

Análisis Espacio-Temporal de los Cambios de Uso de Suelo Asociados a la Minería de Áridos y Materiales Pétreos en Tena, Ecuador

Spatio-Temporal Analysis of Land Use Changes Associated with Aggregate and Crushed Stone Mining in Tena, Ecuador

Silva Padilla, Carla Fernanda¹; Bravo Villacrés, Josué Emanuel¹; Damián Carrión, Diego Armando²

Cita:

Silva Padilla, C. F.; Bravo Villacrés, J. E.; Damián Carrión, D. A. (2026). Análisis Espacio-Temporal de los Cambios de Uso de Suelo Asociados a la Minería de Áridos y Materiales Pétreos en Tena, Ecuador. TESLA Revista Científica. <https://doi.org/10.55204/trc.v6i1.e000>

Recibido: 2026-04-20

Revisado: Mayo-Junio 2026

Corregido: Mayo-Junio 2026

Aceptado: 2026-06-19

Publicado: 2026-06-21

Licencia:

Los contenidos de este artículo están bajo una licencia de Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). Los autores conservan los derechos morales y patrimoniales de sus obras.

The contents of this article are under a Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license. The authors retain the moral and patrimonial rights of their works.

Editor: Juan Carlos Santillán Lima

¹ Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador.

² Grupo de Investigación y Desarrollo en Medio Ambiente y Cambio Climático, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

¹ carla.silva@unach.edu.ec; ¹ jebravo.fia@unach.edu.ec; ² dieardamian@outlook.com

¹ 0000-0002-2105-7263; ¹ 0009-0000-6267-8915; ² 0000-0002-1545-7439

Resumen: La investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de la actividad minera de áridos y pétreos sobre el cambio de uso de suelo, en 5 concesiones mineras ubicadas en la comunidad de Balsayaku, cantón Tena, provincia de Napo. El periodo analizado fue 2015-2020, sin embargo, se analizó el año 2013 para tener una referencia sobre las características del ambiente previo al comienzo de la minería. Para su desarrollo se utilizó las metodologías de clasificación supervisada para establecer los usos de suelo de la zona y el cálculo de la tasa de cambio anual para constatar los cambios en la superficie de la zona. Los resultados nos arrojan en promedio, que el cambio de uso de suelo producido por la actividad minera de manera directa e indirecta, en hectáreas fue de: -8.45 para bosque, 4.32 para cuerpo de agua, 6.24 para tierras agropecuarias, 0.13 para zona antrópica, -9.17 para otras tierras y -1.70 para tierra agrícola sin cultivo. En conclusión, se estableció que los cambios suscitados en la zona fueron producidos principalmente por la actividad minera siendo necesaria la aplicación de acciones correctivas como: determinar zonas de adecuadas de explotación y utilizar sistemas de extracción adecuados como el raspado de barras y cortes frente al espejo de agua, siendo los más eficientes y ambientalmente sostenibles.

Palabras clave: Cobertura, Kappa, TCA

Abstract: The objective of the research was to determine the influence of the aggregate and stone mining activity on the change of land use, in 5 mining concessions located in the Balsayaku community, Tena canton, Napo province. The period analyzed was 2015-2020, however, the year 2013 was analyzed to have a reference on the characteristics of the environment prior to the start of mining. For its development, the supervised classification methodologies were used to establish the land uses of the area and the Braimoh index to verify the changes in the surface of the area. The results show us, on average, that the change in land use produced by mining activity directly and indirectly, in hectares was: -8.45 for forest, 4.32 for body of water, 6.24 for agricultural land, 0.13 for anthropic zone, -9.17 for other land and -1.70 for agricultural land without cultivation. In conclusion, it was established that the changes in the area were produced mainly by mining activity, requiring the application of corrective actions such as: determining suitable exploitation areas and using adequate extraction systems such as scraping bars and cuts in front of the mirror of water, being the most efficient and environmentally sustainable.

Keywords: Coverage, Kappa, TCA

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la demanda de materiales de construcción para obras civiles ha generado una excesiva explotación de material pétreo, los cuales son extraídos de los ríos, obtienen materiales tales como: arena, grava, ripio, cantos rodados, entre otros, esto debido a sus propiedades fisiomecánicas o para ser usados como materia prima para la fabricación de agregados para la cimentación de edificaciones.

En el Ecuador, la minería tiene sus orígenes en épocas preincaicas en la que se elaboraban trabajos en plata, oro y platino por culturas precolombinas, después de la conquista española, surgieron las primeras concesiones mineras locales, en las poblaciones de Nambija y Zaruma. En sus inicios, la minería no tenía regulaciones ni bases legales específicas para su funcionamiento, lo que ocasionó desinformación y rechazo en la población ante esta actividad. En el año 1830, se crearía la primera Ley de Minería, generada con la finalidad de “fomentar la minería”. Para el año 1886 aparecería el “Código de Minería” que fue modificada en 1900 por Eloy Alfaro y fijó plazos para el arrendamiento de minas .

En la actualidad, las actividades mineras forman una importante industria a nivel global, resolviendo las necesidades cotidianas de las poblaciones y haciendo sinergia con otros negocios e industrias. En nuestro país, desde la creación de la nueva Ley Minera, se han generado varias regulaciones que incentivan la inversión minera, regulaciones que brindan la oportunidad de inversores extranjeros, exigiendo a las concesiones mineras, la adquisición de mecanismos que permitan la protección del ambiente, generación de empleo, desarrollo dentro de las zonas de influencia e ingreso de divisas al país. Para ello las herramientas SIG combinadas con los sensores remotos han tomado gran importancia en esta área debido a sus diversas aplicaciones, permitiendo su desarrollo a través de la elaboración de catastros mineros destinados a la delimitación y regulación de las concesiones mineras.

Las imágenes satelitales obtenidas de los sensores remotos Landsat y Sentinel, son herramientas que nos proporcionan información precisa, actualizada y de fácil acceso para mejorar la gestión del ambiente, comprender y mitigar sus posibles efectos, garantizando así la seguridad ciudadana. Por lo tanto, el uso de imágenes satelitales, combinado con sistemas de información geográfica (SIG) hace de estas, herramientas ideales y efectivas para el analizar el cambio de la superficie terrestre, permitiendo el manejo, aprovechamiento y conservación adecuada de los recursos naturales, garantizando así su permanencia en el tiempo.

Debido a las constantes quejas y manifestaciones en contra de la explotación minera llevada a cabo en los márgenes del río Napo, el objetivo de la presente investigación fue determinar la influencia de dicha actividad sobre el cambio de uso y cobertura de la tierra, en cinco concesiones mineras ubicadas en la comunidad de Balsayaku, durante el periodo 2013 – 2016 – 2020, para de esta forma dar a conocer a la ciudadanía sobre la gestión del ambiente en relación con el proceso de extracción del material pétreo.

METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

Para determinar la ubicación geográfica del área de estudio, se utilizó las coberturas digitales de provincias y cantones del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), así como capas de las concesiones mineras de interés, obtenidos de estudios previos.

La zona de estudio se encuentra ubicadas en la provincia de Napo, cantón Tena, parroquia Puerto Napo, específicamente, en la comunidad de Balsayaku, la zona posee un relieve suavemente ondulado e inclinado, típico de una cuenca baja, su clima es templado con precipitaciones de entre 800 – 3125 mm, temperatura mínima de 22 y máxima de 31°C durante todo el año y formando parte de la cuenca del río Napo, misma que pertenece a la cuenca del río Amazonas. Su suelo está conformado por un tipo de suelo inceptisol, es decir, suelos con un incipiente horizonte pedogénico con poca alteración. Además, podemos encontrar unidades de vegetación como bosque, vegetación herbácea, zonas de cultivo, áreas agropecuarias, cuerpo de agua, zonas urbanas, entre otras (PDOT, 2020).

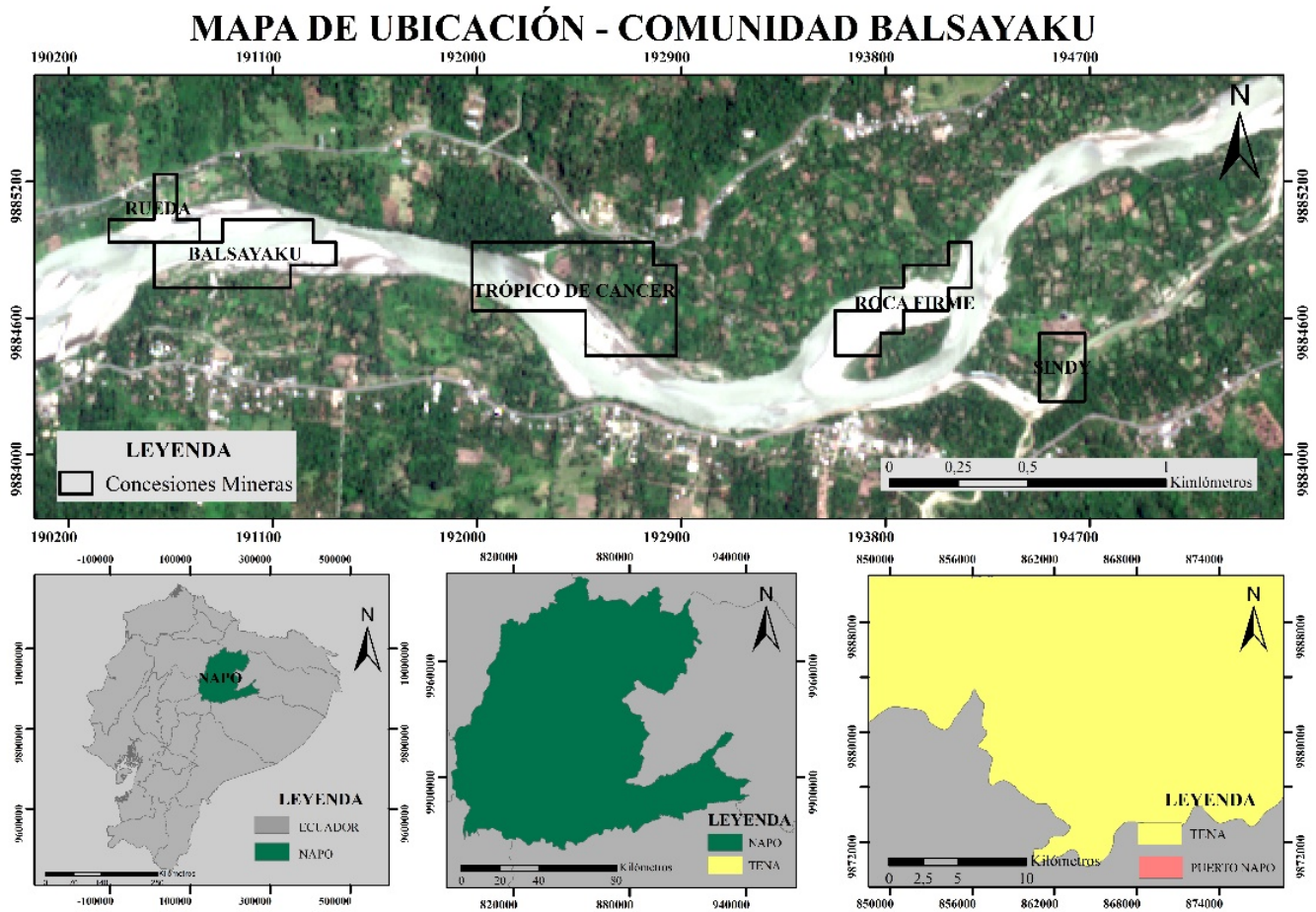


Figura 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio.

2.2. Procesamiento de las imágenes

La selección de las imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto Sentinel 2A del año 2016 y 2020, se realizó a través del programa Google Earth Engine (GEE), mismo que facilitó el manejo de una amplia colección de imágenes y aplicar filtros tales como fecha, geografía, porcentaje de nubosidad, etc. Obteniendo productos de alta resolución. Además, sin la necesidad de realizar correcciones radiométricas debido a que ya poseen dichas correcciones. La imagen del año 2013 se adquirió del sensor remoto Landsat 8, de igual manera, se seleccionó aquella que presentó la mejor resolución.

Las imágenes Landsat poseen un nivel de procesamiento L1G lo que incluye correcciones radiométricas y geométricas sistemáticas, pero para tener una mayor exactitud geométrica se realizó la corrección radiométrica para la imagen del año 2013, es decir, de reflectancia y radiancia a través del software de procesamiento ArcGIS 10.3, Artoolbox y la herramienta Geobia Landsat 8.

2.3. Clasificación supervisada

Para la clasificación se utilizó el software ArcGIS 10.3, así como, las imágenes satelitales Landsat 8 y Sentinel 2A de los años 2013, 2016 y 2020, con una resolución de 30 x 30 m y 15 x 15, obtenidas de las plataformas USGS y GEE, respectivamente. Estas imágenes estaban divididas en bandas individuales, por lo que se realizó una combinación de estas usando la herramienta “Composite Bands”, después se recortó los límites de las imágenes usando la herramienta “Extract by Mask”. Por último, para mejorar su resolución se usó la herramienta “Createpan-sharpened raster”. Para la clasificación supervisada, se utilizó la herramienta “Imagen Classification”, después, la opción “Training Sample Manager”, y luego la opción “Draw Polygon”.

Posterior a ello, se estableció los puntos en los píxeles escogidos para cada clase, las cuales fueron:

Cuadro 1: Clases de uso de suelo

	Clases de uso de suelo
Nivel I	Bosque
Coberturas Naturales e Intervenidas	Cuerpo de Agua
	Agropecuaria
	Antrópica
	Otras Tierras (Bancos de Arena)
Nivel IV Uso Agrícola	Sin Cultivo

Después en la ventana “Imagen Classification” se seleccionó “Create Signatures” con la finalidad de crear la firma espectral por cada una de las muestras, permitiendo crear la matriz de separabilidad, después, se efectuó la clasificación usando la herramienta “Maximun Likelihood Classification”. Posterior a ello, se realizó la disolución de este por medio de un filtro usando la herramienta “Majority filter”, luego, el “raster” generado, se transformó en polígono. Posterior a ello, se abrió la tabla de atributos y se calculó el área en , con la finalidad de eliminar los polígonos que tuvieran un área menor a 100 m². Para eliminar el restante de polígonos, se usó la herramienta “Eliminate”.

2.4. Validación de resultados

La validación de resultados se usó para comparar la clasificación con la información geográfica que se asume es efectiva, con el fin de comprobar el grado de confiabilidad del proceso de clasificación. Para la validación de la clasificación de las imágenes correspondientes a los años 2013, 2016 y 2020, se realizó un muestreo al azar simple, generando 30 muestras para cada categoría con puntos de muestreo generados con la interpretación visual de las imágenes y verificados en las clasificaciones obtenidas (Perea, 2012).

Por medio de una matriz de confusión, se evaluó la exactitud de la clasificación, situando en las filas, las clases generadas en el mapa y en las columnas las mismas clases con datos reales del terreno o campo. La precisión general se valoró dividiendo el número de píxeles clasificados correctamente entre el total de lugares de referencia. Otra prueba estadística complementaria que se efectuó fue el coeficiente de kappa, que permitió valorar la concordancia entre los datos observados y los datos estimados, para su cálculo se usó los valores de la diagonal de cada una de las matrices de confusión elaboradas.

La índice kappa (K), se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})} \quad (1)$$

Donde:

r = Número de líneas de la matriz

x_{ii} = Número de observaciones de línea i y la columna i

x_{i+} y x_{+i} = Totales marginales de la línea i y columna i, respectivamente

N = Número total de observaciones

2.5. Cálculo del cambio de uso de suelo mediante la tasa de cambio anual (TCA), en el periodo 2013, 2016, 2020

El cálculo de la tasa de cambio anual (TCA), se obtuvo por medio de la comparación de un área cubierta para un uso de suelo definido en dos épocas diferentes. La fórmula empleada constituye una tasa porcentual anual, usada frecuentemente para cálculos de esta índole .

$$TCA = \left[\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \times 100 \quad (2)$$

2.5.1. Indicadores de cambio e índices de persistencia

Para el cálculo de los indicadores de cambio e índices de persistencia se utilizaron las siguientes formulas:

Cuadro 2: Indicadores de cambio

Indicador	Descripción del indicadores y variable
Perdidas $L_{ij} = P_{j+} - P_{jj}$	Es la diferencia del total del tiempo 1 (P_{j+}) y la persistencia (P_{jj}). Donde L_{ij} son las pérdidas, P_{j+} el total de cada clase del tiempo 1 y P_{jj} es la persistencia.
Ganancias $G_{ij} = P_{j+} - P_{jj}$	Es la diferencia del total del tiempo 2 (P_{j+}) y la persistencia (P_{jj}). Donde G_{ij} son las ganancias, P_{j+} el total de cada clase del tiempo 2 y P_{jj} es la persistencia.
Cambio Neto $D_j = L_{ij} - G_{ij}$	Es la diferencia de las pérdidas y ganancias de cada clase. Donde D_j es el cambio neto, L_{ij} las pérdidas y G_{ij} las ganancias.
Intercambios $S_j = 2 \times \text{MIN}(P_{j+} - P_{jj}, P_{j+} - P_{jj})$	Es la multiplicación de dos veces el valor mínimo de las pérdidas (L_{ij}), o bien, dos veces el valor mínimo de las ganancias (G_{ij}).
Cambio total $C_j = D_j + S_j$	Es la suma del cambio neto (D_j) y el intercambio (S_j), o como la suma de las pérdidas (L_{ij}) y las ganancias (G_{ij}).
Índice de ganancia a persistencia $G_p = G_{ij} / P_{jj}$	G_p representa el índice de ganancia a persistencia, G_{ij} representa las ganancias y P_{jj} corresponde a la persistencia.
Índice de pérdida a persistencia $L_p = L_{ij} / P_{jj}$	L_p corresponde al índice de pérdida a persistencia, L_{ij} representa a las pérdidas y P_{jj} a la persistencia.
Índice de cambio neto a persistencia $np = G_p - L_p$	np pertenece al índice de cambio neto a persistencia, G_p corresponde al índice de ganancia a persistencia y L_p al índice de pérdida a persistencia.

Nota . Tomado de

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Ecuador, según datos del Geoportal de Catastro Minera (2020) existen alrededor de 7531 concesiones mineras, 276 pertenecen a la provincia de Napo, 163 se encuentran en el cantón Tena, de estas, 23 están ubicadas en la parroquia Puerto Napo y de las cuales 14 son destinadas a la extracción de materiales de construcción áridos y pétreos, ubicadas alrededor del cauce del río Napo, siendo uno de los más explotados debido a su abundancia de minerales producto del arrastre de la parte alta del río Jatunyacu y que al unirse con el Anzu dan origen a la microcuenca del Napo.

Según boletines de prensa, el año 2015, se realizaron varias inspecciones por parte de ARCOM para el control y regulación de actividades mineras ilegales en del río Jatunyacu, decomisando 21 dragas localizadas en los márgenes del río, en el área intervenida se evidenció un desbanque total de la vegetación, lo que ha ocasionado un gran daño ambiental y al hábitat de las diferentes especies animales, así como malestar a los comuneros del sector, mismos que denunciaron afectación a sus propiedades.

Sumado a esto, la excavación de los márgenes del río, producto de la actividad minera ilegal, ha generado la degradación de sus márgenes, erosión lateral, modificaciones físicas que alteran la estabilidad del cauce sobre todo en épocas de lluvia, cuando el caudal aumenta y genera inundaciones, provocando pérdida de suelos productivos sobre las riberas y riesgo de pérdida de infraestructura vial y de viviendas aledañas al río Napo, además, los cambios de uso de suelo, producto de la actividad humana como la agricultura, ganadería,

silvicultura y la minería, provocan entre las consecuencias más importantes la pérdida de la biodiversidad y los servicios ambientales.

3.1. Cambio de uso de suelo 2013 - 2016 - 2020

Los usos de suelo fueron definidos en 6 clases, como resultado de la digitalización de las áreas. El procesamiento pudo ser visualizado en la figura 2 y el producto obtenido permitió apreciar los cambios de uso de suelo producido en cada año de estudio.

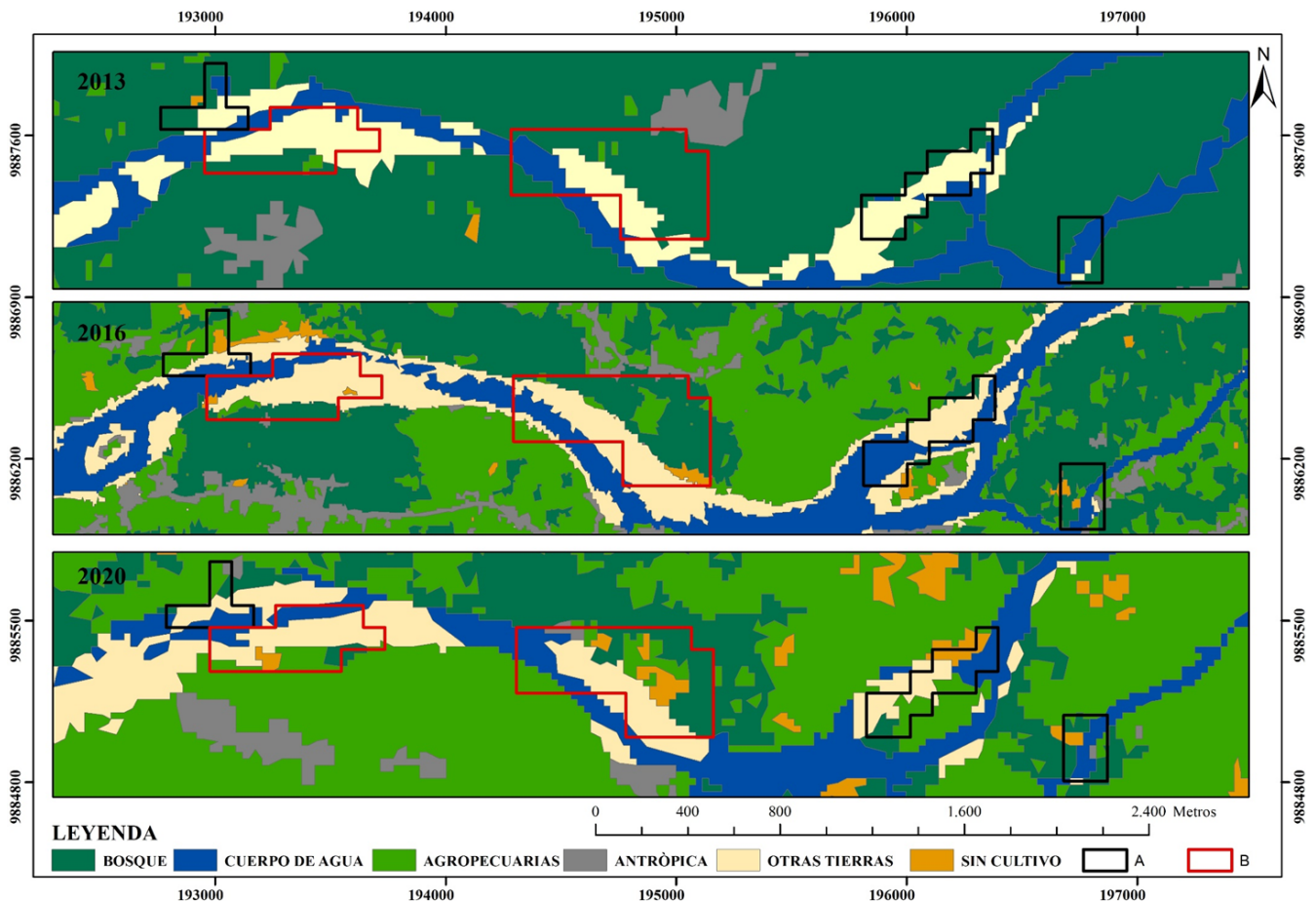


Figura 2: Mapa de uso de suelo de los años 2013, 2016 y 2020.

3.1.1. Concesiones Mineras A

Como se observa en la tabla 3, los usos de suelo se mantuvieron estables en 3.62 ha de la superficie total, sin embargo, 4.37 ha mostraron cambios de superficie, de los cuales 1.32 ha pertenecen a cambio neto y 3.06 ha corresponden al intercambio entre los diversos usos de suelo. Con respecto a los cambios de pérdidas y ganancias es notorio que otras tierras y bosque son los usos de suelo con mayores pérdidas (1.7 ha y 1.37 ha respectivamente), con respecto al periodo 2013 - 2016. Por otro lado, las coberturas que presentaron mayores ganancias fueron: otras tierras (1.8 ha) y agropecuaria (1.14 ha), con respecto al periodo 2016 - 2020. Con base en los cálculos podemos afirmar que la mayoría de los cambios se relacionan a los intercambios entre los diferentes usos de suelo. De la misma manera, el uso de suelo agropecuaria presentó la mayor cobertura de cambio neto (1.13 ha), cambio total (1.15 ha) e intercambios (0.02 ha). Además, con base en los datos podemos mencionar que al relacionar los índices de ganancia/persistencia y pérdida/persistencia, expresan que los usos de suelo tienden en su mayoría a ganar o perder que a persistir, mientras que al relacionar el índice cambio neto/persistencia los usos de suelo bosque, cuerpo de agua y otras tierras obtuvieron valores negativos lo que significa que tienen más a perder que a ganar cobertura; a diferencia de agropecuaria, antrópica y sin cultivo que tienen más a ganar que a perder superficie.

Cuadro 3: Indicadores de Cambio - concesiones mineras A

Clases	Año 2013		Año 2020		TCA	Persistencia		Pérdidas		Ganancias		Cambio total		Cambio neto		Intercambios	
	Ha	%	Ha	%		%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha
Bosque	2,33	29	1,64	20	-0,11	0,96	26,44	1,37	17,15	0,68	8,48	2,05	25,63	0,69	8,67	1,36	16,97
Cuerpo de Agua	2,57	32	1,95	24	-0,09	1,28	35,36	1,29	16,12	0,67	8,34	1,96	24,46	0,62	7,78	1,33	16,68
Agropecuaria	0,11	1	1,24	15	1,26	0,098	2,69	0,01	0,11	1,14	14,27	1,15	14,38	1,13	14,15	0,02	0,23
Antrópica	-	-	0,01	0	-	-	-	-	-	0,01	0,18	0,01	0,18	0,01	0,18	0,00	0,00
Otras Tierras	2,99	37	3,09	39	0,01	1,29	35,52	1,70	21,30	1,80	22,54	3,51	43,84	0,10	1,24	3,41	42,60
Sin Cultivo	-	-	0,07	1	-	-	-	-	-	0,07	0,89	0,07	0,89	0,07	0,89	0,00	0,00
Total	8,00	100	8,00	100		3,62	45,31	4,37	54,68	4,29	54,69	4,37	54,69	1,32	16,45	3,06	38,23

3.1.2. Concesiones Mineras B

Como se observa en la tabla 4, los usos de suelo se mantuvieron estables en 15.88 ha de la superficie total, sin embargo, 10,09 ha mostraron cambios de superficie, de los cuales 7.19 ha pertenecen a cambio neto y 2.90 ha corresponden al intercambio entre los diversos usos de suelo. Con respecto a los cambios de pérdidas y ganancias es evidente que otras tierras y bosque son los usos de suelo con mayores pérdidas (4,68 ha y 4.05 ha respectivamente), con respecto al periodo 2013 - 2016. Por otro lado, las coberturas que presentaron mayores ganancias fueron: cuerpo de agua (3.89 ha) y agropecuaria (2.76 ha), con respecto al periodo 2016 - 2020. Con base en los cálculos podemos afirmar que la mayoría de los cambios se relacionan a los intercambios entre los diferentes usos de suelo. De la misma manera, el uso de suelo otras tierras presentaron la mayor cobertura de cambio neto (4.45 ha), cambio total (4.91 ha) e intercambios (0.46 ha). Además, con base en los datos podemos mencionar que al relacionar los índices de ganancia/persistencia y pérdida/persistencia expresan que los usos de suelo tienden en su mayoría ganar o perder que a persistir, mientras que al relacionar el índice cambio neto/persistencia los usos de suelo bosque, cuerpo de agua y otras tierras obtuvieron valores negativos lo que significa que tienen más a perder que a ganar cobertura; a diferencia de agropecuaria y sin cultivo que tienen más a ganar que a perder superficie.

Cuadro 4: Indicadores de Cambio - concesiones mineras B

Clases	Año 2013		Año 2020		TCA	Persistencia		Pérdidas		Ganancias		Cambio total		Cambio neto		Intercambios	
	Ha	%	Ha	%		%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha
Bosque	10,54	41	7,77	30	-0,10	6,49	40,83	4,05	15,62	1,29	4,96	5,34	20,58	2,76	10,65	2,58	9,93
Cuerpo de Agua	3,94	15	6,99	27	0,21	3,11	19,56	0,83	3,21	3,89	14,99	4,72	18,20	3,05	11,77	1,67	6,43
Agropecuaria	1,15	4	3,36	13	0,43	0,61	3,81	0,55	2,12	2,76	10,63	3,31	12,75	2,21	8,52	1,10	4,23
Antrópica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Otras Tierras	10,37	40	5,91	23	-0,17	5,69	35,80	4,68	18,05	0,23	0,88	4,91	18,93	4,45	17,17	0,46	1,76
Sin Cultivo	-	-	1,89	7	-	-	-	-	-	1,18	7,30	1,89	7,30	1,89	7,30	-	-
Total	26,00	100	25,94	100		15,88	61,23	10,12	39,00	10,06	38,77	10,09	38,77	7,19	27,71	2,90	11,17

3.1.3. Concesiones Mineras A

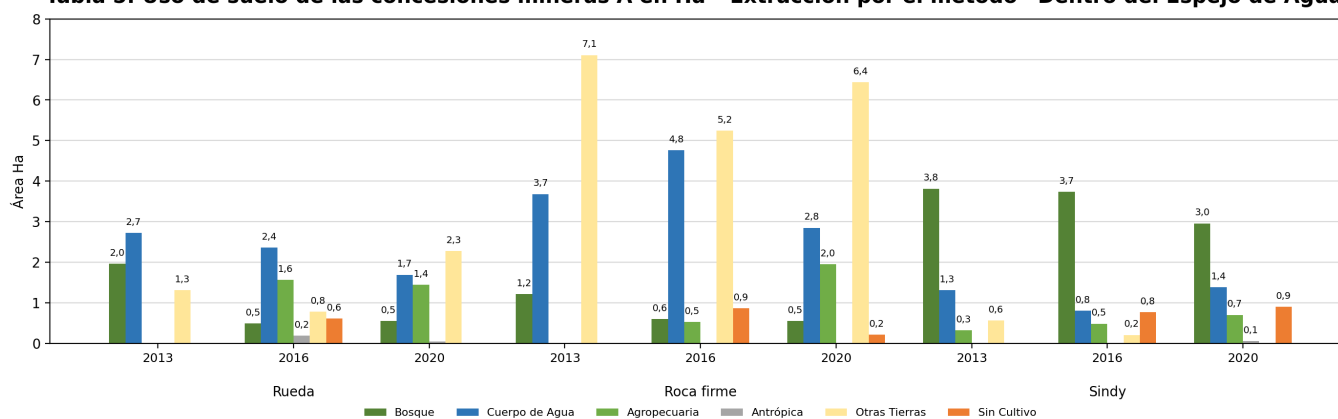
Como se observa en la tabla 5, las concesiones mineras Rueda, Roca Firme y Sindy, presentaron la reducción del uso de suelo bosque, debió a las frecuentes prácticas agrícolas, principalmente cultivo de naranjilla (*Solanum quitoense*), maíz (*Zea mays*) y yuca (*Manihot esculenta*). Por otro lado, existió un intercambio entre cuerpo de agua, tierras agropecuarias y tierra agrícola sin cultivo con otras tierras, dándose un proceso de recarga de material pétreo, producto de la actividad minera desarrollada en los márgenes del río, provocando su socavamiento en el meandro de este, favoreciendo la recarga de material pétreo y produciendo la pérdida definitiva del suelo. Según el PDOT del 2020 menciona que los bosques de la amazonia son propiedad de los pueblos indígenas, quienes dependen de los estos para su sustento, siendo prioritaria su conservación debido a los servicios directos e indirectos que brindan tales como: provisión de insumos, turismo, silvicultura,

abastecimiento de materia prima, habitat de biodiversidad, sumidero de carbono y agua siendo amenazados por la contaminación del río Napo producto de asentamientos humano, agricultura y explotación minera, detectándose prácticas de explotación inadecuadas, provocando cambio de cause, contaminación del río y destrucción de playas . En este caso, la actividad minera influyó moderadamente sobre el cambio de uso de suelo, esto debido a que el sistema de extracción utilizado denominado “explotación dentro del espejo de agua” se lo realizó en los márgenes entre el río y las zonas destinadas a bosque y cultivo, siendo un sistema poco eficiente en cuanto al aprovechamiento sustentable del recurso pétreo se refiere. Según Alvarado, menciona que “Los ríos meándricos poseen una característica deformación del cauce en la curva externa o cóncava, dando origen a una fosa erosiva, mientras que en la curva interna o convexa se origina la formación de una barra o llanura de acumulación de sedimentos”. Lalangui menciona que “La extracción de arenas de los ríos en forma excesiva causa la degradación de los lechos, lo que puede resultar en la erosión de las riberas o bancos”, lo que corroboró los cambios suscitados en la zona de estudio .

Fuente: Autores.

Cuadro 5: Uso de suelo de las concesiones mineras A en Ha – Extracción por el método “Dentro del Espejo de Agua”

Tabla 5: Uso de suelo de las concesiones mineras A en Ha - Extracción por el método “Dentro del Espejo de Agua”

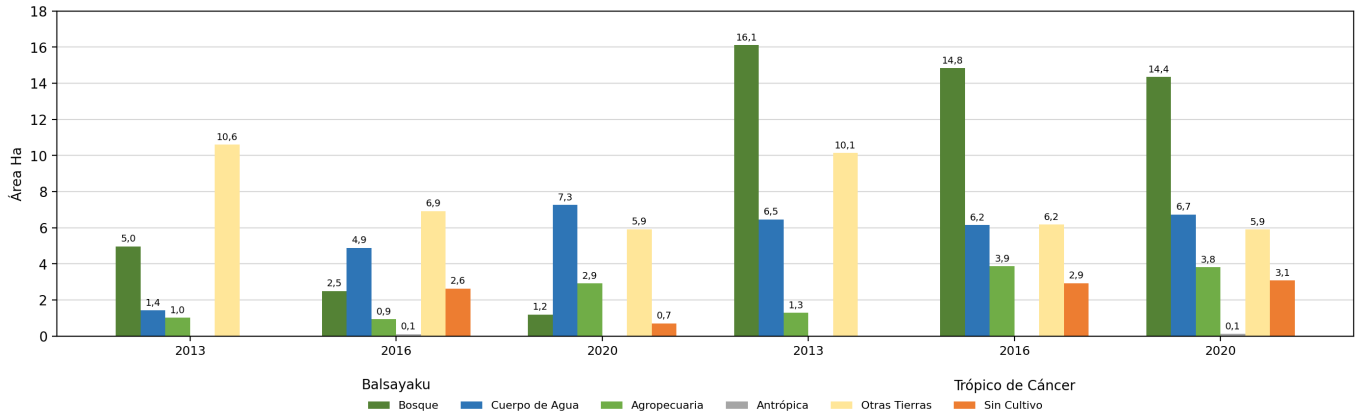


3.1.4. Concesiones Mineras B

Como se observa en la tabla 6, las concesiones mineras Balsayaku y Trópico de Cáncer, presentaron la reducción del uso de suelo bosque, esta pérdida se debió a las frecuentes prácticas agrícolas, principalmente cultivos de la zona. Por otro lado, existió un incremento para el uso de suelo cuerpo de agua “y una reducción para otras tierras. La deforestación y minería han provocado: la contaminación de los ríos, afectando a las especies acuáticas; la fragmentación de habitat de diversas especies de flora y fauna debido al aprovechamiento desmedido del bosque primario; y el desbordamiento de los esteros y ríos en la época invernal, producto del cambio de cause de los ríos. Por otro lado la contaminación de los suelos agrícolas y los asentamientos humanos se han exparcido de forma espontaneas sin ninguna planificación, a través del establecimiento de potreros y cultivos con inadecuado manejo de residuos sólidos y sistemas de eliminación de excretas ineficientes. En este caso, la actividad minera influyó poco sobre el cambio de uso de suelo, esto debido a que el sistema de extracción, usado denominado “raspado de barras” se lo realizó en los márgenes entre la playa y el río, alejado de la zonas destinadas a bosque y cultivos, siendo un sistemas eficiente en cuanto aprovechamiento sustentable del recurso pétreo se refiere. Según Sanchis, menciona que “La alteración del cauce causada por la extracción de gravas proporciona una inusual oportunidad para el reajuste fluvial, es decir el aumento o disminución del volumen de agua en un tramo determinado del río”, lo que corroboró los cambios suscitados .

Cuadro 6: Uso de suelo de las concesiones B en Ha – Extracción por el método “Raspado de Barras”

Tabla 6: Uso de suelo de las concesiones B en Ha - Extracción por el método “Raspado de Barras”



CONCLUSIONES

Para el desarrollo de la investigación se aplicó la metodología de clasificación supervisada, aplicando la interpretación visual, permitiendo disminuir los errores cartográficos determinados durante el proceso de clasificación, obtenido así un producto con alto porcentaje de precisión y confiabilidad. Basándonos en los resultados obtenidos podemos afirmar que durante el periodo de estudio (2013 -2020), se observa la implementación de la actividad agropecuaria (que en el año 2013 ocupaba un área de 1.26 ha y para el año 2020 fue de 4.6 ha) y minera (que el año 2013 ocupaba un área de 13.36 ha y para el año 2020 fue de 9 ha), influyeron directamente sobre el aumento del uso de suelo agropecuaria y por el contrario reducción de otras tierras (bancos de arena) evidencia su injerencia sobre el cambio de coberturas en la zona.

Con base en recorridos in situ, observación directa y trabajo de campo se pudo deducir que durante el periodo de 7 años (2013-2020) la zona de estudio se encuentra en un proceso de transición entre las coberturas naturales (bosque, cuerpo de agua y otras tierras) y antrópicas (agropecuaria y minera) debido a la demanda de alimento y material pétreo por parte de la comunidad y empresas mineras aledañas respectivamente, proceso que sigue en aumento y seguirá de no implementar medidas que mitiguen este fenómeno.

Para contrarrestar la injerencia de la actividad minera sobre el cambio de uso de suelo se recomienda determinar zonas de explotación adecuadas para el proceso de extracción del material pétreo, preferentemente alejadas de usos de suelo como bosque o agropecuarias, además de ello, utilizar sistemas de explotación adecuados y ambientalmente sostenibles como raspado de barras o cortes frente al espejo de agua, mismo que consiste en la excavación de franjas ubicadas perpendicularmente al avance del río con secciones no mayores a 3 m de ancho, 5 m de largo y 5.40 m de profundidad que servirán para calcular la cantidad de material pétreo almacenado y con ello estimar la cantidad máxima que se puede extraer y respetar su tiempo de recarga natural.

Con respecto a la injerencia de la agricultura sobre el cambio de uso de suelo se recomienda la implementación de capacitaciones a los comuneros del sector, destinadas al manejo adecuado del suelo y utilización de sistemas productivos ambientalmente amigables que incentiven la reducción del avance de la frontera agrícola y promueva la utilización eficiente del suelo, para ello es necesaria la articulación de la academia y las entidades gubernamentales de la zona.

Para mejorar la veracidad de los resultados, se recomienda realizar análisis de suelo en cada una de las concesiones, determinando así sus características y comprobar el estado de salud del suelo, permitiendo cuantificar de manera más precisa la influencia de la actividad minera sobre este medio.

Es necesario establecer más estudios destinados a evaluar la influencia de la actividad minera sobre el ambiente y presentarlos a las autoridades ambientales competentes con la finalidad de formular políticas que regulen y controlen la sobreexplotación de los recursos y promuevan el manejo sustentable del ambiente.

REFERENCIAS

- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2020). Control recursos y energía. Obtenido de Control recursos y energía: <https://gis-sigde.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=8b53f9388c034b5e8e3147f03583d7ec>
- Aillón, M. (11 de Diciembre de 2016). PBP. Obtenido de PBP: <https://www.pbplaw.com/es/historia-de-las-normas-mineras-en-ecuador/>
- Alvarado, C. (Marzo de 2013). Scielo. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000100003
- Camacho. (2015). Scielo. Obtenido de Scielo: <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v21n1/v21n1a8.pdf>
- Camacho, R. (2017). Cambios de cobertura y uso de suelo. Cambios de cobertura y uso de suelo, 45.
- Carrión, A. (Abril de 2017). UASB. Obtenido de UASB: <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/5795/1/05-DE-Carrion.pdf>
- Cartaya, S. (Agosto de 2015). Scielo. Obtenido de Scielo: http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1010-29142015000200004&script=sci_arttext
- Cisneros, C. (30 de Enero de 2018). Google Scholer. Obtenido de Google Scholer: https://scholar.google.es/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=RYR0KmEAAAAJ&citation_for_view=RYR0KmEAAAAJ:WF5omc3nYN0C
- Comando Conjunto de las Fuerzas Armadas del Ecuador. (2 de Febrero de 2016). CCFFAA. Obtenido de CCFFAA: <https://www.cffaa.mil.ec/2016/02/19/detienen-dano-ambiental-en-napo-por-actividad-minera-ilegal/>
- Delgado, J. (2011). Universidad de Manizales. Obtenido de Universidad de Manizales: <https://revistasum.umanizales.edu.co/ojs/index.php/ventanainformatica/article/download/112/163/613>
- FAO. (2016). FAO. Obtenido de FAO: <https://www.fao.org/3/i5588S/i5588S.pdf>
- Flores, D. (16 de Enero de 2020). Revista científica de ecología y medio ambiente. Obtenido de Revista científica de ecología y medio ambiente: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1885>
- Lalangui, J. (2013). UNL. Obtenido de UNL: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/648/1/DESA%20ROLLO%20DE%20LA%20TESIS%20POLIVIO.pdf>
- Márquez, C. O., & García, V. J. (15 de Abril de 2018). ESPACIOS. Obtenido de ESPACIOS: <https://www.revistaespacios.com/a18v39n32/18393208.html>
- PDOT. (2020). GADM de Tena. Obtenido de GADM de Tena: <https://tena.gob.ec/images/convocatoria/ACTUALIZACION-PDOT-2020-2023.pdf>
- Sánchez. (Junio de 2015). Scielo. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000100007
- Sanchis, C. (Mayo de 2016). ResearchGate. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/316473653_Cambios_morfologicos_recientes_en_el_cauce_del_rio_Palancia_regeneracion_fluvial_en_contextos_de_deficit_sedimentario
- SEMARNAT. (Octubre de 2017). Subsecretaría de Recursos Naturales del Estado de Coahuila. Obtenido de Subsecretaría de Recursos Naturales del Estado de Coahuila: <https://www.sema.gob.mx/SRN-SIIAECC-US0-CAMBIO.php>
- Silipu, J. (2020). Efecto de la Utilización de Agregados de Concreto Reciclado sobre el Ambiente y la Construcción de Viviendas en la Ciudad de Huamachuco. PURIQ, 17;22.
- Silvia, D. (2018). Universidad Nacional de C. Percurso, 11-12.
- USGS. (2021). USGS. Obtenido de USGS: <https://earthexplorer.usgs.gov/>