

Degradación forestal por la minería, mediante Google Earth Engine periodo 2000-2020

Caso Manu, Madre de Dios

Walquer HUACANI CALSIN

Escuela académico Profesional de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac
Abancay, Apurímac, Perú

Nelson Palemón MEZA PEÑA

Escuela académico Profesional de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac
Abancay, Apurímac, Perú

Feliciano ESCOBEDO SILVA

Escuela académico Profesional de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac
Abancay, Apurímac, Perú

Edgar VILCA MANSILLA

Escuela académico Profesional de Ciencias Básicas, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac
Abancay, Apurímac, Perú

Elmer Elio CALIZAYA LLATASI

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura, Universidad Nacional del Altiplano
Puno, Perú

Fredy Grimaldo CALIZAYA LLATASI

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional del Altiplano
Puno, Perú

Fernando HUANCA CHECCA

Departamento académico de Matemática y Estadística, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco
Puno, Perú

RESUMEN

El objetivo de la investigación es analizar la degradación forestal, por las actividades de la minería aurífera en la provincia de Manu (Madre de Dios) en el periodo 2000 – 2020, utilizando la plataforma de Google Earth Engine (GEE). La metodología utilizada en el análisis de degradación forestal por la minería informal, es a partir de la clasificación de coberturas, aplicando un método de clasificación supervisada desarrollado por la Universidad de Maryland, se basa en un “árbol de decisiones”, para la determinación de la extensión y el cambio de cobertura, se procesó los canales de banda de imágenes de satélite Landsat 7 y 8 respectivamente. Para el procesamiento de datos se utilizó la información raster, data actualizada de pérdida bruta de cobertura forestal del año 2000-2020, dentro la plataforma de (GEE). Para el tratamiento estadístico se aplicó la estadística descriptiva, para analizar las variables y establecer la correlación. Los resultados del estudio determinan que existe área total deforestada de 58 007,85 ha, con una tasa de cambio anual de 8.04%. Se concluye en el análisis estadístico, que existe un nivel de correlación positiva muy fuerte de $r = 0.849$, con un coeficiente de determinación de $r^2 = 0.720$, se afirma que existe una relación muy significativa entre las variables degradación respecto a los años.

Palabras clave: Cobertura, forestal, degradación, Google Earth Engine, Landsat y satélite.

I. INTRODUCCIÓN

La minería aurífera a cielo abierto, es una labor que se realiza con mucha frecuencia Madre de Dios, genera empleos e ingresos para numerosas personas. Sin embargo, esta se caracteriza por causar afectaciones y pérdida de recursos naturales, como ocurre en la zona Manú. Las explotaciones mineras pueden ser causa y origen de fuertes impactos sobre el suelo, los bosques, debido principalmente a los grandes volúmenes de materiales que se desplazan, creando huecos y

escembreras que cambian la fisiografía de la zona y alteran las características productivas del terreno, dando lugar a problemas ambientales, ecológicos y paisajísticos [17]. El suelo es considerado un recurso natural no renovable, fundamental para los humanos y la biosfera en general. Su relevancia radica en que provee servicios ecosistémicos esenciales para el equilibrio terrestre. Por lo anterior, la conservación y mantenimiento de la calidad del suelo es fundamental para la seguridad alimenticia, la productividad agropecuaria y la sostenibilidad ecológica [25]. El cambio de uso y cobertura de suelo es una de las causas más importantes de pérdida de la biodiversidad a nivel global [15]. Si bien esta ha sido la causa principal de extinción de especies, la generación de políticas que limiten el cambio de uso del suelo para propiciar el mantenimiento de la biodiversidad no ha sido prioridad [1]. El último informe del Proyecto de Monitoreo de la Amazonía Andina (MAAP), publicado, revela que la deforestación a causa de la minería ilegal en el entorno del río Parímanu, región Madre de Dios, se ha incrementado durante los últimos meses. De acuerdo con el reporte, solo entre octubre del 2020 y marzo del 2021 la actividad ilegal arrasó más de 15 hectáreas de bosque. El departamento de Madre de Dios se extiende a lo largo de más de 8 millones de hectáreas de bosque que abarcan numerosas áreas naturales protegidas y extensos territorios de pueblos indígenas. Madre de Dios está ubicada en la Amazonia, y es conocida como la capital de la biodiversidad del Perú, ya que cuenta con una gran variedad de flora y fauna, y la más alta concentración de especies de aves en el mundo [20].

La minería artesanal en el Perú es una actividad que toma gran impulso, con gran informalidad, en Madre de Dios, a partir de la década de la formalización de esta actividad, ha generado una situación compleja y sumamente perjudicial en una de las regiones más ricas en diversidad biológica del Perú y del mundo, en un contexto de recesión económica, crisis del campo, violencia política generada por el terrorismo lo que determinó procesos migratorios,

principalmente a zonas con filiación aurífera, dado los altos precios alcanzados por este metal; lo que explica que un elevado porcentaje de esta actividad está orientado a la explotación de yacimientos auríferos aluviales, al promulgarse a comienzos del año 2002, la Ley N.º 27651- “Ley de formalización y promoción de la Pequeña Minería y Minería Artesanal” y, posteriormente, su respectivo reglamento D.S. 013-2002-E.M. [4]. Desde la década de 1970 la fiebre del oro ha atraído a centenares de miles de mineros a la Amazonía y provocado serios impactos en los ecosistemas, los más complejos y biodiversos del planeta. La minería aurífera en suelos aluviales de la Amazonía se ha propagando rápidamente que, debido a los altos precios del oro, con enormes costos para la salud humana y para el ambiente. Se calcula que hay entre 300 000 y 400 000 mineros en toda la cuenca amazónica, y desde 1980 han vertido a los ríos amazónicos unas 3 000 toneladas de mercurio, el que es usado para amalgamar el oro mezclado con las arenas auríferas, contaminando el agua, a los organismos acuáticos y a las poblaciones humanas, que consumen el agua y el pescado [24].

La minería aurífera en Madre de Dios, denominados “minería artesanal” o “pequeña minería”, vienen operando con equipos cada vez más pesados y sofisticados, como cargadores frontales, camiones y dragas de diverso tipo. Existe una creciente conflictividad ambiental y social: El 99% de las operaciones mineras son informales, y varios de más de 1 546 petitorios mineros se superponen con áreas naturales protegidas, sus zonas de amortiguamiento y en tierras de pueblos indígenas. Se calcula que estas operaciones han destruido más de 32 000 ha. de bosques con la degradación del suelo para extraer el mineral valioso y contaminado gravemente varios ríos de la región con mercurio y otros contaminantes [16].

Esta minería aurífera en la provincia de Manú, genera muchos problemas ambientales siendo de gran importancia los la destrucción de Bosques, debido a la necesidad de tener más espacio para poder manejar la maquinaria que se requiere para ejercer la minería aurífera, el tráfico ilegal de madera, que abarca alrededor de un 15% a 30% del comercio mundial de madera [22]. La destrucción de tierras agrícolas aluviales en la Amazonía, donde se desarrollan la minería con diferentes tipos de dragas por la actividad minera, esta actividad minera causa impactos al suelo, ya que se crean volúmenes de materiales que son desplazados; así también a los grandes huecos que se crean, y las escombreras que cambian la fisiografía de la zona, alterando la calidad del suelo, y por ende generando un problema ambiental, con la pérdida de bosques y paisajístico [17].

El oro es un metal muy apreciado en joyería y electrónica, tiene además una alta demanda en el sector financiero, ya que es empleado para manejar los riesgos en la economía. A partir del 2008, el precio del oro incrementó rápidamente debido la a recesión económica mundial, alcanzando un máximo histórico de 1,905

dólares por onza en el 2011. Como respuesta, la minería aurífera aumentó considerablemente en diversos países, incluyendo la región de Madre de Dios, junto con algunos beneficios económicos y graves consecuencias socioambientales [21]; [2]. La tasa anual de deforestación por minería se triplicó de 2,166 ha/año en el 2008 a 6 145 ha/año en el 2012 [3]. Si bien la problemática socio-ambiental de la minería en Madre de Dios ha tenido una cobertura amplia y permanente, son pocos los estudios que han analizado los patrones y tendencias de la deforestación como base para el diseño de soluciones a dicha problemática.

El análisis de la deforestación del suelo es por causa de la minería en Madre de Dios, así como el mapeo de la deforestación según los tipos de minería a escala regional, son de relevancia para entender la dinámica y los patrones de la regeneración natural de la vegetación en las áreas degradadas, así como para estimar el potencial de recuperación de los bosques y facilitar su restauración [5]. Además de su reducción en superficie, los bosques remanentes están fragmentados, lo cual conlleva a un aislamiento de las poblaciones y a una pérdida de biodiversidad, sobre todo nativa, y sus servicios ecosistémicos, como por ejemplo el secuestro de carbono [12].

En este artículo se presenta la evaluación de degradación del suelo por la actividad minera informal, basado en los resultados del análisis de series de tiempo de imágenes Landsat 7 y 8, a partir de datos obtenidos de cambio de Bosque/No Bosque de Hansen y su equipo de la Universidad de Maryland, EE. UU., haciendo uso integrado de los datos de la versión 1.8 2001–2020 [13], procesados en la plataforma de Google Earth Engine periodo 2000-2020.

II. MATERIALES Y MÉTODOLÓGIA

Área de estudio

El área de estudio es la provincia de Manu, del departamento de Madre de Dios está ubicada en la selva Amazónica del Perú, geográficamente el territorio se encuentra enmarcado entre la latitud Sur y 70°57'00" - 70°27'06" de longitud Oeste y cuenta con una extensión territorial estimada de 27 835.17 Km².

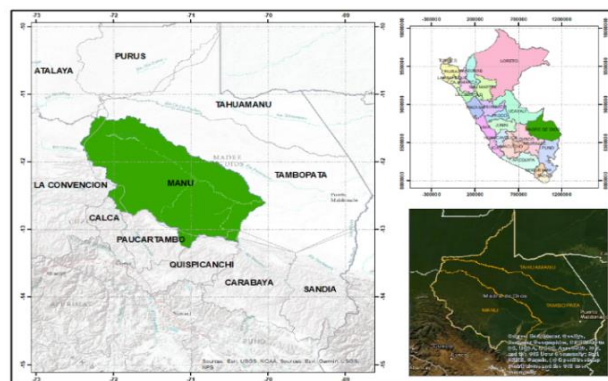


Fig. 1. Ubicación geográfica de la provincia de Manú

Materiales

Para el presente estudio se ha considerado los datos elaborados por la investigación Cambios del Bosque a nivel global 2013. El trabajo es resultado del análisis en el tiempo de 654 178 imágenes Landsat, donde fueron remuestreadas, corregidas radiométricamente y filtradas (presencia de nubes) para generar diferentes métricas de series de tiempo, que sirvieron para clasificar las imágenes con un algoritmo de árbol de decisión. De acuerdo con la evaluación realizada por los autores, la base de datos es confiable. Por ejemplo, la clase “pérdida forestal” presenta errores de omisión y comisión de orden de 13% de extensión forestal y sus cambios, en el periodo de años 2000 al 2012 para el periodo 2000 al 2020 [13].

Metodología

La metodología utilizada para el presente trabajo de entrenamiento es a partir de resultados del análisis de series de tiempo de imágenes Landsat, en la caracterización de la extensión y el cambio del bosque global desde 2000 hasta 2020 [13], para la clasificación se aplicó el algoritmo de árbol de decisión [18]. Estas imágenes pasan por un preprocesamiento, donde se calibran a valores de reflectancia al tope de la atmósfera (TOA), se normalizan obteniéndose imágenes con valores de reflectancia están disponibles en: <https://glad.earthengine.app/view/global-forest-change>, para la descarga de los gránulos individuales de 10 x10 grados, definida como una alteración de reemplazo de rodal o un cambio de un estado forestal a no forestal, codificado como 0 (sin pérdida) o como un valor en el rango 1–20, que representa la pérdida detectada de la región del mapa, estos datos se encuentran en las URL: https://storage.googleapis.com/earthenginepartners-hansen/GFC-2020-v1.8/Hansen_GFC-2020-v1.8_lossyear_10S_080W.tif

Para el procesamiento de las imágenes se ha utilizado la plataforma de Google Earth Engine, esta herramienta innovadora, permite realizar análisis geoespaciales usando los algoritmos de JavaScript, lenguaje de programación que permite a los desarrolladores crear acciones en sus páginas web.

Correcciones geométricas

Las imágenes compuestas de referencia, son observaciones de las bandas espectrales Landsat 3, 4, 5 y 7, estas se caracterizan por estar rectificado geométricamente y libre de distorsiones relacionadas con el sensor.

Calibración y normalización de datos

Los niveles digitales (ND) de las imágenes crudas fueron calibrados a valores de reflectancia al tope de la atmósfera (TOA). La corrección se realizó utilizando el enfoque descrito por [6], con coeficientes tomados de los metadatos. Primero se hizo la conversión a valores de radiancia utilizando la siguiente ecuación:

$$P_{\lambda} = \frac{\pi * L_{\lambda} * d^2}{ESUM_{\lambda} * \cos \theta_s} \quad (1)$$

Dónde:

P_{λ} = Reflectancia al tope de la atmosfera.

π = Hipótesis de blanco lambertiano.

L_{λ} = Radiancia total medida por el satélite.

d^2 = Distancia Tierra-Sol en unidades astronómicas, y d se calcula como:

$d = 1 - 0,0167 \cos (2\pi (\text{día juliano}-3)/365)$.

$ESUN_{\lambda}$ = Irradiancia solar espectral a tope.

$\cos \theta_s$ = Coseno del ángulo cenital solar.

Salida de datos

Para la salida de datos y facilitar el procesamiento de las métricas, los datos de reflectancia normalizada fueron reducidos a 8 bits utilizando un factor de escala (g). Este factor fue asignado para cada banda buscando mantener el rango dinámico de cada banda.

$$DN = \rho \cdot g + 1 \quad (2)$$

El factor (g) se eligió de forma independiente para cada banda para preservar el rango dinámico específico de la banda, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. factores de escala (g)

Landsat Band	g
Band 3 (red)	508
Band 4 (NIR)	254
Band 5 (SWIR)	363
Band 7 (SWIR)	423

Fuente: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>

Creación de métricas

El análisis de la serie temporal de imágenes Landsat ETM utiliza las métricas multitemporales [7]; [13]; [19], que permiten la detección del cambio de forma precisa durante 20 años de observaciones. El conjunto de datos utilizados para las métricas fue almacenado en cuadrantes de 2000 píxeles por lado. De este modo, se obtuvieron 458 cuadrantes para la superficie total del país que contienen todas las métricas que fueron utilizadas para la clasificación. Los árboles se definen como vegetación de más de 5 m de altura y con una cobertura del dosel superior al 10%, en áreas de más de 0,5 hectárea, [10] y se expresan como un porcentaje por celda de cuadrícula de salida como "2000% de cobertura de árboles".

Proceso de clasificación

El algoritmo de clasificación es el método basado en un “árbol de decisiones” que se genera a partir de muestras creadas manualmente, mediante la interpretación de patrones de manera visual para las clases que se desean clasificar. En este caso, se trata de la clase Bosque y No bosque generada desde las composiciones de métricas en RGB color y utilizando información proveniente de las imágenes de sensores satelitales disponibles (Landsat 7, Landsat 8). El flujo de trabajo para la clasificación se muestra en la figura 2.

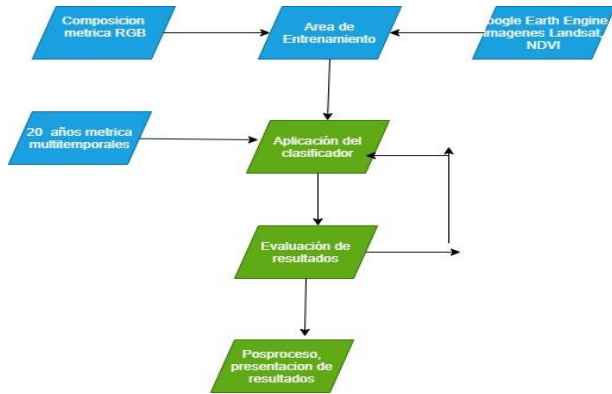


Fig. 2. Flujo de trabajo del proceso de deforestación por la minería periodo 2000-2020

Análisis de la variación espacial

Para el análisis se utilizó la actualización de data del 2016 de la evaluación de la pérdida de cobertura arbórea generada por [13], llamada Global Forest Change (GFC por sus siglas en inglés). Este análisis utilizó el conjunto de imágenes Landsat 5, 7 y 8 con resolución de pixel de 900 m² (0.09 ha) disponibles para el periodo de 2000 a 2016. El estudio clasificó y cuantificó los sitios con pérdida de cobertura arbórea en función de varias medidas anuales del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), a partir de bandas de trabajo NIR y RED, por lo se puede obtener valores NDVI por año acceder a cada una de las colecciones disponibles en: Hansen / UMD / Google / USGS / NASA.

Este método es utilizado para el cartografiado de superficies de índices de vegetación, el álgebra de bandas es el siguiente:

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \quad (3)$$

Procesamiento de los resultados en Google Earth Engine (GEE)

Para el procesado de los resultados, se ha utilizado la plataforma de Google Earth Engine, con datos: https://developers.google.com/earthengine/datasets/catalog/UMD_hansen_global_forest_change_2020_v1_8, los resultados del área degradada por la minería se pueden visualizar mediante el acceso en el siguiente link de GEE: <https://code.earthengine.google.com/f3f81e4e5bda859d6861f884b4e711bd>

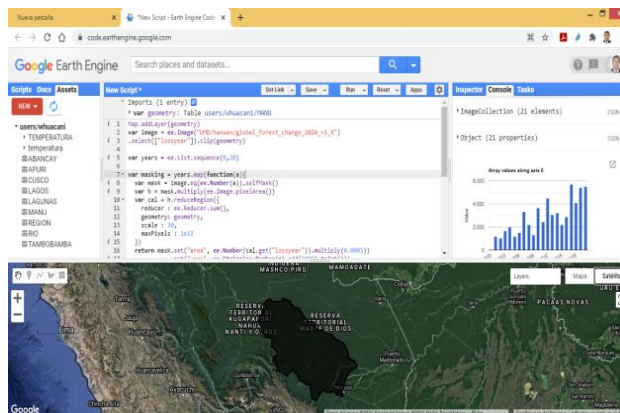


Fig. 3. Procesamiento de datos en (GEE) imágenes Landsat

Determinación de tasa de cambio anual

Para determinar la tasa de cambio anual forestal se aplicó la fórmula matemática propuesta por [8], de tal manera que permita la comparación de resultados para diferentes periodos.

$$S = \left[\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{\frac{1}{(t_2-t_1)}} - 1 \right] \quad (4)$$

Dónde:

S: Tasas de cambio para diferentes años

S₁: Superficie al inicio del periodo

S₂: Superficie al final del periodo

t₂: año inicio del periodo

t₁: año final del periodo

III. RESULTADOS

Para el conteo de área deforestada (2000-2020), del municipio de Manú, se puede visualizar los resultados del procesamiento en la plataforma de GEE (fig.3), de los datos de la imagen obtenidas de Global Forest Change 2000–2020, donde se visualiza las áreas más degradadas, a lo largo de los ríos Caychive, Huaypetue, laberinto, Inanbari y Malinowski.

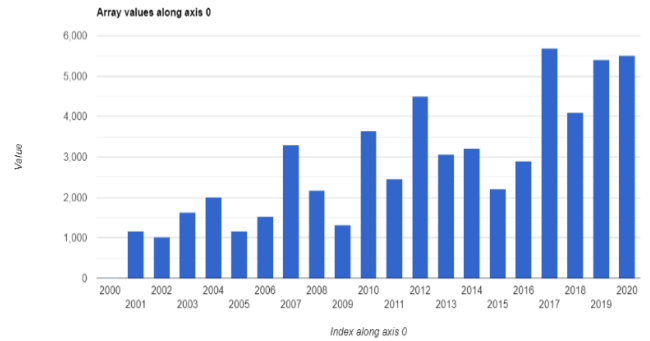


Fig. 4. Representa la deforestación del municipio de Manu correspondiente a los años (2000 – 2020)

La degradación forestal sigue avanzando a un ritmo alarmante, lo que contribuye notablemente a la actual pérdida de biodiversidad. Se estima que desde 1990, se han perdido unos 420 millones de hectáreas de bosque a causa del cambio de usos de la tierra, pese a que la tasa de deforestación ha disminuido en los últimos tres decenios. Entre 2015 y 2020, se estima que la tasa de deforestación fue de 10 millones de hectáreas al año, cuando en la década de 1990 era de 16 millones de hectáreas al año [11].

Según la figura 4, se visualiza que el año 2017 se ha presentado la mayor deforestación, llegando al tope máximo de 5 693.492 (ha), para el periodo 2002 llegó a un valor mínimo de 1 028.895 (ha).

Tabla 2. coeficiente de correlación de deforestación periodo 2001-2020

	Degradación (ha)	Años
Degradación (ha)	1	0.849
Años	0.849	1

Fuente: Imágenes de satélite Landsat

Los resultados de la Tabla 2 muestra la correlación $r=0.849$ de degradación en el periodo 2000-2020, se observa que existe una tendencia positiva muy débil, por lo tanto, la media es un índice representativo poco confiable por lo tanto no existe relación entre estas variables.

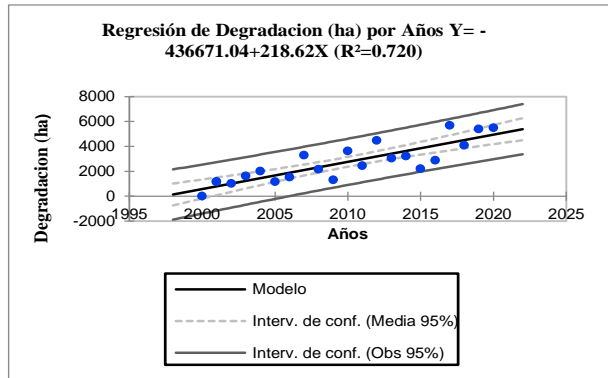


Fig. 5. Representa la regresión lineal de la deforestación con respecto a los años, donde la ecuación nos muestra una correlación positiva (+) muy débil, con un coeficiente de correlación cuadrática $R^2=0.720$, lo que indica de que la variable explicativa (años) representa un 0.72% que es el porcentaje de variabilidad con la variable dependiente (degradación)

Resultados de área deforestada

Tabla 3. áreas deforestadas en el periodo 2000 – 2020

Año	Satélite	Sensor	Perdida de cobertura (ha.)	Acumulado (ha)	Tasa de cambio anual (%)
2000	Landsat 7	ETM	0	0	0
2001	Landsat 7	ETM	1171.452	1171.452	0
2002	Landsat 7	ETM	1028.895	2200.347	-12.17
2003	Landsat 7	ETM	1638.367	3838.714	59.23
2004	Landsat 7	ETM	2014.854	5853.568	22.98
2005	Landsat 7	ETM	1165.721	7019.289	-42.14
2006	Landsat 7	ETM	1530.116	8549.405	31.26
2007	Landsat 7	ETM	3296.833	11846.238	115.46
2008	Landsat 7	ETM	2176.707	14022.945	-33.98
2009	Landsat 7	ETM	1324.013	15346.958	-39.17
2010	Landsat 7	ETM	3636.497	18983.455	174.66
2011	Landsat 7	ETM	2447.866	21431.321	-118.96
2012	Landsat 7	ETM	4496.693	25928.014	83.70
2013	Landsat 8	OLI	3063.004	28991.018	-31.88
2014	Landsat 8	OLI	3222.109	32213.127	5.19
2015	Landsat 8	OLI	2204.592	34417.719	-31.58
2016	Landsat 8	OLI	2894.503	37312.222	31.29
2017	Landsat 8	OLI	5693.492	43005.714	96.70
2018	Landsat 8	OLI	4096.674	47102.388	-28.05
2019	Landsat 8	OLI	5402.042	52504.430	31.86
2020	Landsat 8	OLI	5503.415	58007.845	1.88

Fuente: Imágenes de satélite Landsat procesamiento en la plataforma de Google Earth Engine

La Tabla 3, muestra las áreas deforestadas del municipio de Manú, podemos afirmar la pérdida de cobertura Forestal para un periodo de 20 años asciende a 58 007.845 (ha), por otra parte, en los últimos años 2017, 2018, 2019 y 2020 se ha llegado a los valores máximos de deforestación a causa de la minería, en ese mismo contexto se tiene una tasa máxima de deforestación para el año 2010 de 174.66 %.

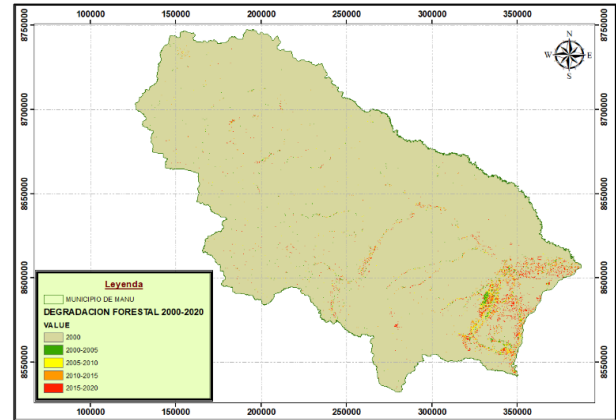


Fig. 6. Mapa de pérdidas anuales periodo 2000- 2020

Como resultado de este análisis, las zonas más deforestadas son los sectores de Huaypetue, Madre de Dios, Manu, Mazuco la cuenca de los ríos Madre de Dios, los ríos Caychive, Huaypetue, laberinto, Inanbari, Malinowski, entre otros, tal como se muestra en la figura 6, debido a la minería.

IV. CONCLUSIONES

En esta investigación se determinó la degradación de cobertura forestal por la minería informal, en la plataforma de Google Earth Engine periodo 2000 -2020, del municipio de Manú.

Según el análisis, las áreas degradadas en el municipio de Manú en un periodo de 20 años son de 58 007.845 (ha), debido a la minería informal continúa creciendo en forma alarmante en esta región, convirtiéndose como la primera causa de degradación de suelos, con tasa de cambio anual de 8.04% durante el periodo de estudio.

En el análisis estadístico podemos afirmar que existe un nivel correlación $r=0.849$, que es una correlación positiva muy fuerte, indica que existe una relación significativa entre ambas variables, a su vez el coeficiente de determinación de $r^2=0.720$, de deforestación en el periodo 2000-2020, nos indica que es una regresión adecuada.

V. REFERENCIAS

[1] Alaniz AJ, Perez-Quezada JF, Galleguillos M, Vásquez AE, Keith DA (2019). Operationalizing the IUCN Red list of Ecosystems in public policy. Conservation Letters. <https://doi.org/10.1111/conl.12665>

[2] Alvarez Berríos, N.L., Aide, T.M. (2015). Global demand for gold is another threat for tropical forests. Environ. Res. Lett. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/1/014006>

[3] Asner, G.P., et al. (2013). Elevated rates of gold mining in the Amazon revealed through high-resolution monitoring. PNAS 110, 18454–18459. <https://doi.org/10.1073/pnas.1318271110>

[4] Brack A, Ipenza C, Álvarez J, Sotero V; Minería Aurífera en Madre de Dios y Contaminación con Mercurio – Una Bomba de Tiempo, Ministerio del

Ambiente, Lima abril del 2011. Disponible en: http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/mineria_aurifera_en_madre_de_dios.pdf

[5] CENTRO DE INNOVACIÓN CIENTÍFICA AMAZÓNICA (2018). Tres décadas de deforestación por minería aurífera en la Amazonía suroriental peruana. Disponible en:

<http://cincia.wfu.edu/en/publications/cincia-research-brief-no-1-three-decades-of-deforestation-from-artisanal-gold-mining-in-the-peruvian-amazon/>

[6] Chander, G., Markhan, B., Helder, D., (2009) Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors May 2009. *Remote Sensing of Environment* 113(5):893-903 DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/1/01400610.1016/j.rse.2009.01.007>

[7] DeFries, R., Hansen, M., and Townshend, J. (1995). Global discrimination of land cover types from metrics derived from AVHRR Pathfinder data. *Remote Sens. Environ.* 54 209-22.

[8] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1996. Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. Roma. 154 p.

[9] FAO. 2002. Proceedings: Second Expert Meeting on Harmonizing Forest-related holders, Roma, 11-13 de septiembre de 2002. Roma. Disponible en: www.fao.org/docrep/005/y4171e/y4171e00.htm.

[10] FAO. 2020. FAOSTAT. Producción y comercio 1961-2018 (panel de consulta) [en línea]. Roma (disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/FO>).

[11] Global Forest Resources Assessment, (FRA, 2020). ISBN: 978-92-5-132974-0 Disponible en: <http://www.fao.org/documents/card/es/c/ca9825en/>

[12] Haddad, N.M., Brudvig, L.A., Clobert, J., Davies, K.F., Gonzalez, A., et al. (2015) Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500052>

[13] Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, and J. R. G. Townshend. 2013. "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change." *Science* 342 (15 November): 850–53. Data available on-line from: <http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>.

[14] Hansen, M. C., Roy, D., Lindquist, E., Justice, C. O., and Altstaad, A. (2008). A method for integrating MODIS and Landsat data for systematic monitoring of forest cover and change in the Congo Basin. *Remote Sens. Environ.* 112 2495-513.

[15] Keith DA, Rodríguez JP, Rodríguez-Clark KM, et al., (2013) Scientific Foundations for an IUCN Red List of Ecosystems. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062111>

[16] Ministerio del Ambiente (2011) MINAN. Informe preparado por el Instituto de la Amazonía Peruana - IAP y el Ministerio del Ambiente. www.minam.gob.pe

[17] Paradelo, R. 2013. Utilización de materiales compostados en la rehabilitación potencial de espacios afectados por residuos mineros y suelos de mina. *Boletín Geológico y Minero*, ISSN: 0366-0176, 124 (3): 405-419

[18] Perilla, G. y Mas, J. (2020). Google Earth Engine (GEE): una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube. *Investigaciones Geográficas Instituto de Geografía UNAM* DOI: <https://doi.org/10.14350/ig.59929>.

[19] Potapov, P. V., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Krylov, A. M., McCarty, J. L., Radeloff, V. C., and Hansen, M. C. (2015). Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.11.027>

[20] Programa Bosques y Clima de WWF (2014). Estrategia Bosques y Clima. Programa Amazónico - WWF Perú Recuperado de: www.wwf.org.pe/?238470/EstrategiaBosquesyClimaProgramaAmazonicoWWFPeru

[21] Swenson, J.J., et al. 2011. Gold mining in the Peruvian Amazon: global prices, deforestation, and mercury imports. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018875>

[22] Velásquez Zapata, G.Y. (2020): Problemas medioambientales de la minería aurífera ilegal en Madre de Dios (Perú). *Observatorio Medioambiental*, 23, 229-241. <http://dx.doi.org/10.5209/OBMD.73177>

[23] Vera Enrique (2021) MONGABAY. Madre de Dios: deforestación por minería ilegal crece en el Pariamanu y ya supera las 200 hectáreas. Disponible en: <https://es.mongabay.com/2021/05/deforestacion-mineria-ilegal-pariamanu-peru/>

[24] Webb, J., N. Mainville, D. Mergler, M. Lucotte, O. Betancourt, R. Davidson, E. Cueva and E. Quizhpe 2004. Mercury in fish-eating communities of the Andean Amazon, Napo River Valley, Ecuador. <http://dx.doi.org/10.1007/s10393-004-0063-0>

[25] Yu, P., Liu, S., Zhang, L., Li, Q. y Zhou, D. (2018). Selecting the minimum data set and quantitative soil quality indexing of alkaline soils under different land uses in northeastern China. *Science of the Total Environment*, 616-617, 564-571. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.301>