

Análisis de impacto ambiental de la desviación del arroyo Bruno por medio de cambios en la cobertura del suelo

Laura Sánchez Amézquita*

Asesor: Juan Pablo Ramos Bonilla. Co-asesor: Benjamin Lysaniuk

*Estudiante de pregrado de Ingeniería Ambiental de la Universidad de los Andes, l.sancheza@uniandes.edu.co

Resumen

El arroyo Bruno, ubicado entre los municipios de Albania y Maicao en la Guajira, departamento semidesértico de Colombia, fue desviado entre 2016 y 2017 por el consorcio Carbones del Cerrejón Limited para aumentar la producción de la mina de carbón. Desde antes del desvío del arroyo y como consecuencia de la expansión minera se ha venido transformando la dinámica local del agua y las relaciones culturales y cotidianas de las comunidades indígenas Wayúu. En particular, la desviación del arroyo Bruno ha desatado un conflicto socioambiental debido a la vulneración del derecho a la consulta previa de las comunidades indígenas Wayúu. El objetivo del presente estudio fue identificar los cambios a nivel de paisaje que podrían estar asociados al desvío del arroyo Bruno utilizando la dinámica de cambio de cobertura de suelo antes y después de la desviación. Para esto se emplearon imágenes satelitales RapidEye de 2014 y 2020, integrando índices para determinar áreas de bosques, pastizales y arbustales, suelos desnudos y cuerpos de agua. Se evidenció que en zonas contiguas al tramo desviado hubo cambios de cobertura atribuidos a las construcciones de la desviación, mientras que después de su desembocadura al río Ranchería y antes del tramo desviado no hay impactos atribuidos a las construcciones del desvío si no que en su mayoría son cambios inducidos por la acción antrópica.

Abstract

The Bruno stream, located between the municipalities of Albania and Maicao in the Guajira, a semi-desert department of Colombia, was diverted between 2016 and 2017 by the Carbones del Cerrejón Limited consortium to increase coal mine production. Since before the diversion of the stream and as a consequence of the mining expansion, the local water dynamics and the cultural relationships of the Wayúu indigenous communities have been transforming. In particular, the detour of the Bruno stream has unleashed a socio-environmental conflict due to the violation of the right to prior consultation of the Wayúu indigenous communities. The objective of this study was to identify landscape-level changes that could be associated with the diversion of the Bruno stream using the dynamics of land cover change before and after the detour. For this purpose, RapidEye satellite images from 2014 and 2020 were used, integrating indices to determine areas of forests, grasslands and shrublands, bare soils, and water bodies. It was found that in areas adjacent to the bypassed section there were changes in coverage attributed to the construction of the detour, while after its mouth at the Ranchería River and before the bypassed section there are no impacts attributed to the construction of the diversion, but rather they are mostly changes induced by anthropogenic action.

Palabras claves: Desvío arroyo Bruno, Cobertura de suelo, La Guajira

Introducción

El río Ranchería es el río más importante de la Guajira, departamento semidesértico y de suelos áridos localizado al norte de Colombia (Otero-Cortés, 2013). Entre sus principales afluentes se encuentra el arroyo Bruno que está ubicado entre los municipios de Albania y Maicao, nace en

la zona alta de la Serranía del Perijá y desemboca después de un recorrido de 22.4 km en el río Ranchería (Cerrejón, s.f.). A lo largo del arroyo se encuentran comunidades indígenas del pueblo Wayúu, como la comunidad la Gran Parada y Paradero, donde el agua y la tierra representan dos espacios fundamentales de la vida y que constituyen el equilibrio primario de su organización social y cultural

(Caro, 2018). No obstante, debido a la expansión de la minería de carbón se está transformando la dinámica local del agua y las relaciones culturales y cotidianas del pueblo Wayúu (Ulloa, 2020).

En el 2012 el consorcio Carbones del Cerrejón Limited inició planes de crecimiento que buscaban aumentar la producción de la mina de 34 a 40 millones de toneladas de carbón (Carmona y Jaramillo, 2020). Entre estos planes estaba la desviación del arroyo Bruno, también llamado proyecto Tajo La Puente, que consistió en mover 700 metros al norte un tramo de 3,6 km del arroyo (Cerrejón, s.f.). En 2014 obtuvieron la autorización de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) para la desviación de 20 cuerpos de agua y la construcción de una represa en el Río Palomino (Censat Agua Viva, 2015). Para 2016 comenzaron las obras de desviación de este arroyo; sin embargo, fue ordenada su suspensión en agosto de 2017 ya que fue interpuesta una tutela en la que se reclamaba la vulneración del derecho a la consulta previa de las comunidades de la Gran Parada y Paradero, como también el impacto ambiental al agua y a la seguridad alimentaria (Colprensa, 2017). Aun así, el proyecto de desviación culminó y se está desarrollando un proceso de rehabilitación y estabilización ambiental del arroyo (Cerrejón, s.f.).

Este conflicto socioambiental ha sido analizado por diferentes autores. Por ejemplo, Caro (2018) analiza las problemáticas históricas en relación con el agua y el territorio a causa de la expansión de la zona minera; Gómez-Betancur, Vilarly y Torres (2021) destacan cómo se incorporaron los Servicios Ecosistémicos en el derecho constitucional en defensa de la comunidad indígena en el conflicto, y Mejía, Sánchez y Paredes (2020) realizan un análisis económico de los impactos del proyecto. No obstante, no se han hecho estudios que den un panorama del cambio de cobertura/uso de suelo atribuido al desvío.

Uno de los métodos para identificar los cambios en la cobertura y por ende en el uso del suelo es emplear imágenes satelitales. Entre los resultados de la comparación están polígonos, líneas o puntos que representan el tamaño, la forma o los cambios en el marco de los horizontes temporales definidos. Estos cambios pueden ser detectados en metodologías de detección de cambios bi-temporales (comparando la misma área en dos puntos en el tiempo) y análisis de tendencias multi-temporales (comparando la misma área en intervalos de tiempo más largos con múltiples imágenes) (Feranec, Hazeu, Christensen y

Jaffran, 2007). Para esto, la clasificación de cobertura de suelo puede ser supervisada y no supervisada. La primera es un procedimiento para identificar áreas espectralmente similares en una imagen en la que se reconocen como sitios de entrenamiento de coberturas terrestres conocidas; el algoritmo de clasificación extrapola esas características espectrales a otras áreas para su clasificación. La clasificación no supervisada comprende la categorización de una imagen mediante un procesamiento informático basado únicamente en las estadísticas de la imagen, sin la intervención de una guía directa del usuario (Castillejo-González et.al., 2005). El patrón de cobertura del suelo y su cambio proporcionan información esencial para modelar y comprender muchos fenómenos, ya que reflejan los procesos naturales y/o sociales subyacentes (Lam, 2008).

Este estudio tiene como objetivo analizar los impactos ambientales del desvío del arroyo Bruno evidenciando los cambios de cobertura de suelo de la zona de interés. Para esto se realiza una clasificación de la zona de estudio tomando la información satelital de dos tiempos conocidos (análisis bi-temporal) y de manera supervisada. Teniendo en cuenta lo anterior y dado que para incrementar la producción de carbón se planeó la desviación de los arroyos Bruno, Cerrejón y Tabaco, el río Palomino y canalizaciones de otros cuerpos de agua de carácter torrencial (Cerrejón-Ingetec, 2014 citado en Llorente, 2019), es fundamental la evaluación de los efectos de proyectos mineros en los cambios de cobertura/uso del suelo para proporcionar la información necesaria para planificar y salvaguardar la biodiversidad y a las comunidades dependientes de la misma.

Materiales y métodos

1. Área de estudio

El área de estudio comprende el norte de la mina el Cerrejón en el departamento de la Guajira entre los límites de Albania y Maicao con una superficie de 88.3 km² (Figura 1). Se incluyó la cuenca baja, media y parte de la cuenca alta del arroyo Bruno. Este nace dentro de la reserva forestal protegida Montes de Oca y su cauce va en dirección sureste-noroeste en un recorrido de 22,4 km hasta desembocar en el río Ranchería (Cerrejón, s.f.). En la zona hay algunos asentamientos del pueblo Wayúu que participaron en la consulta previa y estaban involucradas en la tutela que se interpuso contra el proyecto (Campo Herrera, La Horqueta, el Rocío y Tigre Pozo).

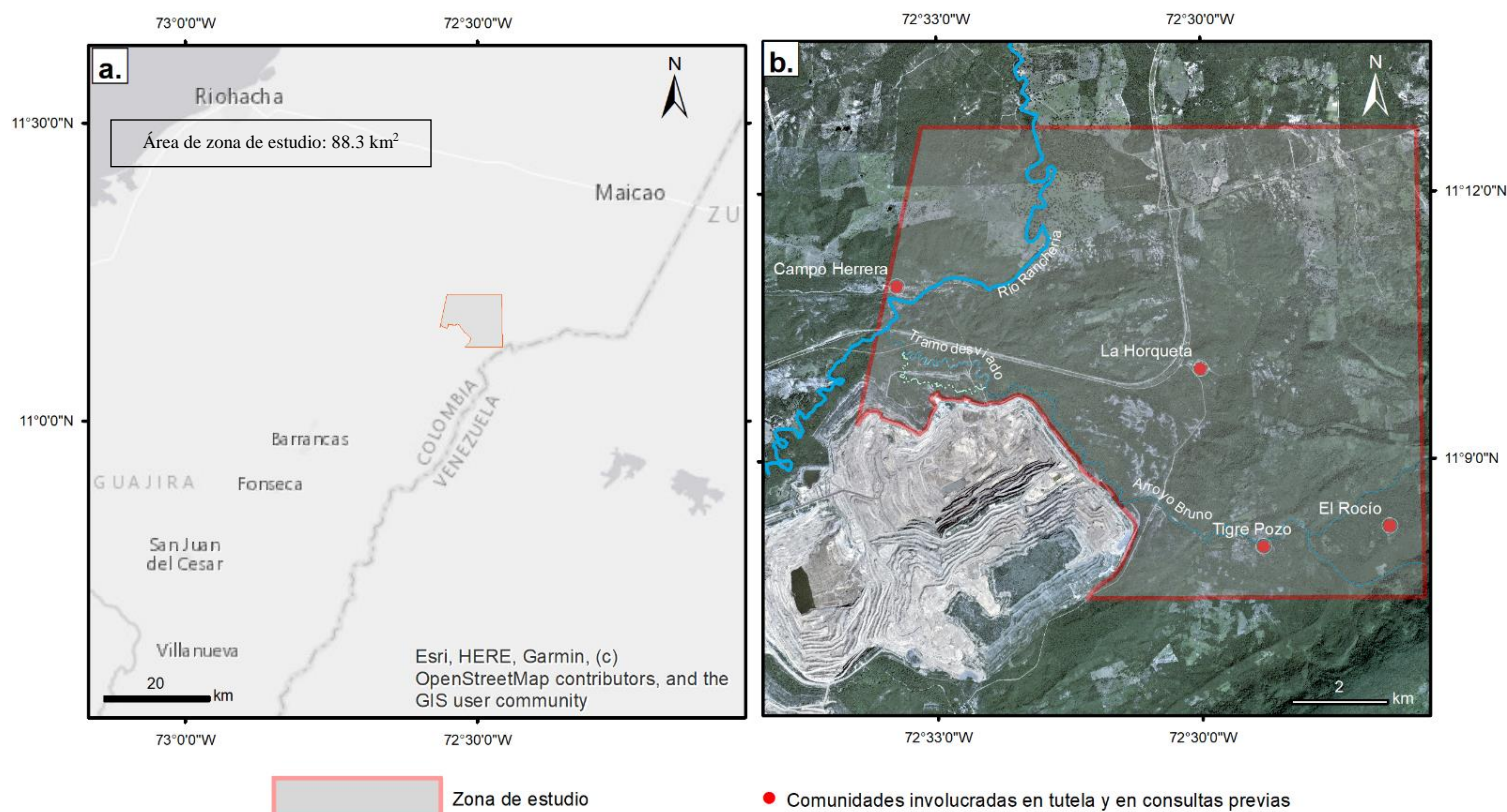


Figura 1. Área de estudio. **a.** Ubicación del área de estudio en el departamento de la Guajira. **b.** Detalle del área de estudio. Imagen del 4 de enero del 2021 de Planet Team (2021).

2. Unidades paisajísticas

Fueron elegidas 4 unidades paisajísticas para la clasificación del suelo: bosques (bosques secos tropicales y bosques de galería), pastizales y arbustales, cuerpos de agua (ríos, arroyos y estanques) y suelo desnudo. Estos fueron elegidos con base en la observación de la zona de estudio que en la actualidad presenta diversas formas de producción y apropiación del territorio en las que se encuentran actividades de tipo agrícola-ganaderas, minerías y prácticas silvopastoriles (Otero-Cortés, 2013). Además, se tuvieron en cuenta tres estudios que describen los ecosistemas de la zona. Gualdrón (2011) presentó los ecosistemas que comprenden el área de la mina el Cerrejón; Blanco-Torres, Báez, Patiño-Flores y Renjifo-R (2013), al igual que Arteta y Lazaro (2016) caracterizaron los ecosistemas de la cuenca del río Ranchería.

3. Adquisición de imágenes satelitales

Para la selección de las fechas de las imágenes satelitales se buscó que las imágenes presentaran la menor nubosidad debido a que las nubes ocultan la superficie terrestre y emiten su propia radiación (Alonso, 2013). También, se buscó que las imágenes fueran preferiblemente tomadas en una misma época del año (de estación seca) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

[IDEAM], Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC] y Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena [Cormagdalena], 2008). El régimen de lluvias predominante en la Guajira es bimodal con una temporada seca muy marcada en los cuatro primeros meses del año (IDEAM, s.f.). Además, se buscó que fueran de una época de condiciones cercanas a las condiciones promedio con escalas de variabilidad climática asociadas a la estacionalidad propia del año. Para lo anterior, se obtuvo la precipitación total de los dos meses anteriores a la fecha de cada imagen satelital con los datos del IDEAM (s.f.) de la estación Cuestecita. Se consideraron 2 meses debido a que la correlación entre la lluvia y a los índices de vegetación como el NDVI (Índice de Vegetación Normalizada) mejora cuando la precipitación se presenta de manera acumulada en un lapso de uno o dos meses anteriores al registro satelital (De La Casa y Ovando, 2006). Con la precipitación total se seleccionaron las imágenes que tenían la precipitación acumulada más semejante. Teniendo en cuenta las características anteriores, fueron descargadas dos imágenes satelitales del 13 de febrero de 2014 y del 27 de febrero de 2020. La primera es la imagen más cercana al comienzo de las construcciones del desvío (marzo de 2016), mientras que la segunda es la imagen más reciente

encontrada después de que se completara el cierre de la presa (octubre de 2017).

Las imágenes satelitales fueron obtenidas a través de Planet Explorer (<https://www.planet.com/explorer/>), son del satélite RapidEye de nivel 3A compuesto por datos multiespectrales ortorectificados que se han procesado para eliminar las distorsiones causadas por el terreno, eliminando el efecto de perspectiva sobre el terreno, restaurando la geometría de una toma vertical y con correcciones radiométricas para corregir cualquier artefacto del sensor y la transformación a la radiancia del sensor (Planet Labs Inc, 2019). El satélite RapidEye obtiene imágenes en 5 bandas espectrales, incluyendo bandas del espectro visible (azul, verde, rojo y borde del rojo) e infrarrojo cercano (NIR), cada una con una resolución espacial de 5 m. En este contexto, la resolución espacial de las imágenes es importante ya que los datos satelitales de alta resolución se utilizan para la validación de pequeñas áreas a partir de los resultados de los análisis de resolución más gruesa (Kim, 2015).

4. Procesamiento de imágenes

Para el procesamiento de las imágenes satelitales se empleó el software ArcGIS y se dividió en 4 fases. En primer lugar, para cada imagen satelital se realizaron dos índices para la identificación de diferentes unidades paisajísticas en la zona de estudio, con los resultados de los índices se realizaron polígonos representativos de cada tipo de unidad paisajística, con la herramienta Training Sample se realizó la caracterización para obtener una firma espectral y finalmente con los datos obtenidos se realizó una clasificación de máxima verosimilitud.

Los índices empleados fueron el NDVI para destacar las zonas con suelo desnudo, pastizales y arbustales y zona de bosque y el NDWI (Índice de Agua Normalizado) para identificar los cuerpos de agua. Cabe resaltar que el proceso de clasificación digital fue aplicado sobre el polígono correspondiente a los límites del área de estudio para realizar los análisis espectrales y reducir la desviación de valores ajenos al área en estudio que podrían modificar los

resultados; por ejemplo, valores dentro de la zona de extracción minera.

Resultados

Cuando se obtuvieron las coberturas para el área de estudio (Figura 2 y Figura 3) se pudieron observar las siguientes situaciones.

En el año 2014 se estimó que las coberturas con mayor extensión dentro de la zona de estudio son los pastizales y arbustales con una superficie de 56.3 km², equivalente al 65.2% del área de estudio. Luego se observaron los bosques con una superficie de 29.5 km², es decir el 34.1% del área de estudio, y en tercer lugar están los suelos desnudos con una superficie de 0.5 km² equivalente al 0.5% del área de estudio. Finalmente, las coberturas de cuerpos de agua tienen una superficie de 0.2 km² (0.02% del área de estudio).

En el año 2020 los pastizales y los arbustales mantuvieron la mayor superficie del área de estudio; sin embargo, en ese año la cobertura disminuye del 65.2% al 65.1%, es decir, tuvo una disminución correspondiente a 0.1 km². En segundo lugar, se encuentran los bosques que tendieron a transformarse en pastizales y arbustales, disminuyendo su participación relativa al 32.4%. Esto significa que presentaron una disminución de extensión de 1.5 km², es decir, 1.7% de su superficie. Las cubiertas con mayores cambios fueron los suelos desnudos con una superficie del 2.5%. Esto representa un aumento del 2% respecto a su superficie estimada en el 2014. Los cuerpos de agua también mostraron tendencias decrecientes.

En el tramo del arroyo Bruno desviado mostrado en la Figura 2.b y Figura 2.d se evidenciaron cambios de cobertura atribuidos las obras de desviación. En primer lugar, la clasificación de la zona de desviación del 2014 predomina la cobertura de bosque en la ribera del arroyo y en 2020 de pastizal. Además, en la zona cercana al tramo construido se percibió que hay una reducción de la vegetación ribereña clasificada en 2014 como bosque a pasar a pastizal y a suelo desnudo en 2020.

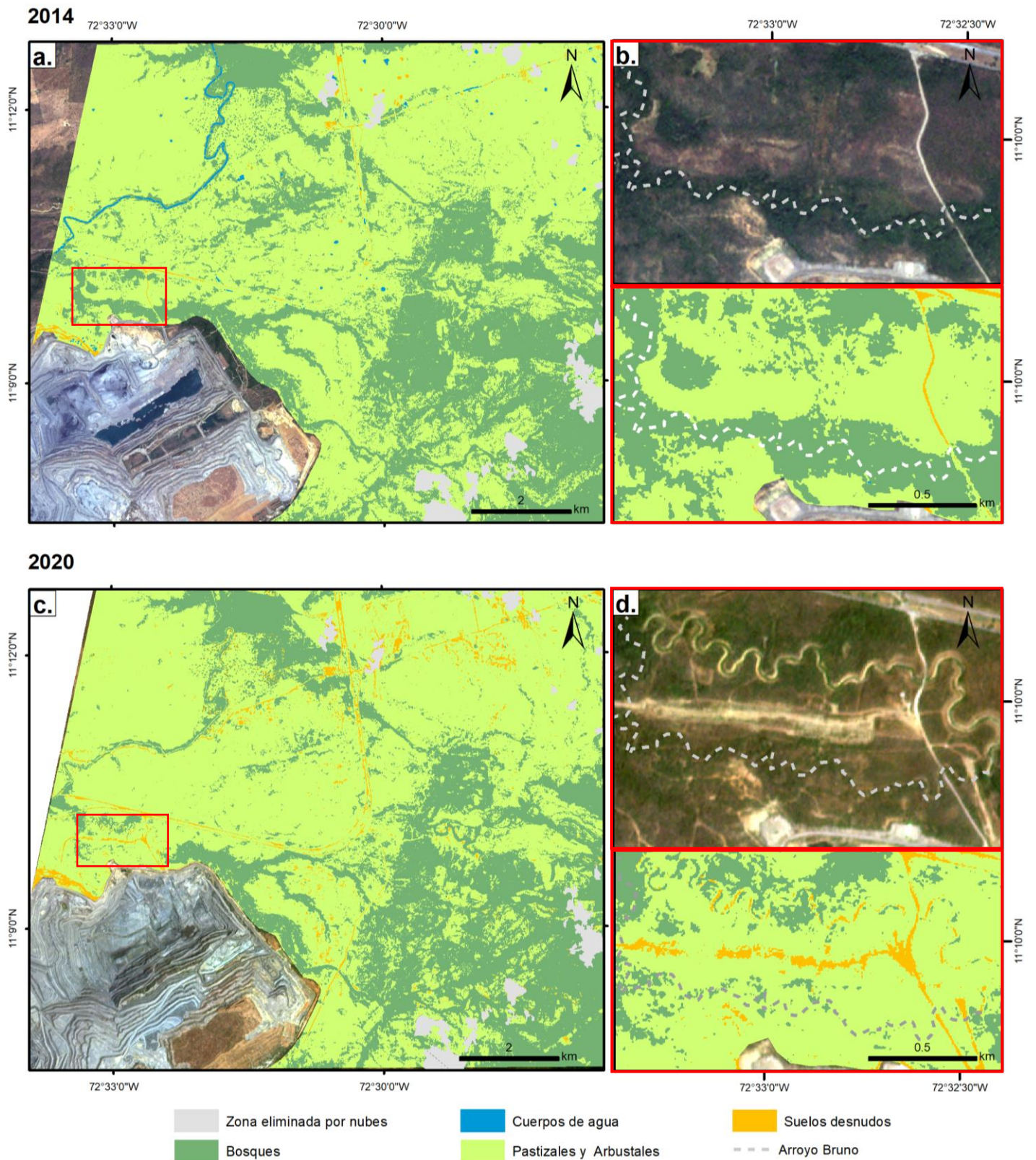
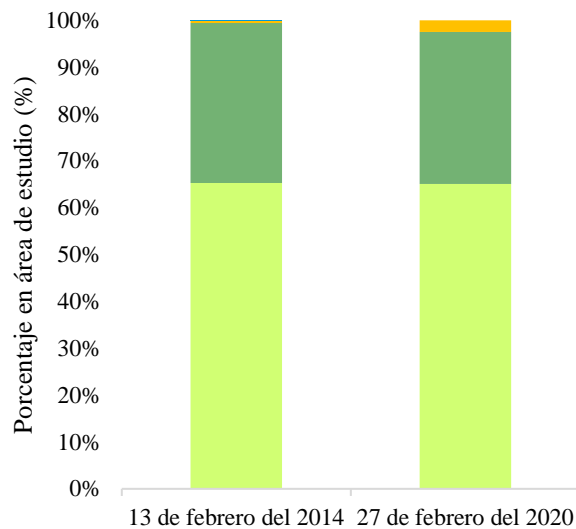


Figura 2. Cobertura de suelo en área de estudio. **a.** Cobertura estimada para 2014 con imagen satelital del 13 de febrero del 2014 de Planet Team (2021). **b.** Cobertura de la zona de desvío del arroyo Bruno estimada para 2014 con imagen satelital del 13 de febrero del 2014 de Planet Team (2021). **c.** Cobertura estimada para 2020 con imagen satelital del 27 de febrero del 2020 de Planet Team (2021). **d.** Cobertura de la zona de desvío del arroyo Bruno estimada para 2014 con imagen satelital del 27 de febrero del 2020 de Planet Team (2021).



	13/02/14	27/02/20
Cuerpos de agua	0.02%	0.0%
Suelos desnudos	0.5%	2.5%
Bosques	34.1%	32.4%
Pastizales y arbustales	65.2%	65.1%

Figura 3. Porcentaje de cada unidad paisajística en las dos imágenes satelitales empleadas en la clasificación en el área de estudio.

A 0.8 km de la desembocadura del arroyo al río Ranchería se registra una zona que se transforma de pastizal y arbustal a suelo desnudo. En dicha zona hay una vía de acceso y se encuentra la comunidad de Campo Herrera. Algo parecido sucede a 2 km y a 3 km después la desembocadura del arroyo al río Ranchería donde hay vías de transporte cercanas al río que se clasificaron en 2014 como cobertura de pastizal y arbustal, y en 2020 son de suelo desnudos. Los cambios descritos anteriormente no pueden ser atribuidos directamente al desvío del arroyo ya que una dinámica parecida sucede a 6 km antes de la desembocadura del arroyo al río Ranchería.

Discusión de Resultados

Considerando que el Cerrejón (2020) afirma que el comportamiento del ecosistema generado alrededor del cauce modificado del arroyo Bruno prueba que el tramo desviado hoy funciona como un corredor de biodiversidad, es importante realizar un monitoreo satelital continuo complementado con datos de campo para evidenciar lo anterior a nivel de paisaje. Esto teniendo en cuenta que los resultados obtenidos indican que con una diferencia de 6 años se registraron cambios en las dinámicas del suelo en la zona de estudio de tendencia decreciente para los bosques, pastizales y arbustales, lo que es evidente con los cambios de las coberturas adyacentes al tramo desviado del arroyo Bruno que son atribuidos a las construcciones de la desviación.

Por otra parte, para las zonas que no son contiguas al tramo desviado del arroyo Bruno no hubo una tendencia de cambio de la cobertura que pueda ser atribuida a la

desviación del arroyo. Si bien se pueden evidenciar cambios después de la desembocadura del arroyo a lo largo del río Ranchería, es importante resaltar que el patrón temporal de las coberturas se apoya en el hecho de que los índices incluidos en la metodología (como el NDVI) son generalmente más sensibles a los eventos de precipitación en las zonas semiáridas (Lingjun, 2014), como otras influencias climáticas como la temperatura, las condiciones topográficas y los tipos de suelo (Muradyan et al., 2019). Además, como se evidenció con la aparición de suelos desnudos en zonas cercanas a vías y a asentamientos, se demostró que las actividades humanas ejercen presiones sobre los ecosistemas tanto a escala local como regional, demostrando que los factores antropogénicos se han convertido en impulsores no despreciables que afectan a las variaciones espaciotemporales de la vegetación (Yang et al., 2021).

Cabe resaltar que se reconocen limitaciones en este estudio. En primer lugar, la resolución de las imágenes satelitales no permite captar con precisión todos los cambios de cobertura de suelo. También la falta de muestras en campo para la selección de polígonos. Una clasificación supervisada complementada con datos de campo sería más precisa. Teniendo en cuenta lo anterior, se sugiere que para futuros estudios en la zona se realice un análisis con imágenes satelitales de mayor precisión en la zona afectada por la desviación que, como se dijo anteriormente, es la zona que colinda con la desviación del arroyo. Además, si bien el análisis bi-temporal permitió identificar diferentes impactos, dependiendo del análisis a realizar y la disponibilidad de imágenes

satelitales y herramientas es importante considerar implementar un análisis multitemporal (con diferentes imágenes de distintos años) para el análisis de cobertura. Esto considerando que el utilizar imágenes satelitales de diferentes periodos de tiempo, las clases de coberturas pueden ser establecidas con mayor facilidad y el uso de múltiples imágenes por año podría mejorar la precisión de la clasificación (Laborte, 2010). Además, esto permitiría comparar la tasa de decrecimiento de las coberturas del 2014 al 2016 (antes del desvío) y del 2017 al 2020 (después del desvío). Por último, es importante contemplar más métodos donde se puedan normalizar las condiciones externas a los impactos antrópicos, lo que es un reto considerando que se afirma que el cambio climático global incrementará la variabilidad climática en las regiones áridas del planeta y previendo que en La Guajira se acentuará la aridez como resultado del cambio climático (Ramírez y del Valle, 2011). Además, las interacciones entre los factores naturales y antropogénicos hacen de la dinámica de la vegetación un proceso más complejo. Debido a la complejidad de los mecanismos de cambio de la vegetación, la cuantificación de las contribuciones de los principales impulsores a los cambios de la vegetación sigue siendo un reto (Yang et al., 2021).

Conclusiones

Este estudio evalúa los impactos a nivel del paisaje del desvío del arroyo Bruno utilizando la dinámica de cambio de cobertura de suelo del 2014 al 2020. Para esto se integraron índices e imágenes satelitales RapidEye para determinar áreas de bosques, pastizales y arbustales, suelos desnudos y cuerpos de agua y posteriormente extrapolados a toda el área de estudio. Analizando las coberturas de suelos de 2014 y 2020, se estima que los mayores cambios registrados fueron evidenciados para los suelos desnudos con un aumento del 2%. Estos cambios son atribuidos a impactos antrópicos y a condiciones climatológicas. Los bosques, pastizales y arbustales mostraron una disminución en el área del 1.7% y del 0.1% respectivamente. Por otra parte, se demostró que el emplear un análisis de cobertura para evidenciar el impacto ambiental de la desviación del arroyo está directamente asociado con impactos antrópicos, y también está altamente influenciado por el tipo de vegetación y las dinámicas del clima.

Los resultados enumerados en esta investigación ponen de manifiesto la importancia del procesamiento de imágenes

satelitales para cartografiar y detectar los cambios en las coberturas y de hacer un análisis espacial y temporal. Se propone la inclusión de estudios de cobertura de suelo para el análisis de conflictos socioambientales y así realizar una gestión adecuada de los recursos de la tierra y la evaluación de los efectos de proyectos mineros en los cambios de uso/cobertura del suelo para proporcionar la información necesaria para planificar y salvaguardar la biodiversidad y a las comunidades dependientes de la misma.

Bibliografía

- Alonso. (2013). *Teledetección*.
https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_10.pdf
- Arteta B, R. & Lazaro Molina, L. (2016). *Diagnóstico Socioambiental del Bosque Seco Subtropical de la Cuenca del Río Ranchería, La Guajira, Colombia*. [online] Scielo.
<https://repositorio.ucaldas.edu.co/handle/ucaldas/16213>.
- Blanco- Torres, Báez, Patiño- Flores & Renjifo-R. (2013). Muestreo de especies en Río Ranchería. *Neotropical anura Diversity*.
https://www.researchgate.net/publication/269114185_Herpetofauna_del_valle_medio_del_rio_Rancheria_La_Guajira_Colombia_Herpetofauna_from_the_middle_valley_of_the_Rancheria_river_La_Guajira_Colombia
- Carmona, S & Jaramillo, P. (julio 2020). Anticipating futures through enactments of expertise: A case study of an environmental controversy in coal mining región of Colombia. *The Extractive Industries and Society*, 7(3), 1086–1095.
<https://doi-org.ezproxy.uniandes.edu.co:8443/10.1016/j.exis.2020.06.009>
- Caro, C. (2018). Las venas de la tierra, la sangre de la vida: significados y conflictos por el agua en la zona carbonífera del sur de La Guajira, Colombia. En: Ulloa, A., Romero-Toledo, H. (eds) *Agua y Disputas Territoriales en Chile y Colombia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 85–121.
- Castillejo-González, I. L., López-Granados, F., García-Ferrer, A., Peña-Barragán, J. M., Jurado-Expósito, M., de la Orden, M. S., & González-Audicana, M. (2009). Object- and pixel-based analysis for mapping crops and their agro-environmental associated measures using QuickBird imagery. *Computers and Electronics in*

Agriculture, 68(2), 207–215. <https://doi-org.ezproxy.uniandes.edu.co:8443/10.1016/j.compag.2009.06.004>

Cerrejón. (2020). *Informe de Sostenibilidad 2020*. <https://www.cerrejon.com/wp-content/uploads/informes/informe%20de%20sostenibilidad%202020.pdf>

Cerrejón. (s.f.). *Cuatro años después de su modificación parcial* #ELBRUNOESTÁMUYVIVO <https://www.cerrejon.com/index.php/nuestra-operacion/proyecto-la-puente/>

Censat Agua Viva. (2015). *Informe de verificación arroyo Bruno y posibles impactos de su desviación*. <https://censat.org/es/publicaciones/informe-de-verificacion-arroyo-bruno-posibles-impactos-de-su-desviacion>

Colprensa. (28 de noviembre de 2017). *Corte suspende devío de arroyo Bruno hasta que se haga consulta previa*. <https://www-emis-com.ezproxy.uniandes.edu.co:8443/php/search/doc?dcid=596120393&ebSCO=1>

De La Casa, A., & Ovando, G. (2006). Relación entre la precipitación e índices de vegetación durante el comienzo del ciclo anual de lluvias en la provincia de Córdoba, Argentina. *RIA: Revista Investigaciones Agropecuarias*, 35(1), 67–85.

Feranec, L., G. Hazeu., S. Christensen & G. Jaffran (2007). *Corine Land Cover change detection in Europe (Case studies of Netherlands and Slovakia)*. *Science Direct* 24:234-247.

Gómez-Betancur, L., Vilarly Q., S. P., & Torres R., D. (2021). Ecosystem Services as a Promising Paradigm to Protect Environmental Rights of Indigenous Peoples in Latin America: the Constitutional Court Landmark Decision to Protect Arroyo Bruno in Colombia. *Environmental Management*, 1. <https://doi-org.ezproxy.uniandes.edu.co:8443/10.1007/s00267-021-01483-w>

Gualdrón. (2011). *Cerrejón: Hacia la rehabilitación de las tierras intervenidas por la minería a cielo abierto*. <https://www.cerrejon.com/wp-content/uploads/2017/12/Hacia-la-rehabilitacion-de-tierras-min.pdf>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi & Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena. (2008). *Mapa de Coberturas de la Tierra, cuenca Magdalena - Cauca, metodología Corine Land*. Bogotá D.C., Colombia. http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/9467/01%20Validaci%C3%B3n-Corine%20Land%20Cover_Su%C3%A1rez%20et%20al%202016.pdf?sequence=3&isAllowed=y

IDEAM. (s.f.). La Guajira. *Atlas Climatológico de Colombia*. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

IDEAM. (s.f.). *Datos Hidrológicos y Meteorológicos – DHIME*. http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/laguajira_texto.pdf

Kim, C. (2015). Land use classification and land use change analysis using satellite images in Lombok Island, Indonesia. *Forest Science and Technology*, 183-191.

Laborte, A. G., Maunahan, A. A., & Hijmans, R. J. (2010). Spectral Signature Generalization and Expansion Can Improve the Accuracy of Satellite Image Classification. *PLoS ONE*, 5(5), 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010516>

Lam N. SN. (2008) Methodologies for Mapping Land Cover/Land Use and its Change. In: Liang S. (eds) *Advances in Land Remote Sensing*. Springer, Dordrecht. https://doi-org.ezproxy.uniandes.edu.co:8443/10.1007/978-1-4020-6450-0_13

Lingjun Kang, Liping Di, Meixia Deng, Yuanzheng Shao, Genong Yu, & Shrestha, R. (2014). Use of Geographically Weighted Regression Model for Exploring Spatial Patterns and Local Factors Behind NDVI-Precipitation Correlation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of, IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Observations Remote Sensing*, 7(11), 4530–4538. <https://doi-org.ezproxy.uniandes.edu.co:8443/10.1109/JSTARS.2014.2361128>

Llorente, A. M. (2019) *Informe Técnico Evaluación Preliminar de Calidad de Agua Superficial en Zonas Afectadas por el Proyecto Carbonífero el Cerrejón*.

Corporación Geoambiental Terrae. https://c337b8bf-6dae-4ebe-9a71-68b759c9d01e.filesusr.com/ugd/302d3c_dffc16eae921403f8d4faa66808dd737.pdf

(Parte 2). <https://doi-org.ezproxy.uniandes.edu.co:8443/10.1016/j.jclepro.2020.124330>

Mejía, A., Sánchez, Y., & Paredes, A. (2020). *Valoración Económica de los impactos socioambientales en el desvío del arroyo Bruno* [Tesis, Universidad del Magdalena]. <http://ns2.pringleman.com/jspui/bitstream/123456789/5462/1/Informe%20Final-%20Valoraci%C3%B3n%20Econ%C3%B3mica%20del%20arroyo%20Bruno..pdf>

Muradyan, V., Tepanosyan, G., Asmaryan, S., Saghatelyan, A., & Dell'Acqua, F. (2019). Relationships between NDVI and climatic factors in mountain ecosystems: A case study of Armenia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 14, 158–169. <https://doi-org.ezproxy.uniandes.edu.co:8443/10.1016/j.rsase.2019.03.004>

Otero-Cortés, A. S. (2013). *Río Ranchería: entre la economía, la biodiversidad y la cultura*. Banco de la República. <https://www.banrep.gov.co/es/node/32751#:~:text=La%20importancia%20del%20r%C3%ADo%20no,de%20irrigaci%C3%B3n%20de%20los%20suelos>.

Planet Labs Inc. (2019). *Planet Imagery Product Specifications. Technical Report*. https://assets.planet.com/docs/Planet_Combined_Imagery_Product_Specs_letter_screen.pdf

Planet Team. (2021). *Planet Application Program Interface: In Space for Life on Earth*. San Francisco, CA. <https://api.planet.com>

Ramírez, J. A. & Del Valle, J. I. (2011). Paleoclima de La Guajira, Colombia; según los anillos de crecimiento de *Capparis odoratissima* (Capparidaceae). *Revista de Biología Tropical*, 59(3), 1389–1405.

Ulloa, A. (26 de marzo de 2020). The rights of the Wayúu people and water in the context of mining in La Guajira, Colombia: demands of relational water justice. *Human Geography*. 13(1):6-15. doi:10.1177/1942778620910894

Yang, L., Shen, F., Zhang, L., Cai, Y., Yi, F., & Zhou, C. (2021). Quantifying influences of natural and anthropogenic factors on vegetation changes using structural equation modeling: A case study in Jiangsu Province, China. *Journal of Cleaner Production*, 280