

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA MODELACIÓN DEL IMPACTO DE LA MINERÍA DE CARBÓN EN LOS RECURSOS HÍDRICOS DE CUENCAS DE MONTAÑA

Nicolás Fernández¹, Luis A. Camacho¹, Neil McIntyre², Carme Huguet³ y Jillian Pearse³

¹Universidad de los Andes, Colombia. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental ²The Sustainable Minerals Institute, Universidad de Queensland, Australia; ³Universidad de los Andes, Colombia. Departamento de Geociencias.
E-mail: n.fernandez34@uniandes.edu.co, la.camacho@uniandes.edu.co, n.mcintyre@uq.edu.au

Resumen

Con el objetivo de contribuir al desarrollo sostenible de la minería en países latinoamericanos, se propone en este artículo una metodología para modelar el impacto de la minería de carbón sobre el recurso hídrico en cuencas de montaña y se aplica a un caso de estudio específico: La cuenca del río Lenguaque (Cundinamarca, Colombia).

La metodología propuesta integra modelos hidrológicos con modelos de calidad del agua de determinantes convencionales y sustancias tóxicas. Los modelos integrados permiten simular escenarios para: i) comprender el transporte y destino de los contaminantes, ii) evaluar riesgos de contaminación, iii) definir infraestructura requerida de saneamiento en la cuenca y iv) apoyar el proceso de toma de decisiones.

Introducción

La minería es una actividad importante del desarrollo económico latinoamericano. En Colombia, por ejemplo, entre 2012 y 2015 representó más de 2% del PIB y, de este valor, el 70% corresponde al carbón (Unidad de Planeación Minero Energética, 2016). Si los recursos se explotan bien, utilizando las mejores prácticas, debería ser posible hacer minería sostenible con una alta relación beneficio-costos para la sociedad. De lo contrario, se presentan afectaciones inadmisibles al medio ambiente y los recursos hídricos, y conflictos en los usos del territorio para explotación minera, conservación de la biodiversidad, y usos agrícolas entre otros.

El Páramo es uno de los ecosistemas donde se presentan afectaciones importantes porque, a pesar de abastecer de agua a alrededor del 70% de la población Colombiana, la minería y otras actividades lo han deteriorado y la oferta hídrica se ha reducido (Cabrera & Ramirez, 2014). Por esta razón se presenta la resistencia y en algunos casos la oposición de varias comunidades que han prohibido, en consultas públicas, la extracción de hidrocarburos y minerales en estos territorios (Publicaciones Semana, 2017). En este contexto es necesario desarrollar herramientas y modelos que soporten la toma de decisiones, permitan promover un diálogo informado, y construir consensos (Thomann, 1998) y promuevan un desarrollo minero sostenible. La Universidad de los Andes y The Sustainable Minerals Institute de la Universidad de Queensland están realizando conjuntamente un proyecto de investigación de análisis de los riesgos relacionados con la minería del carbón para las personas, el ambiente y la economía en la región de Boyacá en Colombia. De esta investigación resulta la metodología propuesta en este artículo.

Metodología propuesta

La planeación en regiones mineras implica enfrentar retos como la temporalidad de las operaciones, las diversas dimensiones de los proyectos, los cambios irreversibles al paisaje y el carácter acumulativo del impacto al medio ambiente. Existen metodologías que integran modelos predictivos para manejar esta problemática (Lechner, y otros, 2017). En la Figura 1 se presenta el diagrama de flujo de la metodología propuesta en

este trabajo, que incluye la recolección de información secundaria y compilación de la base de datos, el desarrollo y aplicación de modelos integrados hidrológicos y de calidad del agua para la simulación de escenarios que soporten la propuesta de alternativas de desarrollo sostenible y la toma de decisiones.

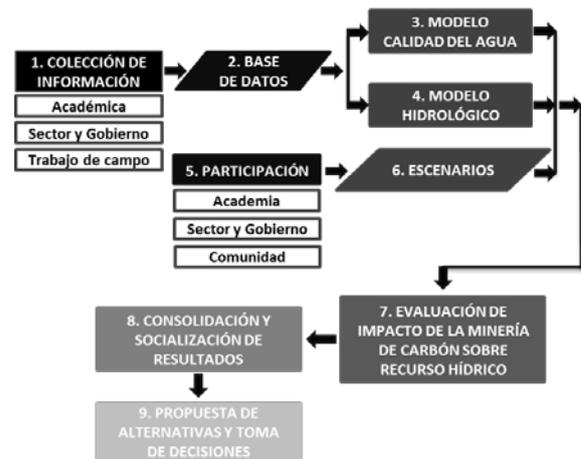


Figura 1.- Diagrama de Flujo de la metodología propuesta.

Localización del caso de estudio

La Figura 2 muestra la cuenca del río Lenguaque, escogida teniendo en cuenta entre otros, los siguientes factores: i) confluencia de varias quebradas originadas en el Páramo de Rabanal, ii) subsistencia al mismo tiempo de la minería de carbón y la agricultura como actividades económicas principales, iii) existencia de vertimientos de agua residual doméstica sin tratamiento en municipios de la cuenca.

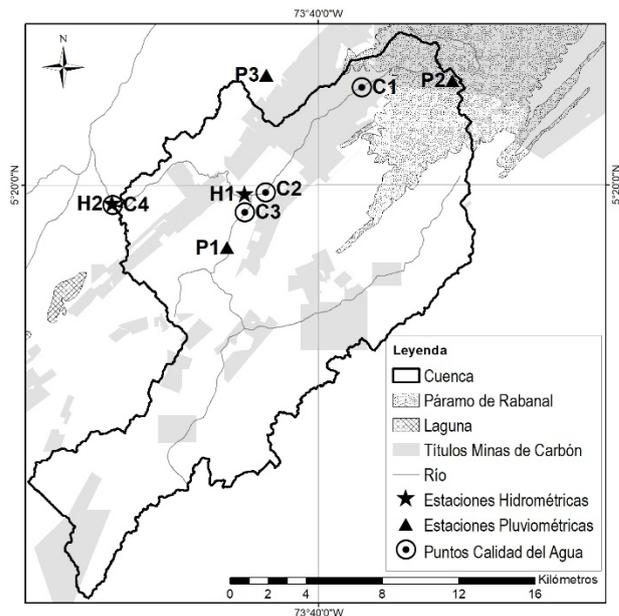


Figura 2.- Mapa de la zona de estudio.

Modelos y resultados

Modelos Hidrológicos:

Como parte de la metodología se propone implementar y calibrar los modelos lluvia escorrentía HEC-HMS, TOPMODEL y SVAT que permiten describir la condición hidrológica actual y prospectiva a nivel de cuenca y estimar los aportes de caudales de escorrentía y flujos sub-superficiales y de agua subterránea al igual que los contaminantes agrícolas y de la actividad minera que alcanzan los cauces. Para el caso de estudio se recolectaron series de tiempo diarias entre 1991 y 2014 de estaciones meteorológicas (Estaciones P1, P2 y P3 – Fig. 2) e hidrométricas (Estaciones H1 y H2 – Fig. 2). Con esta información se implementaron y calibraron los modelos lluvia escorrentía HEC-HMS, TOPMODEL y SVAT que permiten describir la condición hidrológica actual de la cuenca.

Modelos de Calidad del Agua:

Se propone implementar y calibrar los modelos de calidad de determinantes convencionales (QUAL2k) y sustancias tóxicas (WASP) bajo condiciones de estado estable, y utilizar los parámetros encontrados en el modelo WASP en modo dinámico acoplado con los modelos hidrológicos. Para el caso de estudio se recolectaron datos históricos de calidad del agua (Puntos C1 y C4 – Figura 2) y se realizó una campaña de monitoreo para toma de datos propios de determinantes convencionales y sustancias tóxicas, principalmente metales (Puntos C1, C2, C3 y C4 – Figura 2).

En cuanto a los determinantes convencionales, se encontraron aumentos importantes en la conductividad eléctrica y en las concentraciones de nutrientes (nitrógeno y fósforo), sólidos, materia orgánica y coliformes totales desde el punto C2. El oxígeno disuelto disminuye al recibir la descarga de vertimientos domésticos (punto C3) y el pH oscila entre 5 y 6 a lo largo de la corriente principal. Utilizando los datos tomados se implementaron y calibraron los modelos QUAL2K y WASP de determinantes convencionales y sustancias tóxicas respectivamente que se acoplan con los resultados de los modelos hidrológicos. La Figura 3. Ilustra los resultados de calibración del modelo QUAL2k para oxígeno disuelto y coliformes totales.

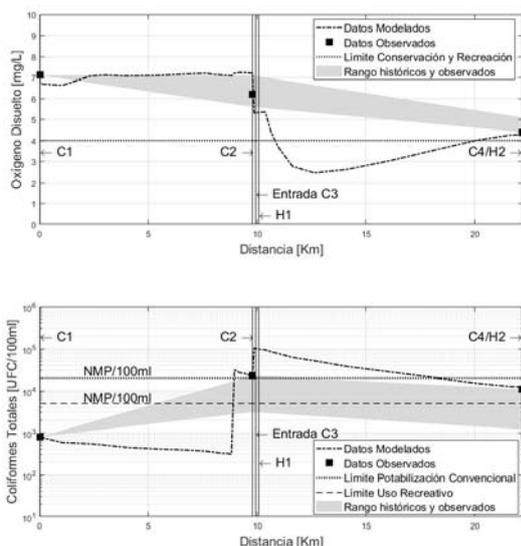


Figura 3.- Resultados modelo determinantes convencionales modelo QUAL2k.

Como puede observarse (Fig. 3), el modelo reproduce bien los datos observados. Los resultados están adicionalmente en el mismo orden de magnitud de los datos históricos suministrados por la autoridad ambiental CAR. Asimismo, tanto el oxígeno disuelto como los coliformes totales incumplen los estándares

colombianos de calidad del agua para usos del recurso con fines recreativos, conservación de ecosistemas, riego agrícola con y sin restricciones y potabilización mediante métodos convencionales.

En cuanto a sustancias tóxicas se encontraron concentraciones importantes de manganeso, hierro, magnesio, bario, cloruros y sulfatos. Otras como cadmio y mercurio se encontraron por debajo del límite de cuantificación del método utilizado. Los resultados de hierro y manganeso total modelados en WASP (Fig. 5) ajustan bien los datos observados. Los resultados del modelo también se encuentran en un orden de magnitud similar a lo reportado por la autoridad ambiental CAR. Los valores de manganeso superan el estándar de uso agrícola durante condiciones de caudal alto y re-suspensión de sedimentos.

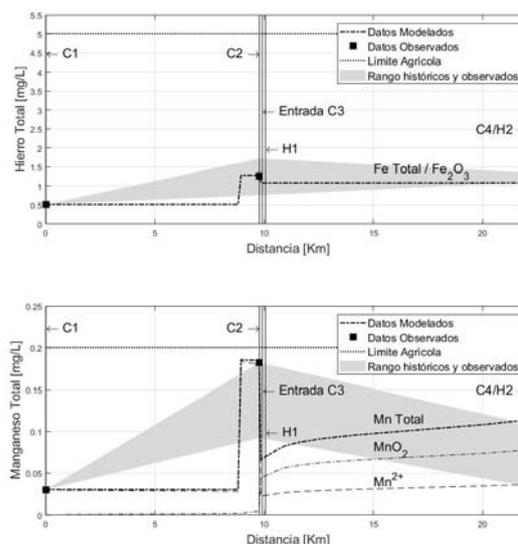


Figura 4.- Resultados modelo sustancias tóxicas WASP.

Vale la pena resaltar que, a partir de C2, la pendiente del canal es muy baja se presenta sedimentación y acumulación de los metales adsorbidos en el fondo del canal con interacciones importantes agua-sedimento a partir de procesos difusivos. A futuro se espera continuar con la simulación de escenarios prospectivos de evaluación del impacto ambiental, la consolidación y socialización de resultados con la comunidad y el planteamiento de alternativas y esquemas de saneamiento contribuyendo a la toma de decisiones.

Conclusiones

El seguimiento riguroso de la metodología propuesta en este trabajo permite comprender bajo escenarios hidrológicos actuales y prospectivos el transporte, destino, y el impacto en los recursos hídricos de los contaminantes en zonas de minería de carbón de montaña. La simulación de escenarios de saneamiento permite apoyar la toma de decisiones que estimulan el desarrollo sostenible de la minería, la protección de los recursos hídricos, y la conservación de los importantes ecosistemas de Páramo de alta montaña.

Referencias bibliográficas

Cabrera, M., & Ramirez, W. (2014). Restauración ecológica de los páramos de Colombia: Transformación y herramientas para su conservación. Bogotá D.C. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).

Lechner, A. M., McIntyre, N., Witt, K., Raymond, C. M., Arnold, S., Scott, M., & Rifkin, W. (2017). Challenges of integrated modelling in mining regions to address social, environmental and economic impacts. *Environmental Modelling & Software*, 268-281.