

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES LANDSAT PARA IDENTIFICAR ÁREAS HABITADAS
AFECTADAS POR LA ZONA DE INFLUENCIA DEL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA (RSDJ),
BOGOTÁ D.C., COLOMBIA.**



RAFAEL ANTONIO HINCAPIE CARRILLO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

ESPECIALISTA EN GEOMÁTICA

Director:

FELIPE ALFREDO RIAÑO PÉREZ

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA
BOGOTÁ, JULIO 5 DE 2018**

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES LANDSAT PARA IDENTIFICAR ÁREAS HABITADAS AFECTADAS POR LA ZONA DE INFLUENCIA DEL RELLENO SANITARIO DOÑA JUANA (RSDJ), BOGOTÁ D.C., COLOMBIA.

MULTI-TIMER ANALYSIS OF LANDSAT IMAGES TO
IDENTIFY INHABITED AREAS AFFECTED BY THE
INFLUENCE ZONE OF THE DOÑA JUANA SANITARY
FILLING (RSDJ), BOGOTÁ D.C., COLOMBIA.

Rafael Antonio Hincapie Carrillo
Ingeniero Catastral y Geodesta, Postulado a Especialista en Geomática
Estudiante de posgrados de la UMNG
Universidad Militar Nueva Granada
Bogotá D.C., Colombia
u3101395@unimilitar.edu.co

RESUMEN

El Relleno Sanitario de Doña Juana (RSDJ), desde su inauguración en el año 1987, ha tenido varios inconvenientes, tanto en la parte técnica como en la administrativa, un derrumbe presentado en el año 1997, en una de las áreas de almacenamiento de residuos sólidos, derivó en que el Distrito indemnizara parte de la población con 1.270.000.000 millones de pesos, habitantes afectados en su salud dentro de una zona de influencia delimitada por sentencia judicial; pese a lo ocurrido no se han aplicado los planes concretos para el control de la construcción en suelos urbanos, rurales y de expansión urbana cercanos al Relleno; mediante la demarcación del RSDJ en dos periodos de tiempo, en las imágenes Landsat 5 TM del año 1997 y Landsat 8 OLI del año 2015, se busca hallar el porcentaje de cambio de las áreas construidas afectadas por el derrumbe en 1997 y si este se hubiera presentado en 2015; la metodología aplicada para realizar la tarea es semi-automática, primero, se creará la Base de Datos Geográfica (GDB), con los datos de la digitalización de áreas útiles del relleno en los años 1997 y 2015, segundo, la creación con la herramienta Buffer de las zonas afectadas por este en las dos fechas, tercero, se ejecuta la clasificación supervisada de imágenes por máxima verosimilitud, donde se obtiene el área afectada para cada año, cuarto, se realiza un corte entre las clasificaciones para extraer la diferencia de las zonas, de modo que se calcula la cantidad aproximada de nuevos suelos construidos; cabe resaltar la baja diferencia en el resultado en cuanto al crecimiento de zonas construidas, por lo que se esperaban cambios significativos asociados al tiempo transcurrido entre las imágenes, ligados al crecimiento dinámico de la población en el Distrito Capital, aunque se debe tener en cuenta el desarrollo de construcciones en altura, política impulsada para mitigar la necesidad de vivienda de la población, además la baja resolución espacial en las imágenes implica sesgos en la clasificación supervisada.

Palabras Clave: Relleno Sanitario, Biogás, Lixiviados, Multitemporal, Clasificación Supervisada.

ABSTRACT

The Sanitary Landfill Doña Juana (RSDJ), since its inauguration in 1987, has had several drawbacks, both in the technical and administrative, a landslide presented in 1997, in one of the areas of waste storage solid, resulted in the District compensating part of the population with 1,270,000,000 million pesos, inhabitants affected in their health within a zone of influence defined by judicial decision; In spite of what happened, the concrete plans for the control of the construction in urban, rural and urban expansion soils close to the Landfill have not been applied; By means of the delimitation of the RSDJ in two periods of time, in the Landsat 5 TM images of the year 1997 and Landsat 8 OLI of the year 2015, it is sought to find the percentage of change of the built areas affected by the collapse in 1997 and if this had presented in 2015; the methodology applied to perform the task is semi-automatic, first, the Geographical Database (GDB) will be created, with the data from the digitization of useful areas of the landfill in the years 1997 and 2015, second, the creation with the Buffer tool of the areas affected by this in the two dates, third, the supervised classification of images is executed by maximum likelihood, where the affected area is obtained for each year, fourth, a cut is made between the classifications to extract the difference of the zones , so that the approximate quantity of new constructed soils is calculated; It is worth highlighting the low difference in the result in terms of the growth of built-up areas, so significant changes were expected associated with the time elapsed between the images, linked to the dynamic growth of the population in the Capital District, although it should be taken into account. development of height constructions, policy driven to mitigate the need for housing of the population, in addition the low spatial resolution in the images implies biases in the supervised classification.

Keywords: Landfill, Biogás, Leachate, Multitemporal, Supervised Classification.

INTRODUCCIÓN

Los rellenos sanitarios a cielo abierto para la disposición de desechos sólidos (Basuras) a nivel mundial, desde mediados del siglo XX, son utilizados como alternativas de manejo de estos residuos (Noguera & Olivero, 2010), son cuantificados y calificados por su eficacia y eficiencia de acuerdo a su vida útil, lo que deriva en un experimento de prueba y error a la hora de evaluar los riesgos en el ambiente y en los seres humanos, gracias al desarrollo tecnológico de los últimos tiempos, la búsqueda de un equilibrio con él planeta, se mejoran las técnicas de disposición de residuos con el reciclaje, el manejo de sustancias y objetos peligrosos, que disminuyen el riesgo en los rellenos sanitarios en funcionamiento (Yan et al., 2014), y a su vez, el desarrollo de investigaciones son una nueva alternativa en el manejo de residuos en las ciudades más habitadas del mundo.

En Colombia los rellenos sanitarios, han sido implementados gradualmente en ciudades principales, así como en contados municipios, bajo una administración público-privada en la mayoría de los casos, lo que ha derivado en deficiencias en el manejo y atención de eventuales accidentes ambientales, (Noguera & Olivero, 2010), ejemplo claro tenemos el Relleno Sanitario de Doña Juana (RSDJ), ubicado al sur occidente de la ciudad de Bogotá D.C., sitio donde se manejan todos los residuos de la ciudad capital, ciudad en constante crecimiento, con precarias políticas de disposición de basuras y otros elementos altamente contaminantes, teniendo en cuenta que todo relleno sanitario presenta emisiones de biogases perjudiciales para la salud, lixiviados que contaminan aguas subterráneas y superficiales que inciden de manera negativa en el ambiente, (Olaya, 2001).

Asimismo, desde los estudios de pre factibilidad en el inicio de la década de los años 80, el RSDJ fue centro de críticas por su cercanía al área habitacional urbana y rural de las localidades Usme y Ciudad Bolívar (Moreno, 2001), población en su mayoría de clasificación vulnerable, ausentes de planificación, deficientes en servicios públicos por ser consolidados a partir de urbanizaciones sin licencia de construcción, en ejidos circunvecinos a la zona metropolitana de Bogotá; por causa de esto, la población en cabeza de la juntas de acción comunal solicitan ubicar el Relleno en un lugar lejos de sus casas o por el contrario mejorar los estudios técnico ambientales que aseguren a la administración del RSDJ, la disminución del impacto negativo a nivel social en la zona el desarrollo de dicho proyecto, (Alexakis & Sarris, 2014).

Sin embargo, la creciente necesidad de disponer un sitio para el manejo de los residuos sólidos mixtos derivada de la migración de población a la capital de Colombia en la década de los 70 y 80, generó dificultades de saturación resultando el fin de la vida útil del relleno sanitario existente para la época, el Botadero de Gibraltar situado en la Localidad de Bosa, en consecuencia el proyecto RSDJ adquiere aproximadamente 120 Hectáreas (ha) de los terrenos requeridos cercanos al sector de Mochuelo e inicia operaciones en el año de 1988 con la recolección de aproximadamente 5.000 toneladas diarias de desechos (Olaya, 2001), producidos por al menos 4.6 millones de habitantes, según datos de población dadas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), para la época.

Es así como el incremento gradual de la población en Bogotá, específicamente en las localidades cercanas al relleno, la deficiencia técnica constructiva y dotacional, la combinación de factores geomorfológicos y climáticos, derivan en el primer accidente ambiental ocurrido el 27 de septiembre de 1997, donde la zona II del RSDJ sufre el derrumbe de aproximadamente 1 millón de toneladas de residuos (Méndez et al., 2014), quedando expuestos a cielo abierto, provocando la expulsión de biogases peligrosos al ambiente, también el derrame en mayor proporción de lixiviados a cursos de aguas superficiales, además parte de los desechos taponan fuentes hídricas utilizadas para la disposición final de sistemas artesanales de alcantarillado, como es el cauce del río Tunjuelo, todos estos factores afectaron directamente la salud de la población, debido a esto el gobierno Distrital declaró la emergencia sanitaria y ambiental.

Considerando este acontecimiento se encontró la poca disposición para la planificación del territorio afectado por el RSDJ, observándose como el crecimiento urbano no fue ni ha sido controlado o planificado por la administración Distrital (Torres, 2017), lo que permite inferir que la ausencia de políticas públicas para regular los asentamientos demográficos en esta zona, derivan en la baja calidad de vida de los habitantes y se convierten en un problema de salud pública que afectan la economía de la ciudad (Ferrer & Pinzón, 2009).

Por consiguiente, el Distrito fue demandado y tuvo que indemnizar los vecinos del sector, con una compensación económica de 1.270.000.000 millones de pesos, asimismo para definir quiénes tenían derecho a la reparación, se optó por solicitar documentos públicos que corroboraran residencia, trabajo o estudio en la zona para la fecha del incidente, también se crea un plan de riesgo con las áreas de influencia en niveles de alto, medio y bajo impacto para la identificar los sectores cercanos al RSDJ (Romero, 2012), se le asigna una distancia a cada nivel, de este modo: 0 a 1.5 Kilómetros (km) para el nivel alto, 1.5 a 3 km para el nivel medio y 3 a 5 km para el nivel bajo, en un radio de 5 km.

Finalmente, se hace necesario realizar un análisis multitemporal, entre las imágenes satelitales de los años 1998 y 2015, que permitan evaluar la razón de cambio en las áreas habitadas urbanas y rurales, dentro de los 5 k de la zona de influencia del RSDJ (Munizaga, 2017), de ahí que se determine en qué porcentaje aumentan los sectores construidos en el perímetro de la ciudad, afectados por el Relleno para las dos épocas.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se especifican los insumos que junto a los procesos de estudio permitirán la aplicación de herramientas propias de la Geomática, para visualizar momentos relevantes de la administración del RSDJ en el manejo de obras que afectaran directamente a la población, las cuales repercutirán en la economía Distrital, ligadas con el desarrollo colectivo e individual, es decir herramientas que evalúan no solo eventos pasados y presentes, sino que permitirán tomar medidas por los errores cometidos para evitar su repetición.

1.1. Imágenes de Estudio

Para el desarrollar del ejercicio se utilizaran imágenes Landsat de los años 1997 y 2015, que tendrán un porcentaje bajo de nubosidad en la zona de estudio, a su vez presentan un primer nivel de procesamiento como es la corrección geométrica, adquiridas de forma gratuita en la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

1.1.1. Imagen satelital multi espectral Landsat 5 TM del 30 de Agosto de 1997, Resolución espacial 30 m.

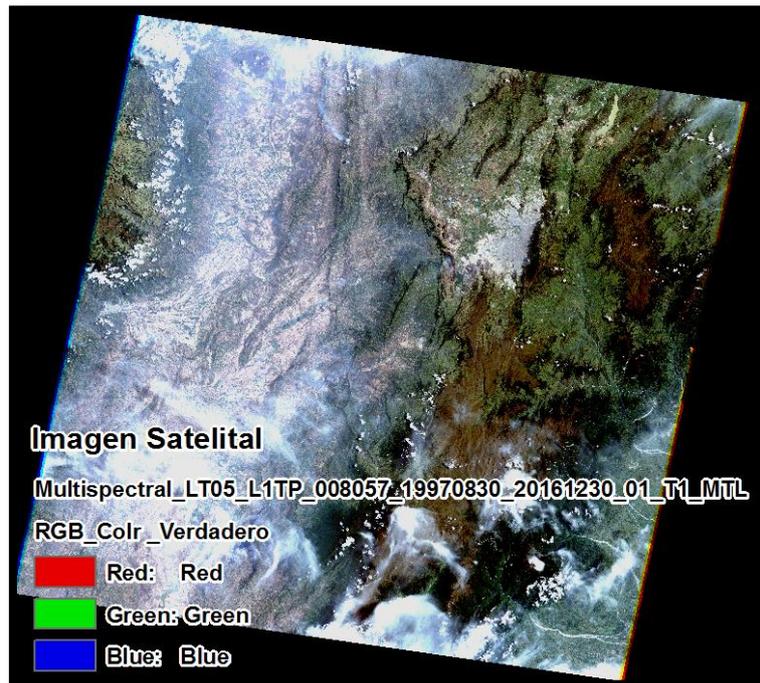


Fig 1. Imagen Landsat 5.
Fuente: Elaboración propia.

1.1.2. Imagen satelital multi-espectral Landsat 8 OLI del 21 de Febrero de 2015, resolución espacial 30 m.

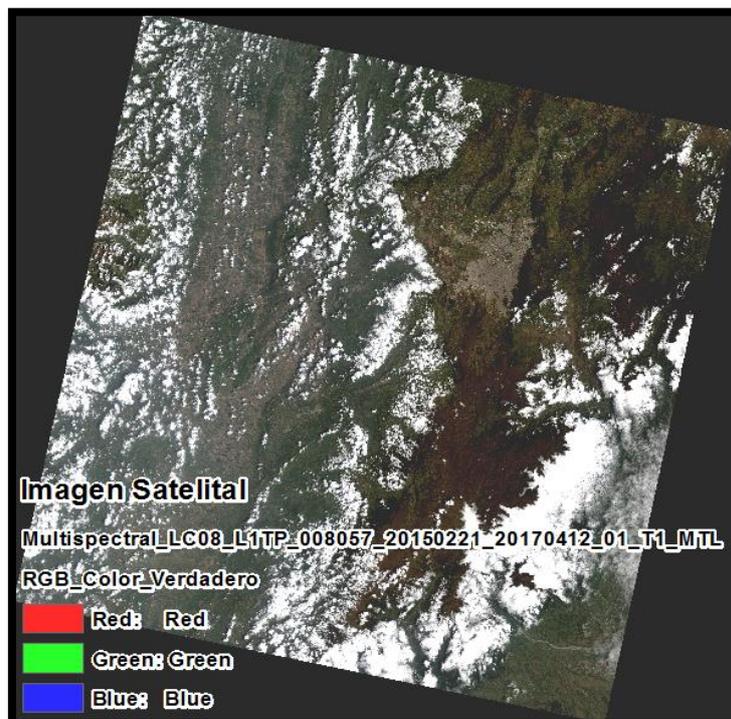


Fig 2. Imagen Landsat 8.
Fuente: Elaboración propia.

1.2. Software y Hardware

Por otro lado, en cuanto a herramientas tecnológicas se usara un computador personal configurado con el programa comercial ArcGis, suministrado por la Universidad Militar Nueva Granada con licencia académica.

1.2.1. Software ArcGis Versión 10.5 académica.

1.2.2. Computador personal AMD Athlon 64 X2 dual core processor 4400 2.31GHz, Memoria RAM de 2 Gb.

1.3. Descripción del Área de Estudio

El Relleno Sanitario Doña Juana (RSDJ) tiene actualmente un área aproximada de 500 ha, 230 ha donde se distribuyen las zonas para el manejo de los residuos, las zonas restantes son de protección, está ubicado al Sur Occidente de la zona urbana de la ciudad de Bogotá, con mayor extensión en el suelo rural de la localidad 19 Ciudad Bolívar, como se muestra en la Fig. 3, ocupa parte del área rural, urbana y de expansión urbana de la localidad, limita con el Río Tunjuelo y la localidad 5 de Usme en su costado oriental, con el municipio de mochuelo bajo y alto por el costado sur occidental, se observan pendientes que oscilan entre los 15° en las zonas antiguas y 50° en la zonas nuevas del relleno, al estar situada en la parte media baja de la zona montañosa.

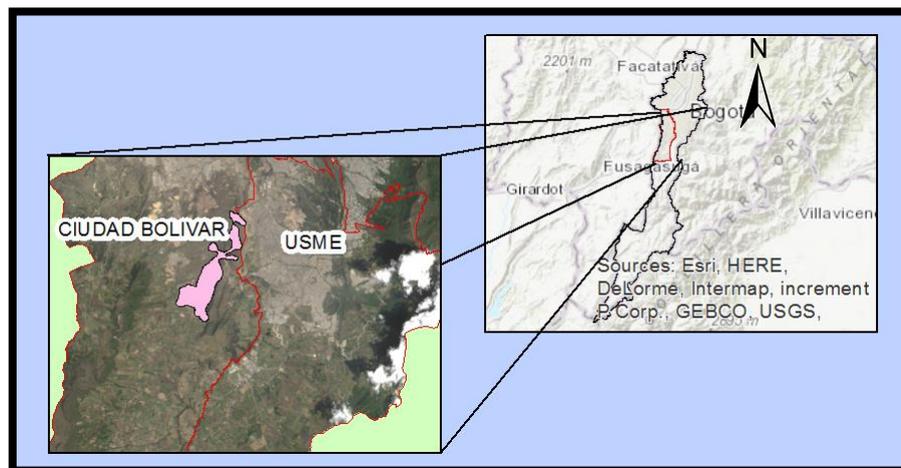


Fig 3. Ubicación RSDJ.
Fuente: Elaboración propia.

1.4. Métodos Utilizados

La metodología utilizada es semiautomática, intervienen, tanto en el trabajo de captura de información vectorial teniendo como base la información raster, como en la clasificación supervisada de imágenes, y el analista con ayuda del software y el hardware.

Como se sabe la demanda contra del Distrito Capital, por el daño ambiental y el perjuicio directo en la salud de los habitantes aledaños al RSDJ, permiten distinguir un límite geográfico totalmente aparte de los 5 km de distancia,

dispuestos por el proceso jurídico, será lo correspondiente a el área metropolitana, definida por límites de la ciudad y los límites de algunas de sus localidades, creando un Área de Interés (AOI).

Así entonces en esta parte se dibujarán en la Base de Datos Geográficos (GDB), el AOI, las zonas en uso donde se ubican los residuos sólidos del RSDJ de las imágenes Landsat a trabajar, luego se creará el buffer con la distancia radial para identificar el nivel de afectación, acto seguido se aplicara la clasificación supervisada buscando las construcciones en cada imagen, lo que permitirá obtener polígonos representativos con un valor numérico de las áreas, necesarias para deducir cambios relevantes del estudio.

1.4.1. Creación y Digitalización GDB

Se crea la GDB, donde además se forma el feature dataset en coordenadas planas, las mismas coordenadas de las imágenes, como se muestra en la Tabla 1, que permitirán realizar mediciones cartesianas en distancias y en áreas, se crean por último los feature class del área de interés, la zona en operación del relleno del año 1997 y la zona de operación del relleno del año 2015.

Tabla 1. Sistema de coordenadas.

Coordinate System	WGS 84 UTM zone 18N
Projection	Trasverse Mercator
Datum	WGS 1984
False easting	500.000,0000
False northing	0,0000
Central meridian	-75,0000
Scale factor	0,9996
Units	Meter

Fuente: Elaboración propia.

Se toma como cartografía base el shapefile de los polígonos de las localidades de Bogotá, se re proyecta a las coordenadas de las imágenes Landsat, luego se copia este shapefile y se pega en el feature class área de interés, de tipo polígono, se edita eliminando las localidades que no intervienen en el análisis, dejando los polígonos de las localidades a usar, se unen formando un único polígono que será el área de interés.

El área de interés sirve como ubicación para la digitalización de las zonas de operación del RSDJ, se inicia con la imagen del año 1997, donde se captura, en la combinación de bandas RGB 321 color natural, zonas intervenidas para el funcionamiento del relleno, de igual manera con la imagen del año 2015 en la combinación de bandas RGB 432 color natural, se anexa, al polígono ya existente el nuevo polígono de las zonas intervenidas, el resultado son dos polígonos, el primero simboliza el tamaño del relleno en el año 1997, el segundo anexa al primero el nuevo tamaño para el año 2015, como se muestra en la Fig. 4.

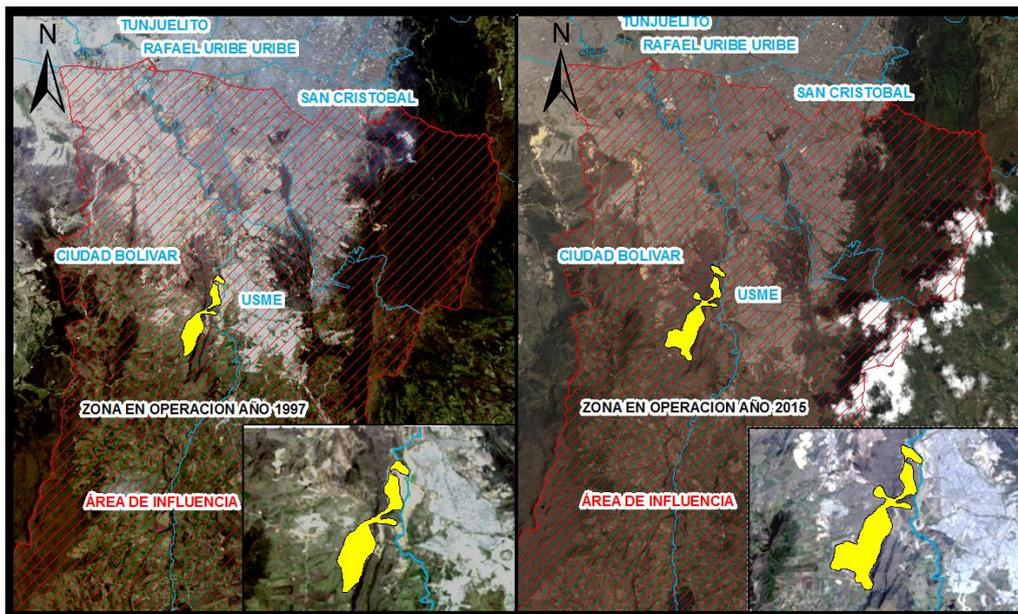


Fig 4. Zonas en operación para el año 1997 y 2015.
Fuente: Elaboración propia.

1.4.2. Generación del Buffer

Creados los dos polígonos se utiliza la herramienta buffer para crear las zonas de influencia, o zonas afectadas por el relleno, se categorizó en tres grupos, el primero corresponde a todos los elementos situados entre 0 y 1.5 km del relleno, un segundo situado entre 1.5 y 3 km, y un tercer situado entre 3 y 5 km, como se muestra en la Fig. 5, respetando la distancia dada en el fallo judicial, resultado que permite tener la áreas perjudicadas por el derrumbe del año 1997, asimismo nuevas áreas para modelar el caso en el año 2015.

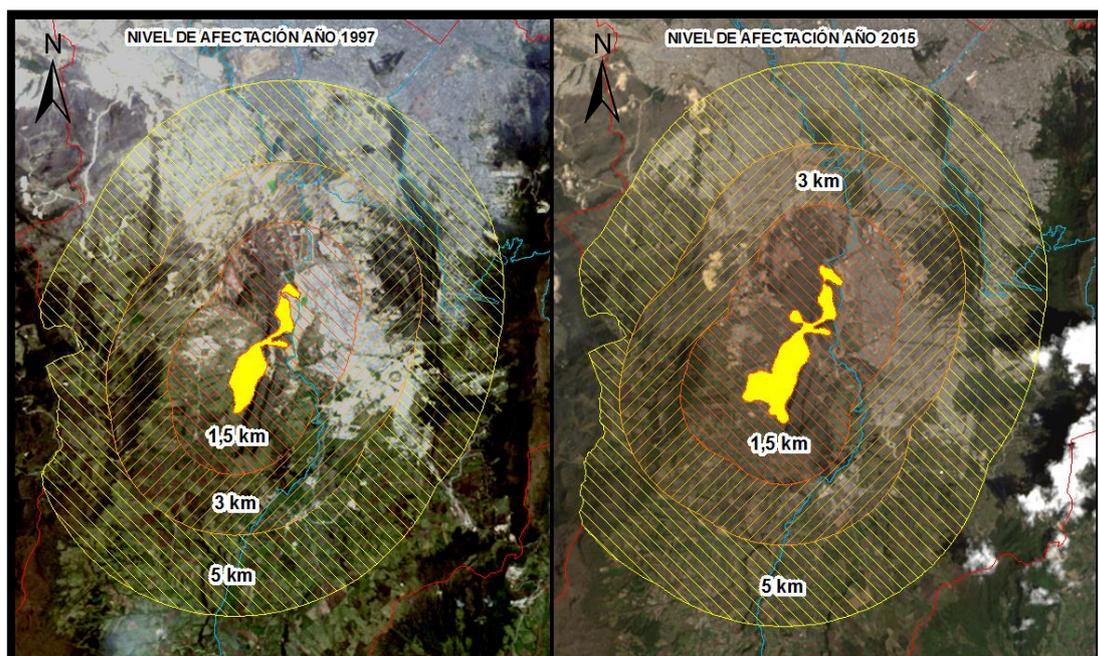


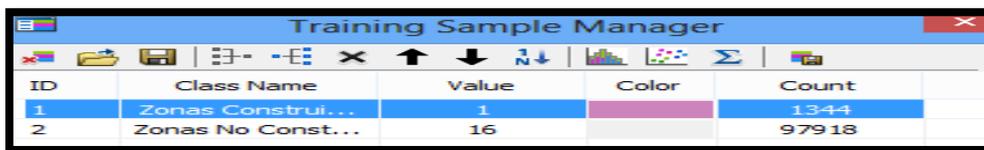
Fig 5. Zonas afectadas por el RSDJ para el año 1997 y 2015.
Fuente: Elaboración propia.

1.4.3. Clasificación Supervisada

Con el área de interés se realiza el recorte de las imágenes Landsat, se sabe que el área de las imágenes originales es bastante grande, lo que resultaría en procesos largos llenos de información redundante, disminuyendo la eficiencia del ejercicio.

Para la imagen Landsat 5 TM del año 1997, se aplica una combinación RGB **432** falso color, de la misma forma para la imagen Landsat 8 OIL del año 2015, una combinación RGG **543** falso color, que permite una visualización óptima de las diferentes coberturas, coberturas indispensables para la realizar un buen ejercicio de clasificación supervisada.

En este caso es necesario activar la herramienta clasificación de imágenes (Image Classification), en la interfaz ArcMap, se agrega a la barra de tareas. En la ventana se selecciona la imagen a trabajar, para el ejercicio, la imagen Landsat 5 TM, utilizando el icono para la captura de los polígonos de entrenamiento, se le asignan parámetros al software para que identifique las coberturas, en este ejercicio se manipularan dos clases de entrenamiento, zonas construidas y las zonas no construidas, como se muestra en la Fig. 6, se utilizara para la imagen Landsat 8 OIL similares polígonos de entrenamiento.



ID	Class Name	Value	Color	Count
1	Zonas Construi...	1		1344
2	Zonas No Const...	16		97918

Fig 6. Polígonos de entrenamiento.

Fuente: Elaboración propia.

Terminados los polígonos de entrenamiento, se ejecuta la clasificación supervisada por máxima verosimilitud, en las imágenes Landsat del año 1997 y 2015, como se muestra en la Fig. 7, como el resultado de la clasificación es en formato raster, es necesario realizar la conversión a formato vector, para el caso del ejercicio tipo polígono, ya que se quiere determinar las áreas halladas asociadas a la cobertura de construcciones en cada imagen.

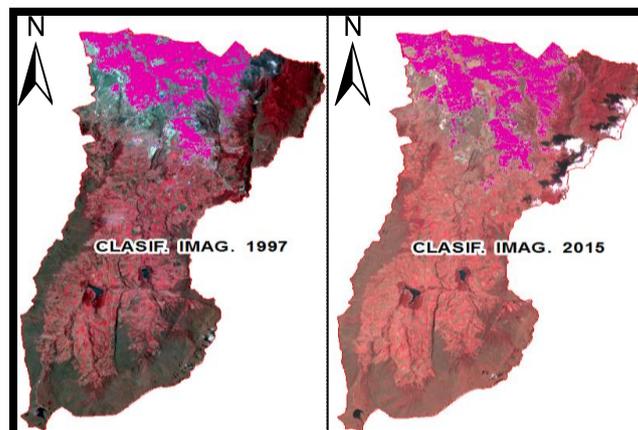


Fig 7. Clasificación supervisada imágenes Landsat.

Fuente: Elaboración propia.

2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En los polígonos resultantes de la transformación raster, se aplica un corte con las capas de las zonas de influencia del RSDJ, como se muestra en la Fig. 8, para visualizar las zonas clasificadas como urbanas afectadas espacialmente, también se observa un pequeño cambio por la multi-temporalidad de la imagen del año 1997 con respecto a la imagen del año 2015.

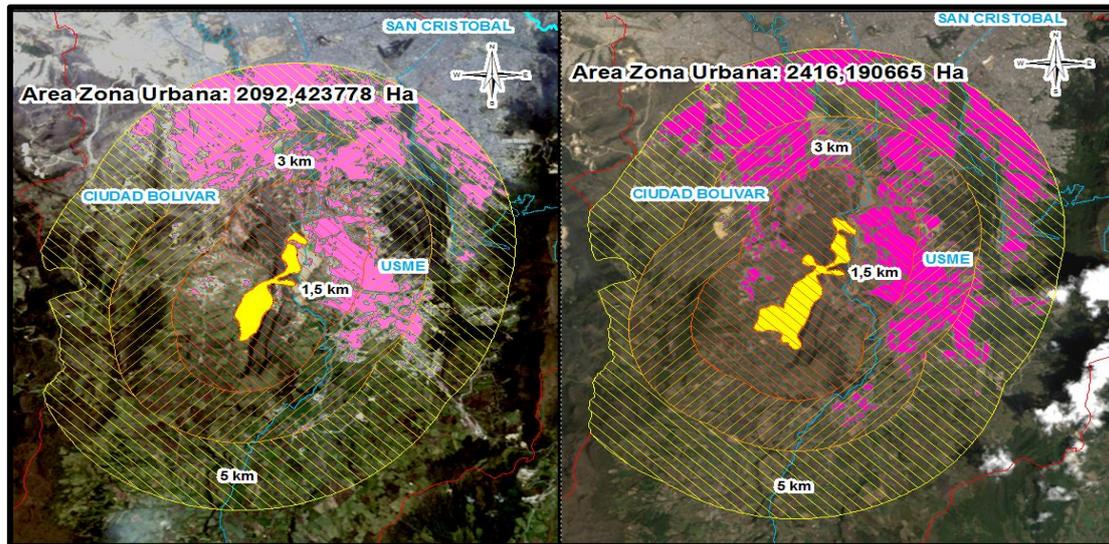


Fig 8. Resultado de las áreas construidas afectadas por el RSDJ.
Fuente: Elaboración propia.

Al efectuar el corte de las áreas afectadas se realiza un traslape, como se muestra en la Fig. 9, con el fin de identificar el cambio o crecimiento de las zonas urbanas del año 2015 con respecto a las del año 1997, sabiendo que en ese mismo lapso de tiempo creció el área operativa del relleno.

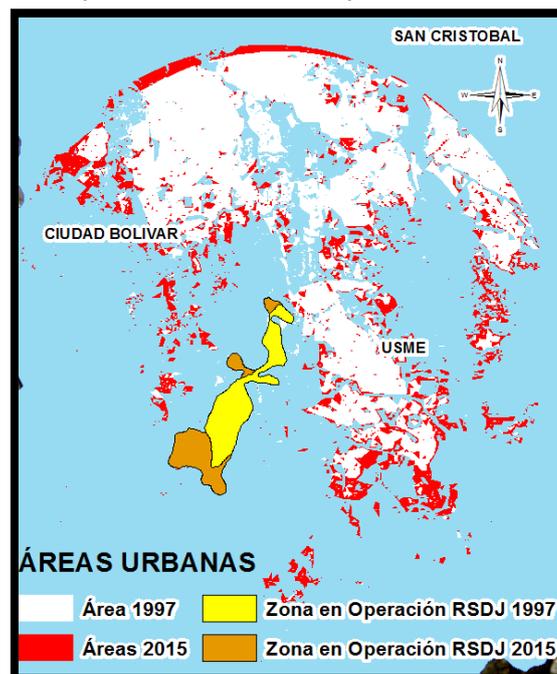


Fig 9. Diferencia áreas urbanas años 1997 y 2015.
Fuente: Elaboración propia.

Al realizar el análisis cuantitativo de las zonas que resultaron afectadas por el relleno, como se muestra en la Tabla 1, se observó un cambio en estas áreas de un 15,5% de una imagen a otra como se muestra en la tabla 2 y la Fig. 10.

Tabla 2. Resultado zonas.

IMAGEN	ÁREA ZONA CONSTRUIDA	DIFERENCIA DE ÁREA	PORCENTAJE DE CAMBIO
Año 1997	2092,5 ha		
Año 2015	2416,1 ha	323,6 ha	15,5%

Fuente: Elaboración propia.



Fig 10. Gráfico barras años 1997 y 2015.

Fuente: Elaboración propia.

3. CONCLUSIONES

Los resultados del análisis multitemporal aplicado a las imágenes Landsat muestran que la distribución espacial de las nuevas zonas construidas en el área rural, urbana y de expansión urbana de Bogotá D.C., no tienen un patrón definido en el territorio, esto quiere decir que el crecimiento de la ciudad sigue igual que en épocas anteriores, por la ausencia de planificación urbanística que permita el crecimiento ordenado de la ciudad

Se identifican nuevas zonas construidas que constituyen un 15% más que las existentes en el periodo de tiempo entre las imágenes analizadas (18 Años), para una ciudad que creció en población más de un 50% en este periodo, lo que permite inferir que al presentarse un nuevo episodio el costo económico y en salud para la ciudad será mayor.

Se debe tener en cuenta el desarrollo de construcciones en altura política impulsada para mitigar la necesidad de vivienda de la población, incide en la ocupación espacial porque en el desarrollo del ejercicio no se analiza la variable número de pisos construidos.

Las zonas afectadas por el RSDJ, limitadas por la distancia ordenada en la demanda al distrito, presentan sesgos en la imagen del año 1997, por las deficiencias técnicas de esta.

Para mejorar u optimizar un estudio en el futuro, se deben utilizar nuevas herramientas tecnológicas para la adquisición de imágenes, que permitan junto con la recolección de datos en campo y la vectorización de datos maximizar el porcentaje de confianza del estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Alexakis, D. D., & Sarris, A. (2014). Integrated GIS and remote sensing analysis for landfill siting in Western Crete, Greece. *Environmental earth sciences*, 72(2), 467-482

Ferrer Tengono, L., & Pinzon Molina, A. D. P. (2009). Acercamiento a las afectaciones socioeconómicas en la comunidad del barrio mochuelo de la localidad de ciudad bolívar frente al impacto ambiental del relleno sanitario doña juana.

Noguera, K. M., & Olivero, J. T. (2010). Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 34(132), 347-356.

Méndez, F., Gómez, O., Girón, S., Mateus, J., Mosquera, J., Filigrana, P., & Gullosio, L. (2006). Evaluación del impacto del relleno sanitario Doña Juana en la salud de grupos poblacionales en su área de influencia. *Internet: <http://www.cerrarelbotadero.org/inicio/archivos/EstudioEpidemiologicoRSDJ.pdf>*.

Moreno Murillo, J. M. Fotointerpretación y dinámica del deslizamiento en el relleno sanitario de doña juana, bogotá–colombia. *Geología Colombiana-An International Journal on Geosciences; Vol. 26 (2001); 153-175 Geología Colombiana; Vol. 26 (2001); 153-175 2357-3767 0072-0992*.

Munizaga Plaza, J. A., Fernández San Martín, L., Álvarez Ávalos, G., & Lobo García de Cortázar, A. Seguimiento y Evaluación de la Temperatura en Superficie de Vertederos en Zonas Áridas a través del Análisis Multitemporal de Imágenes Satelitales Landsat.

Olaya, I. A. H. (2001). *Análisis y comportamiento de compuestos orgánicos volátiles (COV) en las emisiones del biogás proveniente del relleno sanitario de doña Juana* (Doctoral dissertation, Uniandes).

Romero Restrepo, M. D. C. *Transformación del hábitat en el área de influencia directa del Relleno Sanitario Doña Juana entre los años 1988-2012. Las poblaciones Mochuelo Bajo y Mochuelo Alto, como estudio piloto* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá).

Torres, D. I. Q. (2017). El papel de la gestión territorial en la ubicación de rellenos sanitarios. Caso de estudio: relleno sanitario Doña Juana, Bogotá, Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 21(2), 251-276.

Yan, W. Y., Mahendrarajah, P., Shaker, A., Faisal, K., Luong, R., & Al-Ahmad, M. (2014). Analysis of multi-temporal landsat satellite images for monitoring land surface temperature of municipal solid waste disposal sites. *Environmental monitoring and assessment*, 186(12), 8161-8173.