

DETECCION DE CONFLICTOS DE USO DEL SUELO MEDIANTE FILTRO PASO ALTO EN IMÁGENES SATELITALES EN ZONA DEL MUNICIPIO DE MEDELLÍN, COLOMBIA.

*Detection of land use conflicts through high pass filter in satellite images in the municipality of
Medellín, Colombia.*

Michael Javier Avendaño Calderón

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Ingeniería - Ingeniería Catastral y Geodesia
mjavendanoc@correo.udistrital.edu.co

Edwin Santiago Mora Acuña

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad de Ingeniería - Ingeniería Catastral y Geodesia
esmoraa@correo.udistrital.edu.co

Resumen:

Una de las técnicas implementadas para detectar conflictos de uso del suelo es el análisis por medio de imágenes satelitales, ya que estas representan la realidad del territorio en un determinado tiempo. Sin embargo, estas imágenes pueden ser muy costosas por el nivel de detalle que requieren estos tipos de análisis; obstaculizando a los municipios, con limitados niveles económicos, acceder a este tipo de técnicas. Por ello, se realizó un análisis multitemporal entre dos imágenes Sentinel de los años 2015 y 2019, implementando la técnica de realce de imágenes por grupo de píxeles denominada *filtrado espacial* (filtro de paso alto) y el método de clasificación supervisada por el algoritmo de Mínima distancia. Estas imágenes fueron obtenidas del USGS, tomando como zona de estudio una porción de la periferia de la comuna Villa Hermosa, junto al corregimiento de Santa Elena, del sur oriente de la ciudad de Medellín. Los resultados obtenidos revelaron que la clasificación obtenida por las imágenes filtradas conllevó a tener menos error y un alto porcentaje de acertamiento al momento generar la clasificación, y, por ende, conllevó a ser una fuente más confiable para detectar y afirmar el conflicto de uso del suelo presente en la zona de estudio.

Palabras clave: Conflicto de uso del suelo, realce de imágenes, teledetección.

Abstract

One of the techniques implemented to detect land use conflicts is analysis by means of satellite images, since these represent the reality of the territory at a certain time. However, these images can be very expensive because of the level of detail that these types of analyzes require; hindering municipalities, with limited economic levels, from accessing these types of techniques. Therefore, a multitemporal analysis was carried out between two Sentinel images from the years 2015 and 2019, implementing the image enhancement technique by group of pixels called spatial filtering (high-pass filter) and the classification method supervised by the Minimum algorithm. distance. These images were obtained from the USGS, taking as a study area a portion of the periphery of the Villa Hermosa commune, next to the village of Santa Elena, in the south east of the city of Medellín. The results obtained revealed that the classification obtained by the filtered images led to less error and a high percentage of correctness at the time of generating the classification, and, therefore, led to being a more reliable source to detect and affirm the conflict of use of the soil present in the study area.

Key words: Land use conflict, image enhancement, remote sensing.

1. INTRODUCCION

Los conflictos de uso en el suelo son una problemática común entre los países en vías de desarrollo, como es el caso de los países latinoamericanos, pues a causas de ineficiencia en la normativa además de irrelevante para las autoridades catastrales, facilitan la informalidad en los asentamientos rurales y sobre todo urbanos, causando no solo un gran problema en el uso de tierras, desacorde con el uso potencial que deberían tener y las capacidades para usarlo; sino también problemas sociales y ambientales graves, como las zonas de invasión generando pobreza e inseguridad y segregación de los recursos naturales y del suelo.

Como consecuencia, se realizan innumerables políticas públicas preventivas que permitan detectar, prevenir, regularizar y/o controlar los asentamientos informales, siendo esta una de las principales causas del conflicto de uso del suelo. Para ello, se crean los programas de regularización que tienen como objetivo corregir dichas irregularidades, sin embargo, su solución resulta muchas veces atascada e imparcial, mostrando soluciones netamente jurídicas (titulaciones). A pesar de los posibles problemas, los resultados para bien o mal, utilizan herramientas de registro y detección de información que hagan posible cumplir con los objetivos de los programas de regularización, que muchas veces resulta costoso y de muy poca información valiosa.

Debido a que este fenómeno de conflicto de uso se puede presentar en cualquier municipio, no todos poseen los recursos financieros para dar veracidad de este fenómeno por métodos tradicionales ya que se pueden tornar lentos y costosos (Liranza et al, 2013) , lo que conlleva a usar alternativas eficaces y económicas para la obtención de la información como por ejemplo, por medio de imágenes satelitales. Sin embargo, el uso de imágenes con alta resolución espacial, que son el tipo de imágenes que se requiere para estos casos, son igualmente muy costosas (Macías, 2005). Por tal motivo, sin tener que recurrir a soluciones financieras, es óptimo implementar nuevas técnicas y metodologías que permitan aprovechar la información obtenida de imágenes satelitales ofrecidas gratuitamente al público.

Así, el presente documento pretenderá mostrar una determinada técnica de procesamiento digital de imágenes satelitales, para detectar el conflicto de uso del suelo mediante la aplicación de filtro paso alto usando imágenes Sentinel 2 (A y B). Para ello, primero se realizará una revisión de la literatura del conflicto de uso del suelo, revelando algunos datos de referencia en Colombia y mostrando algunas descripciones importantes que permiten contextualizar el uso de imágenes con un procesamiento de filtrado espacial como recurso técnico para detectar los posibles conflictos de uso del suelo.

Luego se analizará la efectividad de la aplicación del filtro paso alto mediante la evaluación temática; y por último se desarrollará un análisis de resultados de la clasificación del filtro obtenido y contraste entre la clasificación del suelo en el POT (Plan de ordenamiento territorial) de Medellín, como instrumento de planificación urbana y resultado del filtrado obtenido, para así confirmar la presencia de conflicto de uso del suelo.

2. REVISION DE LITERATURA

En pleno siglo XXI, la informalidad de la tenencia de la tierra es un tema relevante en Latinoamérica, donde se desarrollan diferentes problemáticas de orden urbanístico, social y catastral, en aristas como la disputa por el uso del suelo a causa de cambios en la posesión y usufructo del mismo. Descrito y conocido de mejor manera como el conflicto de uso del suelo, corresponde a la discrepancia que tienen los usos que realizan los diferentes actores de tenencia

de la tierra y el que debería ser el uso de la tierra de acuerdo a sus potencialidades y limitaciones ambientales, ecológicas, culturales, sociales y económicas (IGAC, 2012).

Dicho conflicto tiene consecuencias graves en tanto se generen problemas como las zonas de invasión, famosamente conocidas como (favelas) en países como Brasil y Argentina. Estas se pueden describir como cualquier tipo de asentamiento no tenido en cuenta por el estado, es decir, no están legalizados, no tiene un dueño reconocido que, por desconocimiento o conveniencia, no cuentan con servicios públicos y por supuesto, no están registrados legalmente por las autoridades catastrales. Sin embargo, según la norma colombiana, este fenómeno se entiende como el asentamiento humano de desarrollo incompleto (Colombia, 1999) y es aquí, como en muchos países latinoamericanos o en vía de desarrollo, donde la norma da cabida a que se faciliten los crecimientos de conflictos de uso del suelo en todo su territorio y conveniencias a los actores informales para cobijar sus asentamientos propiamente irregulares a regulares (predios piratas), encubriéndose sobre todo mediante el pago de impuestos para su titulación y futuro registro. Esto afirma como uno de los grupos sociales más dispuestos al pago de impuestos es el poseedor irregular que utiliza el impuesto como prueba de posesión, como medio de ciudadanía o incluso para exigir servicios. (Erba, 2007 pp. 136)

Pero a pesar de que se produzcan otros tipos de problemas de informalidad de orden catastral, como las mejorías irregulares de asentamientos urbanos o las conurbaciones indeseables entre municipios; la gran mayoría de conflictos se producen sobre los límites fronterizos urbanos y rurales, produciendo no solo un cambio del uso del suelo y desplazamiento de los antiguos actores de tenencia del suelo, sino también una grave segregación de los recursos naturales. Debido a esto, la norma colombiana también define mediante la resolución 1415 del 17 de agosto de 2012, las posibles categorías de conflicto de uso de suelo, que pueden presentarse en tres tipos principales: tierras sin conflicto de uso o uso adecuado, que son utilizadas acorde a su capacidad y uso potencial; la sobreutilización, que corresponde a tierras con un uso actual que supera sus capacidades, explotando por encima de lo adecuado la tierra; y en caso contrario, la subutilización, que se define como el uso actual de tierras utilizadas de forma inadecuada y por debajo de la capacidad del uso potencial que deberían tener. A excepción del uso óptimo, las demás categorías pueden considerarse ligeras, moderadas o severas, dependiendo el nivel de conflicto que se presente puede causar ya sea, degradación de suelo y recursos naturales (sobreutilización) o problemas sociales graves (subutilización). (Colombia, 2012)

En Colombia gracias a un estudio realizado en comisión de varias entidades del estado lideras por el IGAC, se sabe que para el 2012 el territorio presentaba suelos subutilizados en un 13% (15 millones de hectáreas), suelos sobreexplotados en un 16% (18 millones de hectáreas) y un restante 67.6% (76 millones de hectáreas) en suelos con un uso adecuado (Min. Agricultura, 2012). A pesar de que no se han vuelto a realizar estudios como ese, donde es clara la ineficiencia del uso del suelo (sobre todo de tipo rural), se sabe que el conflicto de uso del suelo se sigue desarrollando en todo el territorio colombiano, donde los asentamientos urbanos se expanden en grandes conglomerados, siendo más notorios en las grandes ciudades como Bogotá, Medellín y Cali; mientras que los rurales se desplazan y se sitúan sobre suelos que no son para el uso requerido, causando daños irreparables o problemas sociales.

Para contrarrestar la problemática de conflicto, se realizan diferentes políticas públicas de prevención como contramedida para prevenir, controlar y regularizar los asentamientos irregulares sobre todo de tipo urbano que son los que más conflicto de uso del suelo causan. Gracias a eso, se definen programas de regularización o mejoramiento que, si bien tiene la

orientación de corregir los problemas jurídicos, ambientales, sociales y técnicos propios de la ocupación irregular, que en algunos casos incumplen de forma parcial, la gran mayoría tiene como objetivo principal entregar títulos de propiedad (Erba, 2007). El mismo autor también afirma que los programas de regularización que son de termino catastro multifinalitario in-situ deben contener información referente a la ubicación de las áreas de riesgo y a los problemas potenciales que pueden existir para los asentamientos humanos en esos locales. Una vez más, en estos casos, la alternativa que permite disminuir costos y acortar los periodos de fiscalización, y aumentar consecuentemente la eficiencia del proceso, es el uso de imágenes satelitales.

3. CONCEPTOS DE TELEDETECCIÓN APLICADOS

Cabe resaltar y mencionar algunos conceptos clave de teledetección que se mencionarán a lo largo de la metodología. Esto con el fin de contextualizar acerca de las descripciones y técnicas que en este artículo se hacen referencia.

3.1. Los sensores en la teledetección

Es importante tener presente, para cualquier trabajo de teledetección, la fuente de adquisición de las imágenes satelitales a manejar, es decir, tener claro el sensor que la produjo. Proviendo del latín *sensus* “sentido”, se puede decir que un sensor es aquel dispositivo sensible a cualquier efecto físico del entorno, siendo el medio por donde se recibe y se traduce la información de la energía que proviene de la superficie terrestre (Chuvieco, 1995).

Además, los sensores cuentan con determinadas características que lo identifican, estas son sus tipos de resoluciones con los que son diseñados. El término resolución da referencia a la capacidad que tiene el sensor de poder discriminar objetos en una imagen. Esta “discriminación” no es más que el poder distinguir, detectar y/o diferenciar objetos de otros. Así, la capacidad de discriminar es relativo, ya que se puede distinguir objetos de diversas formas gracias a las características propias de la imagen (Calle & Salvador, 2012). Los diversos tipos de resoluciones son:

- Resolución espectral: tipo de longitudes de ondas que puede captar el sensor.
- Resolución radiométrica: es la sensibilidad que tiene el sensor para captar las variaciones de radiancia espectral que recibe.
- Resolución espacial: el objeto más pequeño que se puede distinguir en la imagen.
- Resolución temporal: Periodicidad con la que el sensor puede capturar imágenes de un mismo lugar.

Con referente a lo anterior, es posible definir una imagen como el resultado del conjunto de varias cuadrículas organizadas en forma de malla. Estas cuadrículas, celdas o píxeles representan la unidad mínima reconocible en una imagen donde almacena un solo valor. Este valor es el registro de la radiación (energía) reflejada de cada uno de los objetos de la superficie terrestre, tal valor se denomina Nivel Digital. (ERDAS, 1999)

3.2. Realce de imágenes satelitales

Los realces de imágenes son una técnica que permite mejorar la interpretabilidad visual de una imagen, es decir, facilita la discriminación de los objetos en las imágenes. Esta técnica, a su vez, no significa que le agrega información adicional a la imagen (Caballero et al., 2016).

Esto afirma que el procesamiento no modifica las propiedades geométricas ni radiométricas de la imagen.

Así mismo, esta técnica, según (Aldalur & Santamaria , 2002), se dividen en dos tipos de operaciones: procesamiento puntual (pixel por pixel) o por grupo de píxeles (vecindad). Esta primera operación se encarga de alterar, mediante un algoritmo matemático, los niveles de grises de cada píxel de la imagen, mejorando así su contraste; en cambio, la segunda operación altera los niveles de brillo del píxel a partir de: 1) los valores de brillo de sus vecinos y 2) del propósito que se busque, si el de homogeneizar o de diferenciar. La característica del realce por grupos de píxeles (diferenciar), lo puede afirmar el autor (Aldalur & Santamaria, 2002) como los objetos que están presentes en la imagen que lo componen distintas frecuencias de brillo, y es en el borde de los objetos donde estas frecuencias cambian abruptamente; adiciona, además, que estas frecuencias se pueden eliminar o acentuar, es decir, suavizar o resaltar mediante un proceso denominado filtrado espacial.

3.3. Clasificación temática de las imágenes satelitales

La clasificación de imágenes consiste en extraer clases de información de una imagen con el fin de crear información temática de una zona en particular. Según Willington & Nolasco, esta clasificación se divide en dos tipos:

Los métodos de clasificación pueden ser supervisados y no supervisados; los primeros son procedimientos empleados para la identificación de áreas espectralmente similares (muestras de entrenamiento) dentro de una imagen, por lo que el usuario preliminarmente reconoce las regiones de interés conocidas en el área de tierra, y el algoritmo elegido extrapola estas características espectrales para otras regiones de la imagen, realizando así la clasificación. La clasificación no supervisada tiene por objetivo agrupar los casos por su similitud espectral relativa, sin toma de muestras a campo. (Willington & Nolasco, 2013, pp 208)

3.4. Evaluación de la confiabilidad temática

Cuando se tiene información temática en un mapa (o en este caso puntual información obtenida a partir de un proceso de clasificación), la certeza y confianza de su contenido está sujeto a incertidumbres, ya que esta confianza depende de los insumos usados para su elaboración. Una forma de evaluar estos insumos es por medio de una matriz de error o confusión. Esta matriz, “permite confrontar la información de los sitios de verificación con aquella de la base cartográfica que se pretende evaluar” (Mas & Reyes, 2012). Para interpretar la matriz, (Sánchez, 2016) afirma que de ella se pueden interpretar dos tipos de errores:

- Errores de comisión: Son los elementos que estando en la clase, no pertenecen a ella.
- Errores de omisión: Son los elementos que no están en la clase porque están contenidos en otra clase.

De igual manera, de esta matriz se puede extraer dos coeficientes: precisión global y kappa. El primero señala la razón de la correcta clasificación y el segundo es un indicador que ajusta el valor de la precisión global, quitándole el efecto del azar. (Mas & Reyes, 2012)

4. METODOLOGÍA

4.1. Ubicación de la zona de estudio y obtención de datos

Se determinó como zona de estudio, una porción de la periferia comprendida entre la comuna Villa Hermosa y el corregimiento de Santa Elena, del sur oriente de la ciudad de Medellín (ver ilustración 1); zona de la cual se escogieron dos imágenes satelitales para el

proceso del análisis multitemporal: una imagen del año 2015 del satélite Sentinel 2A y otra imagen del año 2019 del satélite Sentinel 2B. Estas imágenes fueron obtenidas del Servicio Geológico Estadounidense (USGS) en su plataforma online earth-explorer.

Figura 1 - Departamento de Antioquia - Municipio de Medellín - Zona de estudio



Fuente: Google Earth

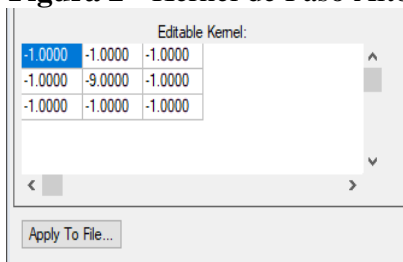
4.2. Procesamiento de las imágenes satelitales

Para el procesamiento de las imágenes satelitales se utilizaron los softwares ERDAS Imagen 2015 y ENVI versión 5.3. Con el software ERDAS, se concatenaron¹ las bandas del visible (Banda 4, Banda 3 y Banda 2 respectivamente), tanto la imagen del 2015 como la del 2019, que cuentan con la máxima resolución espacial que disponen sus sensores, en este caso las bandas de las imágenes poseen una resolución espacial de 10 metros. Posteriormente se dispone a recortar una sub-escena reducida para que la información resultante de la imagen sea lo más homogénea posible, para poder lograr una clasificación óptima.

Con el software ENVI, se implementaron las acciones del filtrado espacial y de clasificación para ambas imágenes. Para el filtrado, se utilizó la herramienta Convolutions and Morphology implementando un filtro paso alto (cuyo Kernel se visualiza en la ilustración 2), para el proceso de clasificación se utilizó la denominada clasificación supervisada con el algoritmo de Mínima Distancia.

¹ Concatenar, en teledetección, es el proceso por el cual se combinan datos de dos o más bandas espectrales para ser visualizadas en una sola imagen.

Figura 2 - Kernel de Paso Alto



Fuente: Software ENVI

4.3. Análisis y evaluación temática de los resultados

Finalmente, para realizar la evaluación temática del proceso de análisis de la clasificación, se utilizaron las denominadas *matrices de error*. En ellas se observaron las precisiones generales y sus coeficientes Kappa. Esto con el fin de evaluar qué tan preciso fue el nivel de concordancia entre la muestra para la clasificación y su referente.

Sin embargo, debido al poco detalle que estas imágenes ofrecen, se recurre al software Google Earth para determinar con mayor claridad las posibles coberturas y/o objetos que presenta la zona en su determinada época.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

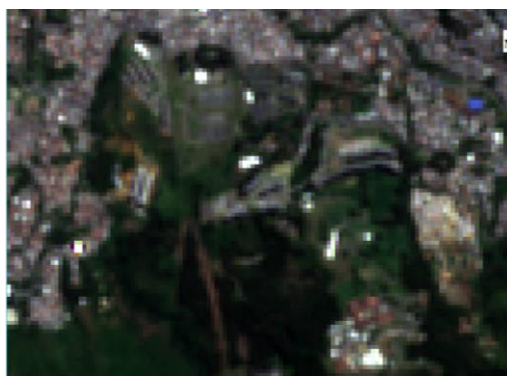
Como resultados se obtuvieron 8 imágenes: 2 a color verdadero de la zona de interés, 2 como resultado de los filtros, 2 clasificaciones de la color verdadero y 2 clasificaciones de los filtros.

Figura 3 - Zona de estudio del año 2015 a color verdadero



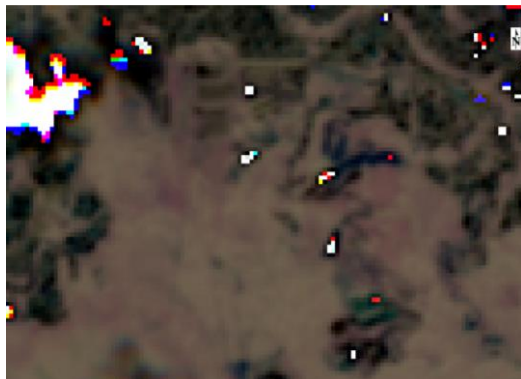
Fuente: USGS

Figura 4 - Zona de estudio del año 2019 a color verdadero



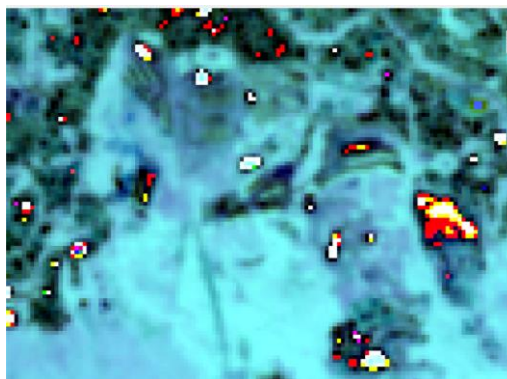
Fuente: USGS

Figura 5 - Zona de estudio del año 2015 con el filtro paso alto



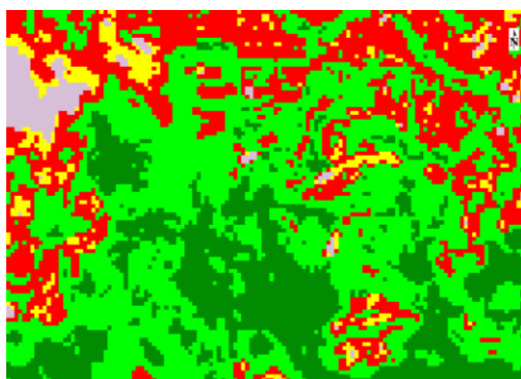
Fuente: Elaboración Propia

Figura 6 - Zona de estudio del año 2019 con el filtro paso alto



Fuente: Elaboración Propia

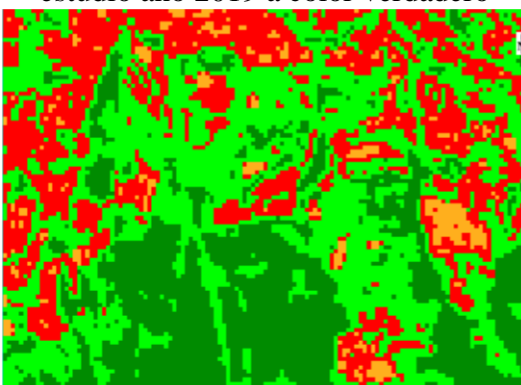
Figura 7 - Clasificación de la zona de estudio año 2015 a color verdadero



Fuente: Elaboración Propia

- 1: Suelo Desnudo
- 2: Vegetación Alta
- 3: Pasto
- 4: Suelo Urbano
- 5: Nubes

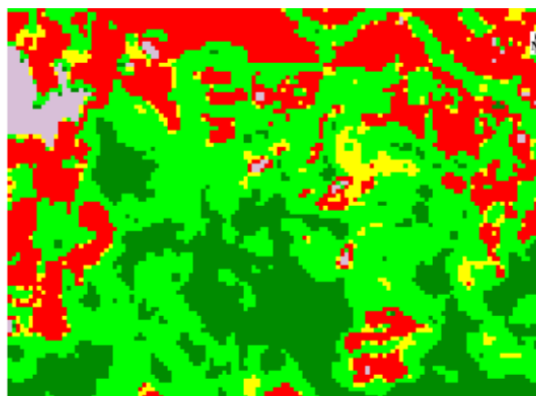
Figura 8 - Clasificación de la zona de estudio año 2019 a color verdadero



Fuente: Elaboración Propia

- 1: Vegetación Alta
- 2: Pasto
- 3: Suelo Urbano Bajo
- 4: Suelo Urbano Alto

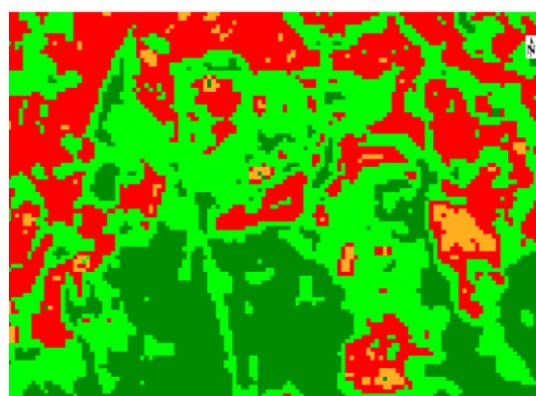
Figura 9 - Clasificación de la zona de estudio del año 2015 con el filtro de paso alto



- 1: Suelo Desnudo
- 2: Vegetación Alta
- 3: Pasto
- 4: Suelo Urbano
- 5: Nubes

Fuente: Elaboración Propia

Figura 10 - Clasificación de la zona de estudio del año 2019 con el filtro de paso alto



- 1: Vegetación Alta
- 2: Pasto
- 3: Suelo Urbano Bajo
- 4: Suelo Urbano Alto

Fuente: Elaboración Propia

Como un primer resultado, se evidencia que en las ilustraciones 3 y 4 del año 2015, en la parte central derecha el suelo era meramente de vegetación baja o de pasto, mientras que en el 2019 pasa a tener uso urbano. Según el reconocimiento mediante el Geovisor MAPGIS de la alcaldía de Medellín, estas nuevas coberturas son construcciones de nuevas casas y edificios.

En cuanto a los filtros aplicados en las ilustraciones 5 y 6, se evidencia notoriamente cómo la operación de convolución con el Kernel de paso alto, realza las zonas de vegetación y deja opaco las zonas urbanas. Así mismo, el nivel de brillo no es igual en los dos, esto se debe a la hora de la toma de la imagen y la presencia de nubosidad en la imagen del 2015.

Ahora bien, con respecto a la clasificación, antes de pasar a analizar los resultados por medio de las matrices de error, cabe mencionar que no se usaron las mismas coberturas en las imágenes 2015 y 2019. Esto se debe a que en la imagen del 2015 la presencia de nubes y de suelo desnudo, pueden hacer que la clasificación ofrecida por ENVI no funcione eficazmente y no arroje información errada, por esta razón es necesario tener el mayor número posible de coberturas predefinidas. Así mismo pasa con los tipos de coberturas urbanas presentes en la imagen del 2019. Lo anterior no simboliza gran obstáculo ya que el objetivo es el contraste de la zona urbana con la cobertura vegetal. Por consiguiente, se procede a analizar las matrices de

error y los coeficientes para determinar si los filtros mejoraron a la hora de hacer la clasificación.

Con respecto a la clasificación de la imagen de 2015 a color verdadero y con la aplicación del filtro de paso alto, se tiene primeramente que la clasificación a color verdadero se obtuvo una precisión global de aproximadamente un 92% y un coeficiente kappa del 89%; igualmente, la clasificación con el filtro paso alto tuvo una precisión global del 99% y un coeficiente kappa del 98%. Esto quiere decir que el color verdadero tuvo un 92% de correcta clasificación de las coberturas y un 89% quitando el factor del azar; en cambio, con el filtro se logró obtener un 99% de correcta clasificación de las coberturas y un 98% quitando el factor del azar. En estos dos contrastes, aunque en ambos casos arroja unos muy buenos resultados, el hecho de haber implementado el filtro paso alto mejoró sustancialmente en disminuir la ocurrencia del azar, obteniendo una correcta clasificación de casi el 100%.

Cuadro 1 - Matriz de error de la imagen 2015 a color verdadero

Clases	Porcentaje de exactitud del productor	Error de comisión	Porcentaje de la exactitud del usuario	Error de omisión
Suelo desnudo	57%	43%	80%	20%
Vegetación alta	100%	0%	100%	0%
Pasto	100%	0%	88%	12%
Zona urbana	94%	6%	88%	12%
Nubes	100%	0%	100%	0%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2 - Matriz de error de la imagen 2015 con filtro de paso alto

Clases	Porcentaje de exactitud del productor	Error de comisión	Porcentaje de la exactitud del usuario	Error de omisión
Suelo desnudo	90%	10%	100%	0%
Vegetación alta	100%	0%	100%	0%
Pasto	100%	0%	94%	6%
Zona urbana	100%	0%	98%	2%
Nubes	100%	0%	100%	0%

Fuente: Elaboración propia

De igual forma, analizando de las matrices de error de la tabla 1 y 2, el resultado más notorio tiene que ver con la cobertura *Suelo Desnudo*. En la imagen del 2015 presenta un error de comisión del 43% y un error de omisión del 20%. Esto quiere decir que, en la clasificación a color verdadero, el 43% de los píxeles que realmente pertenecen a esta cobertura, no lo están por confundirse con otra cobertura, y el 20% de los píxeles que aparecen en la cobertura, realmente no pertenecen a la cobertura. En cambio, a la clasificación con el filtro solo se obtuvo error por comisión del 10% y de omisión nulo. Por ende, esto evidencia una mejora sustancial de la clasificación gracias a la implementación del filtro de paso alto.

Cuadro 3 - Matriz de error de la imagen 2019 a color verdadero

Clases	Porcentaje de exactitud del productor	Error de comisión	Porcentaje de la exactitud del usuario	Error de omisión
Vegetación alta	100%	0%	100%	0%
Pasto	100%	0%	100%	0%
Zona urbana baja	100%	0%	93%	7%
Zona urbana alta	86%	14%	100%	0%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4 - Matriz de error de la imagen 2019 con filtro de paso alto

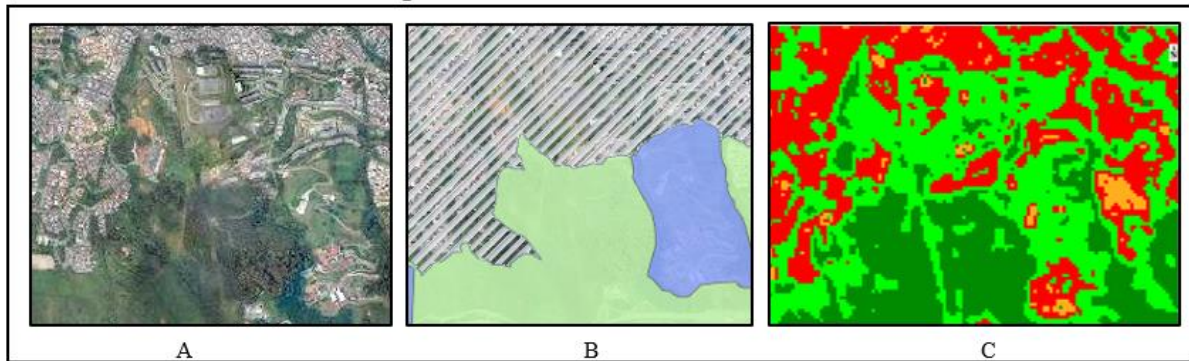
Clases	Porcentaje de exactitud del productor	Error de comisión	Porcentaje de la exactitud del usuario	Error de omisión
Vegetación alta	100%	0%	100%	0%
Pasto	100%	0%	100%	0%
Zona urbana baja	100%	0%	95%	5%
Zona urbana alta	90%	10%	100%	0%

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, los resultados obtenidos con respecto a la clasificación de la imagen a 2019 a color verdadero y con la aplicación del filtro de paso alto, se tiene primeramente que la clasificación a color verdadero se obtuvo una precisión global de, aproximadamente, un 97% y un coeficiente kappa del 96%; así mismo, la clasificación con el filtro paso alto tuvo una precisión global del 97% y un coeficiente kappa del 98%. Esto quiere decir que el color verdadero tuvo un 97% de correcta clasificación de las coberturas y un 96% quitando el factor del azar; en cambio, con el filtro se logró obtener un 98% de correcta clasificación de las coberturas y un 97% quitando el factor del azar. Estos resultados cierta manera, y si agregamos los resultados de las matrices de confusión de las tablas 3 y 4, son prácticamente iguales, su variación es mínima, pero, aun así, sigue afirmando que la clasificación con filtro aumenta más los índices de correcta clasificación y disminuye los errores por comisión y omisión.

Gracias a estos resultados es posible realizar una primera comparación visual entre los resultados obtenidos con el filtrado espacial y la clasificación normativa que se tiene del uso suelo en el POT del municipio de Medellín.

Figura 11 – Comparativa Conflicto de uso del suelo A) Zona de estudio visor geográfico alcaldía de Medellín B) Clasificación del suelo según POT visor geográfico alcaldía de Medellín C) Filtro paso alto.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede visualizar, entre la ilustración 11-B de la clasificación del POT de Medellín siendo la representación de franjas (suelo urbano), verde (suelo rural) y azul (suelo rural, áreas para la localización de equipamientos), y ilustración 11-C el resultado del filtrado paso alto de la imagen satelital año 2019; se puede diferenciar claramente que existen cambios en el suelo rural confirmando un posible conflicto de uso del suelo de categoría suelos sobreutilizados de tipo mediano y leve.

6. CONCLUSIONES

Si bien es cierto que, al momento de implementar el uso de imágenes satelitales para solventar temas territoriales, como los conflictos de uso del suelo, se es necesario de un buen detalle para diferenciar los cambios, los costos que conlleva esta implementación pueden ser muy altos y poco fructíferos para un municipio o entidad con limitados recursos. Ahora bien, existe entidades, como el USGS que ofrecen al público imágenes satelitales de manera gratuita, tomadas a fecha reciente y pasadas; y a pesar que no cuentan con la suficiente resolución espacial demandada, los procesos de realce de imágenes, y las diversas técnicas de teledetección, permiten tratar esta información cruda y procesarla para mejorar la interpretación visual. A consecuencia de ello, la aplicación de estas técnicas permite estimar una aproximación de los posibles cambios de uso del suelo para determinar posibles conflictos y dar una mayor veracidad al momento de la toma de decisiones; convirtiéndose así, en una alternativa económica y eficaz para aquellos municipios y/o entidades que no cuentan con la suficiente capacidad económica para adquirir datos con mayor detalle.

Finalmente, y a manera complementaria, cabe realizar una última comparación entre las imágenes del 2015 y del 2019 con la implementación del filtro. Si bien los resultados de los coeficientes y de las matrices de error en las clasificaciones del 2019 no fueron tan diferenciales, los del 2015 si lo fueron, ¿Por qué? Si se observa las ilustraciones 3 y 4, que son solamente la representación a color verdadero, se evidencia que la imagen del 2015 está opacada por la presencia de nubosidad, provocando que el algoritmo de clasificación no opere de igual forma. No obstante, la aplicación del filtro pudo solventar esta implicación natural, obteniendo así unos coeficientes cercanos al 100%, siendo este una posible solución a diversos fenómenos naturales que presentan las imágenes satelitales afectando los resultados del procesamiento digital de imágenes.

Agradecimientos

A nuestras familias por el apoyo que nos brindan en cada momento y al profesor Johan Andrés Avendaño Arias por motivarnos a realizar este trabajo de investigación académica.

Referencias

ALDALUR, B ; SANTAMARÍA, M. **Realce de imágenes: filtrado espacial**. Revista de Teledetección. Departamento de Ingeniería y matemáticas. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina. Jun 2002, No.17:31-42. Disponible en:< <https://is.gd/KCFMlu> >. Acceso en: ago. de 2020

CABALLERO, F.G.; JIMÉNEZ, V. M.; PÉREZ, M. Á.; SÁNCHEZ, V. Z.; QUINTANA, I. R. **Filtro de pre-procesamiento de una imagen satelital en GRASS**. México: Instituto Tecnológico de Celaya/Tecnológico Nacional de México, Pistas Educativas, dic 2016, vol.38, No. (122). Disponible en: <<https://is.gd/EMOYb0>>. Acceso en: ago,2020.

CALLE, A ; SALVADOR, P. **Revisando el concepto de resolución en teledetección**. Asociación Española de Teledetección. Revista de Teledetección. 2012, No. 37,74-79. Departamento de Física Aplicada. Universidad de Valladolid, España. Disponible en:< <https://is.gd/QQ24WU> >. Acceso en: ago. de 2020

CHUVIECO, Emilio. **Fundamentos de Teledetección Espacial** (Segunda Edición). Madrid: Ediciones RIALP, S.A,1995.

COLOMBIA. **Decreto 0419 de 1999**. Cali: Alcaldía de Cali. Disponible en: < <https://is.gd/GZP54d>>. Acceso en: ago. 2020.

COLOMBIA. **Resolución 1415 del 17 de agosto de 2012**. Disponible en: <<https://is.gd/pDrI6x> >. Acceso en: ago. 2020.

ERBA, D.A. **Catastro Multifinalitario aplicado a la definición de políticas de suelo urbano**. Cambridge, MA: Lincon Institute of Land Policy, 2007. Disponible en: < <https://is.gd/3G1Eaf>>. Acceso en: ago. 2020

ERDAS. **ERDAS Field Guide**, fifth Edition, Revised and Expanded. USA: Georgia, Atlanta, ERDAS, Inc.1999.

IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. **Estudio de los conflictos de uso del territorio colombiano escala 1:100.000**. Gobierno nacional: convenio marco de cooperación especial, Colombia. Oct 2012. Disponible en:< <https://is.gd/DUpuEH> >. Acceso en: ago,2020.

LIRANZA, D.; Kelly, F.S; Reyes, I.A.; ARTE, Y.P. **Empelo de imágenes satelitales en el catastro nacional**. Congreso Internacional de Avalúos y Catastro, Cuba. 2013. Disponible en: < <https://is.gd/SXU9vs>>. Acceso en: ago,2020.

MACÍAS, N. G. **Análisis de crecimiento urbano en Bogotá mediante la utilización de imágenes satelitales**. Colombia: Bogotá D.C, Universidad de los Andes.MIC 2005-II-20. Jun,2005. Disponible en:< <https://is.gd/61PedR>> Acceso en: ago. 2020.

MIN. AGRICULTURA. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. **Proyecto Sistema de Información Geográfica municipal 2013.** Oferta Agropecuaria. 2013. Disponible en: < <https://is.gd/OTTAPe> >. Acceso en: ago. 2020.

MAS, J. F.; REYES, J.; PÉREZ, A. **Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión.** México: UNAM, Boletín del Instituto de Geografía, Investigaciones Geográficas, No. 51, 2003, pp. 53-72. Disponible en: < <https://is.gd/BzkQdF> >. Acceso en: ago. 2020.

NOLASCO, M.; WILLINGTON, E.; BOCCO, M. **Clasificación supervisada de suelos de uso agrícola en la zona central de Córdoba (Argentina): Comparación de distintos algoritmos sobre imágenes Landsat.** Argentina: Rosario, revista de investigaciones de la facultad de ciencias agrarias. 2015. Disponible en: < <https://is.gd/eCRYPN> >. Acceso en: ago. 2020.

SÁNCHEZ, J. M. **Análisis de Calidad Cartográfica mediante el estudio de la Matriz de Confusión.** Madrid: UPM, Revista de investigación Pensamiento Matemático, vol. VI, No.2, p.p. 009-026. Disponible en: < <https://is.gd/qKZPGX> >. Acceso en: ago. 2020.