

# Estudios de Caso de la Valoración de Impactos de la Minería Ilegal de Oro en la Amazonía



APOYADO POR



**ASL**

Programa Paisajes Sostenibles de la Amazonía



LIDERADO POR



**GRUPO BANCO MUNDIAL**

# Estudios de caso de la Valoración de Impactos de la Minería Ilegal de Oro en la Amazonía

## **Autores**

Pedro Gasparinetti  
Leonardo Bakker  
Victor Araujo  
Miguel Macedo  
Mario Caller

## **Colaboradoras**

Martha Torres Marcos-Ibáñez  
Priscila Crispi  
Annie Morillo Cano

*Este documento corresponde al tercer entregable, elaborado por CSF por encargo del proyecto regional del Programa Paisajes Sostenibles de la Amazonía (ASL), liderado por el Banco Mundial y con el apoyo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF).*

## Contexto

Esta publicación es el tercer entregable “Reporte Técnico y metodológico de la Calculadora de Impactos de la Minería Ilegal de Oro” en el marco de la implementación del Proyecto “Calculating Social and Economic Impact from Artisanal Small Scale Gold Mining in the Amazon” por encargo del proyecto regional del Programa Paisajes Sostenibles de la Amazonía (ASL), liderado por el Banco Mundial y con el apoyo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF).

Este proyecto fortalece las capacidades de las instituciones de Brasil, Colombia y Perú para evaluar económicamente los impactos socioambientales de la minería ilegal aurífera, mediante el uso de herramientas económicas, como la Calculadora de Impactos de la Minería Ilegal de Oro, que les proporcionará una fácil información económica, basada en evidencia confiable para presentar casos ante los tribunales, fortalecer su proceso de toma de decisiones y crear conciencia sobre los impactos irreversibles en el medio ambiente y la salud humana de esta actividad ilícita en los países amazónicos.

Conservation Strategy Fund (CSF), quien lidera el proceso, cuenta con el apoyo de la Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (FCDS) para la coordinación regional y la participación de las partes interesadas. Además, al aplicar la misma herramienta y metodología económica en los tres países, se mejorará la visión y el enfoque para abordar los problemas transfronterizos relacionados con la minería ilegal y la contaminación por mercurio en la cuenca amazónica, lo que beneficiará, a largo plazo, la cooperación regional.

La misión de CSF es apoyar la conservación de los ecosistemas y la promoción de la calidad de vida a través de estrategias impulsadas por la economía ambiental. Nuestros entrenamientos, análisis y conocimientos hacen que el desarrollo sea más inteligente, cuantifican los beneficios de la naturaleza y crean incentivos duraderos para la conservación.

## Contenido

Resumen Ejecutivo	4
Introducción	6
Materiales y métodos	10
Estudio de Caso 1 - Río Puré (frontera Brasil – Colombia)	10
Estudio de Caso 2: Triple Frontera, Colombia, Perú y Brasil	14
Resultados y discusión	18
Estudio de caso 1 – Río Puré	18
Estudio de Caso 2 - Triple Frontera, Colombia, Perú y Brasil	21
a. Escenario 2021	21
b. Escenario 2022	23
Conclusión	24
Referencias	25

## Lista de Cuadros

Cuadro 1. Impactos no monetarios de la minería ilegal con balsas en el río Puré (2020)	19
Cuadro 2. Impactos monetarios de la minería ilegal con balsas en el río Puré (2020)	20
Cuadro 3. Impactos no monetarios de la minería ilegal con balsas en la Triple Frontera (2021)	22
Cuadro 4. Impactos monetarios de la minería ilegal con balsas en la Triple Frontera (2021)	23
Cuadro 5. Impactos no monetarios de la minería ilegal con balsas en la Triple Frontera (2022)	24
Cuadro 6. Impactos monetarios de la minería ilegal con balsas en la Triple Frontera (2022)	24

## Lista de Figuras

Figura 1. Levantamiento de puntos de balsas en la región de estudio por año	11
Figura 2. Área de estudio (2020)	12
Figura 3. Balsas operando ilegalmente en el río Puré en junio de 2020, identificadas por el satélite Maxar WorldView-2	13
Figura 4. Levantamiento de puntos de balsas en la región de estudio por año	16
Figura 5. Área del estudio - Escenario 2021	17
Figura 6. Área del estudio - Escenario 2022	17

## Resumen Ejecutivo

La extracción ilegal de oro ha crecido en la última década en la Amazonía, en parte debido a los altos precios internacionales de este mineral, la actuación menos estricta de algunos países respecto al medio ambiente y la búsqueda de oportunidades económicas inmediatas. A pesar del esfuerzo internacional en reconocer las repercusiones sociales y medioambientales de esta actividad, aún existen vacíos en lo que respecta a este tema, principalmente por los daños económicos que esta actividad representa.

En este contexto, la calculadora se presenta como una forma de cubrir este vacío, proponiendo una metodología innovadora de valoración de impactos, basada en datos de la literatura científica respectiva sobre el tema para que las instituciones dedicadas a la prevención y sanción de los responsables de esta actividad ilegal respondan por sus actos. Así, para ejemplificar la aplicabilidad de esta herramienta y mostrar los resultados que se pueden obtener de su ejecución, se prepararon dos estudios de caso en la región amazónica: el primero en la zona fronteriza entre Brasil y Colombia, comprendida por el río Puré, y el segundo en la triple frontera entre Colombia, Perú y Brasil.

En el primer caso de estudio se consideraron 30 balsas operando, durante el período de un año, donde 26 estaban en el territorio colombiano y 4 en el brasileño. En este contexto, se calcula que se produjo un total de 152 kg de oro, con el vertido de 71 kg de mercurio en los ríos y la remoción de 5,9 millones de toneladas de sedimentos para extraer el mineral. Con la suma de los diversos impactos causados por esta actividad, el impacto se estima en USD 86 millones, concentrándose el coste más significativo en el riesgo que corre la población de desarrollar enfermedades cardiovasculares, debido al contacto con el mercurio utilizado por los mineros ilegales para la amalgamación del oro y la separación de otros sedimentos durante el proceso de beneficio.

El segundo estudio de caso, a su vez, se dividió temporalmente en dos escenarios, uno realizado con puntos de explotación minera ilegal en 2021, y otro en la misma área, pero con datos de localización de 2022. Se optó por esta estrategia porque, a pesar de la detección de una mayor actividad minera en 2022 (con cerca de 61 puntos), la mayoría se situaba en territorio brasileño. En 2021, se detectaron explotaciones mineras ilegales en los tres países fronterizos, lo que permitió aplicar la calculadora.

En el primer escenario, en el año 2021, se utilizaron 21 puntos de minería ilegal, con 2 puntos en Perú, 4 en Colombia y 15 en Brasil. En total, se calcula que se produjeron 127 kg de oro, y para ello se removieron 5 millones de toneladas de sedimentos. Durante la amalgamación del oro, se vertieron 59 kg de mercurio en los ríos. En este caso, se calcula un costo total de USD 20 millones.

En el segundo escenario, en el año 2022, se utilizaron 61 puntos de operación minera ilegal para ejecutar la calculadora, 10 de los cuales estaban situados en Colombia y el resto en Brasil. En este contexto, se estima la producción de 327 kg de oro, la remoción de 12

millones de toneladas de sedimentos fluviales y el vertido de 152 kg de mercurio en los ríos. En este contexto, el impacto económico total estimado fue de USD 62 millones.

## Introducción

La minería ha desempeñado un papel importante en el desarrollo de los países con reservas minerales en todo el mundo. La creciente demanda mundial por este mineral ha sido la responsable de aumentar su nivel de extracción, pero también de impulsar cambios en el uso del suelo. Según Perdomo y Londoño (2021), el oro es uno de los recursos minerales con mayor valor agregado del mundo, y su producción es destacada, especialmente en países latinoamericanos, como Colombia, Perú y Brasil. Además, según el autor, el precio del mineral, en el ámbito internacional ha subido alrededor de un 18% anual debido a su demanda.

Como era de esperar, el sector minero ilegal también ha crecido paralelamente en todo el mundo, principalmente en América Latina. En la última década, esta actividad minera ilegal se ha intensificado especialmente en el bioma amazónico por la abundante presencia de recursos minerales, principalmente oro. Así, el aumento de esta extracción ilegal en la Amazonía puede explicarse por el aumento del precio del mineral, como se ha comentado, por el debilitamiento de las políticas de vigilancia ambientales en algunos países (SIQUEIRA-GAY & SÁNCHEZ, 2021), y porque esta actividad ilegal es más rentable y menos arriesgada en comparación, por ejemplo, con el tráfico de drogas. Según Interpol (2022), en una investigación hecha para identificar las zonas más afectadas por la minería ilegal, más de la mitad de ellas se encuentran en zonas fronterizas, lo que evidencia la importancia de la vigilancia en estos espacios.

Los mineros que operan ilegalmente no pagan impuestos y no tienen responsabilidad para la mitigación y restauración ecológica de los daños ocasionados por esta actividad. Entre los impactos, se puede citar el efecto sobre el bosque, el agua y la salud humana. Además, la minería ilegal se desarrolla de formas distintas y puede ser clasificada en las siguientes categorías:

- Minería Aluvial: Extracción del mineral mediante la excavación de zanjas abiertas (pozos), generalmente en las márgenes de los ríos.
- Minería Fluvial: Extracción de mineral mediante dragado de cauces. Realizado en barcos o flotantes.
- Minería de socavón: Extracción del mineral a través de profundos túneles subterráneos.

Uno de los principales métodos utilizados por los mineros ilegales en la región amazónica es el uso de balsas, debido a la gran presencia de ríos y cuerpos de agua en este bioma. Entre los principales impactos causados por este método se encuentran los cambios físicos en los medios acuáticos, que afectan al desarrollo de la fauna acuática, los cambios en la circulación del agua, el aumento de la turbidez y la suspensión de sólidos, y los cambios en la calidad del agua (ARAÚJO, 1998; CHAPMAN *et al.*, 2014; WENGER *et al.*, 2016). Además, los efectos de la sedimentación son descritos por varios autores, y ocurren en lugares alejados

de los sitios mineros, destacando la amenaza que tal actividad representa para las comunidades cercanas a los sitios de extracción (SIQUEIRA-GAY & SÁNCHEZ, 2021). Estudios como Queiroz *et al.*, (2022) evidencian los impactos de las balsas mineras para la salud humana y el medio ambiente.

Además, la actividad minera ilegal utiliza mercurio para la amalgamación, que consiste en separar el oro de otros sedimentos. Según Esdaile y Chalker (2018), la minería es responsable del 37% de las emisiones mundiales de mercurio a la atmósfera (entre 410 y 1400 toneladas al año). La mayor preocupación en relación con este metal es su transformación en metilmercurio cuando se vierte en los medios acuáticos. Esta forma del metal es tóxica para los animales y tiene la capacidad de bioacumularse en los tejidos (BECKVAR *et al.*, 1996; IKINGURA *et al.*, 2006). En el ser humano, se absorbe por el tracto gastrointestinal y se extiende por todo el cuerpo, afectando al sistema nervioso central (VASCONCELLOS, 2015). Según el informe de CSF Brasil (GASPARINETTI *et al.*, 2021) sobre los impactos de la minería ilegal, 1 kg de oro extraído en Brasil genera entre 187 y 387 mil dólares, en su mayoría impactos relacionados con el mercurio en la salud humana.

El impacto más significativo causado por el mercurio está relacionado con la salud humana. Con el proceso de metilación del metal, que se produce en los medios acuáticos, se vuelve unas treinta veces más tóxico para los seres vivos (BECKVAR *et al.*, 1996). El metilmercurio (MeHg) sigue un prolongado proceso en la cadena alimentaria hacia los peces, los cuales, a su vez, son consumidos por las comunidades locales y las ciudades. Al entrar en contacto con estos animales, el metal se acumula en su tejido nervioso y puede causar efectos como la alteración de la capacidad reproductiva, el bloqueo enzimático e incluso daños genéticos (ZHENG *et al.*, 2019). La minería fluvial es la que más contamina el medio ambiente con este metal por medio de las balsas mineras, debido a la naturaleza de la operación en los cauces de los ríos amazónicos.

De acuerdo con Hong *et al.* (2012), una vez que los animales contaminados son consumidos por la población, el MeHg se absorbe a través del tracto gastrointestinal y se dispersa en el cuerpo a través del torrente sanguíneo, provocando diversos daños. Los principales efectos del mercurio en el cuerpo humano incluyen su neurotoxicidad, la modificación de la función enzimática y, sobre todo, sus impactos cardiovasculares (HONG *et al.*, 2012; ROMÁN *et al.*, 2011). Según Román *et al.* (2011), se han encontrado evidencias que relacionan el desarrollo de infartos de miocardio con la presencia de metilmercurio. Este proceso se debe a la desactivación de las enzimas relativas al HDL, lo que afecta al transporte del colesterol en el cuerpo humano, lo que a su vez está directamente relacionado con el desarrollo de complicaciones cardiovasculares.

Por último, otro impacto significativo recae sobre la vegetación. Según Siqueira-Gay y Sánchez (2021), el área de deforestación en Brasil, a causa de la actividad minera ilegal, creció un 90% entre 2017 y 2020. A su vez, Perú alcanzó en 2020 uno de sus mayores índices de deforestación, en parte debido al incremento de la minería ilegal en las regiones de Madre de Dios, Ucayali y Loreto (GEOBOSQUES, 2022). Según datos de la FCDS (2022),

Colombia mostró un aumento en el área total deforestada en la región amazónica en los últimos tres años, pasando de 101 mil hectáreas en 2019 a 121 mil hectáreas en 2021, debido al crecimiento de la minería ilegal en el país.

Sobre el incremento de la explotación minera ilegal en América Latina, destacan los casos de Colombia, Brasil y Perú. Según el OCCRP (2021), desde 2014 Colombia ha experimentado un aumento de la actividad. Esto se refleja en las operaciones contra la minería ilegal en el país: de 2010 a 2015, se realizaron 34 operativos para combatir la minería ilegal; mientras que en los primeros meses de 2020 se contabilizaron más de 2000.

Paralelamente, Brasil también ha evidenciado un expresivo aumento de la extracción de oro ilegal. Según Romero *et al.* (2021), la cantidad del mineral incautado en 2020 por la Policía Federal, en comparación con 2019, es un 130% mayor (154 kg a 355 kg). Cerca del 94% del área minera en Brasil se encuentra en el bioma amazónico, y desde 2010, la tasa de expansión minera del país es de 6,5 mil hectáreas por año (MAPBIOMAS). Por último, ese mismo fenómeno se observa en Perú.

Según el informe del Environmental Law Institute – ELI (2022), solo en Madre de Dios se calculan más de 46.000 personas dedicadas a la minería ilegal. La intensidad de la actividad en la Amazonía peruana ha provocado la pérdida de 3.688 hectáreas de bosque, además del aumento de los índices de violencia en las regiones más afectadas por esa actividad.

Es necesario señalar que la actividad amenaza la integridad de las zonas protegidas y los territorios indígenas. Las cifras más elevadas recaen sobre Perú, un 26% de la actividad minera ilegal se desarrolla en áreas naturales protegidas (ANP) y el 14% en territorios indígenas (FCDS, 2022). Según FCDS (2022), en el caso de Colombia, la cifra se reparte en 27% en las ANP y 7% en territorios indígenas, mientras que en Brasil los porcentajes de minería ilegal alcanzan el 13% en zonas protegidas y 7% sobre las tierras de comunidades de la Amazonía.

Uno de los mayores desafíos de la lucha contra la minería ilegal en América Latina es la pronta identificación de los puntos de desempeño de la actividad. Dada la dificultad de realizar un monitoreo en el campo, debido a la inmensidad de la región amazónica y a las dificultades de transporte por insuficiencia de infraestructura, este monitoreo se hace de forma remota mediante el uso de imágenes de satélite. Sin embargo, debido al pequeño tamaño de las balsas y otros equipos utilizados para mineración en relación con la resolución media disponible por los satélites, su detección presenta dificultades (QUEIROZ *et al.*, 2022).

Sin embargo, gracias a los recientes avances en la calidad y disponibilidad de las imágenes de alta resolución por satélite, algunas iniciativas de monitorización por satélite han podido realizar un trabajo de vigilancia con mayor rapidez y escala. Un ejemplo es el del monitoreo

realizado en el portal Maxar<sup>1</sup>, cuyos datos han sido utilizados en el presente trabajo. La empresa, a través de su blog, publica los resultados de su monitoreo de las balsas en la cuenca amazónica en el formato de publicaciones, disponibles para el público de forma gratuita.

Otro ejemplo del uso de imágenes de alta resolución para la vigilancia de la actividad minera ilegal es el de la Policía Federal brasileña, que viene utilizando el satélite Planet como apoyo a sus actuaciones. Según un informe del portal de noticias Geocracia<sup>2</sup>, en una acción para desmantelar una actividad minera en el estado de Mato Grosso, la Policía afirma el uso de imágenes junto con un algoritmo que tiene la capacidad de detectar la deforestación y otros tipos de cambios en los ecosistemas.

Sin embargo, a pesar de la disposición de tecnologías y los esfuerzos científicos realizados para superar las dificultades de detección de las actividades mineras ilegales, aún son incipientes los esfuerzos para valorar los impactos monetarios y no monetarios de la actividad. Estos son necesarios para que los actores causantes de tales daños sean legalmente responsables, y para que se reduzca la arbitrariedad en el cálculo de los valores de las penas e indemnizaciones.

En este contexto emerge la Calculadora de Impactos de la Minería Ilegal de Oro de CSF. Esta herramienta se basa en la Teoría Económica de la Valoración, y proporciona una metodología capaz de contribuir con estandarizar y promover la estimación del daño causado por la actividad. La herramienta está diseñada para calcular los resultados de la síntesis de las relaciones entre los daños biofísicos causados por la minería y sus repercusiones en la sociedad, el medio ambiente y la economía, a partir de la bibliografía académica especializada en la materia.

Para ejemplificar el uso de la calculadora en situaciones reales, así como para demostrar el potencial de esta herramienta, este documento propone desarrollar dos estudios de caso. Dada la mayor presencia de actividad minera ilegal en las zonas fronterizas, como se ha comentado anteriormente, se seleccionaron dos áreas. La primera área, referida al estudio de caso 1, en el territorio del río Puré, en la frontera entre el departamento del Amazonas en Colombia y el municipio de Japurá en Brasil. La segunda, el estudio de caso 2, se sitúa en la triple frontera, abarcando el departamento de Loreto en Perú, el departamento del Amazonas en Colombia y los municipios de Santo Antonio do Içá y Tabatinga en Brasil. Se presentará la metodología empleada en cada caso y, posteriormente, se mostrarán los resultados obtenidos separadamente.

---

<sup>1</sup> [Maxar](#) es una empresa especializada en la fabricación de satélites de observación de la Tierra.

<sup>2</sup> <https://geocracia.com/pf-usa-imagens-de-satelite-para-desmontar-garimpo-ilegal-no-mt/>

## Materiales y métodos

### Estudio de Caso 1 - Río Puré (frontera Brasil – Colombia)

El área de estudio es un polígono que tiene 45 860 km<sup>2</sup> y está situado entre la frontera de Brasil y Colombia (ver Figura 1). En el lado colombiano, la zona se encuentra dentro de los límites del departamento del Amazonas; mientras que, en el lado brasileño, se encuentra dentro del municipio de Japurá. La región presenta bajos niveles de deforestación y está delimitada por el río Puré, Juami, Japurá y sus afluentes. Según el plan de gestión de la Estación Ecológica (ESEC) Juami-Japurá, el clima de la región se clasifica como Af (Kopen, 1948), húmedo, con temperaturas mínimas superiores a los 18°C, con una media de 25°C, y con altas precipitaciones durante el año.



Figura 1. Área de estudio (2020). Fuente: IBGE, MMA, Maxar, Esri y DANE.

Los ríos de la región se caracterizan por tener aguas claras y arcillosas, y colores oscuros, con altos niveles de materia orgánica. Los ríos Puré y Juami poseen una coloración oscura, cursos serpenteantes y son afluentes del río Japurá. El río Puré es estrecho cerca de su desembocadura y tiene una anchura media de 10 km. A lo largo de su cauce se observa una formación aluvial compuesta por limos, arcillas y arenas, así como por sedimentos no consolidados.

Dentro de la región se encuentra la ESEC Juami-Japurá en Brasil. Situada a 700 kilómetros de la capital del estado de Amazonas y cerca de la frontera con Colombia, la Estación fue creada en 1983, ya que alberga el río Juanmi y es delimitada por el río Japurá (en Colombia, es llamado río Caquetá), donde desemboca el río Puré. Entre algunas de las especies amenazadas que habitan esa zona se encuentran, el mono panzón (*Lagothrix lagotricha*), el rascón (*Accipiter poliogaster*), el halcón real (*Harpia harpyja*) y el mono araña (*Ateles paniscus chamek*).

El Parque Nacional Natural (PNN) del Río Puré está en el lado colombiano, cerca de la frontera. Según la página web de Parques Nacionales Naturales de Colombia<sup>3</sup>, el territorio del Parque se extiende por casi un millón de hectáreas, entre los ríos Putumayo y Caquetá, y cortado por el río Puré. Es el hogar de varios pueblos indígenas en situación de aislamiento voluntario, que se escondieron durante la colonización española, y que están en peligro con el aumento de la actividad minera en la zona.

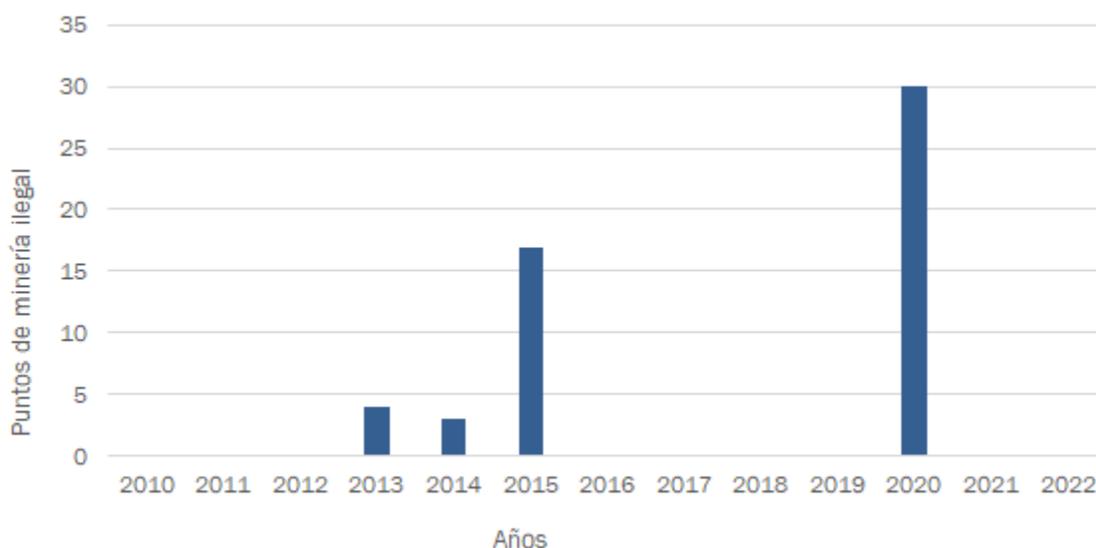


Figura 2. Levantamiento de puntos de balsas en la región de estudio por año.

A través de una investigación realizada por el equipo de CSF, en conjunto con la FCDS, se identificaron diversos puntos de actividad de balsas para extracción de oro en el área de estudio, como se ilustra en la figura 2. En lo referente a la elección del año para el análisis, se ha tenido en cuenta el criterio del número de puntos de actividad de extracción ilegal de oro (priorizando el año con mayor número) y el más reciente. Por lo tanto, se eligió el escenario de 2020 para efectuar los cálculos. Aunque hay fuentes que indican más puntos

<sup>3</sup> Parques Nacionales Naturales de Colombia: <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/es/parques-nacionales/parque-nacional-natural-rio-pure/>

de minería en 2022<sup>4</sup>, las coordenadas de dichos puntos no se encuentran disponibles, por lo que se decidió utilizar los puntos disponibles de 2020.

A pesar del carácter protector de la zona y de su exuberancia natural, esta zona está siendo amenazada por la explotación aurífera mediante balsas mineras. Este tipo de minería fluvial ilegal es predominante en la zona, al ser un área remota, de difícil acceso, con poca deforestación y con varios indicios de impacto a lo largo de los ríos. En el lado brasileño, la actividad minera ilegal se ha intensificado desde 2019, cuando se identificaron cuatro (4) balsas. En el lado colombiano, la explotación por medio de balsas es reciente y comenzó en 2016. Pero, la explotación de la zona mediante balsas es antigua. Según el plan de gestión del Estación Ecológica (2000)<sup>5</sup>, en el río Juami existen registros de explotación minera ilegal desde los años 2000. El reportaje de Carol Sánchez para el portal Rutas del Conflicto (2021) muestra el intenso flujo de balsas entre Brasil y Colombia, a través del río Puré, atravesando el Parque Natural Nacional del Río Puré.

Según un informe del portal Maxar (HETTLER, 2022), la zona afectada por la minería ilegal se extiende a lo largo del río Puré.

Así, a través de una iniciativa de colaboración entre Maxar y el Sistema de PNN de Colombia, se ha realizado un monitoreo con imágenes satelitales de alta resolución a lo largo de 200.000 kilómetros cuadrados del río Puré, entre el 5 de junio al 20 de agosto de 2020 (HETTLER, 2022). A partir de las imágenes, se identificaron 26 balsas que operan en la región del PNN Río Puré, y 4 en el lado brasileño, cerca de la frontera con Colombia, totalizando 30 balsas.

---

<sup>4</sup> “Un pueblo flotando”: la minería ilegal crece en el río Puré y afecta a los pueblos aislados - Mongabay: <<https://es.mongabay.com/2022/11/mineria-ilegal-crece-en-el-rio-pure-y-afecta-a-los-pueblos-aislados-en-colombia/>>.

<sup>5</sup> Plano de Manejo ESEC Juami Japurá. Disponible en: <[https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/amazonia/lista-de-ucs/esec-juami-japura/arquivos/pm\\_esec\\_juami\\_japura-sumario.pdf](https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/amazonia/lista-de-ucs/esec-juami-japura/arquivos/pm_esec_juami_japura-sumario.pdf)>.



Figura 3. Balsas operando ilegalmente en el río Puré en junio de 2020, identificadas por el satélite Maxar WorldView-2. Fuente: Hettler (2022).

Para evaluar el impacto que las 30 balsas causaron en el área de estudio, es necesario considerar primero los impactos no monetarios de la actividad. Para ello, calculamos una estimación de la producción de oro, la cantidad de sedimento que se removido y que genera los sólidos suspendidos producto del dragado (pluma)<sup>6</sup>, así como la cantidad de mercurio que utiliza la operación y la que se vierte a los ríos. A continuación, se calculan los impactos monetarios. Se dividen en: impactos de sedimentación, daños neuropsicológicos en los mineros, pérdida de coeficiente intelectual en los fetos y aumento del riesgo de enfermedades cardiovasculares en la población.

Para calcular la población afectada, se consideró la población afectada en el lado brasileño (unas 21 004 personas), así como las poblaciones cercanas a la frontera colombiana. Por parte de Colombia, se consideró la amenaza de la actividad para la población tradicional de Yuri, que según Nassar (2014), tienen alrededor de 200 personas, los habitantes del municipio La Pedrera (3711 habitantes), Tarapacá (3100 habitantes), Mirití (1613 habitantes), Taraira (1015 habitantes), según el portal Municipios de Colombia. En total, se calcula que podrían verse afectadas 30 643 personas, considerando un radio de 100 km desde la zona de estudio (Diringer et al., 2014).

Para calcular los impactos, se supone que 30 balsas operarán cada una durante un año. El número de meses de funcionamiento (360 meses) es uno de los valores de entrada para el cálculo. Así, los impactos se estimaron utilizando la adaptación de la calculadora de impactos mineros ilegales para el territorio colombiano para las 26 balsas, descrita en el

---

<sup>6</sup> Rastro visible de sólidos en la superficie del agua.

informe metodológico y aplicando la calculadora para el territorio brasileño para las 4 restantes, descrita en el informe de CSF (Gasparinetti *et al.*, 2021) y el estudio de Bakker *et al.* (2021) sobre los impactos de la minería ilegal de oro. Los resultados monetarios en el sitio web de la calculadora para el territorio colombiano son descritos en dólares y en reales para Brasil. Para uniformizar ambos, los valores resultantes de la calculadora en Brasil fueran convertidos de reales a dólares, utilizando el tipo de cambio de 5,18 dólares.

## **Estudio de Caso 2: Triple Frontera, Colombia, Perú y Brasil**

El área de estudio tiene 42 964 km<sup>2</sup> y está situada entre la frontera de Perú, Brasil y Colombia (figura 5. En el lado colombiano, la zona se encuentra dentro de los límites del departamento de Amazonas, en el lado peruano en el departamento de Loreto, mientras que, en el lado brasileño, se encuentra dentro del estado de Amazonas. Dentro del área de estudio se encuentran el Parque Nacional Yaguas y el Parque Nacional Natural Amacayacu, dos áreas protegidas de relevancia socioambiental. Además, varias ciudades, como Leticia y Puerto Nariño, están cerca del área.

El Parque Nacional Yaguas, situado en las provincias de Mariscal Castilla y Putumayo en Perú, se encuentra cerca de la frontera con Colombia y Brasil, y tiene una extensión de 868.927 hectáreas. Según un informe del CAAAP (2017), en la región existe una presión entre los mineros ilegales y los madereros para desarrollar estas actividades con el apoyo de las comunidades tradicionales. Además, según el informe, la presencia de mineros también favorece la presencia del narcotráfico.

El informe del CAAAP (2017) también señala que la zona tiene una elevada relevancia ecológica, ya que es un área de reproducción de algunas especies en riesgo de extinción como el delfín rosado de río (*Inia geoffrensis*), el manatí sudamericano (*Trichechus inunguis*), el lobo de río (*Pteronura brasiliensis*). Asimismo, cuenta con el mayor número de especies hidrobiológicas de todo el país, así como una exuberante fauna y flora. Además, registra más de 330 especies de peces de agua dulce, lo que supone un potencial de investigación y bioprospección en la región.

Amenazando las riquezas naturales de la zona, la actividad minera en su interior se ha intensificado desde 2016 (MAAP, 2018). Según el documento, la minería aluvial se está desarrollando dentro del Parque Nacional Yaguas. Una de las partes más amenazadas de la región de estudio es el río Cotuhé, un afluente del río Putumayo que nace en Perú. Además de la minería, la zona también está plagada de cultivos de coca para la producción de drogas y deforestación ilegal (SZF, 2022).

Otra zona de importancia ecológica y social es el Parque Nacional Natural Amacayacu, situado en el departamento de Amazonas (Colombia) y creado en 1975. El Parque tiene 293.500 hectáreas, con un clima húmedo y 3200 mm de precipitaciones anuales (UNGAR & STRAND, 2012). Con acceso al río Amazonas, la zona se creó con la intención de controlar

el comercio ilícito de recursos naturales con Perú (MALDONADO RODRIGUEZ, 2010). Según el portal de Sula<sup>7</sup>, la región alberga más de 5.000 especies de plantas y es la región con mayor diversidad de primates del planeta, incluida la especie *Callithrix pygmaea*, el primate más pequeño del mundo, y una de las zonas con mayor biodiversidad de toda la selva amazónica. Además, es una de las áreas protegidas más estudiadas del país por la notoria cantidad de estudios que se realizan dentro de sus límites.

Además de la importancia de los recursos naturales del parque, también tiene una notable importancia para la producción de conocimiento sobre la biodiversidad colombiana. Según Ungar y Strand (2012), el Parque Nacional Natural Amacayacu es una de las zonas protegidas más utilizadas por los investigadores para elaborar artículos y realizar investigaciones sobre el medio ambiente. Para ayudar en tareas del proceso de investigación, como la identificación de material botánico, la locomoción dentro del parque y otras actividades, los investigadores recurren a la población indígena que vive en el parque.

Sin embargo, a pesar de esa importancia, hay dos actividades ilegales principales que se desarrollan dentro del Parque: la explotación forestal y la minería de oro. El estudio de Maldonado Rodríguez (2010) registra que la región norte del parque está marcada por la actividad de balsas mineras para la extracción de oro. Por otro lado, la tala ilegal se debe principalmente a la presión de la extracción del cedro (*Cedrela odorata*), una especie amazónica de alto valor añadido y que se da en grandes concentraciones en el Parque.

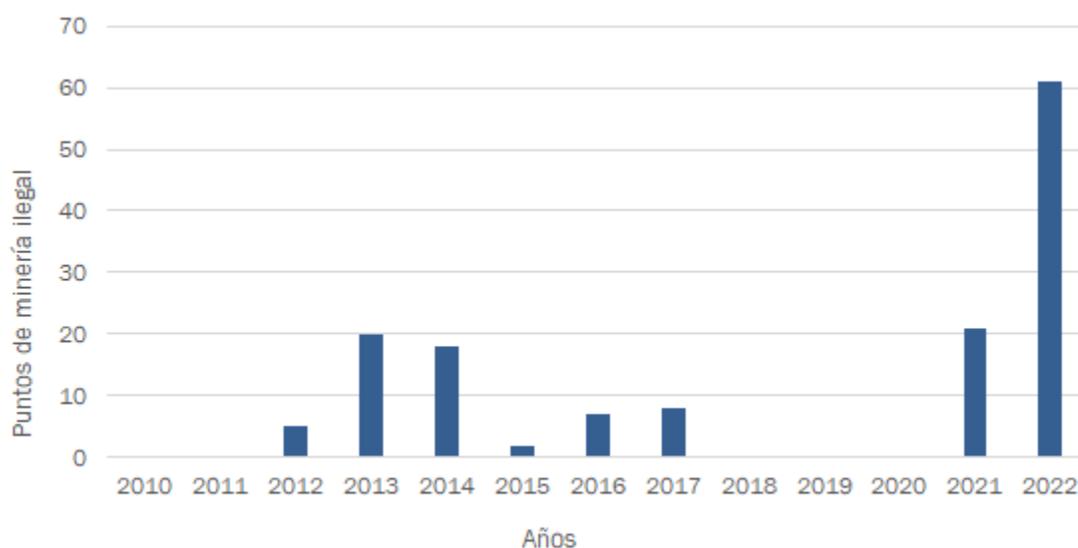


Figura 4. Levantamiento de puntos de balsas en la región de estudio por año.

Dentro del parque reside el pueblo indígena Tikuna, que también está presente en Brasil, dada la proximidad del parque a la frontera. Según Ungar y Strand (2012), el 12% del Parque

<sup>7</sup> <https://www.sula.com.co/blog/amacayacu-colombia/>

se sobrepone a sus territorios. Según el portal de Sula, en la región también hay indígenas de la etnia Yagua, Cocamas y Huitotos, pero en menor número. Los tikunas son conocidos histórica y culturalmente por sus habilidades de pesca y caza, y su economía depende de estas actividades. Actualmente, los tikunas y los demás pueblos indígenas de la región dependen de los recursos locales, el ecoturismo y la artesanía para su subsistencia (MALDONADO RODRIGUEZ, 2010).

Por medio de una investigación realizada por el equipo de CSF en conjunto con la FCDS, se hizo un levantamiento de diversos puntos de actividad minera ilegal en la región del estudio, como se ilustra en la Figura 5 y 6. En lo referente a la elección de dos años para el análisis, se ha tenido en cuenta el criterio del número de transbordos (priorizando el año con mayor número) y el más reciente. A través del análisis temporal de los puntos, se observó una concentración de puntos en 2022 en la región brasileña de la Triple Frontera. En 2021, a pesar del reducido número de balsas identificadas, se observó una distribución más homogénea de los puntos de minería ilegal en los tres territorios. Para contemplar las dos características observadas, se decidió realizar dos análisis separados: uno en 2021 y otro en 2022. De este modo, en la Figura 5 se puede observar el mapa de la zona con los puntos detectados en 2021, y en la Figura 6 con los puntos detectados en 2022.

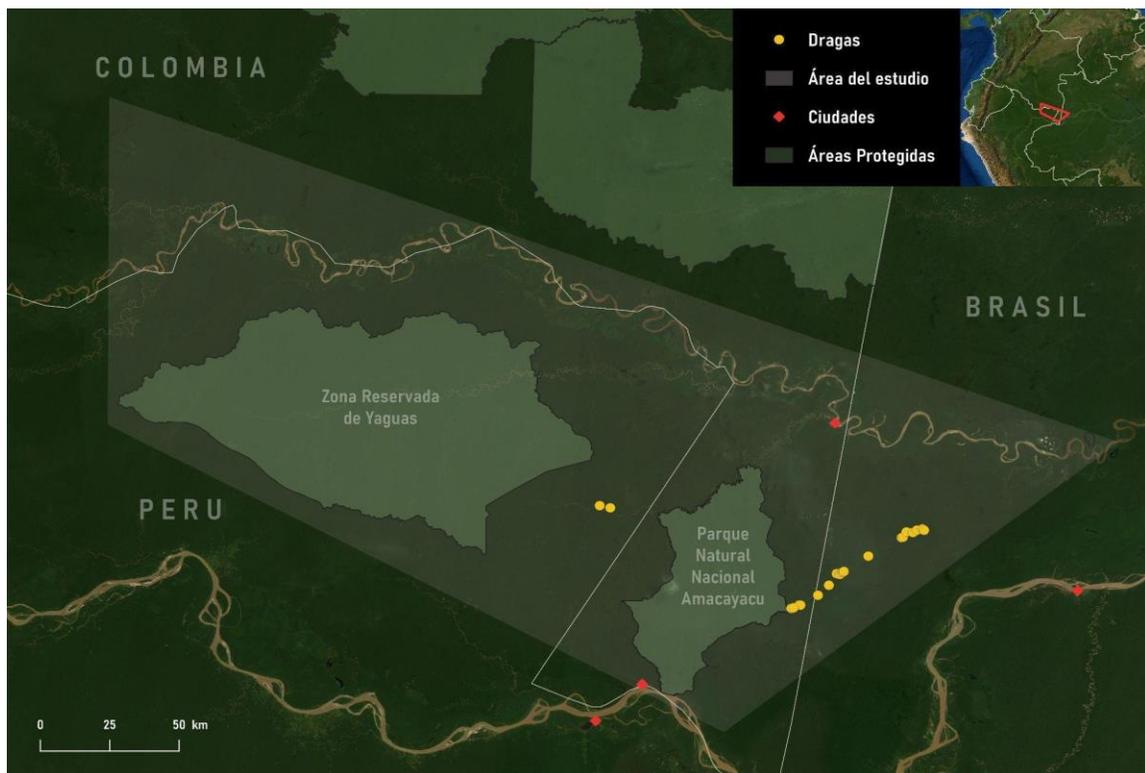


Figura 5. Área del estudio - Escenario 2021. Fuente: Datos Abiertos ESRI y GeoGPS Perú.

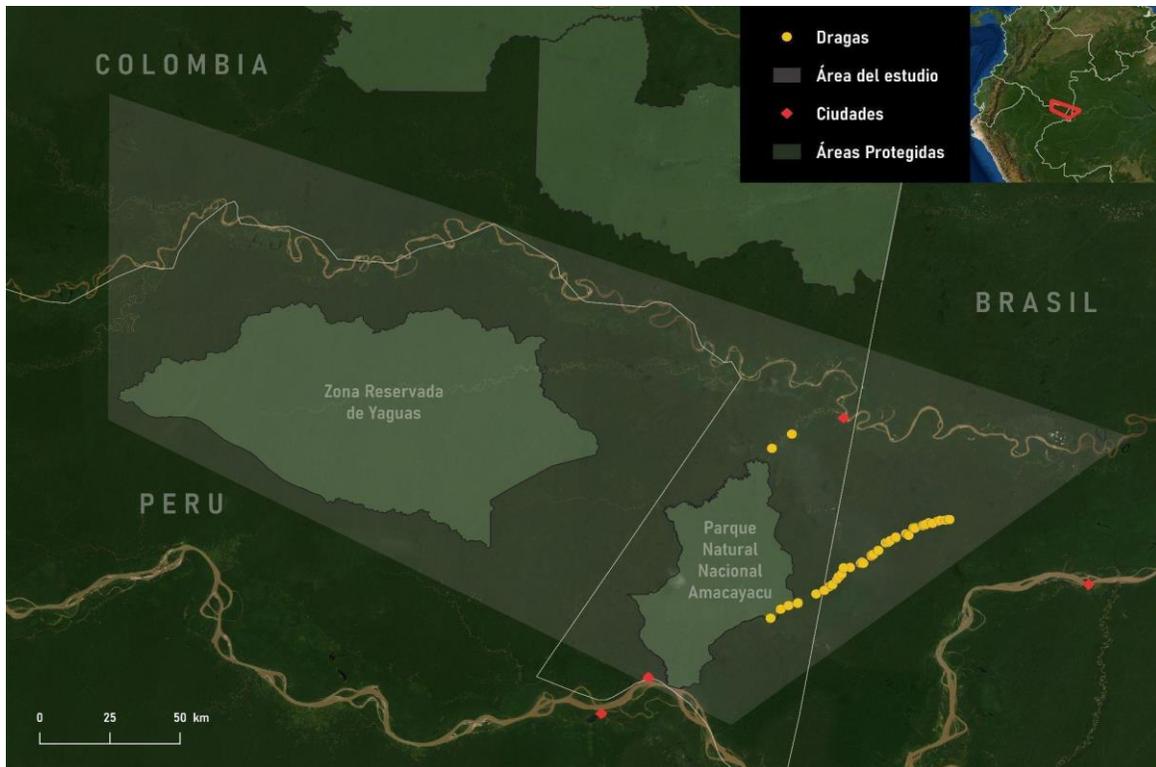


Figura 6. Área del estudio - Escenario 2022. Fuente: Datos Abiertos ESRI y GeoGPS Perú.

En 2021 se identificaron 2 puntos de operación de balsas en el área de estudio de Perú, 4 en Colombia y 15 en Brasil (Figura 5). En 2022 fueron identificadas 51 balsas en el lado brasileño y 10 en Colombia (Figura 6). Aunque no se haya identificado la presencia en el lado peruano en el escenario de 2022, estudios indican que los impactos de la minería ilegal se extienden a más de 100 km del punto de extracción (Gasparinetti *et al.*, 2021). También se han identificado algunas operaciones de incautación de balsas en la región del estudio, según las noticias del portal Carta Capital<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> Detienen a 6 brasileños en Colombia en una acción contra la minería ilegal en la Amazonia. Carta Capital. Disponible en: <<https://www.cartacapital.com.br/mundo/6-brasileiros-sao-presos-na-colombia-em-acao-contra-o-garimpo-ilegal-na-amazonia/>>.

## Resultados y discusión

### Estudio de caso 1 – Río Puré

La aplicación de la metodología de la Calculadora de Impactos de la Minería Ilegal de Oro proporciona diferentes resultados, que se pueden encontrar en los cuadros siguientes (Cuadro 1 y Cuadro 2), y presentan, respectivamente, los daños no monetarios y monetarios causados por la minería ilegal de oro con balsas en la zona de estudio, y en un radio de 100 km. Cabe destacar que no se han encontrado indicios de minería aluvial ni de socavón en la región. La minería fluvial por medio de balsas permite su desplazamiento inmediato de un punto de extracción hacia otro, de igual manera la facilidad de ocultarse en los afluentes menores o quebradas, donde la cobertura vegetal dificulta su ubicación por medio de las imágenes satelitales.

Impactos no monetarios de la minería ilegal con balsas (2020)			
	Colombia	Brasil	Total
Número de balsas	26	4	30
Total de extracción de oro (30 balsas operando por 1 año)	312	48	360
Producción de oro (kg)	131	21	152
Sedimentos retirados (t)	5.086.972	844.102	5.931.074
Sedimentos que generan pluma <sup>9</sup> (impacto) (t)	38.067	2.988	41.055
Mercurio utilizado (kg) – 2,33 kg por kg de oro	305,32	50,66	355,99
Mercurio vertido en ríos (kg) – 20%	61,06	10,13	71,20

Cuadro 1. Impactos no monetarios de la minería ilegal con balsas en el río Puré (2020).

Fuente: Elaboración propia.

Impactos monetarios de la minería ilegal con balsas (2020)	Colombia (USD)	Brasil (USD)	Total
Sedimentación de ríos	492.643	169.992	662.635
Síntomas neuropsicológicos en mineros ilegales	3.932.013	266.002	4.198.015
Pérdida de CI en los fetos	209.857	30.896	240.753

<sup>9</sup> El término sedimento de pluma también se puede llamar de sólidos suspendidos en el agua (parámetro de evaluación contemplado en la normativa de los Estándares de Calidad Ambiental - ECA para Perú).

Riesgo de enfermedades cardiovasculares	79.609.482	1.738.479	81.347.961
Costo total	84.243.995	2.205.369	86.449.364

Cuadro 2. Impactos monetarios de la minería ilegal con balsas en el río Puré (2020).

Fuente: Elaboración propia.

El impacto socioeconómico de la actividad minera ilegal en el área del estudio es de USD 86 millones (daños medios de USD 2.881.645 por balsa de explotación). En total, la actividad de la balsa produjo 152 kg de oro en el periodo considerado. Para extraer esta cantidad de mineral, se estima que se movilizaron 41.055 toneladas de sedimentos suspendidos en el río Puré, lo que generó un impacto económico total de USD 662.635. También se calcula que se utilizaron 355 kg de mercurio para la amalgamación del oro. Como resultado, se vertieron 71,2 kg en el río Puré.

Los principales impactos de la sedimentación de los ríos pasan por la contaminación de sus recursos hídricos, la liberación de metales pesados y el aumento de la turbidez del agua (LOBO *et al.*, 2016; SWENSON *et al.*, 2011). Los resultados de este proceso pueden detectarse a cientos de kilómetros del lugar del impacto, en ecosistemas acuáticos y terrestres (SÁNCHEZ-CUERVO *et al.*, 2020). El coste de este impacto para la región fue de USD 662.636.

Según Román *et al.* (2011), existen evidencias que relacionan el desarrollo de infartos de miocardio con la presencia de metilmercurio, oriundo de las actividades de minería ilegal. A su vez, la mayor parte de los costes están relacionados con la salud (USD 81.347.961), por la recuperación de personas con síntomas neuropsicológicos y enfermedades cardiovasculares. También hay que tener en cuenta la diferencia de costos de hospitalización y recuperación entre los dos países, que es mayor en Colombia.

Asimismo, el avance de las actividades mineras en tierras indígenas y áreas naturales protegidas ha sido destacado en la literatura y ha promovido conflictos entre las comunidades tradicionales y estos agentes externos (RORATO *et al.*, 2020). En el caso de la región estudiada, el futuro de los pueblos indígenas en situación de aislamiento voluntario depende de la continuación de ese aislamiento y del reconocimiento de su derecho a vivir siguiendo sus costumbres. A pesar de los avances legales derivados del Decreto 1232<sup>10</sup>, que establece medidas especiales para la protección de los derechos de los Pueblos Indígenas en Estado Natural o de Aislamiento, se requieren acciones concretas para garantizar la protección de estos pueblos frente al impacto promovido por la minería ilegal. La protección es aún más necesaria dada la invasión en el Parque Natural Nacional por parte de los trabajadores mineros ilegales, que destruyen sus recursos, contaminan sus aguas y amenazan su estatus de aislamiento.

<sup>10</sup> Decreto número 1232 de 2018: <<https://amazoniasoy.com/wp-content/uploads/2018/07/DECRETO-1232-DEL-17-DE-JULIO-DE-2018.pdf>>.

En Brasil, un estudio realizado por Fiocruz (2020) mostró los niveles de contaminación de una población indígena, ubicada cerca de puntos de minería aluvial y por balsas. Según este estudio, la contaminación por mercurio en el 57,9% de la comunidad estaba en niveles superiores a  $6 \mu\text{g-g}^{-1}$ , el nivel máximo de seguridad establecido por los organismos sanitarios. El estudio también reveló que la comunidad más cercana a la zona minera presentaba los niveles más altos de concentración de mercurio. Igualmente, los niños presentaban mayores niveles de contaminación, y el 15% de ellos presentó problemas de formación neurológica. En este estudio, el costo de este problema de salud fue de USD 264.543.

Además de los impactos a la población local, es necesario que se tomen acciones sociales para que la actividad no sea una opción laboral para la población. Los trabajadores mineros ilegales se insertan en un contexto de marginación de la sociedad y realizan una actividad de alto riesgo, sin seguridad ni garantías y beneficios laborales (HERRAIZ & SILVA, 2015). En Colombia y Brasil esta actividad la llevan a cabo grupos de población marginados, que necesitan mejorar sus condiciones materiales y acaban entrando en este tipo de actividad (WANDERLEY 2015; HATZKY *et al.*, 2021). La exposición de este público al mercurio es mayor y representa un coste de USD 266.002.

## Estudio de Caso 2 - Triple Frontera, Colombia, Perú y Brasil

### a. Escenario 2021

Los resultados de la aplicación de la metodología de impacto para 2021 se presentan en los siguientes cuadros (Cuadro 3 y Cuadro 4), y representan los daños no monetarios y monetarios causados por la actividad minería ilegal de oro con balsas en el área de estudio, y en un radio de 100 km de esta.

Impactos no monetarios de la minería ilegal con balsas (2021)				
	Perú	Colombia	Brasil	Total
Número de balsas	2	4	15	21
Total de extracción de oro (Balsas operando por 1 año)	24	48	180	240
Producción de oro (kg)	5,506	40,896	81,54	127,9
Sedimentos retirados (t)	1.765.944	863.350	3.165.382	5.794.677
Sedimentos que generan pluma (impacto) (t)	2.490	5.856	11.205	19.551
Mercurio utilizado (kg) – 2,33 kg por kg de oro	12,82	95	189.98	298
Mercurio vertido en ríos (kg) – 20%	2,56	19,05	37.99	59.62

Cuadro 3. Impactos no monetarios de la minería ilegal con balsas en la Triple Frontera (2021). Fuente: Elaboración propia.

Impactos monetarios de la minería ilegal con balsas (2021)	Perú (USD)	Colombia (USD)	Brasil (USD)	Total (USD)
Sedimentación de ríos	63.159	75.791	849.964	988.914
Síntomas neuropsicológicos en mineros ilegales	66.773	604.925	997.509	1.669.207
Pérdida de CI en los fetos	6.996	35.883	113.082	155.961
Riesgo de enfermedades cardiovasculares	440.549	10.144.737	7.206.071	17.791.357
Costo total	577.477	10.861.336	9166626	20.605.439

Cuadro 4. Impactos monetarios de la minería ilegal con balsas en la Triple Frontera (2021). Fuente: Elaboración propia.

Durante el período de 2021, la actividad de las balsas produjo 127 kg de oro. Para extraer esta cantidad de mineral, se estima que se desplazaron 19.551 toneladas de sedimentos como pluma, lo que generó un impacto económico de USD 988.914. Además, se calcula que se utilizaron 298 kg de mercurio para separar el mineral de oro de los demás sedimentos. Como resultado, se vertieron 59.62 kg en el río Pureté y Cotuhé. Por lo tanto, el impacto socioeconómico de la actividad minera ilegal en la región es de USD 20.605.439 (daños de USD 981.211 por balsa minera).

Además, la mayoría de los costos están relacionados con la salud (USD 55.008.881), pues se trata de la recuperación de personas con síntomas neuropsicológicos y enfermedades cardiovasculares. Asimismo, la potencia de los motores que extraen el mineral de los lechos fluviales influye directamente en el valor del impacto, además de aumentar la cantidad de mercurio utilizada, lo que también se refleja en los valores. Como en el primer caso, la diferencia de costes por país también es significativa, siendo Colombia, nuevamente, el país con mayores costes de recuperación. También hay que considerar el impacto para los mineros. La exposición de este público al mercurio es más intensa y representa un costo de USD 1.669.207 dólares.

## b. Escenario 2022

Los resultados de la aplicación de la metodología de impacto para 2022 se presentan en los siguientes cuadros (Cuadro 5 y Cuadro 6), y, de misma forma, muestran los daños no monetarios y monetarios causados por la minería ilegal de oro con balsas en el área de estudio.

Impactos no monetarios de la minería ilegal con balsas (2022)			
	Colombia	Brasil	Total
Número de balsas	10	51	61
Total de extracción de oro (Balsas operando por 1 año)	120	612	732
Producción de oro (kg)	50.4	277.2	327.6
Sedimentos retirados (t)	1.956.528	10.762.301	12.718.829
Sedimentos que generan pluma (impacto) (t)	14.641	38.097	52.738
Mercurio utilizado (kg) – 2,33 kg por kg de oro	117.43	645.96	763.39
Mercurio vertido en ríos (kg) – 20%	23.49	129.19	152.68

Cuadro 5. Impactos no monetarios de la minería ilegal con balsas en la Triple Frontera (2022). Fuente: Elaboración propia.

Impactos monetarios de la minería ilegal con balsas (2022)	Colombia (USD)	Brasil (USD)	Total (USD)
Sedimentación de ríos	189.478	2.167.409	2.356.888
Síntomas neuropsicológicos en mineros ilegales	1.512.314	3.391.533	4.903.847
Pérdida de CI en los fetos	89.708	384.481	474.189
Riesgo de enfermedades cardiovasculares	27.699.195	27.234.511	54.933.706
Costo total	29.490.695	33.177.935	62.668.631

Cuadro 6. Impactos monetarios de la minería ilegal con balsas en la Triple Frontera (2022).  
Fuente: Elaboración propia.

En el período de 2022, la actividad de las balsas produjo 327 kg de oro. Para extraer esta cantidad de mineral, se estima que se desplazaron 52.738 toneladas de sedimentos como pluma, lo que generó un impacto económico de USD 2.356.888. Se estima que se utilizaron 763 kg de mercurio para separar el mineral de oro. Así, fueron vertidos 152 kg en los ríos Pureté y Cotuhé. Por lo tanto, el impacto socioeconómico de la actividad minera ilegal en este período de análisis es de USD 62.668.631 (daños de USD 1.027.354 por balsa minera). Se puede observar en este escenario la escalada del costo de los impactos mineros con el aumento del número de balsas. En comparación con 2021, este escenario cuenta con 40 balsas más, casi el doble.

La mayoría de los costos siguen relacionados con la salud (USD 54.993.706), pues los costos tratan de la recuperación de personas con síntomas neuropsicológicos y enfermedades cardiovasculares, por la exposición al mercurio empleado en la minería. Además de la contaminación de la población urbana, los mineros se ven afectados por problemas más graves, debido a la exposición directa al metal. Esta exposición representa un costo de USD 4.903.847 dólares, relacionados con la recuperación y el tratamiento de los síntomas neuropsicológicos del mercurio, discutidos anteriormente.

## Conclusión

Con el crecimiento de la minería ilegal en la región amazónica, es necesario construir herramientas que sean capaces de dar una respuesta inmediata a este avance. Así, la Calculadora de Impactos de la Minería Ilegal de Oro pretende servir de base para juzgar los casos relacionados con este tema. Los estudios de caso, a su vez, muestran la aplicación de la calculadora, que ya está disponible para uso público, adaptada para Brasil, Perú y Colombia.

Los daños económicos totales para cada estudio de caso oscilaron entre 20 y 86 millones de dólares. A través del análisis de los resultados, se observa que los daños a la salud presentan las cifras más elevadas. Como se explica en el texto, esta cifra se deriva de los costos de hospitalización de cada país, que pueden variar sustancialmente.

La pérdida de bienestar de la sociedad por el impacto de la actividad minera ilegal es una de las razones por las que esta herramienta es importante. Mediante la valoración de los daños, que reflejan la magnitud de la pérdida desde el punto de vista económico, es posible estimar cuánto pierde la sociedad. Con estos resultados sería posible juzgar los dos casos presentados y dar sentencias respaldadas por la literatura científica a los responsables de estos impactos.

Cabe destacar el potencial que tiene la calculadora si se integrara de forma automatizada a un sistema de detección de balsas, como el que utilizan la empresa Maxar y la Policía Federal brasileña. De este modo, sería posible evaluar los impactos de las actividades con celeridad, ayudando al trabajo de las autoridades de inspección y produciendo resultados en tiempo real.

## Referencias

Araújo, F. G. 1998. "Adaptação Do Índice de Integridade Biótica Usando a Comunidade de Peixes Para o Rio Paraíba Do Sul." *Revista Brasileira de Biologia* 58 (4): 547–58. <https://doi.org/10.1590/s0034-71081998000400002>.

Bakker, Leonardo Barcellos de, Pedro Gasparinetti, Júlia Mello de Queiroz, y Ana Claudia Santiago de Vasconcellos. "Economic Impacts on Human Health Resulting from the Use of Mercury in the Illegal Gold Mining in the Brazilian Amazon: A Methodological Assessment." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18, núm. 22 (2021): 11869. <https://doi.org/10.3390/ijerph182211869>.

Beckvar, N, Field, J, Salazar, S, Hoff, R. "Contaminants in Aquatic Habitats at Hazardous Waste Sites: Mercury." *National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Memorandum NOS ORCA*, v. 100, p. 74, 1996.

Centro Amazónico de Antropología y Aplicación Práctica - CAAAP. 2017. "Comunidades de Yaguas alertan que mineros ilegales buscan desinformar a población." Agencia Andina. Disponible en: <https://n9.cl/neysn>.

Chapman, Jacqueline M., Catherine L. Proulx, Maxime A. N. Veilleux, Caroline Levert, Shireen Bliss, Marie-Ève André, Nicolas W. R. Lapointe, y Steven J. Cooke. "Clear as Mud: A Meta-Analysis on the Effects of Sedimentation on Freshwater Fish and the Effectiveness of Sediment-Control Measures". *Water Research* 56 (2014): 190–202. doi:10.1016/j.watres.2014.02.047.

De La Cruz Nassar, Pablo. "Del contacto al aislamiento: la resistencia de los pueblos indígenas aislados Yuri y Passe en el proceso de poblamiento de la Amazonía colombiana." *Sociedad y Ambiente*, núm. 4 (2014). <https://doi.org/10.31840/sya.v0i4.1525>.

Diringer, Sarah E., Beth J. Feingold, Ernesto J. Ortiz, John A. Gallis, Julio M. Araújo-Flores, Axel Berky, William K. Y. Pan, y Heileen Hsu-Kim. "River Transport of Mercury from Artisanal and Small-Scale Gold Mining and Risks for Dietary Mercury Exposure in Madre de Dios, Peru". *Environmental Science. Processes & Impacts* 17, núm. 2 (2015): 478–87. doi:10.1039/c4em00567h.

Environmental Law Institute - ELI. "Corrupción en la minería artesanal y de pequeña escala en la Amazonía peruana. Estudio elaborado para USAID en el marco de su Proyecto Prevenir." Lima, Perú, 2022.

Esdaille, L.J., Chalker, J.M. "The Mercury Problem in Artisanal and Small-Scale Gold Mining." *Chem. Eur J.* 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/chem.201704840>.

Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible – FCDS. "Seguimiento de la pérdida de bosques y cambio de cobertura en el arco de deforestación en la Amazonia colombiana (abril 2021 – marzo 2022)". Informe técnico".

Finer, M., & Mamani, N. "Minería aurífera alcanza máximo histórico de deforestación en la Amazonía peruana sur." MAAP 96 (2018).

Ford, A. "Report: Colombia loses billions to illegal gold trade." Organized Crime and Corruption Reporting Project (OCCRP). 2021. Disponible en: <https://bit.ly/43Ub4Ud>.

Fundação Oswaldo Cruz - Fiocruz. "Avaliação da exposição ambiental ao mercúrio proveniente de atividade garimpeira de ouro na Terra indígena Yanomami - Roraima, Amazônia, Brasil". Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca. ENSP, 2020.

Gasparinetti, P. Bakker, L. Queiroz, J. Vilela, T. Lobo, F. Nagel, G. (2021) Metodologia de Valoração de Impactos do Garimpo Ilegal de Ouro na Amazônia. Conservação Estratégica, Série Técnica 53.

Geobosques. "Bosque y pérdida de bosque". Disponible en: <https://goo.su/p4B19>

Hatzky, C., Fernández, S. M., Michael, J., & Wagner, H. "¿Cuánta desigualdad aguanta la paz?" Teseopress, 2021.

Herraiz, Aurelio Diaz, y Maria De Nazaré Souza da Silva. "Diagnóstico socioambiental do extrativismo mineral familiar (garimpo) na calha do Rio Madeira, em Humaitá, Amazonas". Pegada 16, núm. 2 (2016). doi:10.33026/peg.v16i2.3892.

Hettler, B. "Combating Illegal Gold Mining in the Amazon Rainforest with Maxar's High-Resolution Satellite Imagery." Blog Maxar. 2022. Disponible en: <https://bit.ly/443RF2O>.

Hong, Y., Kim, Y., & Lee, K. "Methylmercury Exposure and Health Effects." Journal of Preventive Medicine and Public Health 45, no. 6 (2012): 353.

ICMBio. "Plano de Gestão ESEC Juami Japurá." 2021. Disponible en: <https://bit.ly/44dU8b6>.

Ikingura, J. R., H. Akagi, J. Mujumba, y C. Messo. "Environmental Assessment of Mercury Dispersion, Transformation and Bioavailability in the Lake Victoria Goldfields, Tanzania". Journal of Environmental Management 81, núm. 2 (2006): 167-73. doi:10.1016/j.jenvman.2005.09.026.

Interpol. "The Devastating Impact of Illegal Gold Mining in Latin America." 2022. Disponible en: <https://bit.ly/42UUxhm>.

Lobo, Felipe, Maycira Costa, Evlyn Novo, y Kevin Telmer. "Distribution of Artisanal and Small-Scale Gold Mining in the Tapajós River Basin (Brazilian Amazon) Over the Past 40 Years and Relationship with Water Siltation." Remote Sensing 8, , núm. 7 (2016): 579. <https://doi.org/10.3390/rs8070579>.

Maldonado Rodríguez, A. M. "The Impact of Subsistence Hunting by Tikunas on Game Species in Amacayacu National Park, Colombian Amazon." MSc thesis, Oxford Brookes University, 2010. <https://goo.su/cOLPHGh>.

MAPBIOMAS. "Área ocupada pela mineração no Brasil cresce mais de 6 vezes entre 1985 e 2020." 2020. Disponible en: <https://goo.su/cOLPHGh>.

Mongabay. "Informe revela que más de 40 mil mineros ilegales e informales extraen oro en Madre de Dios." 2022. Disponible en: <https://bit.ly/46kI2Qc>.

Queiroz, Julia, Pedro Gasparinetti, Leonardo B. Bakker, Felipe Lobo, y Gustavo Nagel. 2022. "Socioeconomic Cost of Dredge Boat Gold Mining in the Tapajós Basin, Eastern Amazon." *Resources Policy* 79 (103102): 103102. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103102>.

Roman, Henry A., Tyra L. Walsh, Brent A. Coull, Éric Dewailly, Eliseo Guallar, Dale Hattis, Koenraad Mariën, et al. "Evaluation of the Cardiovascular Effects of Methylmercury Exposures: Current Evidence Supports Development of a Dose–Response Function for Regulatory Benefits Analysis". *Environmental Health Perspectives* 119, núm. 5 (2011): 607–14. <https://doi.org/10.1289/ehp.1003012>.

Romero, J. P., D. E. de Carvalho, A. R. Queiroz, y C. E. de Moura Lopes. "Brasil na Contramão do Mundo: Mudanças no Padrão de Exportações entre 2016-2020." *Brazilian Keynesian Review* 7, no. 1 (2021): 155-176.

Rorato, Ana C., Gilberto Camara, Maria Isabel S. Escada, Michelle C. A. Picoli, Tiago Moreira, y Judith A. Verstegen. "Brazilian amazon indigenous peoples threatened by mining bill". *Environmental Research Letters* 15, núm. 10 (2020): 1040a3. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb428>.

Sánchez, Carol. "Minería ilegal en el Río Caquetá: continúa el peligro para los indígenas amazónicos de Colombia." *Rutas del Conflicto*. Disponible en: <https://bit.ly/3XjPdDf>.

Sánchez-Cuervo, Ana María, Letícia Santos de Lima, Francisco Dallmeier, Paola Garate, Adriana Bravo, y Hadrien Vanthomme. "Twenty Years of Land Cover Change in the Southeastern Peruvian Amazon: Implications for Biodiversity Conservation". *Regional Environmental Change* 20, núm. 1 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01603-y>.

Sandoval Perdomo, A. E., & Arciniegas Londoño, L. "Afectaciones a la seguridad y defensa de Colombia por el fenómeno de la minería ilegal: percepción académica, escenario y posibles soluciones institucionales." *Perspectivas en Inteligencia* 13, no. 22 (2022): 49-61. Disponible en: <https://doi.org/10.47961/2145194X.270>.

Siqueira-Gay, J., & Sánchez, L. E. "The Outbreak of Illegal Gold Mining in the Brazilian Amazon Boosts Deforestation." *Regional Environmental Change* 21, no. 2 (2021): 1-5.

Sociedad Zoológica de Frankfurt - SZF. "Colombia y Perú, unidos contra los impactos de la minería ilegal de oro." Monica Jaramillo. 2022. Disponible en: <https://goo.su/u29L>

Swenson, J. J., Carter, C. E., Domec, J. C., & Delgado, C. I. "Gold Mining in the Peruvian Amazon: Global Prices, Deforestation, and Mercury Imports." *PLoS One* 6, no. 4 (2011): e18875.

Ungar, Peter, and Ruth Strand. "Inclusive Protected Area Management in the Amazon: The Importance of Social Networks Over Ecological Knowledge." *Sustainability* 4, no. 12 (2012): 3260-3278.

Vasconcellos, Ana Cristina. "Carga de doença atribuída ao metilmercúrio: estimativas nacional, regional e local / Disease burden attributed to methylmercury: national estimates, regional and local". Rio de Janeiro; s.n., 2015.

Wanderley, Luiz. "Geografia do Ouro na Amazônia brasileira: uma análise a partir da porção meridional." Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

Wenger, S., T. Van, M. Randle, S. P. Medd, J. A. Perry, and M. J. Scroggins. "A Critical Analysis of the Direct Effects of Dredging on Fish." *Fish and Fisheries Journal*, 1998.

Zheng, Na, Sujing Wang, Wu Dong, Xiuyi Hua, Yunyang Li, Xue Song, Qingwen Chu, Shengnan Hou, y Yang Li. "The Toxicological Effects of Mercury Exposure in Marine Fish". *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 102, núm. 5 (2019): 714–20. <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02593-2>.