

Cambio de cobertura del suelo por minería aluvial en el río Nechí, Antioquia (Colombia)

Land cover change caused by alluvial mining on the Nechí river, Antioquia (Colombia)

Diana Maritza Monroy¹, Dolors Armenteras¹

RESUMEN

La zona hidrográfica del río Nechí es una región frágil en términos ambientales cuya configuración paisajística manifiesta un mosaico de coberturas que históricamente han estado influenciadas por actividades antrópicas. Una de ellas, con reciente auge, es la minería aluvial, la cual afecta la estructura del terreno dejando una larga huella a nivel de paisaje. En este trabajo se describe y cuantifica los cambios de cobertura y la dinámica de la expansión minera, durante el periodo 2009-2014. Se analiza los patrones espaciales de estos cambios mediante la interpretación de imágenes de satélite Landsat y el uso de métricas a nivel de clase. Para 2014, la cobertura boscosa redujo su área en un 7%, siendo reemplazada principalmente por zonas de uso agropecuario y de explotación minera a cielo abierto, la cual aumentó seis veces el área que ocupaba en el 2009, alrededor de 35.070 ha. Esta dinámica indica un proceso activo de deforestación y consolidación de las coberturas estudiadas. Los resultados obtenidos proveen información que puede ser utilizada para la construcción e implementación de políticas que evalúen y mitiguen los impactos de la actividad minera sobre el territorio, teniendo en cuenta la vulnerabilidad e importancia del recurso hídrico y los ecosistemas circundantes.

PALABRAS CLAVE: minería a cielo abierto; Bajo Cauca; río Nechí; cobertura.

ABSTRACT

The hydrographic zone of the Nechí river is an environmentally fragile region whose landscape configuration has a mosaic of land cover that has historically been influenced by anthropic activities, which include alluvial mining, with a recent peak, which affects the structure of the land, leaving a large footprint at the landscape level. This paper describes and quantifies the land cover change in this area and the dynamics of mining expansion during the period 2009-2014. The spatial patterns of these changes were analyzed through the interpretation of satellite images, Landsat, and the use of class level metrics. By 2014, the forest cover area was reduced by 7%, mainly replaced by agriculture and livestock and areas of open-pit mining exploitation, which increased by six fold the area it occupied in 2009, around 35,070 ha. This dynamic prescribes an active process of deforestation and consolidation of the studied land cover. The results provided information that can be used for the construction and implementation of policies that evaluate and mitigate the impacts of the mining activities on the territory, taking into account the vulnerability and importance of the water resource and the surrounding ecosystems.

KEY WORDS: open-pit mining; Bajo Cauca; Nechí river; land cover.

1 Grupo de Ecología del Paisaje y Modelación de Ecosistemas, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (Colombia). dmmonroy@unal.edu.co; ORCID Monroy, D.: 0000-0002-8641-4399; ORCID Armenteras, D.: 0000-0003-0922-7298

Introducción

El río Nechí se ubica al nororiente del departamento de Antioquia, Colombia. Nace en el municipio de Yarumal y desemboca en el río Cauca, en el municipio de Nechí, siendo su tributario más importante. Este río colinda con la Serranía de San Lucas, importante zona con gran valor ambiental dados los altos niveles de biodiversidad y endemismo, ambos amenazados por procesos de deforestación y alteración estructural de sus ecosistemas (Salaman y Donagan, 2001). La subzona hidrográfica Bajo Nechí se encuentra en grado alto de amenaza, dada la susceptibilidad de bosques aledaños y presión por conversión a pastos, mientras que Alto Nechí y Directos al Bajo Nechí se encuentran en grado moderado de amenaza. Las subzonas Alto Nechí y Directos al Bajo Nechí poseen un total de 30.753 ha de bosque, un 14,94% del área Magdalena-Cauca, estando la primera como subzona prioritaria de conservación por servicios ecosistémicos, y la segunda, prioritaria por su demanda de área para actividad ganadera (IDEAM, 2014). Además, en esta región se encuentran los principales yacimientos de oro aluviales del departamento, donde los municipios de El Bagre y Zaragoza concentran el 43% de la reserva aurífera del distrito minero Nordeste Antioqueño (UPME, 2005). Para el 2012, Bajo Nechí tendría la mayor producción de oro, 5.623 kg/año, frente a Directos al Bajo Nechí, 2.341 kg/año y, Alto Nechí, 873 kg/año.

A pesar de que el área ya ha sido identificada como “prioridad de conservación crítica” por la BirdLife International (Stattersfield et al., 1998), las presiones son constantes por las diferentes actividades antrópicas que allí tienen lugar, principalmente la minería y la extracción maderera como bases económicas de los pobladores. La expansión de la minería aluvial en los últimos años, ha hecho que el conflicto minería-ambiente se intensifique. Sus orígenes, procesos y consecuencias se han evidenciado mediante diferentes informes y estudios abarcando los efectos de este tipo de explotación sobre la salud de los habitantes (Defensoría del pueblo, 2010; Gibb y O’Leary, 2014; Olivero, 2017), las condiciones sociales (Defensoría del pueblo, 2010; Perez, 2014; Quesada, 2015) y, sobre todo, la afectación al componente natural (Fierro, 2012; González et

al., 2012; Hammond et al., 2013; Sarmiento et al., 2013; Pérez-Rincón, 2014). Un ejemplo son los resultados obtenidos por la UNODC (2015) donde la pérdida de cobertura boscosa asociada a la minería a cielo abierto en Colombia se calculó en 16.784 ha entre los años 2013-2014, concentrándose en los departamentos de Chocó, Antioquia, Bolívar, Valle del Cauca y Nariño; Antioquia sumando el 10,9% del área deforestada consecuencia de actividades mineras y cultivo de coca (IDEAM, 2015).

En este contexto, el estudio de la instalación y dinámica de la actividad minera sobre la región resulta ser una herramienta importante para quienes establecen planes sobre el territorio y lo administran, entendiendo de manera integral el proceso de expansión, dinámica y efectos sobre el ambiente ejercidos por la actividad minera. Con ello, el objetivo de este trabajo es analizar el cambio de coberturas en la zona hidrográfica del río Nechí, enfocándose en los cambios sobre el paisaje ejercidos por la minería aluvial entre los años 2009 y 2014.

Métodos

Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en Colombia, Antioquia, en la zona hidrográfica del río Nechí, bajo la influencia de las subcuencas Bajo Nechí y Directos al bajo Nechí, desde una latitud norte de 7° 47’ a 7° 25’, con una superficie de 392.794 ha. La zona específica corresponde al río Nechí donde se desarrolla la minería de aluvión, y demás áreas de influencia donde se presenta esta actividad. Contiguo, se encuentran los lomeríos de la Serranía de San Lucas y las cabeceras municipales de Zaragoza, El Bagre, Segovia y Remedios (Figura 1).

Análisis de datos

Las imágenes satelitales se obtuvieron del portal del centro Earth Resources Observation and Science, EROS (<http://glovis.usgs.gov/>), de los años 2009 y 2014. Se utilizaron imágenes espectrales obtenidas por los satélites Landsat 8 OLI/TIRS y Landsat 7 ETM+, escenas (path/row) 9/54 y 9/55.

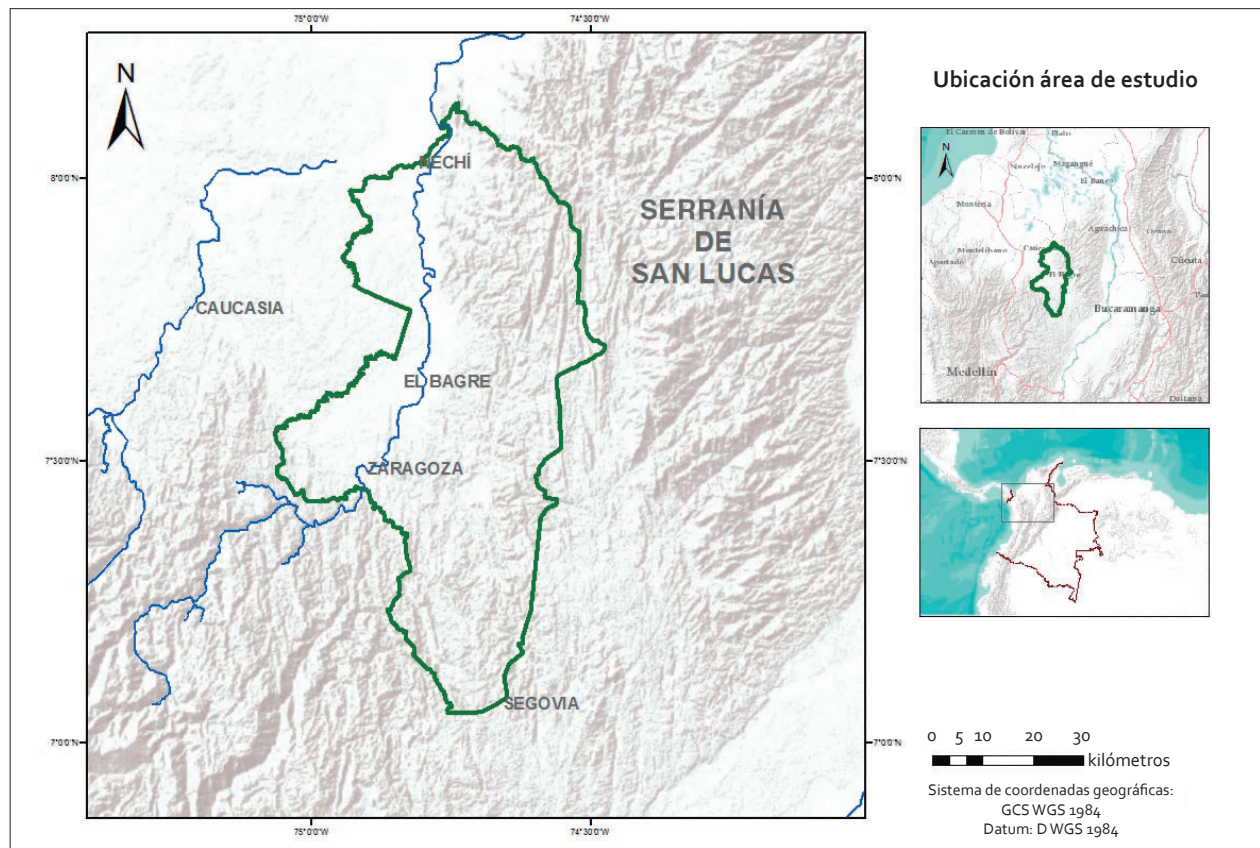


Figura 1. Ubicación área de estudio. Fuente: elaboración propia

Su pre-procesamiento se realizó con el software IMPACT (Simonetti et al., 2015). La clasificación se realizó con el software ENVI 5.0 (Exelis Visual Information Solutions), aplicando el método de clasificación supervisada con criterios de probabilidad de máxima verosimilitud, que asume la distribución normal de los datos para asignar la probabilidad de que un pixel cualquiera pertenezca a cada una de las clases designadas (Chuvieco, 2010; Richards, 2013).

La validación de los resultados obtenidos por este método de clasificación se realizó con el respaldo de información suministrada por la UNODC, correspondiente a polígonos de áreas que presentan Evidencias de Explotación de Oro de Aluvión (EVOA) en la zona de trabajo. A su vez, esta información resultó del ejercicio de análisis de imágenes satelitales por medio de interpretación visual e índices espectrales, como también el uso de fotografías aéreas suministrados por el Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos-SIMCI (UNODC, 2016).

Se tomaron siete clases correspondientes a Bosque, Cuerpos de agua, Uso agropecuario, Suelo

desnudo, Explotación minera y Poblados. Los criterios de clasificación para las áreas de explotación minera se han basado en la metodología descrita para caracterizar estas áreas explicada en el documento de la UNODC (2016). La clase Uso agropecuario incluye actividades agrícolas o de preparación del terreno y aquellas relacionadas con ganadería. Finalmente, la elaboración de mapas se realizó con el software ArcGIS (ESRI, 2011).

Métricas del paisaje

Las métricas fueron cuantificadas con el software FRAGSTATS (McGarigal et al., 2012), solamente para las clases Bosque, Uso agropecuario, Suelo desnudo y Explotación minera. Las clases Poblados y Cuerpos de agua no tuvieron mayores variaciones en su área durante el periodo, por lo que no son incluidas en el análisis con métricas.

Las métricas utilizadas se agruparon en relación a la composición y agregación de las clases. Para el caso de composición, las métricas área de clase, área media ponderada y densidad de borde permiten

caracterizar la dimensión y morfología de los parches de cada clase seleccionada para el análisis. Área de clase (CA) señala el área que cubre cada clase sobre el área de estudio. El área media ponderada es una medida promedio de las áreas de los parches correspondientes a una misma clase; su ponderación radica en el porcentaje de importancia dado a cada parche. Este porcentaje corresponde a aquel que ocupa cada parche sobre el área total de la clase a la que pertenece.

Para el análisis de agregación, se tuvo en cuenta aquellas que caracterizan los grados de subdivisión y dispersión, que permiten caracterizar el grado de fragmentación del paisaje y de conectividad y continuidad entre los parches de cada clase. El índice de aglomeración distingue distribuciones uniformes, su valor oscila entre -1 y 1; valores menores a 0 indican gran dispersión de la esperada bajo una distribución espacial aleatoria, mayores a 0 representa mayor agrupamiento. Por su parte, el índice de cohesión varía entre 0 y 100, alcanzando 0 cuando la proporción del paisaje de una clase disminuye, estando menos conectada físicamente. El índice MESH, dado en hectáreas, está basado en la probabilidad de que dos puntos escogidos al azar en una región estén conectados, es decir, el tamaño del parche en que dos puntos escogidos al azar efectivamente se encuentran (Tabla 1). Los algoritmos de las métricas son explicados en McGarigal (2012).

Tabla 1. Métricas del paisaje utilizadas en el análisis

Nivel de clase		
Composición	Agregación	
Área de clase-CA	<i>Subdivisión</i>	<i>Dispersión</i>
Área media ponderada-AM	Número de parches-NP	Cohesión
Densidad de borde-ED	Tamaño efectivo de malla-MESH	Aglomeración-CLUMP

Resultados

La clase Bosque se muestra dominante para ambos años con área y porcentaje del paisaje: 184.854 ha y 47% para el 2009 y 158.093 ha y 40,2% para el 2014; con mayores áreas de cobertura en los municipios de El Bagre y Segovia. Sin embargo se evidencia la fragmentación y fuerte reducción de su área en

26.761 ha (7%), principalmente en zonas cercanas a las cuencas de los ríos Tiguí, El Bagre y Pocune. Este cambio está relacionado con el aumento de área para las otras clases. Al nororiente del municipio El Bagre y en el sur, en Zaragoza, hubo un patrón de fragmentación, es decir, la reducción del área de los parches de bosque existentes y la pérdida de conectividad entre estos. Entre los límites de los municipios de El Bagre y Segovia, además de tener lugar el patrón antes descrito, también tuvo lugar un patrón de tipo extensivo, es decir, se reemplazó en su totalidad algunos parches de bosque, ejerciendo mayor efecto sobre la conectividad y área de la cobertura boscosa en esta región (Figura 2; Tabla 2).

La cobertura que incrementó su área en mayor medida fue Uso agropecuario, aumentando aproximadamente un 14% su área (53.450,2 ha), reemplazando la cobertura boscosa en diferentes frentes.

La segunda cobertura que tuvo mayor expansión fue la explotación minera, con el incremento en área de los sitios existentes en el 2009 y la aparición de nuevos hasta el 2014, pasando de 5.960 a 41.030 ha. Se caracteriza su expansión a lo largo de las principales cuencas, teniendo en cuenta la naturaleza de su operación aluvial, sin embargo, hay una mayor extensión de los sitios de explotación (8 km en promedio) lejos de los ríos, en los municipios de Zaragoza y Segovia. Por su parte, ha reemplazado en mayor medida la cobertura de Uso agropecuario, seguido de Suelo desnudo. El aumento relativamente bajo de esta última cobertura, 1.389 ha, puede sugerir que son áreas de transición permanente entre las demás (Tabla 2).

El aumento de área para Explotación minera, Uso agropecuario y Suelo desnudo está relacionado también con el aumento de su número de parches y densidad de borde, dos aspectos que caracterizan un proceso de fragmentación para todas las clases (Figura 2).

En la Tabla 3 se resumen los resultados para las métricas que describen la configuración para cada una de las clases. Los índices Cohesion y Clump entrevén que, en general, los parches en todas las clases tienen un alto grado de conexión y agregación. A diferencia de las otras clases, la cobertura Bosque reduce el valor del índice de Cohesion entre periodos y aumenta para el índice Clump. Esto podría

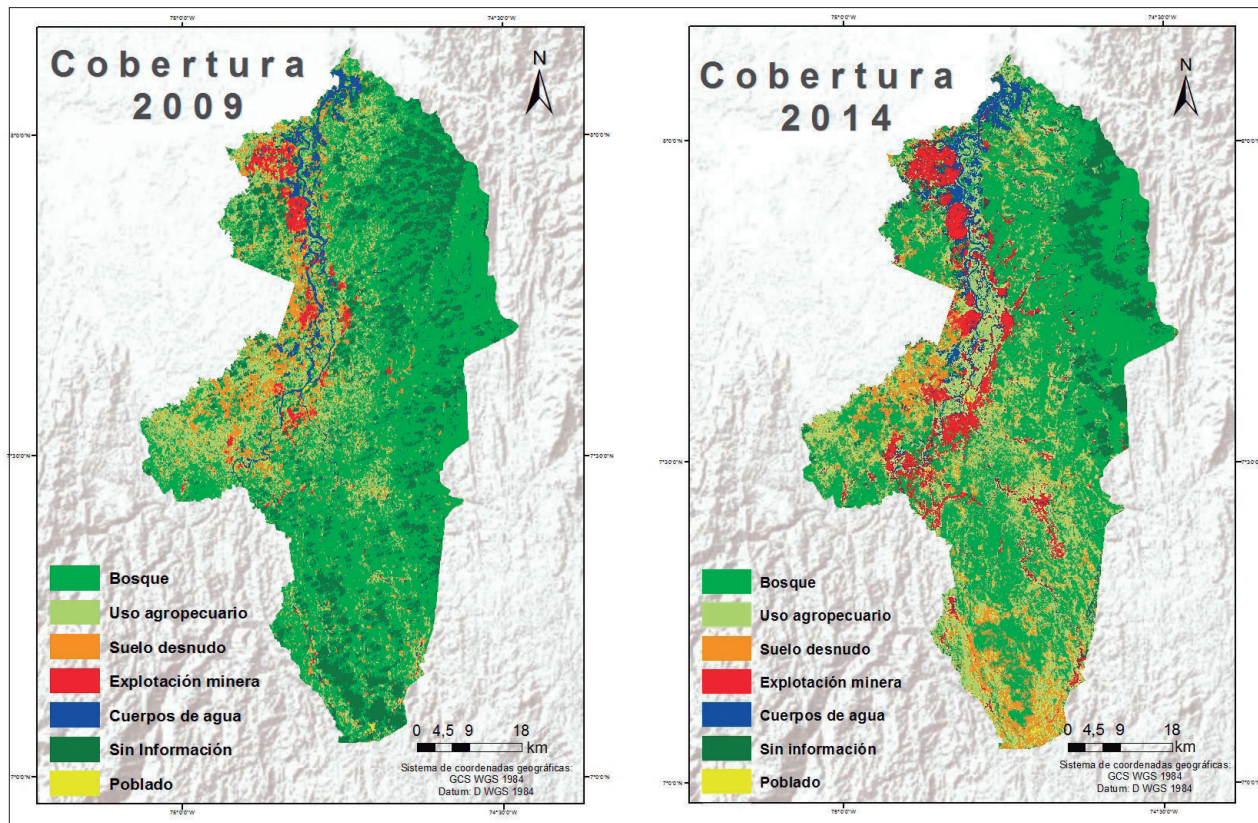


Figura 2. Mapas de coberturas para los años 2009 y 2014. Fuente: elaboración propia

Tabla 2. Métricas de composición a nivel de clase obtenidas para la zona de estudio

Cobertura	Año	Área de clases (ha)	Densidad de borde (m ha ⁻²)	Área media Ponderada (ha)	Número de parches
Explotación minera	2009	5.960,25	1,90	468,83	593
	2014	41.030,73	13,81	944,69	4.072
Bosque	2009	184.854,24	23,48	99.751,45	1.840
	2014	158.093,01	20,97	64.058,15	2.149
Suelo desnudo	2009	10.287,18	4,74	68,88	1.829
	2014	11.676,78	5,32	204,31	2.130
Uso agropecuario	2009	84.866,58	18,78	6.893,98	2.487
	2014	138.316,77	28,85	34.967,68	3.190

Tabla 3. Métricas de configuración a nivel de clase obtenidas para la zona de estudio

	Año	Pafrac	Cohesion	Clump	Mesh (ha)
Bosque	2009	1,23	99,90	0,9296	46.944,32
	2014	1,24	99,84	0,9349	25.782,29
Uso agropecuario	2009	1,25	99,36	0,9174	1.489,50
	2014	1,25	99,77	0,91	12.313,35
Suelo desnudo	2009	1,18	92,98	0,8630	1,80
	2014	1,18	94,69	0,86	6,07
Explotación minera	2009	1,19	97,18	0,9084	7,11
	2014	1,22	97,62	0,89	98,68

deberse a un proceso de fragmentación y pérdida de área para esta cobertura, dado el reemplazo por otras coberturas y de ello que estas aumenten su conectividad. Así mismo, dicha pérdida reduciría el nivel de intercalamiento de aquellos parches de bosque, haciendo que el grado de agregación se eleve. A pesar de estos cambios, Bosque conserva un índice de Cohesión más alto, es decir, una proporción de área más alta sobre el área de estudio frente a las otras clases. El índice Mesh presenta la mayor magnitud de cambio, aumentando para cada clase, excepto para Bosque, aseverando el proceso de fragmentación y reducción del área de esta cobertura. Lo contrario para las otras clases, donde hay un aumento de su área efectiva.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, puede establecerse una dinámica regular de reemplazo de coberturas; principalmente de cobertura de Bosque a Uso agropecuario y Explotación minera. Partiendo de los patrones espaciales de deforestación explicados en Geist y Lambin (2002) y Armenteras

y Villa (2006), los hay de tres tipos; para el caso de Uso agropecuario, su expansión obedece a un patrón geométrico, posiblemente relacionado con la expansión de la frontera agropecuaria en la región. Para la clase Explotación minera se caracteriza los patrones de corredor y geométrico, coincidente con el método de extracción aluvial, que sigue el cauce de los ríos Nechí y el Bagre, con núcleos iniciales que luego se expanden de manera geométrica. Finalmente, la cobertura Suelo desnudo sigue un patrón difuso que estaría explicado por claros de origen natural o antrópico en los bosques o suelo en preparación para cultivos.

Minería de oro de aluvi6n

Las áreas afectadas por esta actividad aumentaron seis veces su extensión durante el periodo 2009-2014, pasando de 5.960 a 41.030 ha (Tabla 2), con un incremento del número de parches (Figura 3). Mantiene valores altos de cohesión y agrupamiento, aunque con una baja disminuci6n en este último.

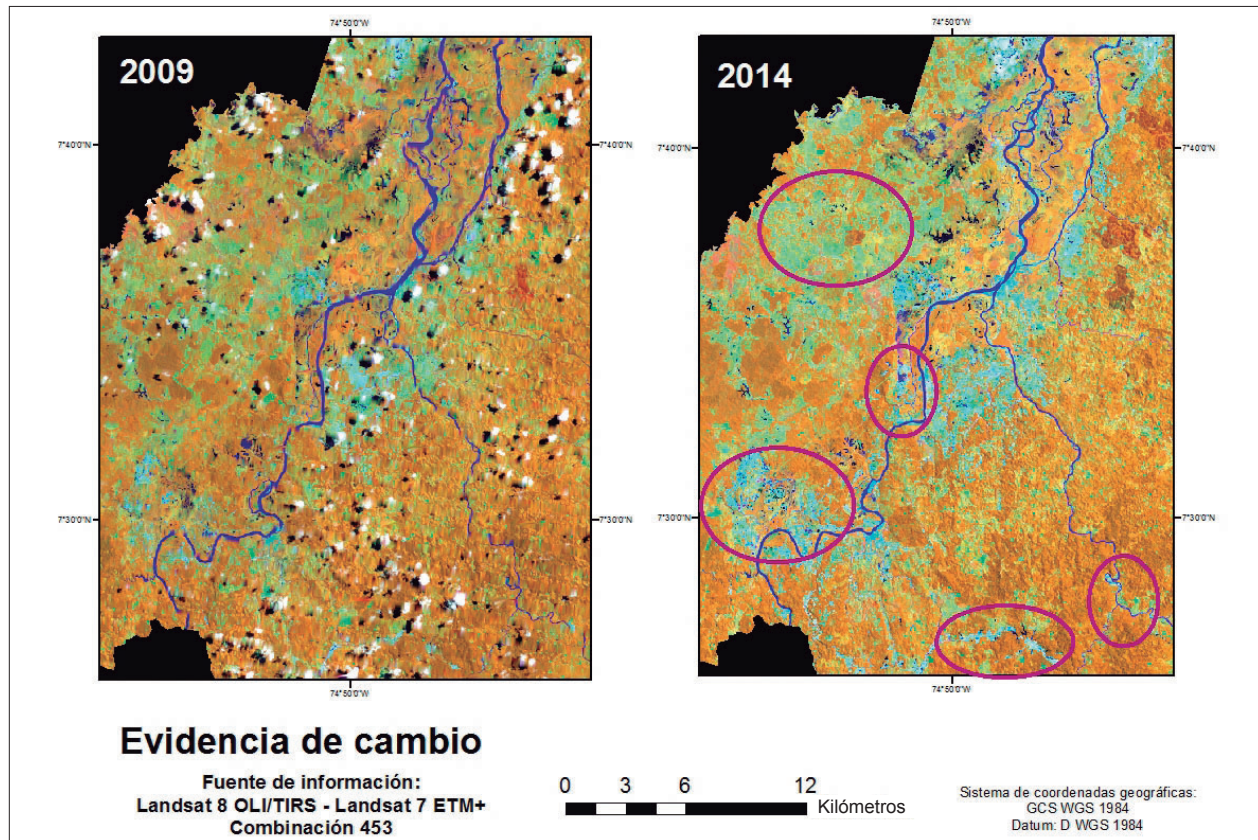


Figura 3. Comparaci6n im6genes satelitales entre los a1os 2009 y 2014. Sitios de minería aluvial en azul celeste. Fuente: Sat6lites Landsat 8 OLI/TIRS y Landsat 7 ETM+

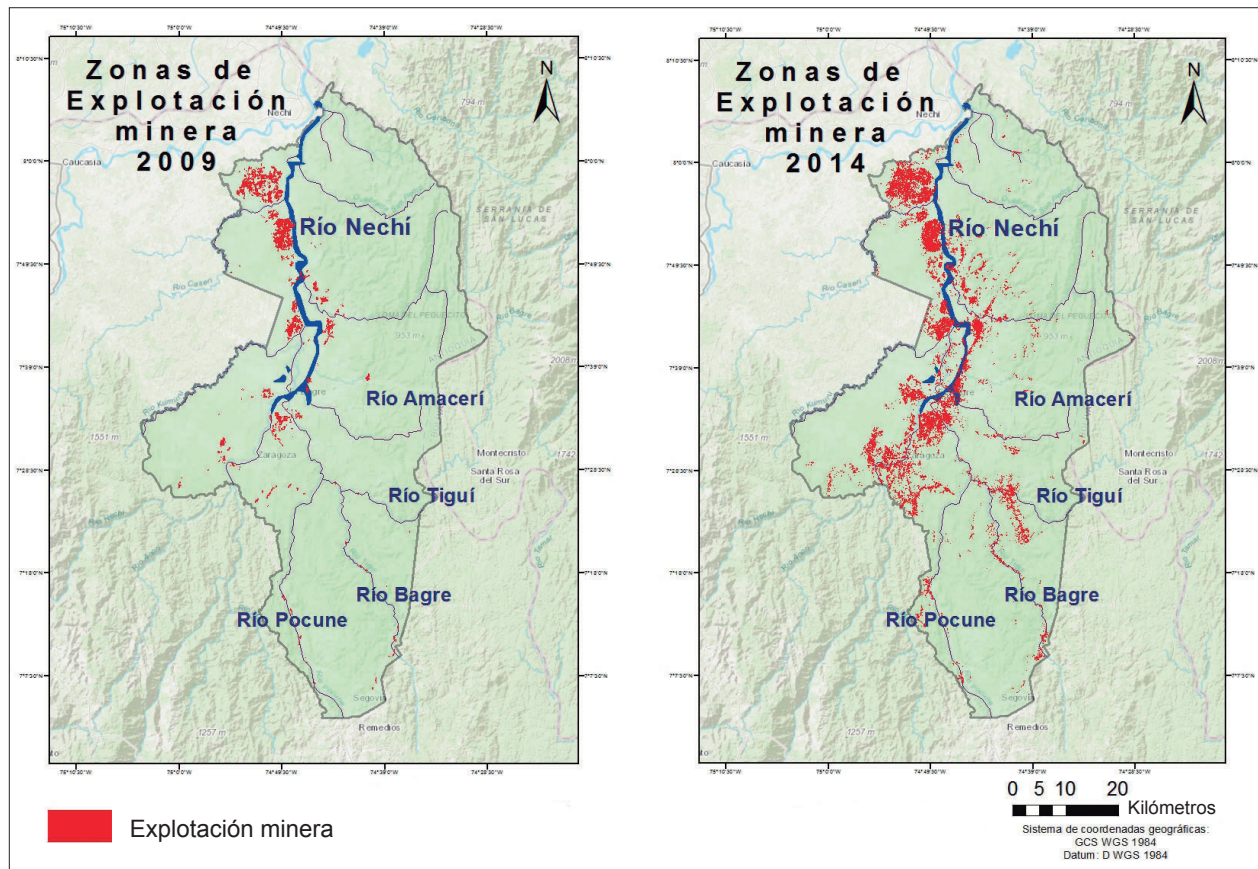


Figura 4. Distribución de la clase Explotación minera para los años 2009 y 2014. Fuente: elaboración propia

En la Figura 4, los mapas ilustran la expansión de la actividad minera sobre el territorio del río Nechí. Para el 2009 las zonas afectadas están sujetas al recorrido de los ríos Nechí, Tiguí, Pocune y El Bagre con pocos parches alejados de estos ríos. La actividad minera se concentra en los municipios de Nechí y El Bagre. Al norte, en los corregimientos de Caserisito, Mariene y Bijagual; y al sur, en los corregimientos de Puerto Claver y Cuturú. En estas zonas se concentran los parches más grandes con áreas entre las 400 y 600 ha. Cerca de las cabeceras de El Bagre y Zaragoza existen parches entre 100 y 200 ha. A lo largo del río Pocune se presentan pequeños parches entre 5 y 10 ha. Aparecen nuevas zonas de minería en el río Tiguí, donde los parches alcanzan entre 200-300 ha; y a lo largo del río Bagre, con parches entre 20-70 ha y nuevos parches con áreas pequeñas, más bien alejados de las cuencas principales, con una distancia promedio de 11 km (Figura 5).

Para el 2014, el panorama cambia drásticamente con una notable extensión de la actividad minera a

lo largo de los ríos ya mencionados, sumando el río El Bagre y nuevas zonas lejanas a estos corredores en el municipio de Segovia, cercanos a su cabecera municipal y al corregimiento de El Tigre. Por otro lado, las zonas afectadas para el 2009 permanecen en el tiempo y muestran gran expansión para el 2014, excepto por algunos parches de 5 ha en promedio que no se hallan para este año, ubicados principalmente al oriente del área evaluada. Sin embargo, esto puede deberse a omisiones dentro del proceso automatizado de clasificación.

Discusión

Aunque la cobertura boscosa sigue siendo dominante en la región, existe un proceso intenso de deforestación, donde esta cobertura está siendo reemplazada principalmente para uso agropecuario, seguido de zonas de explotación. Esto es evidenciado por las métricas utilizadas, que describen características de área para cada una de estas clases, con

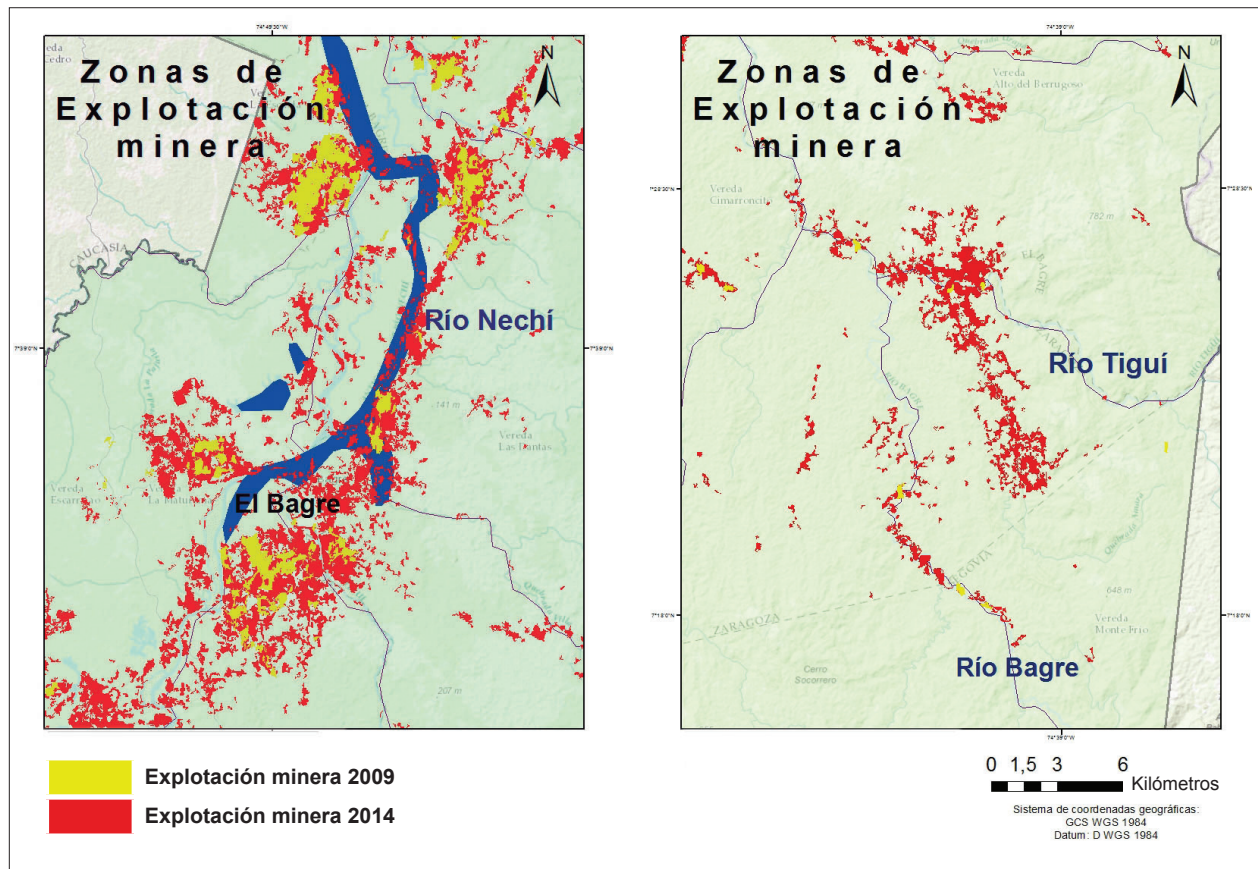


Figura 5. Ilustración del patrón que sigue la expansión de la minería aluvial sobre los ríos Nechí y Bagre. Fuente: elaboración propia

decrecimiento e incremento paralelo entre ellas. La expansión de la actividad minera evidenciada en este trabajo coincide con los resultados obtenidos en el informe de la UNODC para el año 2014 (UNODC, 2016) en un 53% de su área. Esta diferencia radica principalmente en los métodos de clasificación usados, ya que las áreas EVOA fueron comparadas con fotografías aéreas y tuvieron en cuenta aquellas áreas que coincidieran efectivamente con este tipo de explotación y el uso de maquinaria en tierra para ser consideradas. Por otro lado, en el presente estudio se ha tenido en cuenta la clasificación sistematizada, resultado de parámetros dados por medio de análisis visual sobre diferentes combinaciones de bandas para la identificación de estas zonas.

De acuerdo a los índices de cohesión y agrupamiento y los mapas obtenidos de las coberturas, se denota la eliminación de los relictos o parches pequeños de bosque presentes en el año 2009, por lo que el proceso no solamente se reduce a la deforestación (reducción) de los grandes parches de bosque,

sino también a la consolidación misma de las nuevas coberturas, una perturbación mayor que disminuiría la distancia entre parches (Hargis, 1998). Por otro lado, la apertura y crecimiento de nuevos parches, que influyeron en los valores de borde, no implicaron un aumento en la complejidad de sus formas, lo que indica que el crecimiento de los parches es geométrico y fractal, es decir, su perímetro aumenta en correspondencia con su área. La dinámica para Uso agropecuario parece funcionar bajo un mecanismo de contagio, respecto a áreas ya establecidas en el 2009, es decir, un aumento de sus fronteras. Por su parte, la cobertura Suelo desnudo tiene dos comportamientos con base en los resultados, uno de ellos es la apertura de claros en la cobertura boscosa, convirtiéndose en un punto focal de deforestación y otro es ser la fase previa a convertirse en una zona de explotación minera, como evidencian algunos cambios de cobertura para el 2014.

Para el caso de zonas de explotación, el crecimiento es en principio lineal. Desde un punto de

origen en la cuenca a la que está asociado, se expande y eventualmente se desprende de en nuevas 'ramas', creando al final un modelo arborescente donde el vértice de sus 'troncos' sería el mismo punto que les dio origen. Este efecto tiene que ver principalmente por la actividad misma, que al ser minería de aluvión tendría focos de expansión a lo largo de la cuenca, resultando en una expansión lineal, donde luego por instalación de infraestructura y transporte se ampliaría fuera de ella e incrementaría su área respondiendo a las necesidades espaciales de la industria, como la construcción de taludes o transporte de material. Este comportamiento estaría reflejado en las métricas de configuración para esta clase donde los valores de cohesión y agregación son altos a pesar de la apertura de nuevos parches (Figura 4).

La restricción a la actual escala de análisis no permite hacer otro tipo de asunciones del tipo ecológico. Sin embargo, puede decirse que la dinámica que presenta el área tiene efectos principalmente sobre la conectividad en lo que sería la zona hidrogeográfica del Nechí con la Serranía de San Lucas, la cual está siendo aislada, dada la presión por deforestación. Esto tendría implicaciones sobre la fauna y flora presente en la Serranía al ver reducido su hábitat, aspectos que deben ser revisados en posteriores investigaciones. Por otro lado, en el aspecto socioeconómico, la identificación espacial de los sitios de explotación minera permitiría elaborar modelos respecto a la conformación de nuevos núcleos de colonización y con ello, elaborar diferentes estrategias y planes de acción, no solo para la reconversión laboral de los mineros sino también una correspondiente integración y organización territorial para cada municipio involucrado.

Existe ya una amplia bibliografía sobre el proceso de deforestación en esta zona (Dávalos, 2001; Salaman y Donegan, 2001; Armenteras et al., 2011; Chadid, 2014), resaltando el informe de alertas tempranas de deforestación del IDEAM (2014), que reconoce El Bagre, entre otros municipios con jurisdicción sobre la Serranía, como núcleo activo con procesos de deforestación. Se debe tener en cuenta que los planes de ordenamiento del territorio para los municipios de El Bagre, Nechí y Zaragoza, mencionan la actividad minera como su principal actividad económica, seguida de la extracción forestal,

siendo ambas los principales motores de deforestación en estos municipios y que se vería reflejado en los resultados de este trabajo. Estos documentos también establecen los riesgos a los que han estado sujetos por cuenta de la minería y sus efectos sobre las actividades económicas que en ellos se desarrollan, por lo que la evidencia de su expansión sugiere una revisión y planteamiento de estrategias para controlar sus efectos.

Aunque la zona presenta grados medio y alto de vulnerabilidad frente a escenarios de cambio climático (Bedoya, 2010), las acciones son escasas, básicamente resultado de la mala administración, poca comunicación entre cuerpos colegiados y el conflicto armado (Dávalos, 2001).

A pesar de este escenario y las diferentes propuestas de regulación y control, este tipo de extracción muestra evidencia de un rápido proceso de expansión en otras zonas de Antioquia y el resto del país, en los departamentos de Chocó, Cauca, Nariño, Cauquetá y Putumayo. Un ejemplo, es el estudio piloto realizado en Chocó por la UNODC (2016), que muestra un mecanismo similar respecto a la aparición y expansión de la minería de aluvión sobre el río Atrato, con una afectación aproximada de 44 000 ha. Así mismo, la extensión de esta actividad no se limita a Colombia, sino que responde a todo un entramado económico y social de nivel Internacional. Resultados de Alvarez-Berrios y Mitchell (2015) muestran que entre 2001 y 2013 se ha deforestado aproximadamente 168.000 ha de bosque, en lo que ellos identifican como biomas húmedos tropicales ubicados en Colombia, Ecuador, Perú, Brasil y Guyana; con un fuerte crecimiento concordante con el aumento del precio y demanda de oro en el periodo 2007-2013. La mayoría de puntos de explotación de oro tuvieron lugar sobre ríos, dentro y alrededor de Zonas de Protección. El área promedio de las minas pasó de entre 1.000-4.000 ha a 100.000-130.000 ha, con mayor crecimiento en regiones de Perú y Guyana y aparición de nuevos sitios en Brasil y, en menor grado, Ecuador y Colombia. Para este último, los resultados coincidieron con lo anteriormente mencionado sobre una mayor tasa de deforestación en las localidades de Zaragoza y El Bagre.

De este modo se puede determinar también los efectos de otro tipo de dinámicas que se desarrollan

y que están sujetas o dependen de diferencias histórico-culturales entre los países sudamericanos haciendo que esta actividad se lleve a cabo de forma diferencial. Claro está, todas coincidentes en lo que representa, un enorme riesgo para el ambiente debido a prácticas desordenadas que demandan mayor territorio generando procesos de deforestación y desplazamiento, liberación de potentes contaminantes, modificación irreversible del paisaje y vulneración de derechos. A suma de otras variables, el marco de ilegalidad en que este tipo de minería opera debido a poca presencia estatal en ciertas áreas, la falta de eficacia en la construcción de políticas de regulación y consideración del contexto social de los mineros, o la falta de medidas policivas que hagan efectivas dichas políticas (Cremers et al., 2013; Heck y Tranca, 2014; Echavarría y González, 2016).

En Colombia se ha venido trabajando en el proceso de legalización de la pequeña minería y avanzando en una solución integral, aunque con bastantes críticas (Heck y Tranca, 2014; Ibáñez, 2015). En julio de 2014, se publicó la Política para la Formalización de la Minería en Colombia y se ha venido trabajando con las comunidades para la implementación de nuevas formas de producción, capacitación para el trabajo y reconversión laboral, además del trabajo conjunto con empresas privadas para el reconocimiento de derechos de ambas partes; lo que fomenta una continuidad de la actividad minera sin mayores prejuicios ambientales y que responde efectivamente a objetivos de desarrollo local, regional y nacional (Heck y Tranca, 2014; Echavarría y González, 2016).

Conclusiones

Los métodos cuantitativos aquí utilizados permitieron caracterizar los rápidos patrones de cambio sobre el área de estudio, obteniendo mayor información sobre las condiciones actuales y de probable evolución en años siguientes. La comprensión de estos cambios y su integración a futuro con resultados de investigaciones sobre dinámicas tanto ecológicas como socioeconómicas pueden ser una herramienta útil para resolver los conflictos presentes sobre el uso de la tierra.

La deforestación se presenta como un proceso activo sobre la zona, cuyos motores corresponden a actividades antrópicas sobre la región que a su vez descansan sobre variables socioeconómicas históricas y presentes. La expansión de la frontera agropecuaria es el principal motor de cambio de la cobertura boscosa y significa la consolidación de procesos de colonización sobre terrenos baldíos. A suma, la minería aluvial genera grandes impactos sobre la región.

El presente trabajo ha expuesto el amplio desarrollo que ha tenido este tipo de minería en la zona hidrográfica del río Nechí durante los últimos años. El tamaño total del área de explotación aumentó seis veces el inicial en el periodo de 5 años, con una distribución a lo largo de las cuencas de los ríos Nechí, Tiguí, Pocune y Bagre. En dicha distribución se caracteriza la apertura de nuevos parches y la expansión de aquellos presentes en el año 2009, siendo la cobertura boscosa la más afectada en la transición a sitios de explotación.

Debido a los cambios sobre el paisaje en esta región se hace necesaria una efectiva ejecución de políticas hasta el momento de construidas alrededor de la formalización de la minería a pequeña escala, dados los efectos perniciosos mientras esta se siga realizando de forma incontrolada y sin vigilancia.

Financiación. Los resultados consignados en este artículo fueron derivados de la tesis de pregrado de Diana Monroy bajo la dirección de Dolors Armenteras, como parte del grupo de investigación de Ecología del Paisaje y Modelación de Ecosistemas-ECOLMOD.

Conflicto de intereses. El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que coloque en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

Bibliografía

- Alvarez-Berrios, N., Mitchell, T., 2015. Corrigendum: Global demand for gold is another threat for tropical forests. *Environ. Res. Lett.* 10, 014006. DOI: <http://doi.org/10.1088/1748-9326/10/2/029501>
- Armenteras, D., Villa, C. (Eds.), 2006. Deforestación y fragmentación de ecosistemas naturales en el Escudo Guayanés colombiano. Instituto de Investigación de

- Recursos Biológicos Alexander von Humboldt; Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas”, Bogotá. 124 p.
- Armenteras, D., Rodríguez, N., Retana, J., Morales, M., 2011. Understanding deforestation in montane and lowland forests of the Colombian Andes. *Reg. Environ. Change* 11, 693-705. DOI: 10.1007/s10113-010-0200-y
- Bedoya, M., Benavides, H., Cabrera, M., Carrillo, H., Ceballos, J., Contreras, C., Cuervo, P., Duarte, M., Dorado, J., Gómez, C., Jaramillo, O., Lamprea, P., León, G., Lozano, R., Mayorga, R., Moreno, G., Osorio, S., Pava, J., Piñeros, A., Ruiz, F., Tobón, E., 2010. Vulnerabilidad. En: Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Instituto de Estudios Ambientales (IDEAM), Bogotá. pp. 193-321.
- Chadid, M., 2014. Patrones y dinámica de deforestación en la serranía de San Lucas, Colombia. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Chuvieco, E., 2010. Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. 3ª ed revisada. Editorial Ariel, Barcelona, España. 528 p.
- Cremers, L., Kolen, J., de Theije, M. (Eds.), 2013. Small-scale gold mining in the Amazon. The cases of Bolivia, Brazil, Colombia, Peru and Suriname. CEDLA, Amsterdam. 102 p.
- Dávalos, L., 2001. The San Lucas mountain range in Colombia: how much conservation is owed to the violence? *Biodivers. Conserv.* 10, 69-78. DOI: 10.1023/A:1016651011294
- Defensoría del pueblo, 2010. Minería de hecho en Colombia. Defensoría Delegada para los Derechos Colectivos y del Ambiente, Bogotá.
- Echavarría, E., González, N., 2016. La formalización de la pequeña minería en Colombia: Experiencias desde el territorio. Serie sobre la MAPE Responsable. Vol. 9. Alianza por la Minería Responsable, Envigado, Colombia. 137 p.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI), 2011. ArcGIS Desktop: Release 10.4. Redlands, CA.
- Fierro, J., 2012. Políticas mineras en Colombia. Instituto para una Sociedad y un Derecho Alternativos (ILSA), Bogotá.
- Geist, H., Lambin, E., 2002. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. *BioScience* 52, 143-150. DOI: 10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2
- Gibb, H., O’Leary, K., 2014. Mercury exposure and health impacts among individuals in the artisanal and small-scale gold mining community: a comprehensive review. *Environ. Health Perspect.* 122, 667-672. DOI: 10.1289/ehp.1307864
- González, J., Montoya, L., Botero, B., Arévalo, D., Valencia, V., 2012. Aproximación a la estimación de la Huella Hídrica de la minería del oro en el municipio de Segovia, Antioquia (Colombia). *Rev. Int. Sosten. Tecnol. Humanismo* 7, 27-44.
- Hammond, D., Rosales, J., Ouboter, P., 2013. Gestión del impacto de la explotación minera a cielo abierto sobre el agua dulce en América Latina. Technical Note IDB-TN-520. Banco Interamericano de Desarrollo, Washington DC.
- Hargis, C., Bissonette, J., David, J., 1998. The behaviour of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. *Landsc. Ecol.* 13, 167-186. DOI: 10.1023/A:1007965018633
- Heck, C., Tranca, J., 2014. La realidad de la minería ilegal en países amazónicos. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental, Lima. 127 p.
- Ibáñez, M., 2015. Eficacia del marco normativo ambiental colombiano en la previsión, prevención, mitigación y remediación de los impactos socio-ambientales de la minería. Centro Regional de Empresas y Emprendimientos Responsables (REER), Institute for Human Rights and Business (IHRB), Bogotá.
- Instituto de Estudios Ambientales (IDEAM), 2014. Sistema de monitoreo de bosques y carbono para Colombia. Segundo semestre del 2013 reporte de alertas tempranas de deforestación para Colombia. AT-Deforestación 2 (Abril), 1-8.
- Instituto de Estudios Ambientales (IDEAM), 2015. Estudio nacional del agua 2014. Bogotá. 496 p.
- McGarigal, K., 2012. Landscape pattern metrics. En: El-Shaarawi A., Piegorisch, W. (Eds.), *Encyclopedia of environmetrics*. 2a ed. John Wiley & Sons, Chichester, UK. DOI: 10.1002/9780470057339.val006.pub2
- McGarigal, K., Cushman, S., Ene, E., 2012. FRAGSTATS v4: spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps. University of Massachusetts, Amherst. Disponible en: http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/faq/fragstats_faq.html; consultado: Noviembre de 2016.
- Olivero, J., 2017. Efectos de la minería en Colombia sobre la salud humana. <http://concienciaciudadana.org/wp-content/uploads/2017/06/Efectos-de-la-Miner%C3%ADa-en-Colombia-sobre-la-Salud-Humana-Jes%C3%BAs-Olivero-Verbel.pdf>; consultado: mayo de 2017.
- Pérez-Ricón, M., 2014. Conflictos ambientales en Colombia: inventario, caracterización y análisis. Universidad del Valle; Environmental Justice Organization, Liabilities and Trade (EJOLT), Cali.

- Quesada, J., 2015. Revisión del impacto socio ambiental por la minería en el departamento del Chocó. “Caso región del San Juan”. Monografía de la Especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.
- Richards, J., 2013. Remote sensing digital image analysis. An introduction. 5a ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 494 p. DOI: 10.1007/978-3-642-30062-2
- Salaman, P., Donegan, T. (Eds.), 2001. Presenting the first biological assessment of Serranía de San Lucas. Colombian EBA Project Report Series No. 3. Fundación ProAves, Bogotá. 36 p.
- Sarmiento, M., Giraldo, B., Ayala, H., Uran, A., Soto, A., Martínez, L., 2013. Characteristics and challenges of small-scale gold mining in Colombia. En: Cremers, L., Kolen, J., de Theije, M. (Eds.), Small-scale gold mining in the Amazon. The cases of Bolivia, Brazil, Colombia, Peru and Suriname. CEDLA, Amsterdam. pp. 51-72.
- Simonetti, D., Marelli, A., Eva, H., 2015. Impact toolbox. Portable GIS toolbox for imagen processing and land cover mapping. Report EUR 27358 EN. Joint Research Center, Publications Office of the European Union, Luxembourg. DOI: 10.2788/143497
- Stattersfield, A., Crosby, M., Long, A., Wege, D., 1998. Endemic bird areas of the world: priorities for biodiversity conservation. Birdlife Conservation Series No. 7. BirdLife International, Cambridge, UK.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), 2005. Distritos mineros: exportaciones e infraestructura de transporte. Ministerio de Minas y Energía de Colombia, Bogotá.
- United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC), 2015. Monitoreo de cultivos de coca 2014. Bogotá.
- United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC), 2016. Colombia, explotación de oro de aluvión. Evidencias a partir de percepción remota. Bogotá.