)

Como existen ubicaciones candidatas que están muy cerca unas de otras (187 ubicadas en total), se tomó la decisión de que el tipo de problema es minimizar las instalaciones y al mismo tiempo abarcar el máximo de demanda bajo la tolerancia de impedancia, que en este caso es de 200 metros como límite y con la opción Demanda hacia Instalación (Demand to Facility), es decir, la simulación de las personas viajando hasta la instalación, logrando de esta manera contenedores repartidos de la mejor manera posible.

La tolerancia de impedancia es justificada tomando como referencia un estudio en el que se investiga la distancia del domicilio al contenedor como un factor influyente en la separación de residuos urbanos en la ciudad de Valencia, España, con un muestreo de 797 individuos, donde los resultados muestran coeficientes de correlación muy altos ($R > 0.90$) concluyendo que aumenta la frecuencia de separación de los residuos a medida que disminuye la distancia del contenedor a la vivienda y disminuyendo la frecuencia de separación a medida que aumenta la distancia del contenedor a la vivienda. (Rojas Castillo, Gallardo Izquierdo, & Piñero Guilamany, 2011)

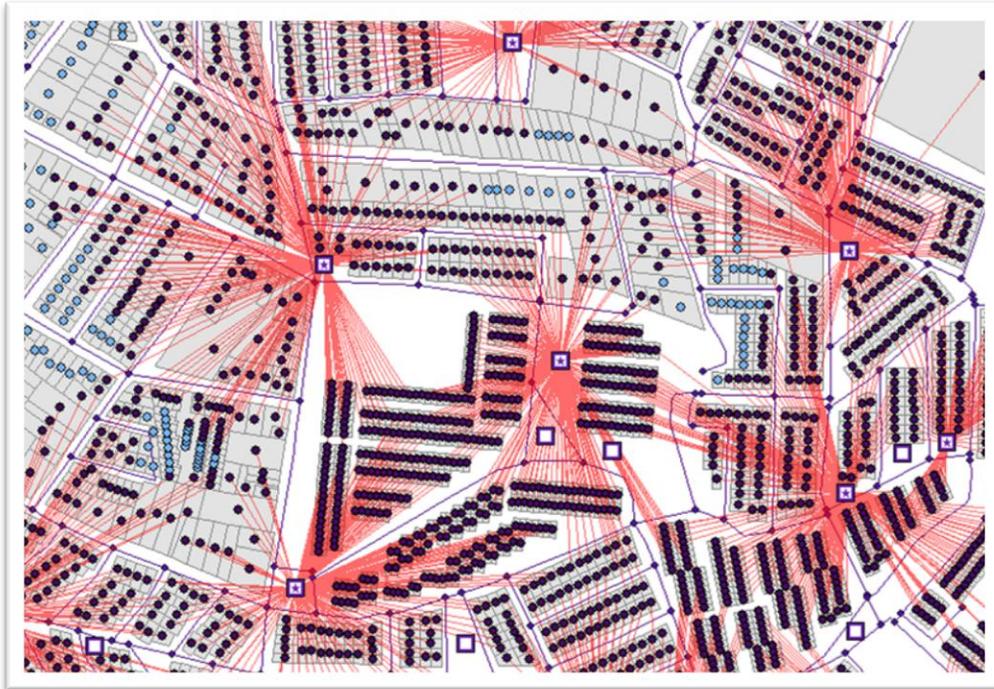
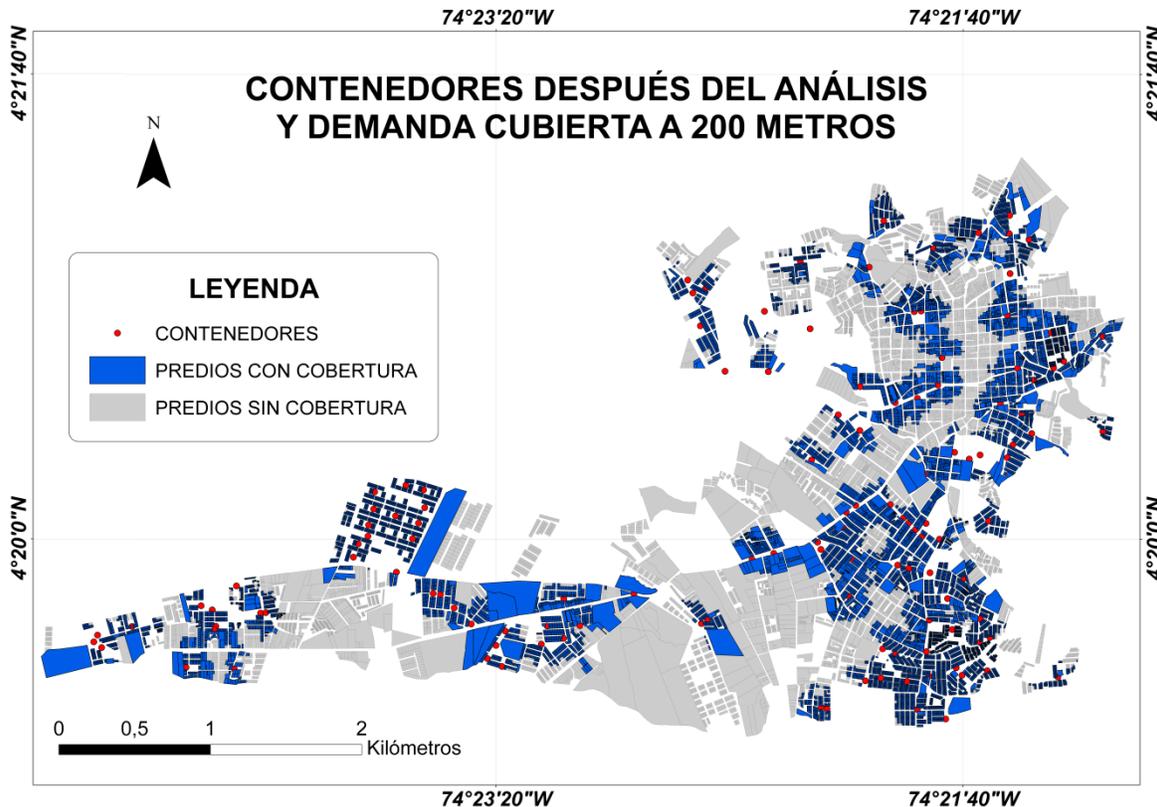


Ilustración 9 Vista previa del proceso de Network Analyst
Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la Ilustración 9, es una vista previa del proceso resultante del análisis, donde se tiene la red vial y sus nodos (en morado), los polígonos de predios y sus respectivos puntos centroide (en gris los polígonos y en negro los puntos); como resultado, arrojó que los puntos de los predios que están bajo cobertura de contenedores soterrados están en color azul, las líneas que representan la distancia recorrida del predio con cobertura al contenedor a través de la red vial en color rojo, también con la simbología de los cuadrados con estrella y sin estrella indicó que, a partir de las ubicaciones candidatas para la instalación de una isla de contenedores soterrados, asignó una estrella a las ubicaciones óptimas y a las ubicaciones restantes no les asignó estrella. La cantidad de contenedores escogidos después del análisis es 127 y la cobertura de la demanda se muestra en el siguiente gráfico:



Mapa 8 Ubicaciones seleccionadas para la construcción de una isla de contenedores soterrados y demanda cubierta a 200 metros
 Sistema de Coordenadas: Magna Colombia Bogotá
 Fuente: Elaboración propia

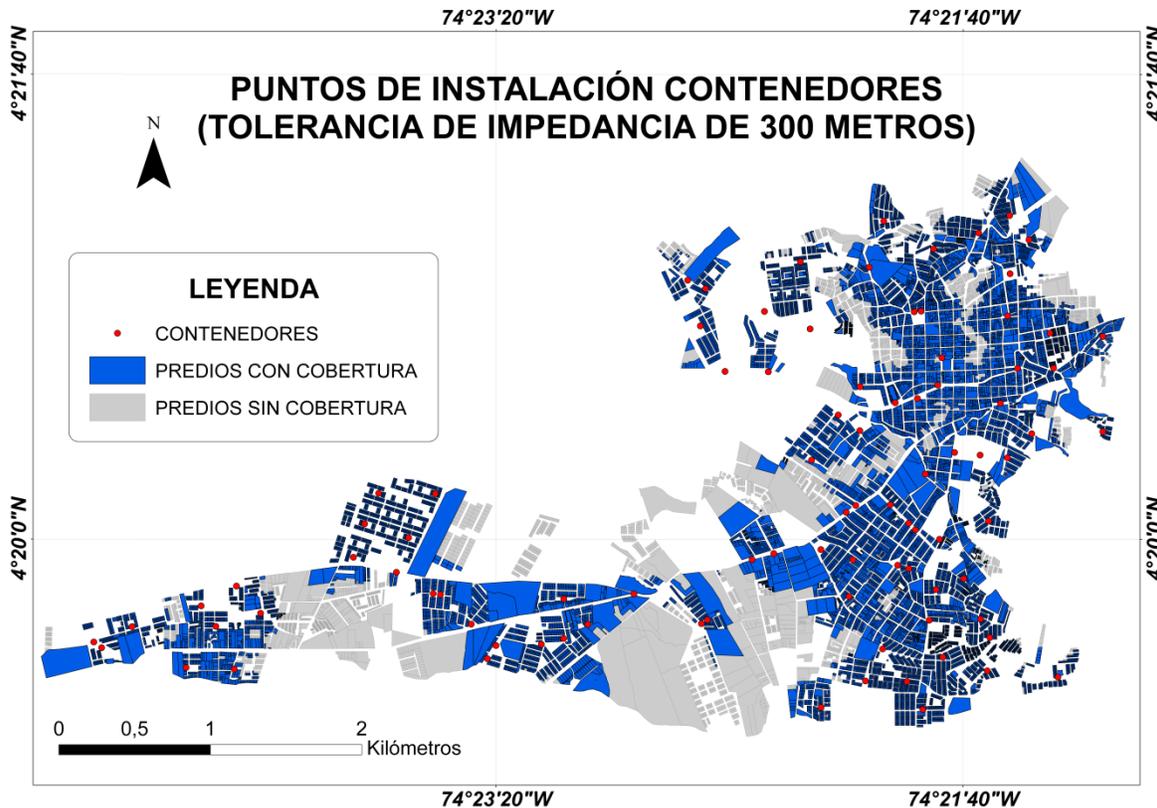
Con esta solución el número de predios cubiertos es del 58.24% (16239/27882), la población cubierta es del 63.45% (70042/110388). La razón de que existan predios sin cobertura es por la distancia especificada en la tolerancia de impedancia, es decir, 200 metros como distancia de viaje máxima, por lo tanto, existen predios que quedan sin cobertura ya que están a una distancia superior a la que se tolera. La estadística de las distancias calculadas durante el proceso es el siguiente:

Cantidad de personas que acceden a los contenedores a diferentes rangos de distancia		
RANGO (metros)	POBLACIÓN (hab)	PREDIOS
0 a 50	8333	1876
50 a 100	20499	4701
100 a 150	23653	5417
150 a 200	17557	4245
TOTAL	70042	16239

Tabla 9 Análisis de las distancias de las personas hacia los contenedores
 Fuente: Elaboración propia

PROMEDIO DISTANCIA RECORRIDA: 112,7 METROS

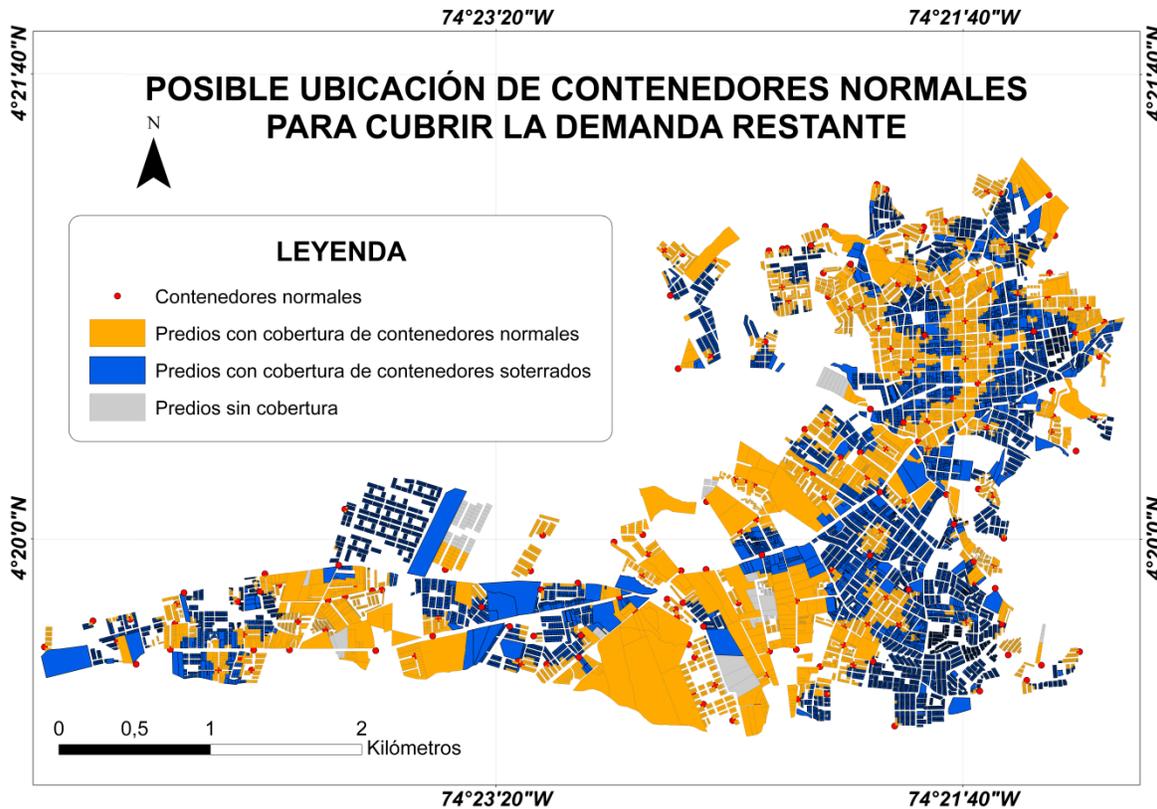
Si la tolerancia de impedancia (distancia) es mayor, las coberturas sobre los predios y la población serán mayores y el número de ubicaciones seleccionadas para los contenedores disminuirá, como se muestra en este mapa con una distancia máxima de 300 metros:



Mapa 9 Ubicaciones seleccionadas para la construcción de una isla de contenedores soterrados y demanda cubierta a 300 metros
Sistema de Coordenadas: Magna Colombia Bogotá
Fuente: Elaboración propia

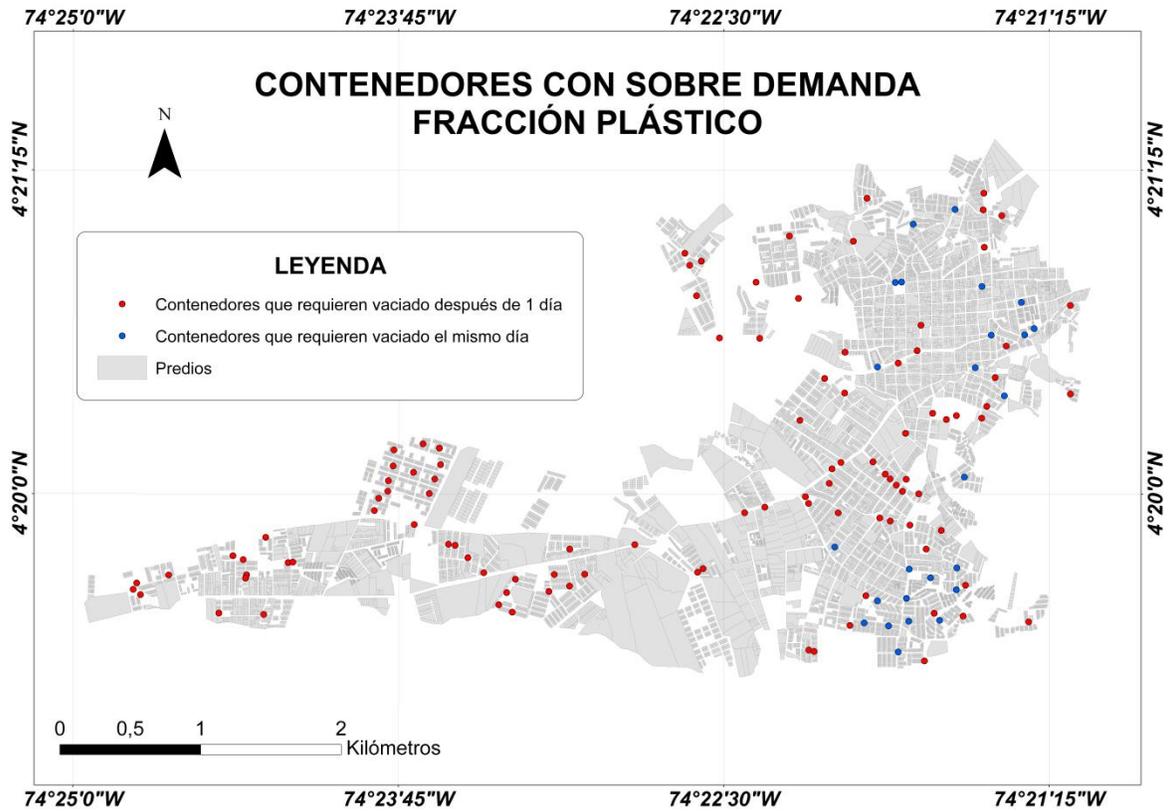
Aunque la cobertura es mayor, con 79.5%, la población atendida del 84.3% y las ubicaciones seleccionadas son 93, el análisis permitió conocer que los contenedores al tener una capacidad de 3 metros cúbicos, presentaron una demanda que sobrepasa dicha capacidad, lo que significa, basuras alrededor de las islas de contenedores soterrados, malos olores, desperdicios en las calles, vectores de plagas, pésimo aspecto de las instalaciones, etc.

Teniendo en cuenta este resultado, como análisis adicional, se determinó la posible ubicación de contenedores normales de 3 metros cúbicos de capacidad (dado que no es posible ubicar contenedores soterrados en los andenes) para cubrir la demanda restante en el casco urbano, utilizando el mismo tipo de problema: minimizar instalaciones, una tolerancia de impedancia de 200, y como puntos de demanda, los predios restantes, es decir lo que no poseen cobertura. Para este propósito se utilizó como ubicaciones candidatas los nodos de la red vial que se utilizó para el Network Dataset (2512 puntos), el resultado arrojó 188 ubicaciones como seleccionadas; de este modo se logra cubrir el 98.2% de los predios sin cobertura (11442 de 11643 predios sin cobertura) y a una población del 93.8% (37868 de 40346 personas sin cobertura).

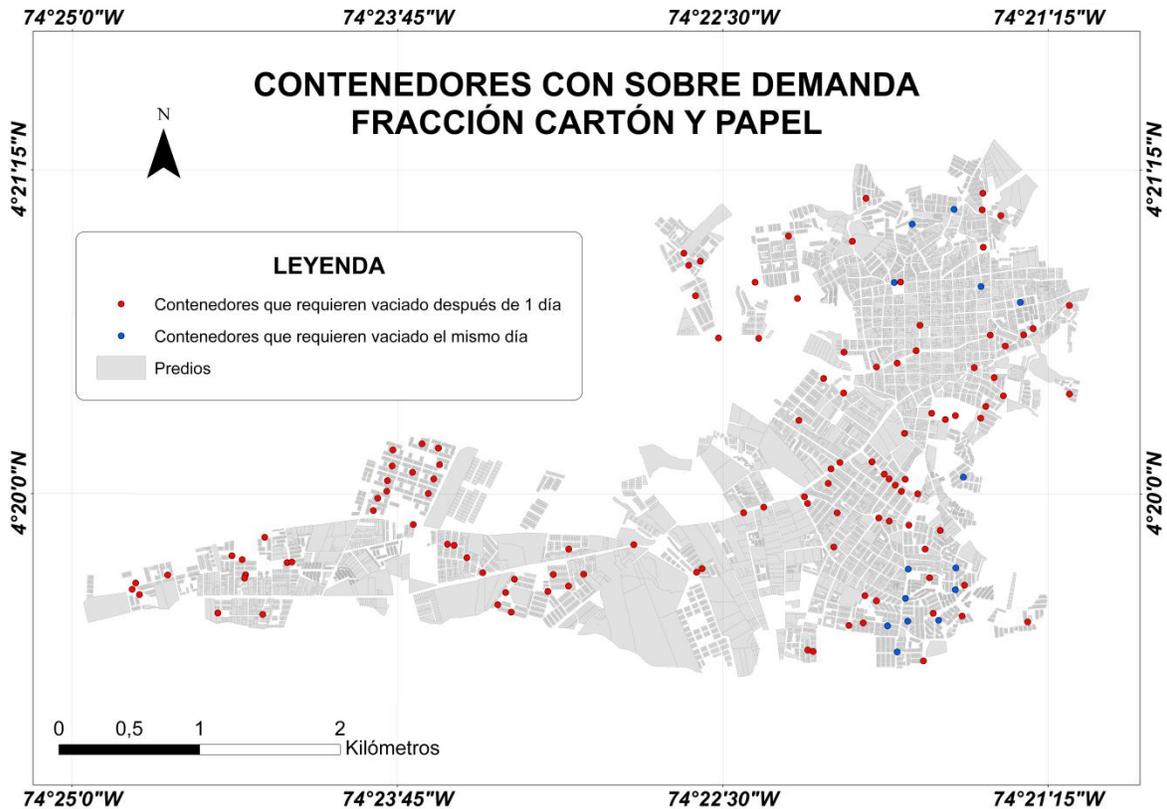


Mapa 10 Ubicaciones seleccionadas para la ubicación de contenedores normales
Sistema de Coordenadas: Magna Colombia Bogotá
Fuente: Elaboración propia

Existen contenedores que tienen una demanda mayor a la capacidad que pueden soportar, es decir, 3 metros cúbicos, a continuación se muestran los contenedores que requieren un vaciado de su contenido el mismo día. Hay que aclarar que las fracciones de vidrio y materia orgánica no generan tal demanda a comparación del plástico y el cartón y papel, por lo tanto se muestra los mapas de la fracción de plástico y cartón y papel.



Mapa 11 Contenedores que tienen una demanda que sobrepasa la capacidad, de la fracción de plástico
Sistema de Coordenadas: Magna Colombia Bogotá
Fuente: Elaboración propia



Mapa 12 Contenedores que tienen una demanda que sobrepasa la capacidad, de la fracción de cartón y papel
Sistema de Coordenadas: Magna Colombia Bogotá
Fuente: Elaboración propia

Hay que tener en cuenta que este problema es de tipo logístico y no, un problema espacial, es decir, que la entidad gubernamental encargada, EMSERFUSA, debe considerar los análisis anteriores y proporcionar el adecuado vaciado o mantenimiento de los contenedores, ya bien sea una o más veces al día

Publicación del mapa de ubicaciones óptimas en la web (ArcGIS Online)

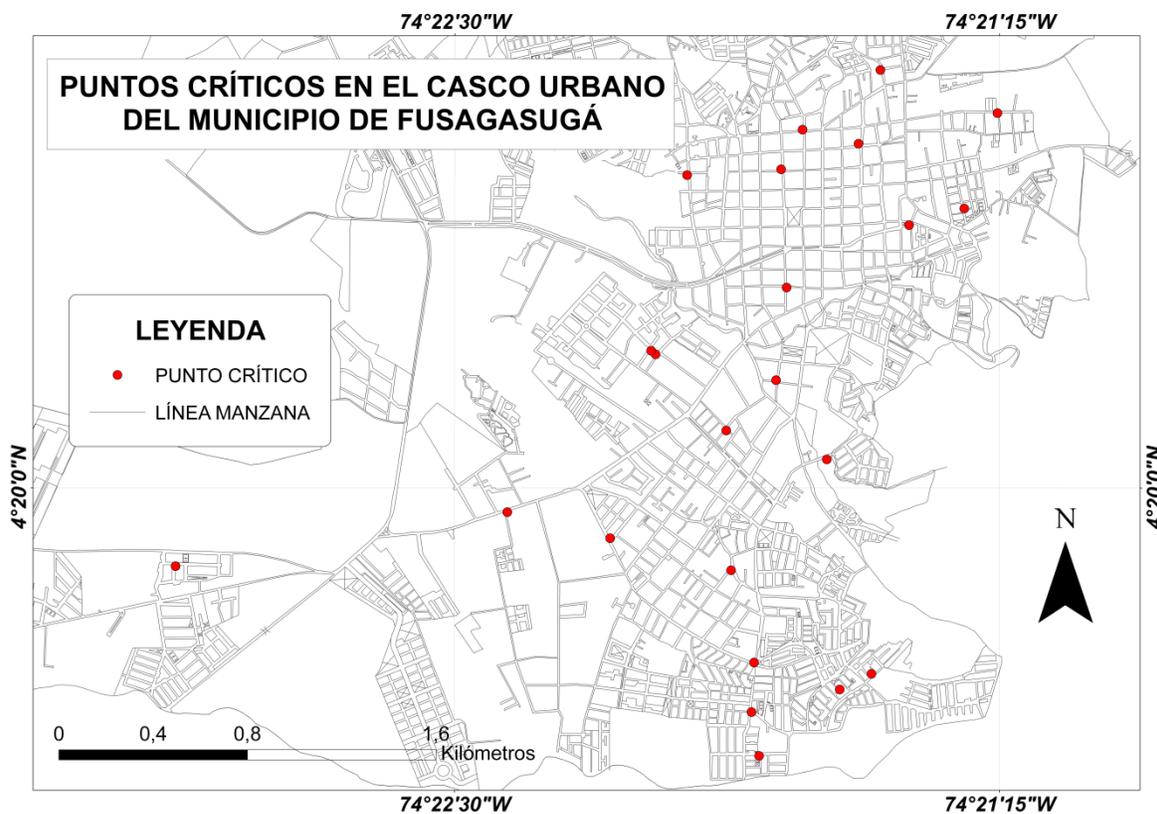
Con el objetivo de utilizar las tecnologías de la información y comunicación y hacer público este tipo de investigación para el ciudadano común, el resultado del análisis con una impedancia máxima de 200 metros se publica en el sistema SIG web de colaboración online de ArcGIS que permite usar, crear y compartir mapas, escenas, aplicaciones, capas, análisis y datos. El contenido que se ha subido a esta web es compartido a través del siguiente enlace:

<http://arcg.is/2fGkk6s>

En el enlace se encuentra el mapa de la ubicación óptima de contenedores después del análisis y demanda cubierta a 200 metros, donde se puede apreciar, los predios con cobertura de contenedores soterrados, predios sin cobertura, la ubicación óptima de los contenedores soterrados tanto en geometría tipo polígono y tipo punto y las líneas que representan la asignación del contenedor con los predios, lo que a la vez proporciona, la distancia total que se debe recorrer desde el predio hasta el contenedor

Ubicación de puntos críticos en el casco urbano de Fusagasugá según PGIRS

En el área urbana del municipio se presentan aglomeraciones de basuras sobre andenes y vías, estos puntos han tenido un seguimiento por parte de la Empresa de Servicios Públicos de Fusagasugá EMSERFUSA, algunos han sido eliminados, pero estos puntos continúan presentándose. La situación que se presenta es que la ciudadanía deposita los residuos en ciertas áreas donde se acumulan para que posteriormente los operarios que van junto al camión colector los recojan y depositen en el vehículo; además la población arroja los desechos en lugares donde está prohibido dicha acción, por ejemplo en zonas verdes o en las rondas hídricas (existen letreros de EMSERFUSA alertando de multas si se infringe la prohibición de no arrojar basuras). Algunos residuos no son recolectados en su totalidad, lo que genera que éstos se acumulen. La ciudadanía tiene una carencia de cultura respecto a este tema y aunque se han realizado capacitaciones por entidades tanto públicas como privadas (CYDEP SAS 2015), el problema sigue presentándose. En consulta con EMSERFUSA, específicamente la división de aseo, comentaron que no existe una metodología o proceso a seguir para la determinación de los puntos críticos, no existe una evidencia fotográfica o un análisis estadístico de los residuos arrojados, simplemente son identificados por los operarios de los camiones recolectores. A continuación se presenta el mapa del censo de puntos críticos según se establece en el PGIRS del municipio y las respectivas fotografías actuales de aquellos lugares:



Mapa 13 Ubicación de puntos críticos en el casco urbano según PGIRS 2014
Sistema de Coordenadas: Magna Colombia Bogotá
Fuente: Elaboración propia

- Carrera 41 # 20 - 11 Villa Patricia



Ilustración 10 Punto crítico 1
Fuente: Elaboración propia

- Calle 24 # 12 - 63 San Mateo

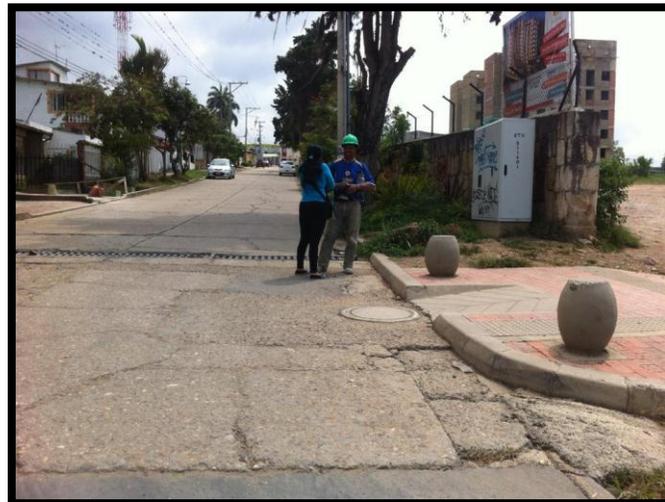


Ilustración 11 Punto crítico 2
Fuente: Elaboración propia

- Calle 25 Barrio La Macarena



Ilustración 12 Punto crítico 3
Fuente: Elaboración propia

- Calle 20 C # 1 E 38 Barrio Comuneros

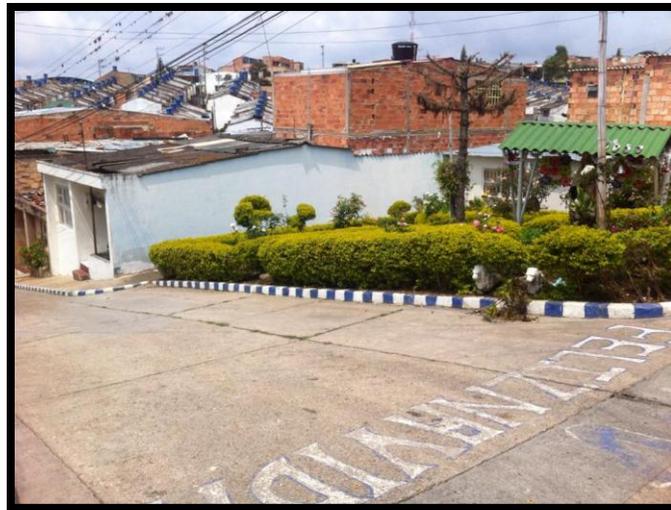


Ilustración 13 Punto crítico 4
Fuente: Elaboración propia

- Calle 27 1 B San Fernando



Ilustración 14 Punto crítico 5
Fuente: Elaboración propia

- Diagonal 6 # 1 - 14 Villa Mariana Pekín Bajo



Ilustración 15 Punto crítico 6
Fuente: Elaboración propia

- Calle 4 # 12 - 68 Olaya



Ilustración 16 Punto crítico 7
Fuente: Elaboración propia

- Calle 16 C 02 – 22 Los Robles



Ilustración 17 Punto crítico 8
Fuente: Elaboración propia

- Carrera 4 con calle 1 – La Esmeralda II sector



Ilustración 18 Punto crítico 9
Fuente: Elaboración propia

- Carrera 10 con calle 16B - Balmoral



Ilustración 19 Punto crítico 10
Fuente: Elaboración propia

- JAC Prados de Bethel:



Ilustración 20 Punto crítico 11
Fuente: Elaboración propia

- Carrera 5 con calle 2 esquina – Cedritos



Ilustración 21 Punto crítico 12
Fuente: Elaboración propia

- Carrera 14 # 16 A 39 – Santa Anita y Calle 16A # 14-08 – Av. El Caney



Ilustración 22 Punto crítico 13
Fuente: Elaboración propia

- Calle 22 Balmoral esquina



Ilustración 23 Punto crítico 14
Fuente: Elaboración propia

- Carrera 6 # 2 10 La Florida



Ilustración 24 Punto crítico 15
Fuente: Elaboración propia

- Calle 3 Carrera 3 Iglesia Séptimo Día Barrio Santander

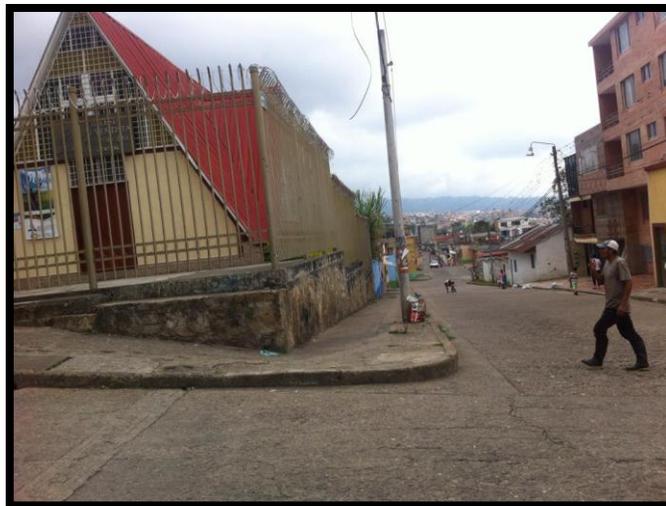


Ilustración 25 Punto crítico 16
Fuente: Elaboración propia

- Carrera 4 E # 05 D - 30 Pekín



Ilustración 26 Punto crítico 17
Fuente: Elaboración propia

- Cra 2 – 22 A 07 Prados de Altigracia



Ilustración 27 Punto crítico 18
Fuente: Elaboración propia

- Carrera 7 # 15-05 Coburgo

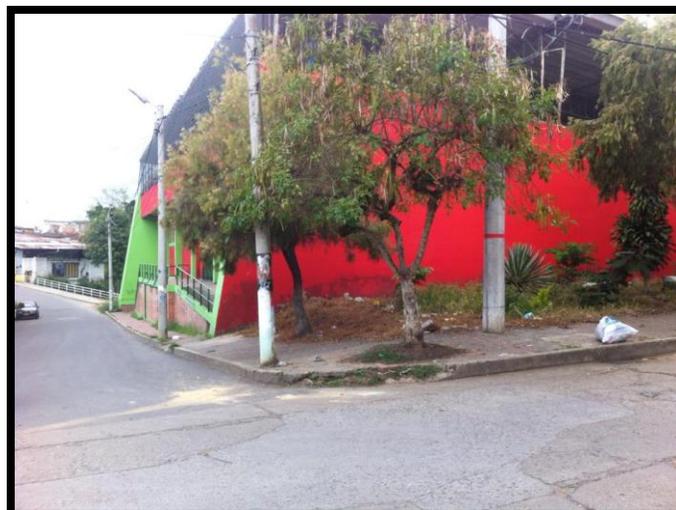


Ilustración 28 Punto crítico 19
Fuente: Elaboración propia

- Calle 4 # 7 - 67 Centro



Ilustración 29 Punto crítico 20
Fuente: Elaboración propia

- Carrera 7 # 10-14 Centro



Ilustración 30 Punto crítico 21
Fuente: Elaboración propia

- Carrera 5 # 19 -61 – Barrio Fusacatán



Ilustración 31 Punto crítico 22
Fuente: Elaboración propia

Información Técnica sobre los contenedores soterrados

En el mercado actual, los contenedores soterrados se encuentran en diversos tamaños y capacidades, materiales, con diferentes accesorios, etc. Existe diversa competencia en este producto, compañías como Molok, SanimobellInternacional, TNL, Benito.com, Plastic Omnium, Equinord, Mecamesor. Para este estudio se propuso una capacidad de 3 metros cúbicos para los contenedores soterrados, dado que es la capacidad mínima de estas instalaciones. En contacto con la empresa Sotkon la cual es líder en el mercado ibérico de contenedores soterrados (la empresa posee una sucursal en Colombia), con la cual el grupo de investigación se comunicó, la representante Carmen Xiomara Infante, suministró de manera cordial, información técnica al respecto. Cabe aclarar que este tipo de proyectos requieren una licitación por parte de la entidad

gubernamental municipal, pero con fines demostrativos se describen las características de los sistemas que ofrecen. Llama la atención el sistema soterrado mecánico estándar, dado que es de una estructura simple con un proceso de vaciado de los contenedores rápido y sencillo.



Ilustración 32 Sistema soterrado estándar
(SOTKON, Especificaciones Técnicas, 2016)

Las modificaciones a los camiones colectores de residuos es mínima, para el proceso de vaciado es necesaria una grúa, la cual es instalada en la parte superior del camión, como se muestra a continuación:



Ilustración 33 Grúa ECO 806 R.2
(SOTKON, Grúas, 2016)



Ilustración 34 Grúa ECO 806 R.2
(SOTKON, Grúas, 2016)

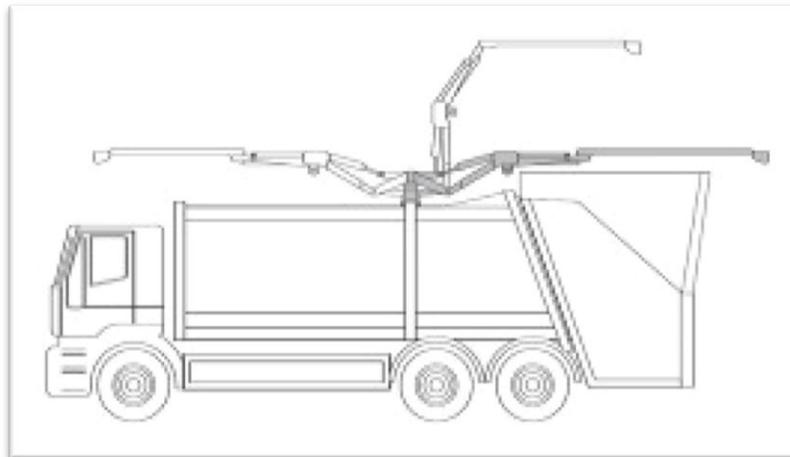


Ilustración 35 Boceto de grúa para contenedores soterrados
(SOTKON, Grúas, 2016)

En cuanto al proceso de la instalación de las islas de contenedores, cabe destacar las siguientes fases para lograr la correcta instalación de contenedores soterrados, según información suministrada por SOTKON:

INSTRUCCIONES PARA LA OBRA CIVIL DEL KIT SOTKON (SOTKON, Disposiciones constructivas, 2016):

AVISOS IMPORTANTES:

- Hay que colocar un plástico para cubrir completamente toda la tapa, principalmente cuando se trabaja con hormigón o se procede al riego asfáltico en las inmediaciones para evitar pegotes y salpicaduras.
- No depositar material de obra, herramientas, etc. sobre las tapas.
- No pasar con vehículos ni elementos de ruedas (carretillas, carros de obra, etc.) por encima de las tapas.
- No arrastrar objetos sobre las tapas ni golpearlas.
- Siempre que hay paredes en la parte trasera es necesario dejar un espacio de 1,20 m entre el cerco de la tapa y las paredes.

PRIMERA FASE (EXCAVACIÓN Y SOLERA):

- 1- Excavar el foso con las dimensiones indicadas, respetando las medidas mínimas.

- 2- Nivelar y compactar el fondo con pisón (rana) o bandeja vibrante.
- 3- Colocar unos pernos en el fondo, coincidiendo aproximadamente con las cuatro esquinas de la base de las arquetas. Marcar en los pernos el nivel al que debe quedar el fondo.
- 4- Realizar antepiso de hormigón de limpieza HM-20, de 15 cm de espesor enrasado con el nivel de los pernos.
- 5- Alisar muy bien el antepiso.

SEGUNDA FASE (DESCARGA DE LA ARQUETA):

- 1- Sujetar las arquetas mediante doble lazo con cable de acero en los tornillos existentes para poderlos levantar mediante gancho de camión pluma
- 2- ATENCION, MUY IMPORTANTE, para cualquier maniobra con la arqueta utilizar siempre los tacos.

- 1- Cable de acero
- 2- Tacos
- 3- Tornillos

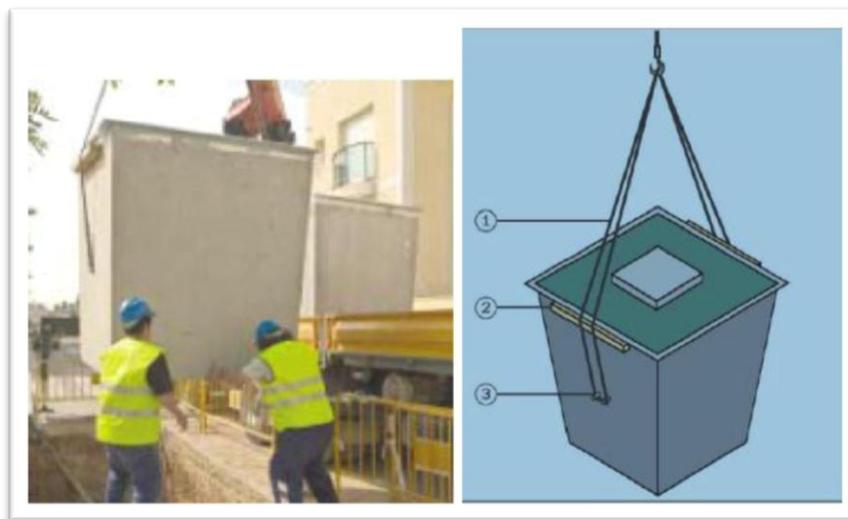


Ilustración 36 Instalación de arqueta
(SOTKON, Disposiciones constructivas, 2016)

TERCERA FASE (COLOCACIÓN Y ACABADOS):

- 1- Colocar las arquetas guardando las distancias indicadas.
- 2- Rellenar los huecos entre las arquetas y el foso con grava auto-compactable.
- 3- Colocar guías de encastro (hormigón o piedra) envolviendo las tapas con una distancia máxima de 2 cm del cerco de las tapas.
- 4- Construir un canal de desagüe en todo el perímetro de cada arqueta o más profundo posible (10cm) entre las guías y el cerco de la tapa.
- 5- Colocar tubos un mínimo de 80 mm de diámetro para salida de aguas.
- 6- Construir el pavimento con las pendientes y desagües indicados, de tal modo que nunca pueda acumularse agua alrededor de las tapas de las arquetas.
- 7- Al colocar las losetas traseras (lado bisagras), verificar que no hay el agarrotamiento de las bisagras con el cemento



**Ilustración 37 Ubicación de arquetas
(SOTKON, Disposiciones constructivas, 2016)**



**Ilustración 38 Relleno de grava entre foso y arqueta
(SOTKON, Disposiciones constructivas, 2016)**

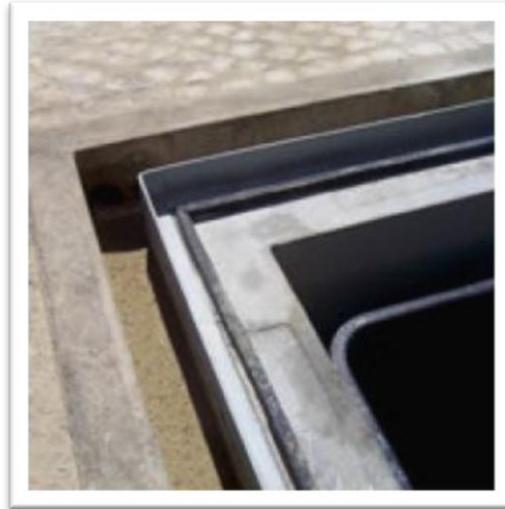


Ilustración 39 Canal de desagüe
(SOTKON, Disposiciones constructivas, 2016)



Ilustración 40 Colocación y remate del pavimento
(SOTKON, Disposiciones constructivas, 2016)

Especificaciones técnicas del sistema soterrado estándar (SOTKON, Especificaciones Técnicas, 2016):

Arqueta de Hormigón: Se trata de un paralelepípedo recto constituido por una solera, dos paredes transversales y dos longitudinales. Todas las paredes están rebajadas en su "sección tipo" para ubicar distintos elementos del mecanismo de apertura y cierre, así como partes sobresalientes del contenedor. Dispone en su solera de un rebaje destinado a la recogida de residuos líquidos y/o elementos de limpieza (SOTKON, Especificaciones Técnicas, 2016).

- Altura interior de la arqueta 3m³: 1.77 m
- Longitud interior: 1.40 x 1.45 m
- Anchura interior: 1.25 m

- Hormigón C30/37
- Acero B-500 S
- Cercos metálicos de acero metalizado
- Elementos varios de suspensión y manejo así como pre-anclajes para la sujeción de las bisagras de la tapa
- Junta de estanqueidad en todo el contorno de la boca de caucho (EPDM)



**Ilustración 41 Arqueta de hormigón
(SOTKON, Especificaciones Técnicas, 2016)**

Tapa de la arqueta de hormigón: Bastidor construido en chapa de acero laminado con los siguientes revestimientos:

- Resina epoxy amarilla, verde, crema, gris o gris granito
- Piedra calcárea
- Piedra de granito



**Ilustración 42 Tapa de la arqueta de hormigón
(SOTKON, Especificaciones Técnicas, 2016)**

Mecanismos de apertura y cierre de la arqueta: El sistema de cierre de la tapa de las arquetas está diseñado para ser manipulado cómodamente por un solo operario. La tapa dispone de bisagras que le permiten abrirse girando en éstas con respecto al marco de la arqueta hasta formar un ángulo próximo a los 90 grados. La operación de apertura la realiza un operario mediante una llave. Inmediatamente se inicia de forma automática la apertura de la tapa en un recorrido de algunos centímetros. El operario ayuda a continuar la apertura de la tapa y a su retención en la última parte del recorrido. De igual forma, el operario ayuda en el inicio del cierre de la tapa, empujando desde el buzón para facilitar la primera parte del recorrido de ésta; de forma automática, la tapa continúa el recorrido de la misma y el operario la cierra con la misma llave con la que la abrió, con un giro de 90°.

Amortiguadores de gas: Para realizar la apertura y cierre de la arqueta se emplean dos cilindros de gas de uso industrial, con el siguiente principio de funcionamiento:

- El amortiguador de gas es un elemento regulador hidroneumático, compuesto por un tubo de presión con una pieza de empalme, un vástago de émbolo con el conjunto del émbolo y una pieza de empalme del vástago del émbolo.
- Un sistema especial de guía y hermetizado estanca del medio ambiente la cámara interior. El amortiguador a gas va relleno de nitrógeno comprimido. La presión de llenado ejerce su efecto sobre la superficie de la sección transversal del vástago del émbolo, creando una fuerza de expansión que puede ser regulada libremente dentro de los límites físicos. Si la fuerza de expansión del amortiguador a gas es superior a la fuerza del contrapeso, el vástago del émbolo se expande, comprimiéndose en caso contrario. La velocidad de expansión es determinada en el conjunto del émbolo, respectivamente en el tubo de presión, mediante la sección transversal del rebose.
- La cámara interior del amortiguador a gas contiene, además de nitrógeno, un volumen exactamente determinado de aceite, tanto para garantizar una lubricación óptima del émbolo y del sistema de guía y hermetizado como para llevar a cabo la amortiguación hidráulica de la posición final.
- El amortiguador a gas trabaja completamente libre de mantenimiento. Su vida útil media está estimada en 50.000 ciclos como mínimo.

Contenedor de base cerrada: El contenedor, gracias a su configuración, tiene una resistencia mecánica excepcional. No tiene ningún material metálico en contacto con los residuos y se compone de los siguientes elementos:

- Depósito y tapa inferior: color negro, es fabricado en polietileno de densidad media con aditivos de resistencia a rayos ultra-violeta.
- Conjunto de herrajes: fabricados en acero galvanizado caliente y sirven para la manipulación del contenedor en el momento de la recogida de residuos.
- Conjunto de piezas roscadas y tornillería: fabricadas en acero inoxidable y sirven para ajustar los herrajes y componentes del contenedor.

El contenedor para residuos del kit tiene una capacidad de 3m³ y las siguientes características:

- Depósito completamente cerrado y estanco para evitar la fuga de lixiviados
- Soportes laterales de acero para la descarga por volteo a través del elevador

- Herraje superior replegable para encaje de un gancho simple
- Cadena y mosquetón para sujetar el herraje durante el volteo para la descarga

Plataforma de seguridad: Dispositivo construido en acero que, cuando el contenedor es retirado del interior de la arqueta de hormigón, ocupa la totalidad de la boca de la arqueta con el fin de evitar una caída accidental en el momento de la recogida. La plataforma de seguridad se mantiene oculta junto a una de las paredes de la arqueta siempre que el contenedor está colocado en el interior de la arqueta. Cuando el contenedor es levantado en el momento de la recogida, el dispositivo bascula hasta la posición horizontal tapando así la boca de la arqueta. Cuando el dispositivo de seguridad está en la posición horizontal durante la recogida del contenedor existen dos cierres colocados en la pared frontal de la arqueta que mantiene el dispositivo seguro y estable. Cuando el contenedor es colocado nuevamente en el interior de la arqueta, los cierres se sueltan mecánicamente por dos pedales que son presionados al mismo tiempo por el contenedor obligando nuevamente al dispositivo a bascular y volver a la posición inicial.

Proceso de recogida de los contenedores de base cerrada:

1. Mediante una llave, la tapa se levanta gracias a 2 amortiguadores de gas.



Ilustración 43 Apertura de la plataforma del contenedor soterrado (SOTKON, Especificaciones Técnicas, 2016)

2. El operario acopla el gancho de la grúa en la argolla del asa de forma manual.



Ilustración 44 Enganche para levantar el contenedor (SOTKON, Especificaciones Técnicas, 2016)



**Ilustración 45 El contenedor es guiado hacia el camión
(SOTKON, Especificaciones Técnicas, 2016)**

3. El contenedor se vacía por el sistema universal de volteo, los lixiviados son volteados con los residuos al camión.



**Ilustración 46 Vaciado del contenedor sobre el camión compactador
(SOTKON, Especificaciones Técnicas, 2016)**

4. Se redirige el contenedor a el interior de la arqueta de hormigón y se cierra la tapa de forma manual.

5. Un solo operario puede realizar todo el proceso. El tiempo estimado de vaciado es de 2 a 3 minutos (SOTKON, Especificaciones Técnicas, 2016).

Ventajas de los contenedores soterrados:

El sistema es simple, atractivo y rentable en términos de costes tanto para la evacuación de residuos reciclables como para residuos indiferenciados.

- Hay reducción de costos operativos.
- Facilita la clasificación de residuos.
- Reduce riesgos ambientales.
- Las diferentes grúas ofrecidas se adaptan a los camiones colectores.

- Los contenedores se adaptan al terreno.
- Bajo costo de mantenimiento.
- Separación en origen.
- Reducción de costos operativos de más del 30%.
- Larga vida útil por calidad de fabricación.
- Diseños adaptados a la ubicación y se integran con el entorno.
- Componentes adaptables.
- Impacto mínimo sobre los actuales métodos de recogida.
- Los componentes son modulares y los elementos principales pueden ser intercambiables entre los diferentes sistemas de residuos.
- Los elementos manuales de algunos componentes pueden ser sustituidos por sistemas eléctricos automáticos controlados a distancia.
- Lavado y mantenimiento sencillo.
- Los contenedores se llenan de forma nivelada debido al montaje centrado de los buzones sobre las tapas.
- Resistencia a la corrosión.
- No permite la entrada de aguas.
- Pueden levantarse, trasladarse y volverse a instalar si ocurren cambios en el trazado de la vía.
- Tamaños disponibles de 3 y 5 metros cúbicos que difieren en su profundidad.

Costos aproximados de una isla de contenedores soterrados

En contacto con la campaña Sotkon, los precios dependen de la calidad de la logística, dado que si el trabajo en campo es demorado por contratiempos o atrasos, los costos aumentan por el alquiler de las maquinarias, mano de obra, etc.

COMPONENTES	COSTO
Arqueta de Hormigón 3m ³	6.810 €
Tapa manual con Epoxi	
Contenedor plástico 3m ³ de base cerrada	
Buzón estándar	
Llave universal	
COSTOS DE TRANSPORTE	963,44 €
Desde el lugar de fabricación hasta Colombia	
TOTAL	7.773,44 €

Tabla 10 Costos básicos isla de contenedores soterrados
Fuente: Datos suministrados por SOTKON Colombia

CONCLUSIONES

En el principio de la investigación presentada, se planteó usar los puntos críticos presentes en el casco urbano de Fusagasugá, como variable a tener en cuenta para la ubicación de los contenedores soterrados, dichos puntos críticos presentados en el Mapa 11 no tuvieron una metodología técnica para su identificación, fueron identificados por los operarios de los camiones recolectores por medio de observación directa y reportando la situación (según la división de aseo de EMSERFUSA) por lo tanto en el desarrollo de la investigación los autores encontraron que dichos puntos no tenían influencia alguna en el resultado del análisis, y dichos puntos críticos se ubicaron espacialmente pero no se tomaron en cuenta en los resultados de ubicación.

Teniendo en cuenta el modelo de tolerancia de 200 metros, el resultado del análisis arrojó que el 58.24% del total de los predios del casco urbano tiene cobertura de contenedores soterrados cubriendo a la vez, el 63.45% del total de la población proyectada por el DANE. Para la tolerancia de impedancia de 200 metros la mayoría de la población, es decir, 23653 personas, deberán desplazarse entre 100 y 150 metros para llegar a un contenedor soterrado, 20499 personas deberán desplazarse entre 50 y 100 metros para llegar a uno, 17557 personas tendrán que desplazarse 150 a 200 metros para depositar sus basuras en un contenedor, y 8333 personas deberán desplazarse máximo 50 metros para encontrar un contenedor soterrado. En promedio, la distancia que debe recorrer la población es de 112.7 metros; 127 ubicaciones para la instalación de contenedores soterrados resultaron como óptimas, es decir escogidas. Como resultado del análisis en el que se buscó cubrir los predios y la población que quedó sin cobertura de contenedores soterrados, el 98.2% del total de los predios sin cobertura y el 93.8% de la población sin cobertura resultó beneficiada, a la vez que fueron seleccionadas 188 ubicaciones como óptimas, para la instalación de contenedores normales, es decir, no soterrados. Al utilizar una tolerancia de impedancia de 200 metros para el análisis para las ubicaciones de contenedores soterrados, se busca que el usuario pueda desplazarse bajo una distancia que se considere accesible.

Como se pudo observar en el análisis posterior, si la distancia de la tolerancia de impedancia es de 300 metros, el usuario debe desplazarse a una distancia mayor para depositar sus residuos en las ubicaciones señaladas, generando que la demanda soportada por cada contenedor sea mayor. La entidad gubernamental municipal bien podría crear una normatividad para que los usuarios se desplacen a distancias mayores o menores, decisiones basadas en estudios de este tipo. Si la tolerancia es de 300 metros el 79.5% del total de los predios tendrá cobertura y la población atendida será del 84.3%, las ubicaciones seleccionadas como óptimas para contenedores soterrados serán 93.

Las estimaciones de las cifras poblacionales por secciones censales y por predios, fueron datos obtenidos del MGN del DANE, indicaron la población urbana censada por áreas que están delimitadas bien sea, por otras secciones censales o por límites geográficos, estos datos se obtuvieron del último censo, claro está, que son proyecciones que tratan de aproximarse a la realidad y a la situación demográfica del municipio.

El resultado del análisis para la selección de las posibles ubicaciones de los contenedores soterrados se fundamentó en la red vial o de transporte, así como la cobertura ofrecida por los contenedores a una distancia máxima de 200 metros (denominado tolerancia de impedancia). Las

estimaciones de la población por viviendas fueron base para el cálculo de los residuos generados por persona, vivienda y según el tipo de desecho.

Teniendo en cuenta el modelo de tolerancia de impedancia de 200 metros, las rutas de los camiones colectores deberían recoger primero las fracciones de plástico y cartón-papel ya que presentaron contenedores con una demanda superior a la capacidad del contenedor soterrado (3 metros cúbicos), hecho que se refleja en la cartografía temática respectiva de tales contenedores (25 contenedores con sobredemanda para la fracción de plástico y 14 contenedores con sobredemanda para la fracción de cartón y papel).

Queda demostrado que el uso de los Sistemas de Información Geográfica junto con la herramienta de análisis de redes, se convierten en instrumentos con una gran utilidad, en problemas como el de optimizar la localización de instalaciones según ciertos criterios específicos, como la tolerancia de impedancia a 200 o 300 metros (la distancia de la vivienda hasta el contenedor).

Los objetivos del proyecto se cumplieron porque se tuvo como base, los diferentes modelos y los análisis respectivos para concluir en el modelo óptimo que resultó cubriendo la mayor cantidad de población y predios, y a la vez, minimizando la cantidad de instalaciones de contenedores; se generó la respectiva cartografía temática de cada modelo resultante del análisis de redes; para facilitar el acceso de este tipo de información, al público en general, se publicaron los resultados del análisis con tolerancia de impedancia de 200 metros en el aplicativo web de ArcGIS online, el cual permite compartir este tipo de información, se puede acceder, visualizar y usar por un usuario habitual en un navegador de internet.

RECOMENDACIONES

Del anterior estudio, se parte del hecho de que la existencia y buena calidad de los datos resulta en aproximaciones más cercanas a realidad, lo cual favorece los resultados al aplicar análisis estadísticos, análisis espaciales y análisis de redes. Partiendo del hecho de que el proyecto tomó como datos base el censo poblacional nacional más reciente y las proyecciones poblacionales del DANE e información vectorial suministrada por la Secretaría de Planeación del municipio. A más de diez años de la realización del último censo nacional (2005), el país necesita un nuevo censo nacional, la proyección de población para el año 2016 debe ser reemplazada por datos actuales que permitan evidenciar los nuevos fenómenos de urbanización y densificación del municipio de Fusagasugá; lo que facilitaría que proyectos de investigación como el presentado, obtengan resultados cercanos a los fenómenos y problemáticas que ocurren.

Durante el desarrollo de la investigación se encontraron problemas para acceder a la información, sería de gran ayuda para este tipo de investigaciones (que toman como insumo datos geográficos), que la entidad gubernamental municipal, es decir, la alcaldía, y las dependencias encargadas, posean medios para acceder libremente a este tipo de información, como bien podría ser, servicios web de acceso público con información geográfica en permanente actualización, evitando los constantes desplazamientos hacia la ubicación física de la entidad y las filas. Otra sugerencia, es que la alcaldía podría tener una base de datos geográficos con información vectorial tipo shape, con una debida actualización y que sea regular, dado que en el momento de la investigación, la información de los predios estaba desactualizada y sin consolidar.

La empresa de servicios públicos de Fusagasugá, EMSERFUSA, debería tener en cuenta investigaciones de este tipo, el resultado se vería reflejado en la toma de decisiones por parte de la misma, sería aprovechable en el sentido de que los recursos económicos y humanos se podrían invertir de un modo mejor, abarcando modelos de soluciones como los presentados, así podrían tener una visión holística, desde el punto de vista cartográfico e informático.

Para posteriores estudios, que tengan relación con la ubicación de contenedores o instalaciones con el mismo fin, sería ideal tener en cuenta que, la investigación desarrollada en el documento estaba encaminada a la viabilidad de contenedores soterrados, por lo tanto, se dio un énfasis especial a este criterio, pero con el fin de dar pie a futuros proyectos, se realizó un análisis, teniendo como ubicaciones candidatas, tanto para contenedores soterrados como para contenedores no soterrados, es decir, que el análisis se realizó con estas dos variables de entrada al mismo tiempo. El resultado fue que de las 186 posibles ubicaciones para contenedores soterrados y 2512 posibles ubicaciones para contenedores no soterrados, 247 ubicaciones resultaron óptimas, de las cuales sólo 2 son para contenedores soterrados, el 99.2% del total de los predios fue cubierto (27681/27882), la población cubierta fue del 97.75% (107910/110388).

REFERENCIAS

- ArcGIS. (2016). *ArcGIS Resource Center*. Recuperado en Octubre de 2016, de <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/004700000032000000/>
- ArcGIS. (2016). *sitio Web de ArcGIS for Desktop*. Recuperado en Octubre de 2016, de Información general sobre capas de análisis de red - Análisis de ubicación y asignación: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/network-analyst/location-allocation.htm>
- Arévalo García, R., & Martínez Hita, j. (2009). *Sistema de Información Geográfica (SIG) para la gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) del municipio del Prat de Llobregat*. Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona.
- ASOCENTRO, & BOGOTÁ, C. D. (2010). *Plan de desarrollo turístico de la provincia de Sumapaz y Sibaté*. Bogotá D.C.
- ARNOFF, S. 1989. *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. Ottawa: WDL Publications.
- Bartolomé, A. (1999) Hipertextos, hipermedia y multimedia: configuración técnica, principios para su diseño y aplicaciones didácticas. En Cabero, J. (coord.). *Medios audiovisuales y nuevas tecnologías para la formación del siglo XXI*. Murcia: DM
- BURROUGH, Peter, McDonnell R., Lloyd C. 1986. CLARENDON PRESS, *Principles of Geographical Information Systems*
- Bosque Sendrá, J. (1997): "Sistemas de información geográfica" (pgs. 206-231). Madrid, Rialp
- CONPES. 2004. *Políticas y Estrategias del Gobierno Nacional para el Manejo Integral de los Residuos Sólidos en el marco de la prestación Servicios Públicos de Aseo*. Documento. Bogotá. 6, 23-26 pg.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (1998). *Small and decentralized wastewater management systems*. Nueva York: McGrawHill.
- CYDEP SAS, 2015. *Contrato N° 291 de 2015 Ajuste de los PGIRS de 3 municipios de Cundinamarca - Ajuste al PGIRS de Fusagasugá - Informe N° 2*. Bogotá D.C.
- DANE. 2005 *Departamento administrativo nacional de estadística, Dirección de censos y demografía, Metodología Proyecciones de Población y Estudios Demográficos PPED*
- DANE. (2016). *Aplicativos Web y Móviles del Geoportal del DANE*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística - Dirección de Geoestadística DIG - Grupo de Modernización.
- Department of the Environment (DoE), 1987. *Handling Geographic Information*. HMSO, Londres
- DENSHAM, Paul J. 1991. *Spatial Decision Support Systems*. En *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, eds. David Maguire, Michael Goodchild y David Rhind, London: Logman.

DENSHAM, Paul J. y Gerard Rushton. 1992. Strategies for solving large location-allocation problems by heuristic methods. *Environment and Planning*.

ECUADOR VERDE, 2014 Quito ya cuenta con un sistema de contenedores soterrados. Primer portal de sostenibilidad en Ecuador.

ESRI. (2016). Ayuda de ArcGIS online. Obtenido de Sitio web de ESRI ArcGIS:
<https://doc.arcgis.com/es/arcgis-online/reference/what-is-agol.htm>

Fuenzalida Días, M., Gómez Delgado, M., de Luz Medel, C., Olaya Ferrero, V., Oliveros Escribano, D., Liliana Ramírez, M., y otros. (2011). *Sistemas de Información Geográfica y Localización Óptima de Instalaciones y Equipamientos*. Madrid: RA-MA Editorial y Publicaciones S.A.

Fusagasuá, C. M. (2001). *Acuerdo N° 29 DE 2001*. Fusagasugá.

GÁMIR ORUETA, A. 1995. Análisis de áreas. En: GÁMIR ORUETA, A.; RUIZ PÉREZ, M.; SEGUÍ PONS, J.M. 1995. *Prácticas de análisis espacial*. Oikos-tau Barcelona.

GOBIERNO NACIONAL. 2012. Ley 1549 del 6 de Julio del mismo año.

GÓMEZ DELGADO, M.; BARREDO CANO, J.I. 2006. *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Alfaomega Ra-Ma. México

Gutierrez Puebla, J., Gould, M. (1997): "SIG: Sistemas de Información Geográfica" (pgs. 185-188). Madrid, Síntesis

JARAMILLO Jorge. 2003. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente; Efectos de la inadecuada gestión de Residuos sólidos; Universidad de Antioquía, Medellín.

MAIRE, P., Blunier, P., 2006. Underground planning and optimisation of the underground resources' combination looking for sustainable development in urban areas. Proc. Going Underground: Excavating the Subterranean City, Manchester.

Marquez Perez, J. (2004). *I Curso de experto universitario en sistemas de información geográfica*. Sevilla.

MINISTERIO DE EDUCACIÓN. Agosto 2005. Al tablero. Educación ambiental construir educación y país.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico y Ambiental República de Colombia, Gestión Integral de Residuos sólidos, Seminario Sobre Aprovechamiento y Manejo de los Residuos Sólidos, Manizales, mayo 5 del 2004

MORENO JIMÉNEZ, A. (1995): "Planificación y gestión de servicios a la población desde la perspectiva territorial: algunas propuestas metodológicas", *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 20, 1995

OMS, 1997. Programa a Largo Plazo de control de la Contaminación Ambiental, Copenhague. 15.18 pg



Quiñonez Marquez, E. (1997). Distribución espacial de riesgos de degradación de suelos en el estado de Mérida: Aplicación de un Sistema de Información Geográfica. Mérida, Venezuela: Centro Interamericano de desarrollo e investigación ambiental y territorial - Universidad de los Andes.

ROSENFELD, ELÍAS. Marzo de 2008. Modelo sistémico para el manejo con SIG de indicadores de calidad de vida. Análisis geoestadístico de un SIG. Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

Rojas Castillo, L. D., Gallardo Izquierdo, A., & Piñero Guilamany, A. (2011). La distancia del domicilio al contenedor como un factor influyente en la frecuencia de separación de residuos urbanos . *4 Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos y 4 Encuentro Nacional de Expertos en Residuos Sólidos - Hacia la sustentabilidad: los residuos sólidos como fuente de materia prima y energía* , (págs. 209-2013). México D.F.

Rubio Barroso, A., & Gutierrez Puebla, J. (1997). Los sistemas de información geográficos: Origen y perspectivas. *Revista General de Información y Documentación* , 7 (1).

SEPÚLVEDA. Luis, 2006. ACODAL OCCIDENTE, Aprovechamiento de residuos reciclables en Colombia y en el valle de Aburrá, Cali.

SOTKON. (2016). Disposiciones constructivas. 2 páginas. Documento suministrado bajo condición académica por Carmen Xiomara Infante S Representante en Colombia de la empresa SOTKON, Colombia

SOTKON. (2016). Especificaciones Técnicas. 29 páginas. Documento suministrado bajo condición académica por Carmen Xiomara Infante S Representante en Colombia de la empresa SOTKON, Colombia.

SOTKON. (2016). Grúas. 7 páginas. Documento suministrado bajo condición académica por Carmen Xiomara Infante S Representante en Colombia de la empresa SOTKON, Colombia.

TOMLINSON, Roger. 1987. ESRI PRESS. Thinking about GIS, Geographic Information System Planning for Managers.