



REVISTA UD Y LA GEOMÁTICA

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/UDGeo/index>

DOI:<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.udgeo.2013.7.a01>

INVESTIGACIÓN

Modelo de variación del caudal en los ríos principales de las microcuencas Suratá Alto, Suratá Bajo y Tona con base en el cambio de coberturas que conforman el Páramo de Santurbán

Variation model of changes in the major rivers of Surata Alto, Surata Bajo and Tona microwatersheds based on the land cover change of Santurban Paramo

David Esteban Moreno Alarcón^a, Julieth Marcela García Vargas^b, Héctor Fuentes López^c

Para Citar este artículo: Moreno Alarcón D.E., García Vargas J.M. & Fuentes López H.J. (2013). Modelo de variación del caudal en los ríos principales de las microcuencas Suratá Alto, Suratá Bajo y Tona con base en el cambio de coberturas que conforman el Páramo de Santurbán. UD y la Geomática, (7), pp 5 – 12.

Fecha de recepción: 08 de octubre de 2013 / **Fecha de aceptación:** 01 de noviembre 2013

RESUMEN

Se realiza un procesamiento digital de imágenes del satélite LANDSAT para los años 2001, 2002, 2007, 2008, 2009 y 2011 verificándose los procesos de ortorrectificación, aplicación de índices, clasificaciones supervisadas, análisis multitemporal, cuantificación de áreas para cada cobertura en cada año; y se finaliza con la generación de un modelo logístico que calcula la probabilidad de tener aumento o disminución de caudal.

Palabras clave: procesamiento digital de imágenes, Land-Sat, microcuencas, caudal de agua, modelamiento logístico, páramo de Santurbán, minería.

ABSTRACT

For this project it is proposed a methodology based on digital image processing for the years 2001, 2002, 2007, 2008, 2009 and 2011 including orthorectification processes, index applications, supervised classifications, multitemporal analysis, area quantification for each land cover in each year; and finally the generation of a logistic model that calculates the probability of increase or decrease of water flow.

Keywords: Digital Image Processing, Landsat, Watersheds, Water flow, Logistic Modeling, Santurban Paramo, Mining.

^aColliers international, David.moreno@colliers.com

^bDANE, jmgarciav@dane.gov.co

^cUniversidad Distrital Francisco José de Caldas, hjfuentesl@udistrital.edu.co

1. Introducción

Se busca diseñar un modelo que prediga la variación del caudal en los ríos principales de las microcuencas(39) Suratá Alto, Suratá Bajo y Tona, con base en el cambio de coberturas que conforman el páramo de Santurbán.

Se toman como insumo 8 imágenes LandSat correspondientes a los años 2001, 2002, 2007, 2008, 2009 y 2011, y un mapa clasificado del año 2009 suministrado por la CDMB (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga). Se realiza una caracterización de coberturas para su posterior cuantificación con el fin de generar un modelo logístico que prediga la probabilidad de variación del caudal para las tres microcuencas anteriormente mencionadas

Actualmente no hay evidencia de la integración de la metodología usada en el procesamiento digital de imágenes con modelamiento logístico. También se propone mirar desde otro punto de vista el conflicto minero presente en la zona.

2. Metodología

Con el fin de diseñar un modelo de variación del caudal en los ríos principales de las microcuencas, con base en el cambio de las coberturas que conforman el páramo de Santurbán, se implementa una metodología que permita obtener tal objetivo (figura 1).

La interpretación de la cobertura vegetal del área de interés se apoyó en el procesamiento digital de 8 imágenes de satélite LandSat L7ETM+ y L5TM, correspondientes a los años 2001, 2002, 2007, 2008, 2009 y 2011, suministradas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y la USGS (U. S. Geological Survey), con Path/Row 7-55 y 7-56, tal como lo sugiere (ARBELO, 2012)

Se inició con la ubicación del páramo en la imagen del año 2009, para tener un mapa de referencia de este año, y sus microcuencas hidrográficas con ayuda de un shapefile de páramos disponible en el servidor web del Instituto Alexander Von Humboldt y una imagen RAPIDEYE ubicada en el Origen Bogotá, Proyección Transverse Mercator, Esferoide GRS 1980 y Datum SIRGAS.

El proceso de ortorrectificación se hizo en el software ERDAS IMAGINE, la metodología usada fue imagen a imagen, es decir, que a partir de escenas ortocorregidas existentes de fechas anteriores, con el módulo Geometric Correction, se usó el modelo Projective Transform, introduciendo el DEM correspondiente a Santander y ubicando 46 puntos de control con un error promedio de 17 metros en las dos imágenes

Después de ortorrectificar la imagen se hizo el cambio de niveles digitales a radiancia y de radiancia a reflectancia. Posteriormente se usó el índice Tasseled Cap y se comparó el resultado con el mapa de referencia suministrado por la CDMB, tras lo cual se concluyó que se tenían 3 clases (matorral, rastrojo y vegetación rasante), y de esta forma se agruparon las 6 propuestas por la corporación.

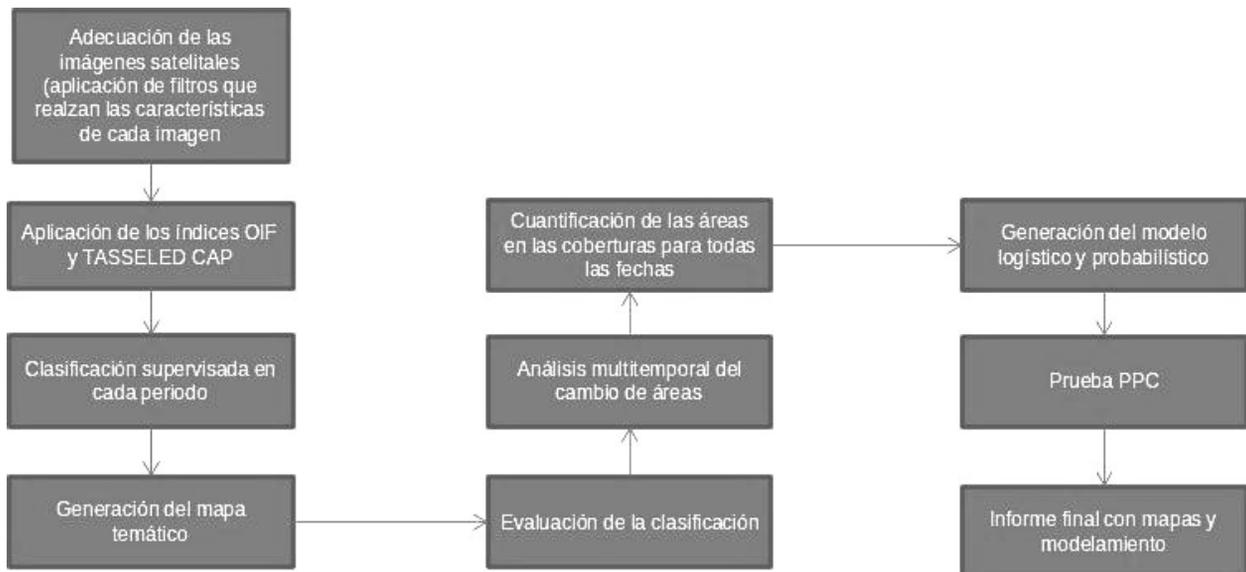


Figura 1. Metodología.

Fuente: elaboración propia.

Se procedió a ortorrectificar las 8 imágenes de los años 2001, 2002, 2007, 2008, 2009 y 2011, para trabajar sobre la reflectancia y así aplicar el índice Tasseled Cap, con el fin de obtener una clasificación para cada año de las 3 coberturas propuestas: matorral, rastrojo y vegetación rasante. Se hizo posteriormente la prueba técnica que refleja la exactitud de la clasificación.

Finalmente, se obtuvieron las áreas de cada cobertura en cada año; para dar inicio al modelamiento, se generó una variable dummy con base en el incremento o disminución de las coberturas Matorral, rastrojo y vegetación rasante, estableciendo como regla que si al menos 2 de estas incrementaban, su valor sería 1 y si disminuían, sería 0, en donde 1 se referencia como la probabilidad de tener xincremento en el caudal y 0, lo contrario.

Se generó el modelo logístico y se realizó una prueba de porcentaje de predicciones correctas.

3. Análisis de datos

3.1. Aplicación de índices

Se usó el índice de factor óptimo (OIF, por su nombre en inglés) y el Tasseled Cap. En el primero encontramos que la mejor combinación era la correspondiente a RGB (4,5,7) (tabla 1). Para seleccionar la mejor combinación de bandas se tuvieron en cuenta aquéllas que presentaran mayor desviación estándar y, a su vez, menor correlación. El índice arroja el valor más alto en la combinación de bandas 4,5,7, debido a que la correlación entre éstas es suficientemente baja para permitir obtener la mayor cantidad de información posible, al respecto (ORMEÑO, 2006).

La escogencia de estas bandas es bastante pertinente en relación con las coberturas de la zona de estudio. Se presenta vegetación paramuna caracterizada por el alto índice de humedad, además de ser de porte bajo y medio. Para la vegetación rasera, la banda 7 resulta de gran utilidad, pues presenta información sobre el suelo. La banda 5 permite un complemento adecuado, pues indica características de humedad de éste, y finalmente la banda 4 permite extraer información sobre la vegetación en función de su humedad, situación bastante favorable para la región de páramo, dadas las características que presenta, al respecto ver (NETELER, 2014).

En cuanto al índice Tasseled Cap fue el que más aportó información, ya que es un índice usado netamente para vegetación, y es lo que se busca con el fin de obtener un modelo que explique el cambio del caudal en las microcuencas con base en la probabilidad de cambio de las coberturas, con este se trabajaran las 8 imágenes para su posterior clasificación.

ÍNDICE DE FACTOR ÓPTIMO				
No.	B ₁	B ₂	B ₃	OIF
1	1	2	3	0.01454
2	1	2	4	0.04998
3	1	2	5	0.19100
4	1	2	7	0.25624
5	1	3	4	0.05941
6	1	3	5	0.19224
7	1	3	7	0.25268
8	1	4	5	0.33207
9	1	4	7	0.49354
10	1	5	7	0.43327
11	2	3	4	0.05330
12	2	3	5	0.21867
13	2	3	7	0.25173
14	2	4	5	0.24286
15	2	4	7	0.45473
16	2	5	7	0.42778
17	3	4	5	0.33026
18	3	4	7	0.48881
19	3	5	7	0.41745
20	4	5	7	0.73809

Es importante resaltar que se utilizó el índice de factor óptimo para contrastar los resultados estadísticos y de interpretación, y con base en esto decidir cuál de los métodos aporta más información. En este orden de ideas, se tiene en primera instancia que el índice Tasseled Cap aplica una transformación en las bandas buscando reducir la correlación entre las resultantes de la transformación, además de aumentar la varianza entre ellas, con el fin de evitar la redundancia de los datos y así poder discriminar la mayor cantidad de coberturas posibles. Pasando de estos análisis de las estadísticas de la imagen a la interpretación visual, se observa que los límites de las coberturas al utilizar Tasseled Cap se corresponden de manera más precisa con el mapa de referencia suministrado por la CDMB (FRANCOIS at al, 2003).

3.2. Generación del modelo logístico

Al obtener los cambios de cobertura en cada año se procedió a generar una cuantificación de los datos de área en donde se distinguiera la variación por coberturas, teniendo como variable a explicar el caudal del agua por microcuenca, es decir, tomando los ríos principales de cada unidad geográfica tal y como lo sugiere (ALVAREZ at al, 2010).

Se construyó una variable dummy en función del aumento y disminución de al menos dos de las coberturas matorral, rastrojo y vegetación rasante para obtener una relación directa con el comportamiento del caudal, en donde 1 significaba una probabilidad de aumento de caudal y 0, lo contrario.

4. Resultados

Clasificación supervisada

A partir del mapa temático obtenido por parte de la CDMB, se realiza una generalización de las coberturas, ya que no es posible discriminar su totalidad en la imagen satelital correspondiente a la fecha del mapa temático de la Corporación. Así que a partir de las coberturas presentes en el mapa de referencia se obtuvieron 3 coberturas: matorral, rastrojo y vegetación rasante, que tienen su mayor correspondencia espectral en el banda 1, banda 2 y banda 3, respectivamente. Esto resultó de la su agrupación, con base en la reflectividad de la imagen satelital después de aplicar el índice Tasseled Cap y las características propias de la vegetación, las cuales fueron:

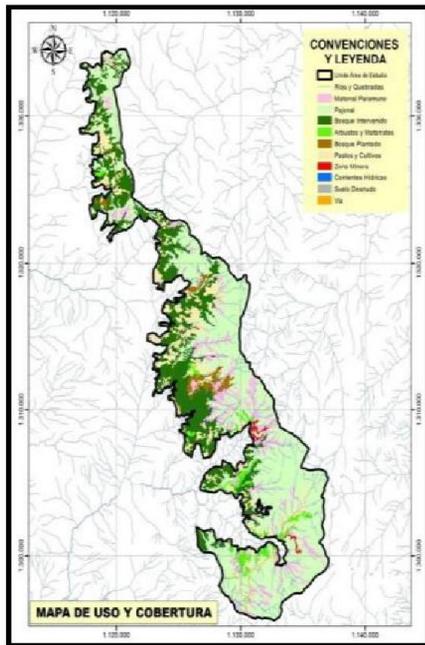


Figura 2. Mapa de referencia (2009).
Fuente: CDMB.

Para la cobertura matorral en la imagen satelital, se tienen las coberturas matorral paramuno y pajonal en el mapa de referencia. Para la cobertura rastrojo en la imagen satelital, se tienen las coberturas bosque intervenido, bosque plantado, arbustos y matorrales en el mapa temático; y para la vegetación rasante en la imagen satelital,

se tienen las coberturas pastos y cultivos en el mapa de referencia. Se pueden distinguir entre las coberturas agrupadas para cada clase similitudes en el porte de la vegetación principalmente.

En ERDAS IMAGINE se realiza la clasificación supervisada, definiendo los patrones de entrenamiento, con la regla paramétrica Maximun Likelihood. Al recodificar y extrapolar se hace la conversión a un archivo Arc, con el fin de obtener la cuantificación de las áreas de cada cobertura con base en (VILLEGAS 2004), (TRAVIESO at al 205) y (OÑATE, 2006).

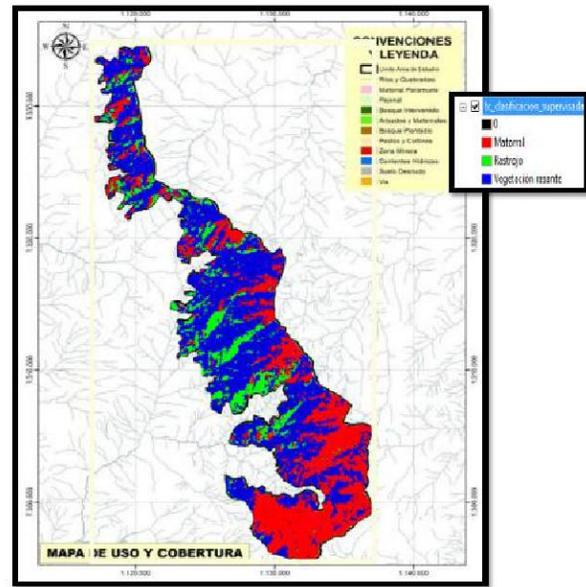


Figura 3. Imagen clasificada (2009).
Fuente: Elaboración propia.

4.1. Generación del mapa temático

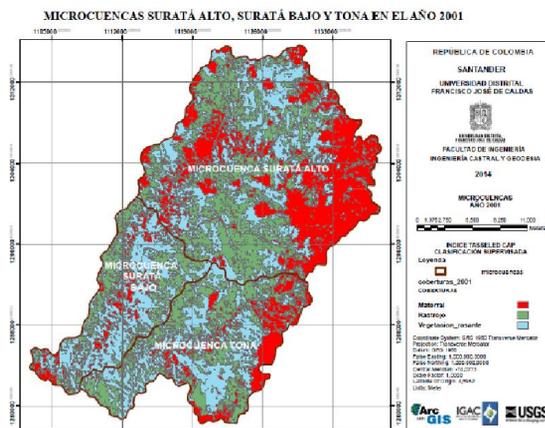


Figura 4. Microcuencas Suratá Alto, Suratá Bajo y Tona en el año 2001.
Fuente: Elaboración propia.

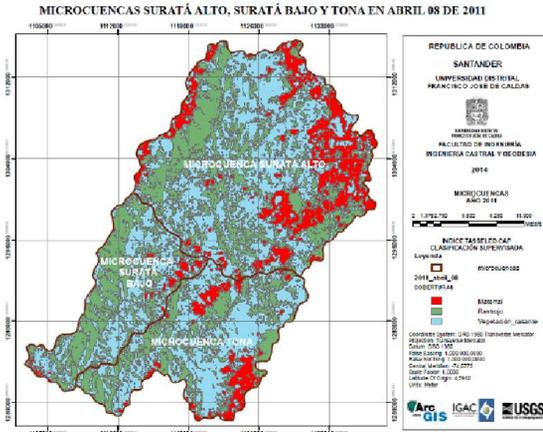


Figura 5. Microcuencas Suratá Alto, Suratá Bajo y Tona en el año 2001.

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Evaluación de la clasificación

En la imagen del 2001 se evidencian valores cercanos al 70% para la exactitud tanto del productor como del usuario. La cobertura rastrojo presenta la mayor cantidad de píxeles correctamente clasificados dentro de la imagen, mientras que el usuario puede tener mayor confiabilidad de estar observando en el mapa clasificado la cobertura correcta en terreno para matorral.

El valor de Kappa responde en parte a la mezcla de coberturas presentadas en algunos sectores para matorral y rastrojo; por otra parte, el valor de la exactitud general de la clasificación alcanza un valor superior al 70%.

Figura 6. Evaluación de la clasificación para el año 2001

2001					
Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Null	100	100	100	100.00%	100.00%
Matorral	34	35	25	73.53%	71.43%
Rastrojo	41	42	30	73.17%	71.43%
Vegetación restante	38	36	27	71.05%	75.00%
Totals	213	213	182		

Overall Classification Accuracy = 72.77%

Overall Kappa Statistics = 0.6032

Fuente: elaboración propia

Los rangos de variación de los valores porcentuales de exactitud tanto para el productor como para el usuario en la imagen del 8 de abril de 2011 son muy similares en la cobertura matorral. Para ambos casos, la cobertura rastrojo presenta los valores más altos de exactitud, mientras que los valores más bajos para la exactitud del usuario y del productor son registrados por la cobertura matorral. El

valor de Kappa es superior al 0,7 (GUERRA y OCHOA, 2006).

Figura 7. Evaluación de la clasificación para el año 2001

2001 abril 08					
Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
Null	100	100	100	100.00%	100.00%
Matorral	38	37	25	65.79%	67.57%
Rastrojo	36	39	28	77.78%	71.79%
Vegetación restante	39	37	26	66.67%	70.27%
Totals	213	213	179		

Overall Classification Accuracy = 73.71%

Overall Kappa Statistics = 0.6126

Fuente: elaboración propia

4.3. Modelo logístico

Siguiendo la metodología propuesta por (Wooldridge, 2010) se realizó el modelamiento en STATA en donde las variables significativas fueron matorral y vegetación rasante (figura 8) y se obtuvo el siguiente modelo:

$$caudal = 0.0171722 \text{ matorral} + 0.0152357 \text{ vegetación}$$

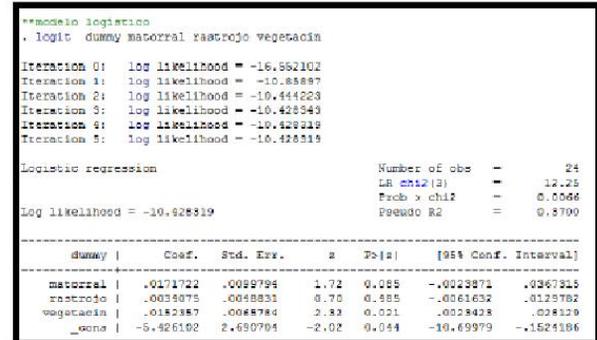


Figura 8. Modelamiento Logit.

Fuente: Elaboración propia.

El modelo predice la probabilidad de ocurrencia del evento “tener aumento” o “disminución del caudal”, de tal manera que es el signo de *caudal* lo que nos indicará la hipótesis correcta. Su interpretación es de la siguiente forma (WOOLDRIDGE, 2010)

1. Si matorral aumenta en $1m^2$, el caudal cambia en 0,0171722 unidades.
2. Si vegetación rasante aumenta en $1m^2$, el caudal cambia en 0,0152357unidades.

Para obtener la razón de probabilidad se usaron los efectos marginales (figura 9):

```

==Efectos marginales
. mfx
Marginal effects after logit
y = Pr(dummy) (predict)
= .43518942
-----
variable |      dy/dx   Std. Err.      z    P>|z|   [   95% C.I.   ]      X
-----+-----
matorral |   .0042209   .00245    1.72   0.085   -.000587   .009029   90.7246
rastrajo |   .0008376   .00119    0.70   0.483   -.001502   .003177   203.386
vegeta-n |   .0037449   .00156    2.40   0.016   .000686   .006804   191.289
    
```

Figura 9. Modelamiento Logit.

Fuente: Elaboración propia.

Los efectos marginales se interpretan de la siguiente manera:

1. Tener matorral aumenta la probabilidad de tener caudal en 0,004 puntos básicos respecto a la vegetación rasante.
2. Tener vegetación rasante aumenta la probabilidad de tener caudal en 0,003 puntos básicos respecto al matorral.

5. Discusión de resultados

5.1. Cuantificación de las áreas por cobertura

La clasificación de las coberturas del suelo sobre la zona de estudio utilizando el método de máxima verosimilitud permite determinar el área para cada una de las coberturas estudiadas en los años para los cuales se tiene el dato del caudal de agua. Un poco más de 70 mil hectáreas conforman el total del área de estudio, el cual está compuesto por las microcuencas de Suratá Alto, Suratá Bajo y Tona, siendo la microcuenca Suratá Alto la que mayor área tiene (con una participación de un poco más de la mitad sobre el total en estudio), mientras que Tona y Suratá Bajo tienen una participación del 26% y 19%, respectivamente.

Para el año 2001, se tiene una distribución más homogénea del área de las coberturas terrestres que la que presenta para el año 2009, siendo la cobertura de vegetación rasante la que más participación tiene sobre la superficie total estudiada, con una ponderación del 39%, mientras que rastrojo y matorral presentan una participación del 33% y 28%, respectivamente. Para el año 2009, se tiene un importante incremento en la vegetación rasante, la cual continúa siendo la de mayor ponderación sobre la zona de estudio, pero ahora con una participación del 44% sobre el total. Matorral sube al segundo lugar con un total de 38%; y, finalmente, se encuentra rastrojo, cobertura que disminuye de forma considerable su participación, teniendo ahora únicamente un peso del 18% sobre el total. Cabe resaltar que esta cobertura fue la única que presentó disminución de área entre los dos años (figura 10).

El comportamiento en la microcuenca Suratá Alto presenta un incremento del 21% y 34% para las coberturas de

matorral y vegetación rasante, respectivamente, mientras que la cobertura de rastrojo presenta una disminución del 60%. En la microcuenca Suratá Bajo, se tiene un marcado aumento de la cobertura matorral, creciendo a una tasa del 156%, mientras que rastrojo desciende en un 6% y en un 35% lo hace la vegetación rasante. Para la microcuenca de Tona, se tiene un aumento del 33% y 22% en la cobertura matorral y vegetación rasante, respectivamente, mientras que en la cobertura rastrojo se presenta una disminución del 43%.

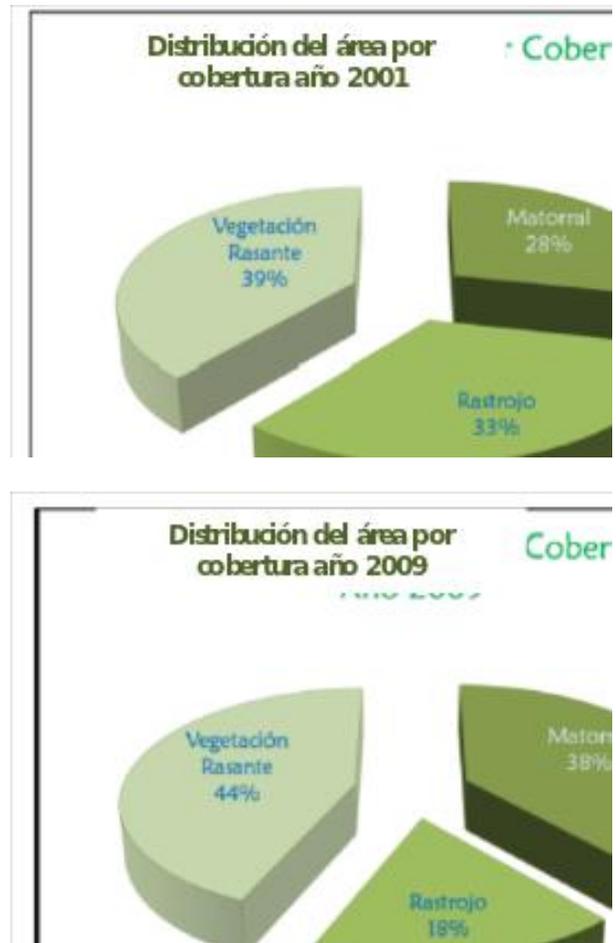


Figura 10. Cambio de área por cobertura en dos años.

Fuente: Elaboración propia.

De estas cifras, cabe resaltar que la cobertura rastrojo presentó disminución para todas las microcuencas, presentándose de forma marcada en Suratá Alto y Tona, mientras que la cobertura matorral presentó para todas las microcuencas un aumento de área, siendo Suratá Bajo la microcuenca con mayor cambio. Vegetación rasante presenta disminución en la microcuenca Suratá Bajo y aumento en las microcuencas Suratá Alto y Tona, teniendo cada uno de ellos una participación porcentual similar.

5.2. Prueba de predicciones correctas

Se usó esta prueba para cuantificar el número de predicciones correctas (figura 11) que es capaz de efectuar el modelo, cuyo resultado fue un ponderado de 79,1%.

```

predict caudallogit
(option pr assumed; Pr(dummy))

. gen caudal_pre = 1 if caudallogit > 0.5
(12 missing values generated)

. recode caudal_pre .=0
(caudal_pre: 12 changes made)

. tab dummy caudal_pre

```

dummy	caudal_pre		Total
	0	1	
0	10	3	13
1	2	9	11
Total	12	12	24

Figura 11. Efectos marginales.

Fuente: Elaboración propia.

6. Conclusiones

Obteniendo el modelo de probabilidad basado en el cambio de coberturas matorral, rastrojo y vegetación rasante en el área de estudio para el periodo de tiempo comprendido entre los años 2001 y 2011, usando imágenes satelitales LANDSAT, se demuestra que las coberturas significativas son matorral y vegetación rasante. Esto se puede explicar al analizar el cambio en el verdor de la zona de estudio, reflejado espectralmente en la banda 2 como se sugiere en (BACH at al 2003),

Con el Tasseled Cap se estableció que el matorral tenía su correspondencia espectral en mayor medida en la banda 1, el rastrojo en la banda 2 y la vegetación rasante en la banda 3, lo que significa suelo desnudo, vigorosidad en la vegetación y humedad, respectivamente (FERREYRA 1993) y (FAUSTINO Y JIMENEZ, 2000).

Al obtener el modelo, la cobertura de rastrojo no arrojó una respuesta significativa, porque presenta una disminución en el periodo estudiado. Se puede atribuir este cambio en parte al proceso de explotación minera que ha habido en la zona.

El presente proyecto expuso cómo el cambio de coberturas se puede expresar de manera matemática por medio de un modelo que indique las variables a tener en cuenta para tomar medidas que ayuden a cuantificar y pronosticar las consecuencias si se continúan con las dinámicas actuales; es, así, un instrumento ventajoso que limita las actividades

humanas para la conservación y preservación del espacio ambiental y geográfico (MORAN, 2011)

Haciendo el análisis del procesamiento digital de cada imagen con su respectiva clasificación de cobertura, se concluyó que había un cambio en el periodo: en la microcuenca Suratá Alto se presentó un incremento del 21% y 34% para las coberturas de matorral y vegetación rasante respectivamente, mientras que la cobertura de rastrojo presentó una disminución del 60%. En la microcuenca Suratá Bajo, se tiene un marcado aumento de la cobertura matorral, creciendo a una tasa del 156%, mientras que rastrojo desciende 6% y 35% lo hace la vegetación rasante.

Para la microcuenca de Tona, se tiene un aumento del 33% y 22% en la cobertura matorral y vegetación rasante, respectivamente, mientras que en la cobertura rastrojo se presenta una disminución del 43%. De estas cifras cabe resaltar que la cobertura rastrojo presentó disminución para todas las microcuencas, de forma marcada en Suratá Alto y Tona, mientras que la cobertura matorral mostró para todas las microcuencas un aumento de área, siendo Suratá Bajo la microcuenca con mayor cambio. Vegetación rasante presenta disminución en la microcuenca Suratá Bajo y aumento en las microcuencas Suratá Alto y Tona, teniendo cada uno de ellos una participación porcentual similar.

Por otro lado, tenemos la exactitud de la clasificación junto con la evaluación del porcentaje de predicciones correctas: para las clasificaciones, el rango estuvo entre el 71% y 79%; para el modelo de probabilidad, correspondió a un 79,1%. Por lo tanto, podemos concluir que la exactitud será buena.

Finalmente se recomienda usar este tipo de estudios para diagnosticar y evaluar el riesgo cuantitativo y cualitativo de las prácticas humanas que someten a un cambio brusco en el espacio geográfico y ambiental.

Referencias

- ARENAS S., J. F. HAEGER AND D. JORDANO. (2011). Aplicación de técnicas de teledetección y GIS sobre imágenes Quickbird para identificar y mapear individuos de peral silvestre *YPyrus bourgeana*) en bosque esclerófilo mediterráneo. *Revista de Teledetección* 35, 55 – 71. ISSN: 1998 – 8740.
- BAPTISTE Brigitte. (2011). La importancia de Santurbán. *Revista ASEDUIS Bucaramanga*, edición 7, pp. 24 – 29.
- CERVANTES Ronal, Jorge FAUSTINO, Francisco JIMÉNEZ and Laura BENEGAS (2008). Principios y criterios para la congestión de cuencas hidrográficas en América Tropical. *Recursos Naturales y Ambiente/no.* 56-57:59-85.
- CHUVIECO Emilio. (1995). *Fundamentos de teledetección espacial* (2ª ed.). Madrid: RIALP.

- COMISIÓN COLOMBIANA DEL ESPACIO (2010) Aplicaciones del Programa Satelital Colombiano de Observación de la Tierra. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia. Pages: 27 – 45.
- CORPONOR. (2009). Acuerdo No. 37 “Por el cual se aprueba el Estudio del Estado Actual y el Plan de Manejo Ambiental de los Páramos de Santurbán en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental – CORPONOR”.
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. (2013). Acto administrativo para la declaratoria del PNR Páramo de Santurbán. Acuerdo de consejo directivo No. 1236 de Enero 16 de 2013.
- FRANÇOIS Jean, José REYES y Azucena PÉREZ. (2003). Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. Investigaciones geográficas no. 51
- GOLDER ASSOCIATES PERÚ S.A. (2012). Resource Estimation of the Móngora Gold-Silver Deposit, Santander Department, Colombia. Golder Associates.
- GONZALEZ Carlos. (2012). Modelos con Variable dependiente discreta y limitada con STATA. Economía
- GUERRERO Luis. (2012). Minería, conflictos sociales y violación de derechos humanos en Colombia. Centro de Investigación y Educación Popular/Programa por la Paz (CINEP/PPP)
- INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN RECURSOS BIOLÓGICOS ALEXANDER VON HUMBOLDT. (2012). Concepto técnico pertinente a la delimitación y caracterización del sistema paramuno en el área de la serranía de Santurbán ubicada en el departamento de Santander, solicitado por la dirección de licencias - ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.
- MATA Alfonso y Franklin MATA. (2005). Diccionario didáctico de ecología. Editorial Universidad de Costa Rica.
- MORALES Mónica, Javier OTERO, Thomas VAN DER HAMMEN, Andrea TORRES, Camilo CADENA, Carlos PEDRAZA, Nelly RODRÍGUEZ, Carol FRANCO, Juan BETANCOURTH, Édgar OLAYA, Ernesto POSADA y Luciano CÁRDENAS. (2007). Atlas de páramos de Colombia (1ª ed.). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Contribución IAvH #388.
- VARGAS Rios y PEDRAZA Paola. (2004). Parque Nacional Natural Chingaza. Universidad Nacional, Colciencias y Empresa de acueducto de Bogotá. P.p. 197
- VILLEGAS Juan. (2004). Análisis del conocimiento de la relación agua - suelo - vegetación para el departamento de Antioquia. Revista EIA. Escuela de Ingeniería de Antioquia. ISSN 1794-1237. Número 1 p. 73 – 79.
- WOOLDRIDGE Jeffrey. (2010) Econometric Analysis of cross section and panel data. (2ª ed.). Massachusetts Institute of Technology. ISBN 978-0-262-23258-6 (hardcover: alk, paper) 1. Econometrics – Asymptotic theory, I. Title, HB139, W663, 2010

