



**Alternativas para el uso del suelo después del desarrollo de minería extensiva a cielo abierto  
mediante SIG**

David Alberto Monsalve Londoño

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Medio Ambiente y Geoinformática

Asesor

Sebastián Ríos Cortés Especialista (Esp)

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Especialización en Medio Ambiente y Geoinformática  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2022

<b>Cita</b>	(Monsalve Londoño, 2022)
<b>Referencia</b>	Monsalve Londoño, D.A. (2022). Alternativas para el uso del suelo después del desarrollo de minería extensiva a cielo abierto mediante SIG [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Especialización en Medio Ambiente y Geoinformática, Cohorte XVII.

Grupo de Investigación Ingeniería y Gestión Ambiental (GIGA).

Centro de Investigación Ambientales y de Ingeniería (CIA).



**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Jesús Francisco Vargas Bonilla.

**Jefe departamento:** Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## Tabla de contenido

Resumen .....	6
Abstract.....	7
Introducción.....	8
1. Objetivos .....	10
1.1. Objetivo general .....	10
1.2. Objetivos específicos.....	10
2. Marco teórico .....	11
3. Metodología .....	14
4. Resultados y análisis .....	16
5. Conclusiones .....	21
6. Referencias .....	22

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Comparación Alternativas planteadas. ....	19
---	----

## **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

<b>EIA</b>	Estudio de impacto ambiental
<b>CIS</b>	Sistemas de Información Geográfica

### Resumen

La evaluación del suelo para diagnosticar la calidad es importante para determinar las características de productividad y su uso; los impactos negativos del suelo son evidentes después de un intensivo aprovechamiento en minería, sus efectos pueden ser devastadores y la calidad del ambiente se ve disminuido por la degradación en el punto de acción y en una zonificación cercana e incluso lejana. En la actualidad existen diferentes modelos y caracterizaciones que nos permiten identificar los cambios en zonas donde se ha realizado minería y la funcionalidad del suelo después de la misma para un futuro denominado cierre y abandono. Este análisis pretende analizar los enfoques del uso del suelo después de la minería mediante los SIG identificando técnicas de productividad, medición de calidad del suelo superficial y los cambios en el ambiente cercano.

*Palabras clave:* productividad, minería, degradación.

### Abstract

The evaluation of the soil to diagnose the quality is important to determine the characteristics of productivity and its use; The negative impacts of the soil are evident after intensive mining; its effects can be devastating, and the quality of the environment is diminished by degradation at the point of action and in nearby and even distant zoning. Currently there are different models and characterizations that allow us to identify the changes in areas where mining has been carried out and the functionality of the soil after it for a future called closure and abandonment. This analysis intends to analyze the approaches of land use after mining through GIS, identifying productivity techniques, measurement of surface soil quality and changes in the nearby environment.

*Keywords:* Soil evaluation, mining, models and characterizations, GIS.

## Introducción

La presente investigación se refiere al tema de usos del suelo después de una intervención minera la cual causa una degradación del suelo, que se puede definir como un cambio en la salud del suelo resultando en una disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para sus beneficiarios. Los suelos degradados contienen un estado de salud que no pueden proporcionar los bienes y servicios normales del suelo en cuestión en su ecosistema. (Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura, s.f.)

Las explotaciones mineras son una de las actividades más antiguas del mundo además ha evolucionado de manera conjunta con el desarrollo y avance de la humanidad, estas pueden ser origen de fuertes impactos sobre el suelo el cual es susceptible a recibir de primera mano los impactos que llevan a la degradación y disminución parcial o total del suelo para bienes posteriores de la actividad minera dejando inerte el espacio y sin un servicio que proporcione beneficios, en cambio genera problemas ambientales, ecológicos y paisajísticos, esta problemática lleva a enfocarse en conocer las diferentes alternativas utilizadas para la reestructuración del suelo donde se practica o hubo en algún momento minería donde se pueda determinar tanto la calidad y el uso potencial a este, utilizando referencias aplicadas en minas existentes y algunas en etapas de abandono.

Para validar las alternativas aplicadas resulta interesante analizar diferentes estudios en diversos sitios del mundo donde se ha aplicado minería, para lograr el objetivo es de gran importancia el análisis de fuentes de información asociados a casos de estudio en minas a cielo abierto donde se ha realizado una reestructuración del suelo en etapas de cierres definidos o directamente en zonas de influencia a las minas, se encontraron casos de estudio la región de Piendmont Italia donde se analiza la valoración de ecosistemas y sus servicios en la zona de influencia de las minas al norte de la región, en Asia mediante la revisión se enfoca en la evaluación de la capacidad de la tierra en minería de bauxita para posterior una la planificación del uso de la tierra integrando la detección remota y sistema de información geográfica en Sanggau Kalimantan Occidental Indonesia, finalmente se analiza el caso de estudio en Centro América enfocado en la



evaluación de la calidad del suelo explotado para la minería después de diferentes sistemas de manejo por siembra en la provincia Monseñor Nouel, República Dominicana.

Por otro lado, las zonas de referencia estudiadas donde se identificarán y evaluarán las alternativas de usos en el suelo y reestructuración o restauración de este aplicadas posteriores a la minería, se buscará obtener una perspectiva del estado actual del suelo y como desarrollaron y diseñaron las mismas mediante las SIG para uso y productividad posterior del suelo intervenido

## **1. Objetivos**

### **1.1. Objetivo general**

Identificar las alternativas propuestas para el uso del suelo después del desarrollo de minería extensiva a cielo abierto y como fue aplicado mediante SIG.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Analizar en la literatura científica las alternativas desarrolladas para el uso del suelo donde hubo minería.
- Comparar las alternativas desarrolladas para el uso del suelo después de la minería, sus componentes ambientales y de mejoramiento en la calidad.
- Evaluar las alternativas encontradas y desarrolladas para el uso del suelo después de la minería sus componentes ambientales mediante un Sistema SIG

## 2. Marco teórico

La rehabilitación de suelos usados para la minería comprende la implementación de medidas tanto mecánicas como biológicas; entre estas últimas se han ensayado plantaciones de árboles fijadores de nitrógeno (Dagar, 1998), contemplando que se ha llevado a cabo una buena estructuración del plan de abandono requiriendo una gestión integral para la rehabilitación del suelo donde se realizó una explotación intensiva que llevó al punto de degradación.

Para realizar el análisis de este estudio se realizaron diferentes revisiones a diversos documentos, específicamente relacionados a evaluaciones de calidad de suelos y manejo integral de restauración en zonas de minería.

Siguiendo el objetivo de la presente investigación, se ha tomado como referencia zonas de estudio de diferentes minas, con características similares y donde recurrimos a Zonificación, expansión y cambio de coberturas por la acción minera.

(Assumma, Bottero, Caprioli, Datola, & Mondini, Evaluation of Ecosystem Services in Mining Basins: An Application in the Piedmont Region (Italy), 2021) en su artículo nos definen como la Valoración de Ecosistemas llevo a un análisis sobre las canteras de explotación de materiales pétreos y como su influencia en los en las zonas adyacentes donde hay servicios ecosistémicos, generan impactos negativos que puede llevar a un deterioro de los mismos y como se buscan alternativas de restauración y mitigación para formular estrategias de planificación mediante SIG, y donde los SE (servicios ecosistémicos) asumen un papel importante para la construcción de estudios de impacto ambiental.

La cobertura del suelo puede generar en un impacto potencial del uso del suelo en un área determinada y la demanda por el uso en minería es alta, pero que pasa después con estas áreas ya degradadas y su uso potencial en otros factores, es debido a eso que se busca maneras para por para identificar la potencialidad de estas áreas ya intervenidas y sus afectaciones en productividad, se toma como referencia las investigaciones de sectores ya explotados ubicados en diferentes lugares del mundo para una comparación y luego una evaluación de las diferentes alternativas

desarrolladas o ejecutadas, por ende el artículo “Land capability evaluation of former bauxite mining land for land use planning by integrating remote sensing and geographic information system in Sanggau West Kalimantan Indonesia.” (Purwanto & Andrasmo, 2020) podría ser el componente bibliográfico más importante del estudio. Debido a que es en este donde podremos encontrar los estudios más relacionados a la presente investigación, siendo el método de interpretación de imágenes en la mina donde los autores evalúan parámetros divididos: en suelo superior, subsuelo, drenajes, pendiente, profundidad de suelo, disponibilidad de agua, y tasa de erosión, posterior con visita en campo para comprobar estado, que puede generar una identificación clase o categoría de suelos y el uso potencial.

Otro estudio aborda el campo en la “Evaluación de la calidad del suelo explotado para la minería después de diferentes sistemas de manejo” de los autores (Pérez, Céspedes, Almonte, & Ramírez, 2012), el cual integra una serie de muestreos de suelo para determinar en un área dividida en zona de explotación “intervención inicial”, bosque adyacentes o aledaños y zonas recuperadas con plantaciones arbóreas, ubicados en puntos estratégicos para generar una base de datos y geolocalizar los puntos haciendo una simulación de los diferentes escenarios y sus condiciones, verificar si las estrategias de recuperación de suelo son eficientes o si se deben generar nuevas estructuraciones de planes estratégicos de recuperación y las condiciones del suelo.

Los procesos de gestión integral en la recuperación de áreas degradadas en minas involucran una zonificación amplia y diversa, no solo enfoca su estructuración donde se explota o se ha explotado si no que va más allá de su límite perimetral, así como los impactos también trascienden estos mismos límites, las estrategias de alternativas de recuperación deben ser iguales o mejores a las características de calidad iniciales del suelo.

Toda actividad minera en el ecosistema afecta e impacta de diversa manera, afectando sus componentes ambientales, sociales, y económicos, principalmente sus impactos son negativos ambientalmente y positivos en un tiempo económicamente, lo social deriva del lugar y la situación actual al cual se vinculan diferentes factores. Las herramientas ofimáticas pueden apoyar el proceso de toma de decisiones para un contexto de planificación sostenible de las actividades mineras, durante la explotación y después en una etapa de cierre y abandono, a partir de diferentes casos se

buscará comparar y evaluar las alternativas desarrolladas en diferentes escenarios donde se buscaron la valoración sostenible para dejar un suelo en condiciones óptimas de desarrollo.

La implementación de los SIG es importante, las referencias analizadas y los casos expuestos aplican de forma directa e indirecta un desarrollo mediante los sistemas de información geográfica, pretendiendo identificar los impactos en su desarrollo de alternativas aplicadas en la zona estudiada, además también realizar una evaluación y comparativa del impacto integral del proyecto en la zona minera y zonas adyacentes.

### 3. Metodología

De acuerdo con los lineamientos de la metodología en la elaboración de proyectos de investigación se iniciará con una revisión de documentos de revisión y artículos de información posteriormente se hará una depuración para un análisis de esta, se escogerá una línea base para el desarrollo de la investigación y se guiará con fundamentos de carácter cualitativo.

Inicialmente se llevó a cabo una búsqueda en Google Scholar de documentos y guías en de fuentes que contengan información sobre las alternativas utilizadas en casos de estudios para la recuperación de los suelos y sus funcionalidades después de una intervención minera. La búsqueda se realizó en inglés y español, posteriormente se realizó una búsqueda en la base de datos ScienceDIRECT mediante siguientes ecuaciones de búsqueda “Mining AND Reclaimed Soils”, “Reclaimed soils”, “Reclaimed soils AND GIS”, no hubo límite de tiempo, aunque en la recolección de información se logra identificar resultados con un tiempo máximo de publicación de 10 años.

Los criterios de inclusión y exclusión en la búsqueda de literatura se incluyó todo tipo de documentos aportados por las diferentes fuentes de referencia que relacionaban la valoración de ecosistemas, la recuperación por siembra y la interpretación de imágenes en ecosistemas relacionados con minería. Respecto a las revisiones sistemáticas de las líneas de investigación y los estudios se dio como aplicado y como criterio de inclusión los artículos realizados en minas a cielo abierto que incorporaran conclusiones sobre recomendaciones para la realización alternativas

de usos de suelo después de las mismas aplicaciones de recuperación, y el principal criterio de exclusión fue que los artículos no incluyeran información sobre evaluación o parámetros utilizando SIG.

Posteriormente la extracción de datos llevo a una búsqueda de cincuenta artículos y luego de una revisión sistemática a una depuración integrada de tres artículos con los cuales podremos dar un análisis y una comparación de estos, y se lograra dar una interpretación de las alternativas utilizadas en estos casos de estudios para la recuperación de los suelos y sus funcionalidades después de una intervención. Dentro de los procesos finales investigativos estudiados se utilizaron diferentes metodologías investigativas en los cuales llegaron a una valoración ecosistémica, un tipo muestreo de suelos en una recuperación por siembra y una interpretación de imágenes satelitales.

#### 4. Resultados y análisis

Lo principal en un plan de abandono o cierre de mina es el aseguramiento de la estabilidad física y química del área intervenida y zonas de influencia a la misma, al aseguramiento del suelo para su uso posterior de la explotación de la mina tratando de garantizar un mínimo impacto ambiental, beneficios para el desarrollo ambiental, así como de los ecosistemas.

Respecto a los casos de estudio originales uno de ellos se concluyó de una manera muy acertada, los autores del artículo “Land capability evaluation of former bauxite mining land for land use planning by integrating remote sensing and geographic information system in Wanggau West Kalimantan Indonesia” con la interpretación para imágenes por medio de GIS ayuda a contextualizar la dimensión de los impactos generados por minería a cielo abierto, en la zona de del pueblo de Sejotang, Sanggau. Distrito Provincia de Kalimantan Occidental, el método de interpretación de imágenes en la mina de bauxita donde se evalúa parámetros divididos: en suelo superior, subsuelo, drenajes, pendiente , profundidad de suelo, inundación , deslizamiento, disponibilidad de agua, y tasa de erosión, posterior con visita en campo para comprobar estado, generara una identificación del suelo clasificado logrando verificar pendientes entre el 0 y 20% además el nivel de erosión del suelo varía de ninguno a moderadamente severo donde se pierde



más del 75% de la capa superior a y un poco menos del 25% de la capa inferior, el deslizamiento de tierra en la superficie terrestre es alrededor del 14-20% del área afectada. El incidente de inundación ocurre solo en las llanuras aluviales que ocurren durante un mes en un año de inundación, su clasificación de suelo posterior a el análisis clasifico el suelo en categoría o clases de III a VI definidos que lleva a verificar las alternativas de usos del suelo que se pueden desarrollar para cultivos de temporada y cultivos que requieran siembras intensivas tanto agrícolas como de plantación, pastos, bosques de producción, bosques protegidos y santuarios de vida silvestre.

El caso donde se estudia la valoración de Ecosistemas por los autores del artículo “An Application in the Piedmont Region in Italy” llevo a un análisis de las canteras de explotación de materiales pétreos y su influencia en los en las zonas adyacentes donde hay servicios ecosistémicos, el impacto que genera la minería puede llevar a un deterioro de los mismos y como se buscan alternativas para formular estrategias de planificación mediante GIS, donde SE (servicios ecosistémicos) asumen un papel importante para la construcción de EIA, evaluación de daños ambientales, y planificación del uso del suelo, teniendo dos fundamentos primarios; el impacto general de la minería y la rehabilitación del suelo ya que generan cambio en el uso y cobertura del suelo. Este estudio utilizo diferentes escenarios de expansión 10%, 20% y 50% de su actual límite para llegar a un modelo que les permitirá identificar la pérdida de SE y verificar alternativas para minimizar los impactos y cambios. Los escenarios propuestos se crearon a través de un sistema de expansión con QGIS.

En Centro America (Loma la Peguera provincia Monseñor Nouel, República Dominicana) en el Artículo por los autores Pérez, Céspedes, Almonte, & Ramírez, identificaron que en el deterioro, aumento de erosión y pérdida de biodiversidad están asociadas a la contaminación de metales pesados “Ni” generando efectos negativos en el suelo, las alternativas de recuperación del suelo afectado fue la siembra y replanteo de especies como Casuarina Equsetifolia Fors y Acacia Mangium Willd, además se determinaron los cambios de las propiedades del suelo comparados con un bosque Natural en la zona de influencia mostrando efectos positivos con la Acacia y Casuarina en suelos explotados, un mejoramiento en la calidad del suelo y una comparación directa con los bosques naturales y bancadas, todo estructurado en una serie de muestreos de suelo para

determinar en un área dividida así (Zona de explotación “intervención inicial” , bosque adyacentes o aledaños y zonas recuperadas con plantaciones arbóreas, muestreos compuestos (Físico-Químicos) en puntos estratégicos donde se genera una base de datos y geolocalizar los puntos haciendo una simulación de los diferentes escenarios y sus condiciones y finalmente verificar si las estrategias de recuperación de suelo son eficientes o si se deben generar nuevas estructuraciones de planes estratégicos para recuperación y las condiciones del suelo para un uso del suelo.

En los casos de estudio se identifica una base fundamental para llevar a cabo un proceso de comparación y evaluación de las diferentes alternativas aplicadas, donde se ha priorizado la recuperación de zonas degradadas por diferentes tipos de minería extensiva y donde la evaluación de verificación de estas nos da como resultado las siguientes conclusiones (tabla 1)

En las revisiones sistemáticas de los tres artículos se concluía unas etapas de cierres con alternativas de recuperación en las zonas intervenidas mostrando las estrategias para el mejoramiento de la calidad del suelo.

**Tabla 1.** Comparación Alternativas planteadas.

<b>AUTORES</b>	<b>FINALIDAD</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>ESTTADO</b>
Assumma, Bottero, Caprioli, Datola, & Mondini	Identificar una valoración de ecosistemas para la construcción de alternativas en etapas finales.	Verificar escenarios con ampliaciones visuales por medio de QGIS, generando escenarios de los impactos e identificar los ecosistemas afectados en la zona de influencia minera.	Los datos obtenidos favorecen la construcción de las alternativas que se plantearan en el EIA planteado para la reducción de los impactos en las zonas de influencia identificadas directas e indirectas.	Minería Activa
Pérez, Céspedes, Almonte, & Ramírez,	Catalogar muestreos de suelo para determinar la calidad del suelo donde hubo minería.	Muestreos de suelo después de aplicación de siembra Arborea como alternativa Catalogar una base de datos en puntos de interés y diagnosticar un escenario donde se verifique la alternativa y visualizar su efectividad.	Resultado Bosques con suelos positivos, comparados con un bosque natural, su estructura será solo para regeneración de vegetación secundaria Arborea.	No hay minería, Etapa de abandono

---

Purwanto & Andrasmore	Interpretación de Imágenes para clasificación de usos del suelo después de una etapa minera.	Interpretar Áreas donde hubo minería por medio de imágenes Satelitales, como objetivo verificar el uso del suelo después y una clasificación de calidad.	Suelos clase III a VI (La tierra no puede ser cultivada) solo pueden desarrollar siembras intensivas como de plantación, pastos, bosques de producción, bosques protegidos y santuarios de vida silvestre.	
-----------------------	--	--	--	--

## 5. Conclusiones

La literatura revisada nos da las siguientes conclusiones.

1. La calidad del suelo después de una minería extensiva y perjudicial puede evaluarse mediante un enfoque híbrido, Valoración de Ecosistemas, Muestreos post-Recuperación y Análisis de imágenes satelitales, todos conjuntos pueden llegar a encontrar alternativas y estrategias de la calidad del suelo en el lugar intervenido y la zonificación adyacente.
2. La tecnología de teledetección nos ofrece una rápida visualización de detención de la calidad del suelo y su potencial, una variación en el tiempo de su estado y los impactos positivos o negativos generados.
3. La recuperación del medio ambiente y su protección mediante alternativas de sostenibilidad requiere un enfoque innovador donde se pueda monitorear la calidad del suelo a grandes escalas.
4. Las alternativas de recuperación de calidad del suelo en minería tienen un enfoque simplista pero efectivo, todas las alternativas analizadas aplican una mejoría en la calidad del suelo y donde hubo una recuperación mínima del ecosistema.
5. Las alternativas analizadas mostraron que las zonas de explotación directas en minería por lo general el uso del suelo solo tendrá un beneficio en el desarrollo de pastos y pastoreo.

## 6. Referencias

Agboola, O., Babatunde, D. E., Isaac Fayomi, O. S., Sadiku, E. R., Popoola, P., Moropeng, L., Yahaya, A., & Mamudu, O. A. (2020). A review on the impact of mining operation: Monitoring, assessment and management. *Results in Engineering*, 8, 100181.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100181>

Asr, E. T., Kakaie, R., Ataei, M., & Tavakoli Mohammadi, M. R. (2019). A review of studies on sustainable development in mining life cycle. *Journal of Cleaner Production*, 229, 213–231.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.029>

Assumma, V., Bottero, M., Caprioli, C., Datola, G., & Mondini, G. (2022). Article Evaluation of Ecosystem Services in Mining Basins: An Application in the Piedmont Region (Italy). <https://doi.org/10.3390/su14020872>

Chughtai, A. H., Abbasi, H., & Karas, I. R. (2021). A review on change detection method and accuracy assessment for land use land cover. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 22, 100482. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100482>

Dagar, J. C. 1998. Nitrogen fixing fodder trees for degraded and problematic lands. pp. 73-81. In: J. N. Daniel and J. M. Roshetko (eds.). *Nitrogen fixing trees for fodder production*. Winrock International. Morrilton, AR, USA.

De Mello, K., Taniwaki, R. H., de Paula, F. R., Valente, R. A., Randhir, T. O., Macedo, D. R., Leal, C. G., Rodrigues, C. B., & Hughes, R. M. (2020). Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *Journal of Environmental Management*, 270, 110879. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110879>

Khan, Z., & Javed, A. (2022). Assessing Land Use /Land Cover Changes in Parts of Chandrapur District, Wardha Valley Coalfield, Maharashtra Using Geospatial Techniques. *JOUR.GEOL.SOC.INDIA*, 98, 2022. <https://doi.org/10.1007/s12594-0222009-y>

Martins, W. B. R., de Matos Rodrigues, J. I., de Oliveira, V. P., Ribeiro, S. S., dos Santos Barros, W., & Schwartz, G. (2022). Mining in the Amazon: Importance, impacts, and challenges to restore degraded ecosystems. Are we on the right way? *Ecological Engineering*, 174, 106468. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106468>

McManus, S., Rahman, A., Coombes, J., & Horta, A. (2021). Uncertainty assessment of spatial domain models in early-stage mining projects – A review. *Ore Geology Reviews*, 133, 104098. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104098>

Moomen, A.-W., Bertolotto, M., Lacroix, P., & Jensen, D. (2019). Inadequate adaptation of geospatial information for sustainable mining towards agenda 2030 sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117954. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117954>

Moomen, A.-W., Jensen, D., Lacroix, P., & Bertolotto, M. (2019). Assessing the policy adoption and impact of geoinformation for enhancing sustainable mining in Africa. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118361. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118361>

Musetsho, K. D., Chitakira, M., & Nel, W. (2021). Mapping Land-Use/Land-Cover Change in a Critical Biodiversity Area of South Africa. *J. Environ. Res. Public Health*, 18. <https://doi.org/10.3390/ijerph181910164>

Nakamo, S. J., & Setiawan, Y. (n.d.). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Assessment of Land Cover Changes in Litumbandyosi-Gesimasowa Game Reserve using Remote Sensing and GIS Assessment of Land Cover Changes in Litumbandyosi-Gesimasowa Game Reserve using Remote Sensing and GIS. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/950/1/012083>

Purwanto, A., & Andrasmore, d. (2021). land capability evaluation of former bauxite mining land for land use planning by integrating remote sensing and geographic information system in Sanggau West Kalimantan Indonesia. Penerbit UMT Journal of Sustainability Science and Management, 16, 214–227. <https://doi.org/10.46754/jssm.2021.08.019>

Wang, J., Bretz, M., Dewan, M. A. A., & Delavar, M. A. (2022). Machine learning in modelling land-use and land cover-change (LULCC): Current status, challenges and prospects. Science of The Total Environment, 822, 153559. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153559>

Wang, Z., Tianid, J., & Feng, K. (2022). Response of runoff towards land use changes in the Yellow River Basin in Ningxia, China. Research Center of Technology on Water-Saving Irrigation and Water Resources Regulation. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265931>