

Aplicación de imágenes satelitales spot para estudios ambientales

Spot satellite imaging application for environmental studies

Recibido: 10/03/2021 Aprobado: 13/04/2021

José Rosales-Veíta

Centro de Investigaciones Peruano Venezolano - Perú
andrew_rovei@hotmail.com

Arismar Marcano Montilla

Universidad Pedagógica Experimental Libertador
arismarcano@gmail.com

Resumen: la teledetección permite establecer un reconocimiento de la naturaleza, ofreciendo un perfeccionamiento en el nivel espacial, espectral y temporal de los datos. El presente artículo tuvo como objetivo evaluar la aplicación de imágenes satelitales SPOT en estudios ambientales. Metodológicamente, se sustentó en un estudio de casos, que permitió el procesamiento a través de varias técnicas como el filtrado de imágenes, modelos digitales de elevación y derivados, índices de vegetación, fusión de datos y clasificación supervisadas, en imágenes SPOT, a través del software ERDAS 8.4 y de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se demostró que el filtrado de paso bajo contribuye a identificar sectores homogéneos de la imagen, mientras que el paso alto favorece los rasgos lineales. Los modelos MDE, pendiente y orientación de la pendiente, fa-

vorecen el análisis de las características topográficas del área. La clasificación no supervisada permite identificar uso y cobertura del espacio. El índice de vegetación permite conocer la distribución de la vegetación y otros rasgos de acuerdo a la reflectancia de la imagen. Se determinó que existe alto grado fiabilidad para abordar estudios ambientales con las imágenes SPOT pancromática y multiespectral.

Palabras clave: imagen satelital, estudios ambientales, SIG, SPOT

Abstract. remote sensing allows to establish a recognition of nature, offering an improvement in the spatial, spectral and temporal level of the data. The objective of this article was to evaluate the application of SPOT satellite images in environmental studies. Methodologically, it was based on a case study, which allowed processing through various techniques such as image filtering, digital elevation models and derivatives, vegetation indices, data fusion and supervised classification, in SPOT images, through the ERDAS 8.4 software and a Geographic Information System (GIS). Low-pass filtering was shown to help identify homogeneous sectors of the image, while high-pass favors linear features. The DEM models, slope and slope orientation, favor the analysis of the topographic characteristics of the area. The unsupervised classification allows to identify use and coverage of the space. The vegetation index allows to know the distribution of the vegetation and other features according to the reflectance of the image. It was determined that there is a high degree of reliability to address environmental studies with panchromatic and multispectral SPOT images.

Keywords: Satellite Image, Environmental Studies, GIS, SPOT

Introducción

La teledetección es una herramienta que permite adquirir información de un objeto a distancia, sin la necesidad de haber un contacto entre este, el sistema y el observador. De igual manera permite al observador obtener información de las características físicas terrestre del área y de los fenómenos que se producen en ella y se registran en el sensor (Castaño, Ruiz y Vela, 1996).

En cuanto a los estudios de impacto ambiental, la teledetección permite establecer un reconocimiento de la naturaleza, ofreciendo un perfeccionamiento en el nivel espacial, espectral y temporal de los datos, donde el observador no debe realizar conclusiones definitivas de los estudios medioambientales (Sacristán, 2006).

En este sentido, el realce radiométrico permite corregir los errores presentes en una imagen con respecto al momento de toma de la misma, pudiendo modificar los valores de los Niveles Digitales (desde ahora ND) lo que permite mejorar la calidad de la misma (Bava, 2003; Buzai et al, 2018), de allí que se puedan modificar los valores de brillo de los píxeles. Entre los errores que se pueden corregir de las imágenes se cuentan los propios de los sensores, los derivados por el relieve y aquellos provenientes por las condiciones atmosféricas al momento de la toma.

Por su parte, los modelos digitales de elevación (MDE) son aquellos productos obtenidos por Sistemas de Información Geográfica tomando en cuenta simplemente las variaciones del terreno en función de las curvas de nivel (Felicísimo, 1994). Por tanto, los MDE son estructuras numéricas que representan la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua, en este caso la topografía. De acuerdo a lo establecido anteriormente, el uso de los MDE es variado, de ellos no solo pueden obtenerse análisis espaciales sobre el comportamiento de una cuenca y sus potenciales hídricos (Pusineri, Pedraza y, Lozeco, 2005), sino que también son empleados para análisis geomorfológico (Rosales - Veitia y Marcano, 2013; Serra, Herrera y Niz, 2019). Con estos modelos pueden obtener una variada gama de productos: pendientes, orientación de la pendiente, curvatura del terreno, área de drenaje específica, entre otros.

Adicionalmente, se entiende como fusión de datos a la combinación de imágenes de varios sensores (preferiblemente una imagen con buena resolución espectral y otra con buena resolución espacial) a fin de conseguir una mejor precisión e inferencias más específicas de las que se pueden tener utilizando un solo sensor (Castanedo, 2011). La fusión de datos busca mejorar la calidad de una imagen tanto en la resolución espectral, radiométrica y espacial obteniendo productos complementarios que han mejorado las características de los datos de la teledetección (Tapiador y Casanova, 2001).

Existen varios métodos para fusionar imágenes en los softwares que se emplean para el análisis e interpretación de imágenes satélites, de allí que puedan reconocerse aquellos que son más directos basados en las combinaciones algebraicas entre bandas tal como el método Multiplicativo y de Brovey, así como aquellos más recientes que incorporan la aplicación de la transformada de Wavelets (Ruiz, 2013).

En cuanto a la clasificación digital permite obtener otra imagen con un inventario de los elementos localizados en una determinada imagen analizada. Por lo cual la imagen con multibandas se convierte en otra imagen que posee las características originales, sin embargo, el ND de la analizada no guarda relación con la radiancia que fue tomada por el sensor; al contrario, es una etiqueta que identifica la categoría asignada a ese píxel (Chuvieco, 1996).

En este sentido, existen varios tipos de clasificaciones y se utilizan de acuerdo a la finalidad que se quiera lograr con el producto, para el caso de esta investigación se utiliza la no supervisada, la cual no precisa el conocimiento previo del terreno, y tiene la pretensión de segmentar la imagen en una serie de clases, por procedimientos exclusivamente numéricos, basándose solo en la estructura que posean los datos espectrales (Sacristán, 2006).

Aunado a ello, los índices de vegetación son utilizados en la actualidad cada vez con mayor frecuencia para el análisis e interpretación de la cobertura vegetal de un área en específica (Casanova y Louakfaoui, 1996), de allí que se utilicen estos modelos para el seguimiento de la vegetación alcornocal (Cano, Navarro y Ferrer, 2003), seguimiento de cultivos de regadío (Sánchez et al, 1999) y variabilidad espacial de los cultivos

(Martínez y Martín, 2004).

Considerando los referentes teóricos anteriores, la presente investigación se propone evaluar la aplicación de imágenes satelitales en estudios ambientales, mediante el uso de distintas técnicas como: el filtrado de imágenes, modelos digitales de elevación, pendiente, orientación de la pendiente, índice normalizado de vegetación, índice de vegetación, fusión de datos y clasificación supervisada.

Para llevar a cabo la aplicación y con fines didácticos, se emplearon imágenes de la bahía de Patanemo, costa central de Venezuela, facilitadas por el Laboratorio de Geodesia “Raúl Laforest” del Departamento de Ciencias de la Tierra del Instituto Pedagógico de Caracas, a fin de evaluar sus potencialidades y orientaciones metodológicas para su empleo en investigaciones ambientales aplicadas.

El área de referencia, se ubica administrativamente en el municipio Puerto Cabello del estado Carabobo, Venezuela (gráfico 1), entre las coordenadas angulares 10°24' y 10°28' Norte, 63°54' y 63°56' Oeste. Corresponde a la región litológica de la Cordillera de La Costa, en su tramo central en la vertiente norte de la Serranía Litoral. Se caracteriza por ser una costa de valles inundados con acantilados sumergidos entre 2 a 10 metros de profundidad desarrollados sobre la formación Nirgüa (Picard y Goddard, 1975), constituidos por rocas metamórficas de Cretáceo.

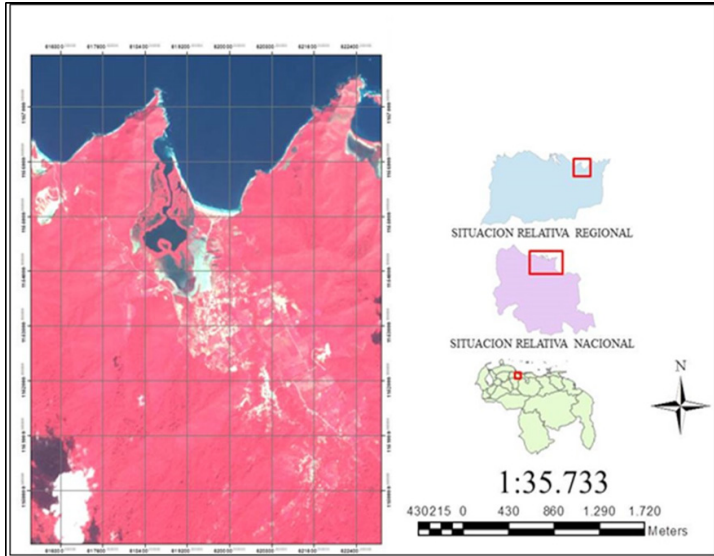


Gráfico 1. Localización del área de estudio

Método

Se empleó el estudio de casos como método. Como recursos, se empleó una imagen multiespectral y otra pancromática de la plataforma SPOT, editadas por el Centro de Procesamiento Digital de Imágenes (CPDI) de la Fundación Instituto de Ingeniería (FII) del Ministerio del Poder Popular para la Ciencia y la Tecnología de Venezuela y facilitadas por el Laboratorio de Geodesia “Raúl Laforest” del Departamento de Ciencias de la Tierra del Instituto Pedagógico de Caracas.

La imagen multiespectral, se caracteriza por tener cuatro bandas, previamente combinadas y que contienen dos del espectro visible, dos del infrarrojo cercano y medio, con una resolución espacial de 11 metros, código: S090123191244814. La imagen pancromática de resolución espacial de 2,75 metros, código S090123191335682. Georreferenciadas en proyección UTM, con datum WGS 84, zona número 19 Norte. Las imágenes bajo formato .tif, fueron importadas al formato .img. Luego, se utilizó el software ERDAS 8.4 para el análisis espacial y generar modelos.

Como técnica para el análisis de los datos, se realizaron análisis de la imagen empleando para ello el SIG. Para lograr estos análisis, se realizaron los siguientes procesamientos digitales:

1.- **Filtraje:** se aplicó el realce por filtrado; primero se realiza un filtro de paso bajo con kernel de 3x3 para suavizar los contrastes de la imagen; por último, se realiza un filtrado de paso alto con kernel 3x3 para resaltar los bordes en la imagen.

2.- **Modelos Digitales de Elevación y Modelos Derivados.** El Modelo Digital de Elevación se realiza en el Sistema de Información Geográfica, a través de la capa rasterizada de curvas de nivel, se utiliza una herramienta de análisis espacial y en 3D, luego se realiza interpolación ráster. Al obtener el modelo, se reclasificaron los valores de color obtenidos, se tomaron entonces la escala de grises para el resultado final. Seguidamente por tratarse de un archivo temporal, se extrajo la imagen del programa y se guarda en formato .img para ser utilizado posteriormente en ERDAS y generar modelos derivados como el mapa de pendientes y de orientación.

3.- **Fusión de Datos.** Se aplicó el método de Brovey (Rodríguez, 2015), el cual González – Audicana (2007) lo describe como “...aplicable a las bandas de la imagen MULTI que intervienen en una composición RGB. Normaliza cada una de las bandas de la composición RGB y multiplica el resultado por la imagen PAN” (p.4), es decir, se le añade la cobertura espacial (brillo e intensidad) de la imagen pancromática a la composición de bandas de la multiespectral.

En este sentido, se utilizó la opción *resolution merge* de la herramienta interprete de ERDAS, donde se toma como imagen de buena resolución espacial la pancromática, aquella de mejor resolución espectral y radiométrica la multiespectral, con una combinación de bandas 4, 3, 1, aunque no representan las bandas originales, la imagen ya había sido trabajada.

4.- **Clasificación Digital.** Se utilizó para este procedimiento el software ERDAS, donde se despliega la opción de clasificación no supervisada (Rullán – Silva et al, 2011), en la ventana de trabajo se trabaja con la imagen multiespectral, se asigna la clasificación de 6 clases con máximo interacción de 15. Luego de obtenido el producto se utiliza el editor de capas ráster, donde se ubica el ítem nombre de clase en primer lugar, lue-

go se modifican los colores de cada clase para ver la respuesta espectral de cada una de ellas y asignarle el adecuado y el nombre.

5.- Índice de Vegetación. Se trabajó la imagen multispectral en ERDAS con la opción índice de mejora espectral, allí se aplica el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) (Posada – Asprilla, Medina – Sierra y, Cerón – Muñoz, 2019), pero además se toma el Cociente de Vegetación, con el fin de comparar los resultados obtenidos en las imágenes.

Resultados

Filtraje

Filtrado de imagen paso bajo 3x3

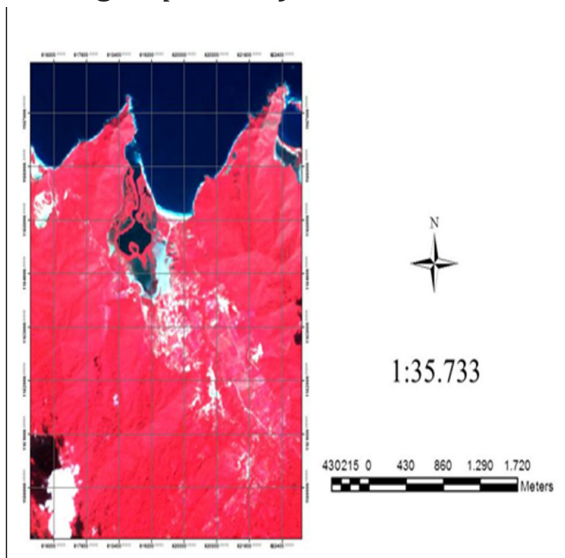


Gráfico 2. Filtrado de imagen paso bajo 3x3

Este producto permite corregir el ruido en cuanto a tonalidad e intensidad del color presente en la imagen original, al uniformar los contrastes se pueden diferenciar las diferentes zonas presentes en esta (Goyo, 2008). En el gráfico 2 se puede observar las características del relieve a mejor detalle, pues la textura que se puede percibir en esta genera la sensación que permite detectarlo, pudiendo observarse las vertientes de las montañas presentes en la zona.

Filtrado de imagen paso alto 3x3

Se produce el realce de los rasgos lineales presentes en la imagen (Goyo, 2008), por lo que se puede observar detalladamente en el gráfico 3 las vías de comunicación, el parcelamiento de las áreas de cultivos, la ubicación del centro poblado y la línea de costa. Estos resultados permiten establecer la distribución espacial de cada uno de los sectores que corresponden a la imagen analizada.

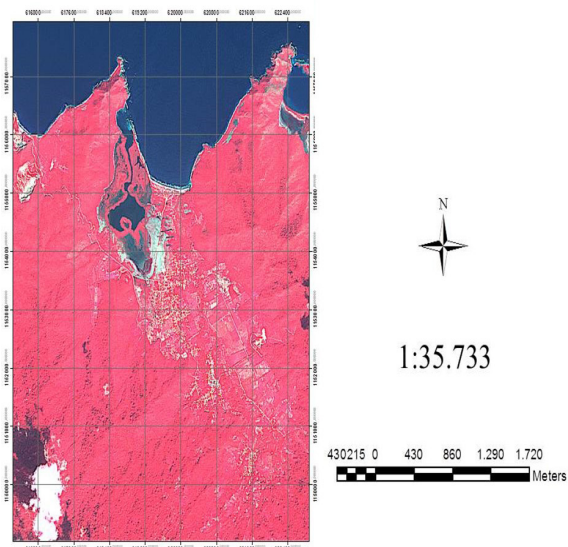


Gráfico 3. Filtrado de imagen paso alto 3x3

Modelos digitales de elevación y modelos derivados

En la Gráfico 4, se presenta el modelo digital de elevación en el formato ráster, el cual permite apreciar las características del relieve, particularmente, la divisoria de agua y las áreas de recepción de material. A partir de este, se puede realizar el mapa de pendiente media del terreno, como se observa en la Gráfico 5 donde se representa pendientes entre 0 a 44%, que de acuerdo a la clasificación de Henao (1998), va de casi plano en los sectores centrales que coincide con el valle fluvial, a muy fuerte en la zona montañosa, lo que puede facilitar el desplazamiento del material pendiente abajo. Y sí se combina con otro producto como la orientación de la ladera presentada en el gráfico 6, donde se puede conocer la dirección a la que se desplazaría el material, información que es útil en estudios de gestión de riesgos de desastres y estudios ambientales.

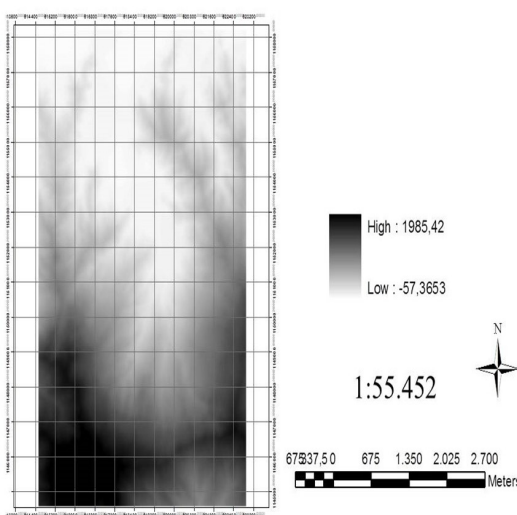


Gráfico 4. Modelo Digital de Elevación (MDE)

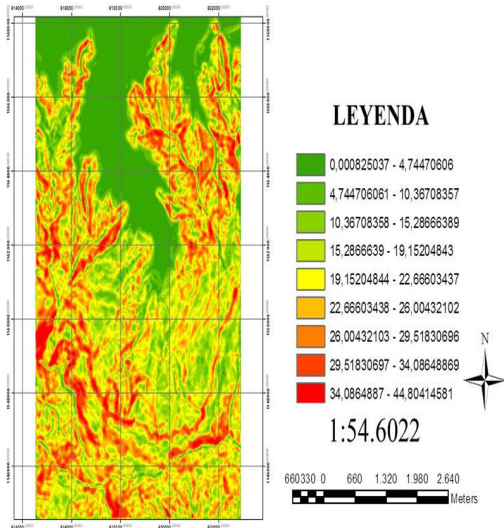


Gráfico 5. Modelo Digital de Pendiente

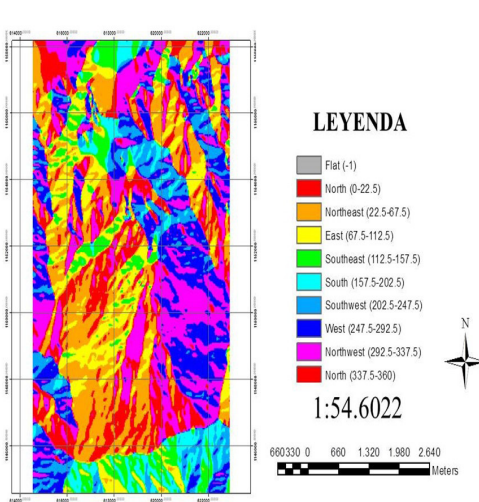


Gráfico 6. Modelo de Orientación de la Pendiente

Fusión de Datos

Este método permite mejorar la resolución espacial de la imagen multiespectral original fusionándola con la pancromática, obteniéndose la alta calidad espacial. Se puede observar los depósitos litorales tipo playa, la laguna costera, el cordón litoral, el agua somera, calles, parcelas y ortos rasgo, que facilitan la interpretación del paisaje, tal como se observa en el gráfico 7. Además, con una imagen fusionada se facilita la aplicación de otra técnica como la clasificación digital.

Clasificación Digital No Supervisada

De acuerdo al gráfico 8, se puede observar que para analizar el uso del suelo se utiliza la clasificación no supervisada. El sistema generó seis clases espectrales que corresponden a: (a) agua profunda, (b) agua poco profunda, (c) vegetación alta, (d) vegetación media, (e) vegetación rala, (f) sedimentos y hormigón. En donde:

(a) **Agua profunda:** Esta respuesta espectral corresponde a un cuerpo de agua más profundo, que pertenece al mar Caribe, esta respuesta se debe a profundidades entre 2 y 10 metros, perteneciente a los acantilados, pero además aquellas que pertenecen a mayores profundidades de a la conformación de ese valle inundado.

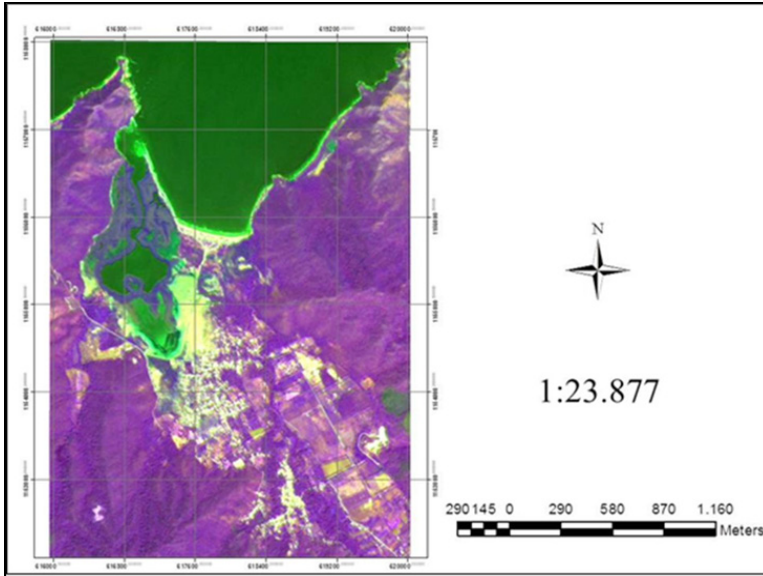


Gráfico 7. Imagen fusionada

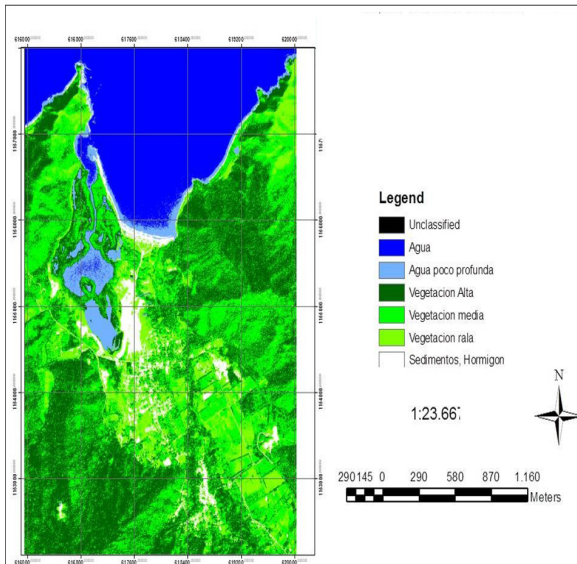


Gráfico 8. Clasificación Digital No Supervisada: Uso de suelo.

(b) **Agua poco profunda:** dicha clase corresponde a sectores más cercanos a la línea de costa y se interpreta su respuesta espectral como aquellos sectores en donde los acantilados no superan los 2 metros de profundidad, por lo cual hay una variación en los Niveles Digitales, la cercanía de esta clase a la línea de costa además ayuda a comprender la abrupta topografía submarina que se puede observar en el área de estudio.

(c) **Vegetación alta:** la distribución de esta se encuentra en las zonas altas de las montañas, por lo cual se asume que son bosques siempre verdes ubicados en las vertientes barlovento de cada una de ellas. Está correspondiente a una vegetación muy sana, su respuesta espectral permite comprender que la combinación de bandas del infrarrojo al pasar por los cañones R, B dan la respuesta obtenida en cada píxel (Castro et al, 2009).

(d) **Vegetación media:** esta clase se ubica en las vertientes sotavento del área de estudio, se corresponden a los sectores medio y piedemonte del relieve, por lo cual se trata de bosques semidecíduos, su respuesta espectral se debe a la condición caducifolia que presenta el follaje, pues tiene menor intensidad en la respuesta en el infrarrojo cercano por la clorofila presente en estas (Goyo, 2008)

(e) **Vegetación rala:** esta clase engloba los elementos de la vegetación pobremente desarrollada en la costa, y la vegetación que corresponde a las áreas de cultivos, los cuales son jóvenes de menor altura, sin ningún tipo de fruto maduro. Esto corresponde a las respuestas espectrales que generan el infrarrojo cercano en los cañones (Castro et al, 2009).

(f) **Sedimentos, Hormigón:** en esta se agrupan ambos indicadores, aunque se realiza la clasificación con 8 clases, el programa no discrimina la diferencia entre estos elementos, sin embargo, anexa dos clases diferentes para el comportamiento de la respuesta espectral del agua. Por lo cual se toman solo las 6 clases, observándose las zonas de sedimentación de la línea de costa, las vías de comunicación y las viviendas de los centros poblados. La respuesta de las vías de comunicación depende del recubrimiento (Gil, Armesto y Cañas, 2003). Con este, también se asume el mismo comportamiento para las viviendas de la zona. En cuanto a la respuesta espectral de la zona de sedimentación, se cree que se deba a la combinación de bandas que presentaba la imagen (Pérez, Aguilera y

Muñoz, 2003), pues para los estudios de geomorfología la combinación ideal corresponde a la 7, 5, 1 en falso color infrarrojo.

Se recomienda emplear el método mixto (Chuvieco, 2006), ya que tanto el método supervisado como el no supervisado, poseen ventajas y desventajas que pueden paliarse con la combinación de ambos métodos. Sin embargo, se aplicó el no supervisado sobre una imagen que ha sido mejorada por la técnica del filtraje y la fusión, lo cual favoreció a que el producto final se ajustará a la realidad.

Índices de Vegetación

Resalta la distribución de la vegetación, mediante la respuesta espectral de la misma sobre la superficie, esto se registra en las curvas espectrales y así se puede observar el contraste que se origina en la imagen, de esta manera se puede saber si hay una alta o baja reflectancia. El análisis sobre el índice de la vegetación es complejo, debido a que la reflectividad de la imagen puede variar por influencia de distintos factores como: la elevación solar, posición del sensor, condiciones atmosféricas, color de suelo, geometría de la cubierta, entre otros (Ormeño, 2006).

Es por ello que este análisis se realiza mediante la interpretación visual tomando en cuenta las características del color, textura, forma, relación de vecindad, entre otros. Esto permite identificar los patrones espaciales que facilitan su análisis.

Se construyeron dos modelos de vegetación: el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) presentado en el gráfico 9 y el Cociente de Vegetación en el gráfico 10. Como se puede observar con respecto al primero, las diferencias de la vegetación no se pueden visualizar fácilmente, esto se debe a que NDVI toma en cuenta las características cualitativas de la vegetación, mientras que, en el Cociente de Vegetación, toman en cuenta las características cuantitativas de la vegetación. Se observan diferencias entre los dos índices, en uno hay más precisión que en el otro, posiblemente por influir diversos factores ambientales.

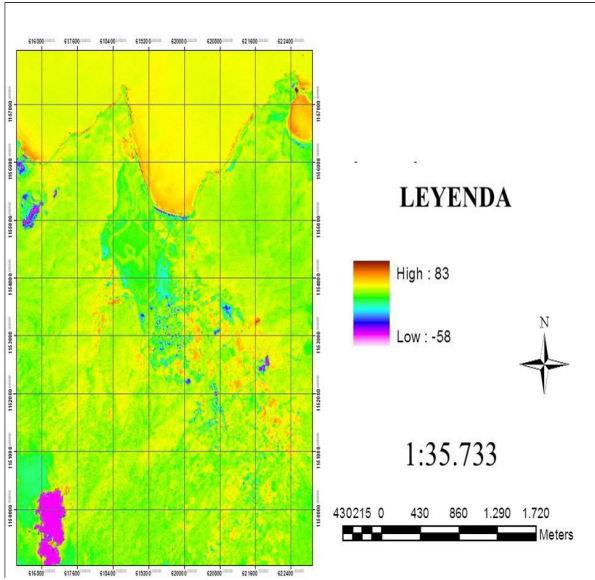


Gráfico 9. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

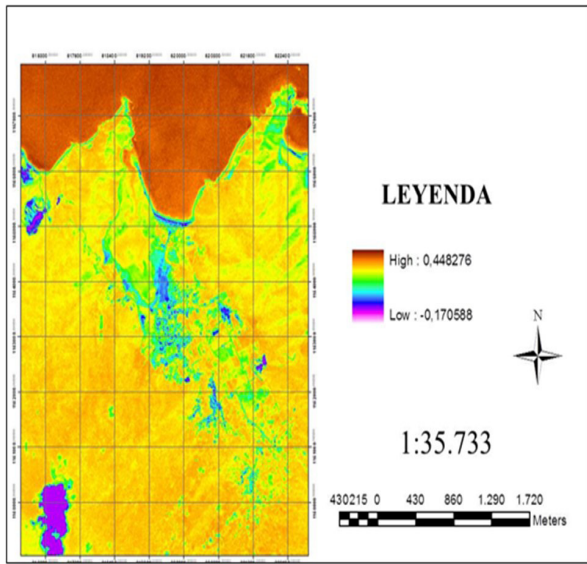


Gráfico 10. Cociente de Vegetación.

Discusión

Los filtros de paso bajo permitieron obtener información sobre la distribución de los objetos dentro de la imagen, sin embargo, resulta mejor aplicarlos con kernel de 3x3, porque cuando se aplica de 7x7 la información es borrosa y no permite el análisis preciso del área en estudio. Los filtros de paso alto, permiten detallar los rasgos lineales de la imagen: carretera, distribución de centros poblados y línea de costa, pero al igual que con lo que ocurre con los filtros de paso bajo, el más indicado es el kernel 3x3, ya que, con otro tipo de filtro, se obtiene una imagen distorsionada (Ruiz, 2018).

Del modelo digital de elevación, se pueden observar formas de relieve como valles alargados rodeados de laderas con pendientes 10 - 44° de inclinación, propias del sistema montañoso del Caribe. Este resultado permite considerar el uso de la teledetección para estudios relacionados con descripción geomorfológica, pues del producto obtenido se puede extraer información valiosa para este tipo de estudios (Ruiz, 2016).

La fusión de datos en imágenes para mejorar tanto se resolución espacial como la espectral y radiométrica permite tener mejor detalle para acondicionar la imagen con la finalidad de realizar una clasificación digital del comportamiento de la misma, considerando que la combinación de bandas debe hacerse en función del estudio que pretenda realizarse (Reinoso y León, 2018).

La clasificación no supervisada es ideal para trabajar uso y cobertura de la tierra, dependiendo de la complejidad que se tenga dentro de la imagen. Sin embargo, debe realizarse un reconocimiento previo de la imagen para comprender el comportamiento de las firmas espectrales y la clasificación del software de cada una de las clases, pues de lo contrario terminaría realizándose un análisis erróneo por no conocer las características ambientales del área (Arango, 2005).

De los índices de vegetación el que mejor se aplica a la realidad en estudio es el cociente de vegetación, porque emplea datos cuantitativos, permite una mayor exactitud y fiabilidad de los productos para el análisis del comportamiento de la zona en estudio con respecto a la cobertura vegetal (Díaz, 2015).

A la luz de los planteamientos anteriores, se puede comprender que la aplicación de las imágenes SPOT dentro de los estudios ambientales, permite reconocer cambios en el paisaje que pudiesen suscitarse dentro de una población determinada, a fin de conocer el impacto ambiental y su progresividad en el tiempo (García et al, 2014). Además de poder aplicarse para reconocer el cambio de uso del suelo (Pineda, 2011).

De esta manera, en la actualidad el análisis de imágenes SPOT y la teledetección han tomado vigor dentro de las investigaciones ambientales, pues como indica Sánchez – Díaz (2018):

...la teledetección ha sido reconocida como uno de los enfoques prometedores para estimar la biodiversidad, debido a la dificultad de recopilar datos basados en campo. Por ello, se usa la teledetección para estimar la heterogeneidad del paisaje y la diversidad de especies demostrando que es una herramienta poderosa, ya que permite trabajar a una alta resolución espacial y temporal; para mapear los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas (cobertura terrestre, uso del suelo, perturbación ecológica y fenología de la vegetación) ... (p. 245)

Adicionalmente, esta herramienta permite realizar estudios en gestión de riesgos de desastres, pues con ella se puede realizar el monitoreo de comportamiento del caudal de los ríos ante eventos hidrometeorológicos (Martín, 2011) y también a eventos asociados a procesos de remoción en masa, a través del uso de la clasificación no supervisada.

Conclusiones

Las técnicas aplicadas en esta investigación permiten obtener productos de estudios ambientales orientados a la geomorfología, vegetación, uso del espacio y gestión de riesgos de desastres. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de generar otros análisis de los resultados obtenidos, pero depende el caso al cual se esté haciendo referencia.

Se recomienda la aplicación de la metodología descrita para realizar

ejemplo y ejercicios en otras áreas de interés que permitan el conocimiento y desarrollo sustentable, la gestión de riesgos de desastres, análisis geomorfológico o estudios de impacto ambiental, a fin de familiarizarse con las bondades de esta herramienta SIG.

Finalmente, del ejercicio aplicado en esta investigación, se pueden desprender investigaciones relacionadas con el ordenamiento territorial y, gestión correctiva de riesgos de desastres.

Referencias

- Arango, M. (2005). Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores remotos: LANDSAT – ETM+. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(1), pp. 2611-2634. Recuperado de <https://bit.ly/3d5qlJS>
- Bava, F. (2003) “Procesamiento digital de imágenes satelitales para la cartografía náutica fluvial Argentina” *Tesis de Maestría*, Escuela de Ciencias del Mar, Instituto Universitario Naval Argentina. Recuperado de <https://bit.ly/325WQBs>
- Buzai, G. et al (2018). Cartografía analógica y digital para la delimitación regional y el análisis temático: aplicación a la cuenca del río Luján (Argentina). *Revista de geografía Norte Grande*, (69), pp. 99 – 119. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022018000100099>
- Cano, F., Navarro, R. y Ferrer, A. (1999) Clasificación de la vegetación en un monte alcornocal mediante imágenes Ikonos, *Revista de teledetección*, (19) pp. 31 – 41. Disponible en <https://bit.ly/323CtVl>
- Casanova, J. y Louakfaoui, E. (1999) Un índice de vegetación para el seguimiento por satélite de la masa forestal. En S. Castaño y Quintanilla (Eds) *TELEDETECCIÓN Avances y Aplicaciones. VIII Congreso Nacional de Teledetección*, Albacete, España. Recuperado de <https://bit.ly/2Rh9rPQ>
- Castanedo, F. (2011) *Fusión de datos distribuida en las redes de sensores*

visuales utilizando sistemas multi-agente. Madrid: Editorial Académica Española,

Castaño, S., Ruíz, J. y, Vela, A. (1996) La teledetección: Sus bases. *Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 11(1), pp. 183 – 194. Recuperado de <https://bit.ly/3mAjkni>

Castro, A. et al (2009) Discriminación de malas hierbas crucíferas en cultivos de invierno para su aplicación en agricultura de precisión. En S. Montesinos, L. Fernández (Eds.) *Teledetección: agua y desarrollo sostenible, XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, pp. 61 – 64, 2009. Recuperado de <https://bit.ly/3t4g326>

Chuvieco, E. (1996) Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones Rialp, 1996.

Chuvieco, E. (2006). *Teledetección ambiental*. Barcelona: Ariel Ciencia. Recuperado de <https://bit.ly/3fZeI90>

Díaz, J. (2015) “Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión” *Tesis Magister*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid - Facultad de Geografía e Historia. Disponible en <https://bit.ly/32498Ku>

Felicísimo, A. (1994). Modelos digitales del terreno: Introducción y aplicaciones en ciencias ambientales. [online] *Universidad de Oviedo*. Disponible en <https://bit.ly/3uEzFdr>

García, P. et al (2014) *Sellado de suelos a partir de teledetección y SIG: estudio en el Tajo medio-alto*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de <https://bit.ly/3211F1e>

Gil, M., Armesto, J. y, Cañas, I. (2003) Caracterización de las vías rurales a partir de la visualización de imágenes Landsat TM y Spot P. *Revista de teledetección* (19) pp. 19 – 29, 2003. Disponible en <https://bit.ly/3MAyqcu>

González – Audicana (23 de abril de 2007). Métodos clásicos de fusión de

- imágenes de satélite [Online] *Asociación Española de Teledetección*. Recuperado de <https://bit.ly/2PL3j2d>
- Goyo, Z. (2008) Teledetección aplicada a estudios ambientales. Compendio en formato digitalizado.
- Henao, J. (1998) Introducción al manejo de cuencas hidrográficas. [online] *Universidad Santo Tomas*. Disponible en <https://bit.ly/3uMxNQd>
- Martín, R. (2011) Aplicación de la Teledetección para el Monitoreo de 'Eventos Hídricos Superficiales mediante Imágenes Cosmo Sky Med. *Trabajo de grado publicado*. Córdoba: Instituto de Altos Estudios Superiores Mario Gulich. Recuperado de <https://bit.ly/3d9zp0p>
- Martínez, J. y, Martín, A. (2004) Variabilidad espacial del arroz como cultivo indicador de salinidad en regadíos del valle del Ebro a partir de series temporales de imágenes Landsat-TM. *Revista de Teledetección*, (21), pp. 11 – 14. Disponible en <https://bit.ly/3dPI2NW>
- Ormeño, S. (2006). *Teledetección fundamental. Tercera edición*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid
- Pérez, C., Aguilera, D. y, Muñoz, A. (2003) Estudio de viabilidad del uso de imágenes comprimidas en procesos de clasificación. En R. Pérez y, P. Martínez (Eds.) *Teledetección y desarrollo regional: X Congreso de Teledetección: España*. pp. 309 – 312. Recuperado de <https://bit.ly/3g1vXXe>
- Picard, X. y, D. Goddard, D. (1975) *Geomorfología y Sedimentación de la Costa entre Puerto Cabello y Cabo Codera*. Caracas: Asociación venezolana de Geología, Minería y Petróleo.
- Pineda, O. (2011) Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de valle de Santiago. *Trabajo de grado publicado*. Ciudad de México: Centro de Investigación en Geografía y Geomática Ing. Jorge I. Tamayo, A.C. Centrogeo. Recuperado de <https://bit.ly/3fYMjA7>
- Posada – Asprilla, W., Medina – Sierra, M. y, Cerón – Muñoz, M. (2019)

- Estimación de la calidad y cantidad de pasto kikuyo [*Cenchrus clandestinum* (Hochst. ex Chiov.) Morrone] usando imágenes multiespectrales. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 22(1), pp. 1 – 10. DOI: <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1195>
- Pusineri, G., Pedraza, R. y, Lozeco, C. (2005) Uso de modelos digitales de elevación y de sistemas de información geográfica en la modelación hidrológica. *Revista Geográfica Digital*, 2(3), pp. 1 – 8. Recuperado de <https://bit.ly/3saftv>
- Reinoso, J. y, León, C. (2018) La fusión de imágenes de teledetección: una ayuda para la interpretación de entornos urbanos, *Revista Expresión Gráfica de Arquitectura*, (15), pp. 182 – 189. Recuperado de <https://bit.ly/3a2PEdv>
- Rodríguez, D. (2015) Evaluación y desarrollo de métricas de calidad espacial y espectral para aplicaciones de fusión de imágenes multiespectrales de teledetección de alta resolución. *Tesis Doctoral*. Las Palmas de Gran Canaria: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Recuperado de: <https://bit.ly/3mGbf0r>
- Rosales – Veítia, J. y Marcano, A. (2013). Análisis geomorfológico de las microcuencas de drenajes Monroy y Zumba, municipio Sucre- estado Miranda, Venezuela; empleando Sistemas de Información Geográfica. *Revista CONHISREMI*, 9(1), pp. 16 – 36. Recuperado de <https://bit.ly/3wMUC7R>
- Ruiz, L. (2013) Métodos básicos de fusión de imágenes [online] España: *Universitat Politècnica de Valencia*. Recuperado de <https://bit.ly/3d6bBKx>
- Ruiz, L. (2018) Realce de imágenes en teledetección: (II) Operadores espaciales [online] *Universitat Politècnica de Valencia*. Recuperado de <https://bit.ly/2QfeT5e>
- Ruiz, S. (2016) “Desarrollo de modelos geomorfológicos de alta resolución espacial mediante técnicas de teledetección “el macizo de Ándara” *Tesis Magister*. Universidad de Cantabria: Facultad de Cien-

cias. Recuperado de <https://bit.ly/3uEA1kh>

- Rullán – Silva, C. et al (2011) Clasificación no supervisada de la cobertura de suelo de la región sierra de tabasco mediante imágenes LANDSAT ETM+. *Universidad y Ciencia. Trópico Húmedo*. 27(1), pp. 33 – 41. Recuperado de <https://bit.ly/320thkG>
- Sacristán, F. (2006). La teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Revista AquaTIC*, (24) pp. 13 – 41. Recuperado de <https://bit.ly/3mC7lWl>
- Sánchez, J. et al (1999) Seguimiento de los cultivos de regadío en La Mancha oriental desde 1982 a 1997, utilizando imágenes TM y MSS, en combinación con herramientas SIG. *Revista de Teledetección*, (12) pp. 10 – 20. Recuperado de <https://bit.ly/3dYFWdA>
- Sánchez-Díaz, B. (2018). La teledetección en investigaciones ecológicas como apoyo a la conservación de la biodiversidad: una revisión. *Revista Científica*, 33(3), pp. 243 – 253. Doi: <https://doi.org/10.14483/23448350.13370>
- Serra, M., Herrera, C. y Niz, A. (2019) Teledetección aplicada al mapeo geomorfológico de los volcanes de la cuenca alta del río Chaschuil, provincia de Catamarca, Argentina. *Tecnura*, (23), pp. 13 – 26. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.14642>
- Tapiador, F. y Casanova, J. (2001) La fusión de datos en teledetección. *Revista de Teledetección*, núm. 15 pp. 1 – 6. Recuperado de <https://bit.ly/3dR1MzA>