

Estimación de la población minera informal e ilegal en el departamento de Madre de Dios, a partir del uso de imágenes satelitales submétricas

DOCUMENTO TÉCNICO METODOLÓGICO

Con el apoyo de:



PERÚ

Ministerio de Energía y Minas



BICENTENARIO
PERÚ
2024



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



Norad

ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN MINERA INFORMAL E ILEGAL EN EL DEPARTAMENTO DE MADRE DE DIOS, A PARTIR DEL USO DE IMÁGENES SATELITALES SUBMÉTRICAS. DOCUMENTO TÉCNICO METODOLÓGICO

Corrección de estilo: Jorge Cornejo Calle

Diseño y diagramación: Jorge Kajatt

Primera edición, junio de 2024

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N.º 2024-06605

Cita sugerida:

Ministerio de Energía y Minas, Proyecto Prevenir de USAID, & Conservación Amazónica. (2024). *Estimación de la población minera informal e ilegal en el departamento de Madre de Dios, a partir del uso de imágenes satelitales submétricas. Documento técnico metodológico*. Lima, Perú. 70 pp.

Esta publicación es posible gracias al generoso apoyo del pueblo de los Estados Unidos de América a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Su contenido es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja necesariamente los puntos de vista de USAID o del Gobierno de los Estados Unidos.



ÍNDICE

● Resumen ejecutivo	4
● I. Introducción	4
● II. Marco conceptual	5
● III. Materiales	6
3.1. <i>Hardware</i>	6
3.2. <i>Software</i>	6
3.3. Imágenes satelitales	6
● IV. Fuentes de información complementaria	9
4.1. Geobosques (MINAM)	9
4.2. Geoservidor del MINAM	9
4.3. Alertas GLAD	9
4.4. Alertas RADD	9
4.5. Alertas LUCA	10
4.6. RAISG	10
4.7. MapBiomás Amazonía	10
4.8. RAMI	10
4.9. SkyTruth	10
4.10. CINCIA	10
4.11. MAAP	10
4.12. FCDS	11
● V. Métodos	12
5.1. Determinación del requerimiento para la adquisición de imágenes	12
5.2. Solicitud y adquisición de imágenes de Skysat	13
5.3. Fotointerpretación de infraestructuras mineras	15
5.3.1. Infraestructuras semimecanizadas de succión	15
5.3.2. Infraestructuras semimecanizadas de succión tipo draga	25
5.3.3. Infraestructuras mecanizadas a tajo abierto	26
5.3.4. No aplica	30
5.4. Construcción de la base de datos	31
5.5. Digitalización y clasificación de las infraestructuras mineras	32
5.6. Determinación del número de personas involucradas en la actividad minera mediante factores de conversión	35
5.7. Ubicación y clasificación por actividad legal, informal e ilegal	38
5.8. Estimación de la población minera por categoría	39
5.9. Planificación para la verificación de infraestructuras mineras en campo mediante el uso de drones	40
5.9.1. Planificación de vuelos de dron con Pix4Dcapture	40
5.9.2. Procesamiento de imágenes de dron	51
5.9.3. Fotointerpretación de imágenes de dron	66
● VI. Recomendaciones	68
● VII. Bibliografía	69



RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento detalla la metodología técnica desarrollada como parte del estudio “Estimación de la población minera informal e ilegal en el departamento de Madre de Dios, a partir del uso de imágenes satelitales submétricas”, realizado por Conservación Amazónica (ACCA) y el Proyecto Prevenir de USAID en el año 2022. Además, el informe sirvió de base para las capacitaciones de transferencia metodológica realizadas a la Dirección General de Formalización Minera (DGFM) del Ministerio de Energía y Minas (MINEM) por el equipo de ACCA en 2023.

Su objetivo es generar una serie de lineamientos para la correcta identificación de los diferentes tipos de infraestructuras mineras acuáticas y terrestres, para la posterior estimación de la población informal e ilegal en Madre de Dios. El presente documento servirá de apoyo a la DGFM del MINEM.



I. INTRODUCCIÓN

El proyecto Prevenir – Combatiendo los Delitos Ambientales en la Amazonía Peruana, de USAID, implementado por DAI Global, apoya al Gobierno del Perú, la sociedad civil y el sector privado para mejorar las condiciones de prevención y combate de los delitos ambientales en la Amazonía peruana.

Para ello, trabaja mediante un enfoque integral y multisectorial, que incluye el fortalecimiento del sistema de justicia, el aprovechamiento de la ciencia y la tecnología, el monitoreo y la protección de la flora y la fauna, el análisis de los costos y la propuesta de incentivos económicos, la inclusión de salvaguardas ambientales y sociales en el proceso de formalización de la minería artesanal y de pequeña escala, y la implementación de campañas de sensibilización e información a la ciudadanía.

El presente documento metodológico final busca generar un material técnico que detalle la metodología del estudio “Estimación de la población minera informal e ilegal en el departamento de Madre de Dios, a partir del uso de imágenes satelitales submétricas”.



II. MARCO CONCEPTUAL

Base de datos espacial: es una colección estructurada de datos espaciales y sus datos de atributos relacionados, organizados para el almacenamiento y la recuperación eficiente (Wade & Sommer, 2012).

Extracción minera: proceso que consiste en la explotación de depósitos aluviales (sedimentos fluviales) o yacimientos de roca dura. El sedimento o el recubrimiento se elimina y el mineral se extrae al excavar la superficie, mediante la tunelización o el dragado en el caso de la minería aluvial (PNUMA, 2015).

Fotointerpretación: proceso mediante el cual un analista o fotointérprete extrae información de los datos de la imagen mediante la inspección de un producto de imagen compuesto a partir de los datos. El analista por lo general observa características a gran escala y, en principio, no se preocupa por el espacio y las digitalizaciones radiométricas presentes. Las señales espaciales, espectrales y temporales se utilizan para guiar el análisis, incluidas las propiedades espaciales de forma, tamaño, orientación y textura (Richards, 2013).

Minería ilegal: según el Decreto Legislativo N.º 1105 (2012), consiste en una actividad minera ejercida por una persona, natural o jurídica, o un grupo de personas organizadas para ejercer dicha actividad, usando equipo y maquinaria que no corresponde a las características de la actividad minera que desarrollan (pequeño productor minero o productor minero artesanal) o sin cumplir con las exigencias de las normas de carácter administrativo, técnico, social y medioambiental que rigen dichas actividades, o que se realizan en zonas en las que esté prohibido su ejercicio. Sin perjuicio de lo anterior, se considera ilegal toda actividad minera ejercida en zonas en las que esté prohibido el ejercicio de actividad minera.

SkySat: es el primer sistema comercial de observación de la Tierra de clase microsatélite que genera imágenes pancromáticas de resolución submétrica, además de imágenes panorámicas de cuatro bandas con resolución submétrica SkySat (Murthy *et al.*, 2014).

III. MATERIALES

3.1. HARDWARE

El *hardware* desempeña un papel importante en el análisis de datos espaciales, ya que su rendimiento impacta directamente en la eficiencia y la capacidad de procesamiento de datos. Para lograr una eficiente digitalización y fotointerpretación es fundamental disponer de un equipo apropiado. Actualmente, la mayoría de los equipos portátiles (*laptops*) son capaces de almacenar la información generada y procesarla. Para el levantamiento y almacenamiento de la información, se empleó una *laptop* Legion con procesador Intel(R) Core(TM) i7-10750H, con una memoria RAM de 16 GB, un sistema operativo Windows y 2 TB de almacenamiento.

3.2. SOFTWARE

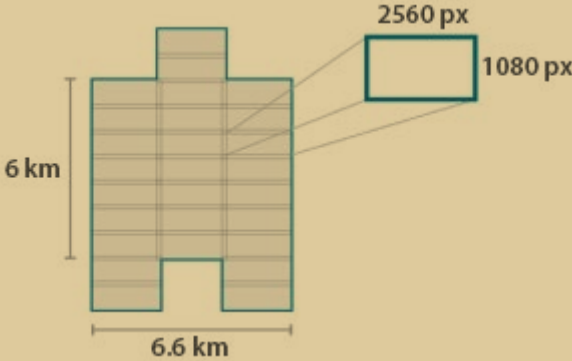
Los *softwares* SIG son fundamentales para la recolección y el procesamiento de datos geoespaciales, ya que proveen de una interfaz gráfica funcional al usuario, lo que acelera la fotointerpretación y la digitalización. Para la fotointerpretación y la generación de la base de datos espacial, se empleó el *software* ArcMap de la empresa ESRI. Asimismo, se emplearon *softwares* informáticos como WinRAR para almacenar y gestionar las bases de datos.

3.3. IMÁGENES SATELITALES

El insumo más importante en la presente metodología técnica son las imágenes satelitales ópticas submétricas. Las imágenes satelitales de SkySat, de acuerdo con las especificaciones técnicas (Planet Labs, 2020), cuentan con diferentes colecciones y tipos de productos. Para el estudio, se empleó el tipo de producto Ortho Collect, que tiene las siguientes características:

Tabla 1: Principales características técnicas de las imágenes de SkySat

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS IMÁGENES ORTHO COLLECT DE SKYSAT	
ATRIBUTOS DEL PRODUCTO	DESCRIPCIÓN
Componentes del producto y formatos	Archivo de imagen – formato GeoTIFF Archivo de metadatos – formato JSON Archivo UDM – formato GeoTIFF
Tamaño del píxel	0.50 m (remuestreado) 0.72 m banda pancromática 1.00 m bandas multiespectrales
Profundidad de bit	16 bits enteros sin signo

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS IMÁGENES ORTHO COLLECT DE SKYSAT	
INFORMACIÓN DEL CONTENIDO	DESCRIPCIÓN
Extensión del producto	 <p>Cada satélite de SkySat tiene tres cámaras que capturan franjas superpuestas</p>
Tipo de sensor	Cámara de marco CMOS con mitades pancromáticas y multiespectrales
Bandas espectrales	<p>Azul: 450-515 nm Verde: 515-595 nm Rojo: 605-695 nm Infrarrojo cercano: 740-900 nm Pancromática: 450-900 nm</p>
PROCESAMIENTO	DESCRIPCIÓN
Correcciones radiométricas	<p>Corrección de no uniformidad entre sensores (1 %) Conversión a valores radiométricos absolutos basados en coeficientes de calibración</p>
Correcciones geométricas	<p>Los efectos relacionados con el sensor son corregidos usando telemetría y un modelo Ortorrectificación con puntos de control y modelos digitales de elevación</p>
Datum horizontal	WGS-84
Proyección	UTM
Remuestreo	Convolución cúbica
Precisión geométrica	<10 m RMSE

Fuente: adaptado de Planet Labs (2020).

Como se muestra en la tabla I, las imágenes de SkySat adquiridas poseen un alto nivel de procesamiento y una muy alta resolución espacial, lo que las hace idóneas para la interpretación visual de infraestructuras mineras.

El producto Ortho Collect, a diferencia del producto Surface Reflectance, posee un afinamiento espacial pancromático. Esto permite al fotointérprete realizar una mejor labor al inspeccionar las imágenes ópticas. La figura I muestra la diferencia entre ambos productos.

Figura 1: Diferencia entre el producto Ortho-Pansharpened (izquierda) y el producto Surface Reflectance (derecha).



Fuente: elaboración propia.

En la figura 1, se puede observar que el producto Ortho-Pansharpened (también conocido como Ortho Collect) se muestra más afinado y menos borroso, lo que lo hace idóneo para la fotointerpretación. Cabe mencionar que las imágenes satelitales de SkySat se adquieren por solicitud (*tasking*): esto quiere decir que el usuario debe programar el área que será barrida por el satélite y especificar el tipo de producto deseado.



IV. FUENTES DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Existe una relación directa entre las zonas activas deforestadas por la minería aurífera y la presencia de infraestructuras mineras. El estudio “Estimación de la población minera informal e ilegal en el departamento de Madre de Dios, a partir del uso de imágenes satelitales submétricas”, realizado por Conservación Amazónica (ACCA) y el Proyecto Prevenir de USAID en 2022, aprovecha dicha relación para realizar una solicitud (*tasking*) estratégica de imágenes satelitales submétricas comerciales de SkySat. A continuación, se presentan algunas fuentes de información complementaria que permiten identificar zonas deforestadas.

4.1. GEOSQUES (MINAM)

Geosques es una plataforma nacional de monitoreo de los cambios sobre la cobertura de los bosques. Dicha plataforma cuenta con cinco submódulos: (a) deforestación; (b) alerta temprana; (c) degradación; (d) uso y cambio de uso de la tierra; y (e) niveles de referencia. Los principales datos de Geosques utilizados en la presente metodología son los de deforestación (bosques y pérdida de bosque) y alerta temprana. Para generar dicha información, el equipo de Geosques emplea imágenes satelitales ópticas de resolución media de la constelación Landsat. Sin embargo, esta información no especifica las causas de la deforestación (minería, cultivos ilícitos, caminos, etc.), por lo que requiere de criterios de proximidad y contexto para la identificación de deforestación por minería.

4.2. GEOSERVIDOR DEL MINAM

El Geoservidor del MINAM es una plataforma tecnológica con información geoespacial especializada y de utilidad práctica, sobre la situación ambiental del territorio. Esta plataforma cuenta con alertas de minería ilegal producidas por la ciudadanía, así como zonas de riesgo de desastres y diferentes capas territoriales. Sin embargo, esta información de alertas de minería ilegal no permite realizar consultas para la determinación de la fecha de las alertas.

4.3. ALERTAS GLAD

Las alertas GLAD son desarrolladas por la Universidad de Maryland. Estas alertas son subidas a un sitio web empleando la computación en la nube de Google Earth Engine. Para generar dichas alertas, los autores emplearon imágenes satelitales ópticas provenientes de la constelación Landsat. La información generada es actualizada de manera semanal y tiene una cobertura global. Al igual que las alertas de Geosques, no diferencian la deforestación por actividad de minería aurífera de aquella debida a otras causas.

4.4. ALERTAS RADD

Las alertas RADD han sido desarrolladas por la Universidad de Wageningen. Dichas alertas son generadas por imágenes satelitales de radar provenientes de la constelación Sentinel-1. Al igual que las alertas GLAD, las alertas RADD utilizan la computación en la nube de Google Earth Engine para procesar sus datos y resultados. Dichos resultados son publicados de manera semanal con cobertura global. Estas alertas no identifican el origen de la pérdida de bosque.

4.5. ALERTAS LUCA

Las alertas LUCA son un producto elaborado recientemente por la organización CTrees. Este producto busca generar información casi en tiempo real sobre perturbaciones en los bosques a una escala global. Al igual que las alertas GLAD y RADD, las alertas LUCA emplean la computación en la nube de Google Earth Engine. Sin embargo, no especifican la causa de la pérdida de bosque.

4.6. RAISG

El mapa *online* de RAISG muestra información de diferentes capas territoriales. Asimismo, incluye un observatorio de minería ilegal. Dicho observatorio muestra datos actualizados hasta el año 2020 de focos de minería ilegal a una escala amazónica. Estos datos son representados por puntos y zonas de riesgo de diferentes fuentes, como SERNANP, RPP y *El Comercio*, entre otras.

4.7. MAPBIOMAS AMAZONÍA

MapBiomás Amazonía es una iniciativa de RAISG que genera información de tipos de cobertura de la tierra empleando imágenes satelitales ópticas de la constelación Landsat. Dicha información se genera de manera anual, a partir de 1985 y hasta el presente, en la Amazonía. Al igual que las alertas GLAD, RADD y LUCA, MapBiomás emplea el poder computacional en la nube de Google Earth Engine. A diferencia de dichas alertas, logra distinguir zonas deforestadas por minería.

4.8. RAMI

RAMI ha sido desarrollado por Conservación Amazónica (ACCA) en el marco del programa SERVIR-Amazonia. Esta plataforma, al igual que las mencionadas anteriormente, utiliza el poder computacional en la nube de Google Earth Engine. RAMI genera alertas de deforestación por minería ilegal empleando imágenes satelitales de radar de la constelación Sentinel-1. Esta información es generada casi en tiempo real y se encuentra disponible para visualización y descarga.

4.9. SKYTRUTH

La organización SkyTruth también genera alertas de deforestación por minería en su mapa: Proyecto Inambari. Emplean imágenes satelitales e inteligencia artificial para monitorear la minería ilegal aluvial en la Amazonía. SkyTruth realiza un monitoreo casi en tiempo real, actualizando su información y verificándola con imágenes satelitales mensuales obtenidas de la constelación Planet.

4.10. CINCIA

CINCIA ha realizado un análisis de imágenes satelitales ópticas de la constelación Landsat para caracterizar la extensión de la minería aurífera en la región sudeste de la Amazonía peruana. Emplean la computación en la nube de Google Earth Engine y han realizado análisis con imágenes desde 1985 hasta 2019. Asimismo, la información permite diferenciar entre el grado de mecanización de dicha actividad. La información de CINCIA sobre deforestación minera es de dos categorías: mínimamente mecanizada y altamente mecanizada.

4.11. MAAP

El proyecto MAAP genera información sobre diferentes *drivers* de deforestación en la Amazonía. El MAAP ha publicado más de 70 reportes referentes a deforestación por minería aurífera desde el año 2015. Para generar los reportes, el MAAP utiliza insumos satelitales variados de diferentes resoluciones, desde resolución media de las constelaciones de Landsat y Sentinel, hasta muy alta resolución utilizando SkySat.

4.12. FCDS

La fundación FCDS ha generado un mapa web *online* sobre minería ilegal. Ha realizado análisis subregionales en diferentes sitios piloto de países como Perú, Brasil y Colombia. Incluyen no solo material estadístico sino también material visual sobre el contexto de la dinámica de la minería y sus efectos.

La tabla 2 presenta un resumen de las diferentes fuentes de información complementaria referentes a la minería en la Amazonía peruana.

Tabla 2: Principales características de las fuentes de información sobre minería.

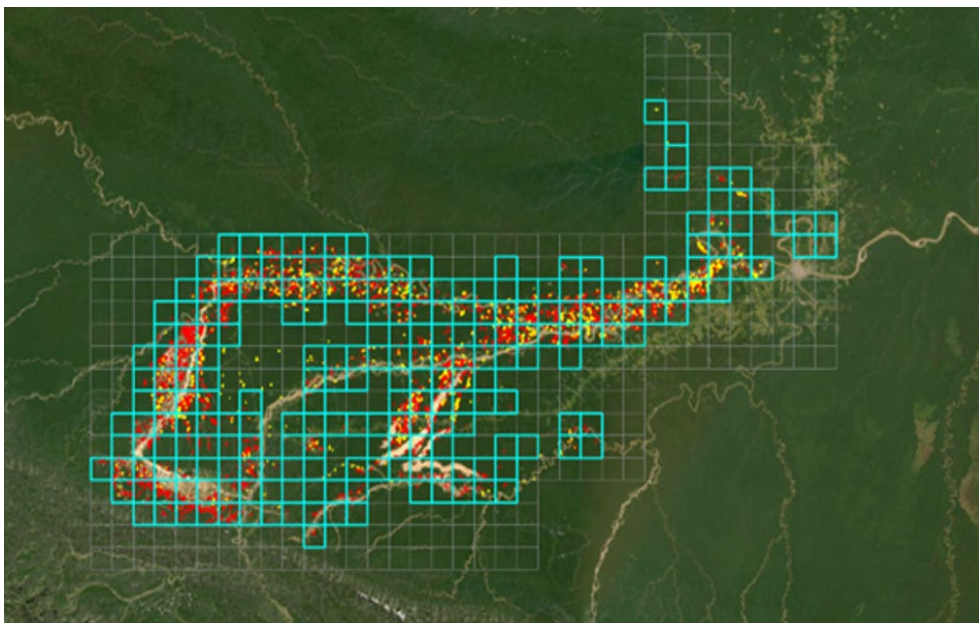
FUENTE DE INFORMACIÓN	TIPO DE PRODUCTO	RESOLUCIÓN	PERIODICIDAD	TIPO DE ACCESO	ENLACE
Geobosques	Ráster	30 m	< 15 días	Descarga	Sí
Geoservidor del MINAM	Vector	-	-	Visualización	Sí
Alertas GLAD	Ráster	30 m	< 15 días	Descarga	Sí
Alertas RADD	Ráster	10 m	< 11 días	Descarga	Sí
Alertas LUCA	Ráster	10 m	< 11 días	Visualización	Sí
RAISG	Vector	-	-	Descarga	Sí
MapBiomás Amazonía	Ráster	30 m	1 año	Descarga	Sí
RAMI	Ráster	10 m	< 11 días	Descarga	Sí
SkyTruth	Ráster	-	-	Visualización	Sí
CINCIA	Ráster	30 m	1 año	Descarga	Sí
MAAP	Reportes	-	2 a 3 semanas	Descarga	Sí
FCDS	Mapa web	-	-	Visualización	Sí

Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

5.1. DETERMINACIÓN DEL REQUERIMIENTO PARA LA ADQUISICIÓN DE IMÁGENES

El primer paso en la aplicación de la metodología del estudio ha sido la identificación y delimitación preliminar de *hotspots* activos de actividad minera. Para ello, se emplearon imágenes satelitales ópticas de resolución media de Sentinel-2 y Planet NICFI (de color rojo) y alertas de minería de RAMI (de color amarillo). El objetivo de este procedimiento es programar la adquisición de imágenes submétricas SkySat (0.5 m) sobre dichas áreas activas de minería.

Figura 2: *Hotspots* de minería activos (enero-mayo de 2021).

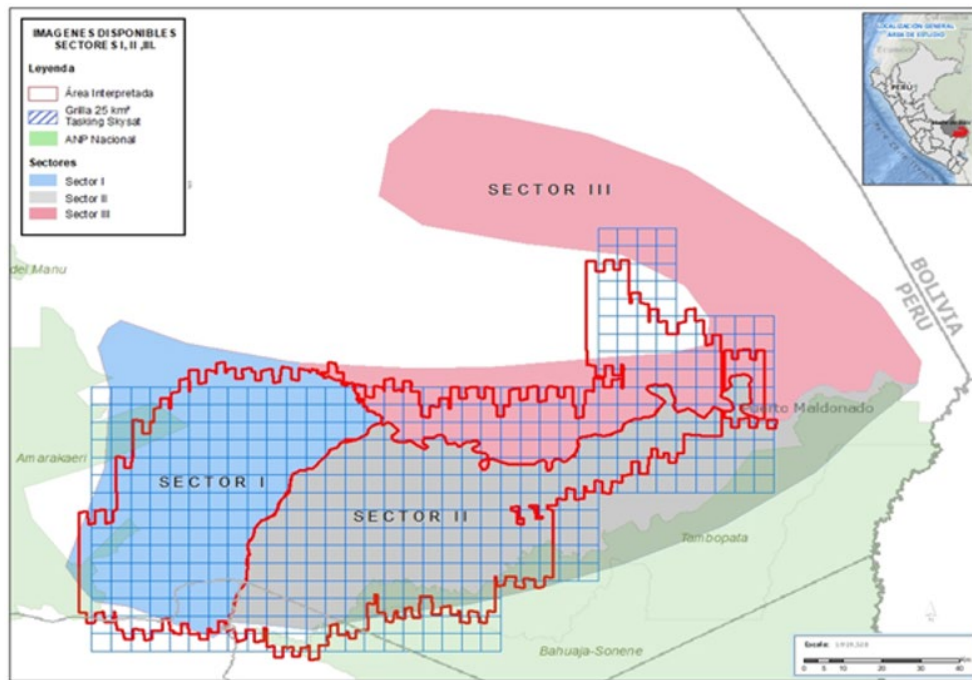


Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

La identificación de los *hotspots* activos se realizó en el departamento de Madre de Dios durante el periodo de enero a mayo de 2021; en total, se identificaron 25.92 km². Sobre la base de los *hotspots* activos, se implementó un sistema de grillado, de 5 km de lado cada uno. Esta grilla se codificó de manera tanto horizontal como vertical. Las columnas (ejes verticales) se catalogaron de izquierda a derecha de manera alfabética, de la A hasta la Z y, luego, de AA hasta AH. Por otra parte, las filas (ejes horizontales) se enumeraron desde 1 hasta 15. De esta manera, cada bloque tuvo una codificación única; por lo tanto, a la primera unidad muestral de la parte superior izquierda le correspondió el código A-01.

Teniendo en cuenta el sistema de grillas, los *hotspots* activos y la hidrografía, el área de estudio se dividió en tres sectores. Las labores de fotointerpretación y generación de datos fueron llevadas a cabo por tres especialistas del Proyecto Prevenir de USAID. Cada uno tuvo a su cargo un sector determinado.

Figura 3: Sectores de análisis.

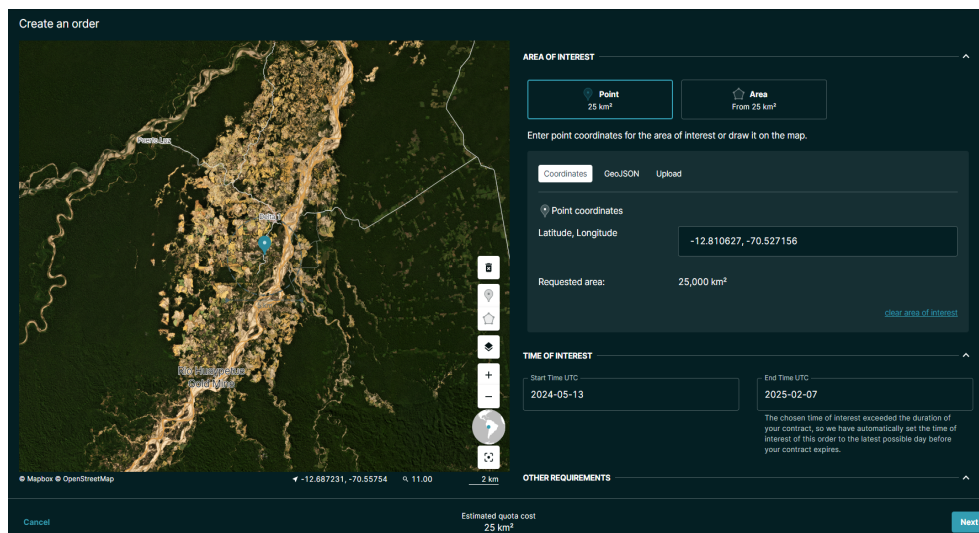


Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

5.2. SOLICITUD Y ADQUISICIÓN DE IMÁGENES DE SKYSAT

La solicitud de las imágenes de SkySat (0.5 m) se realizó en el mes de agosto de 2021 a través de la plataforma de Planet Explorer (Planet Labs). Para ello, se utilizó el *tasking dashboard*, donde se especificó el área solicitada, empleando los centroides de las grillas con *hotspots* activos (véase la figura 2).

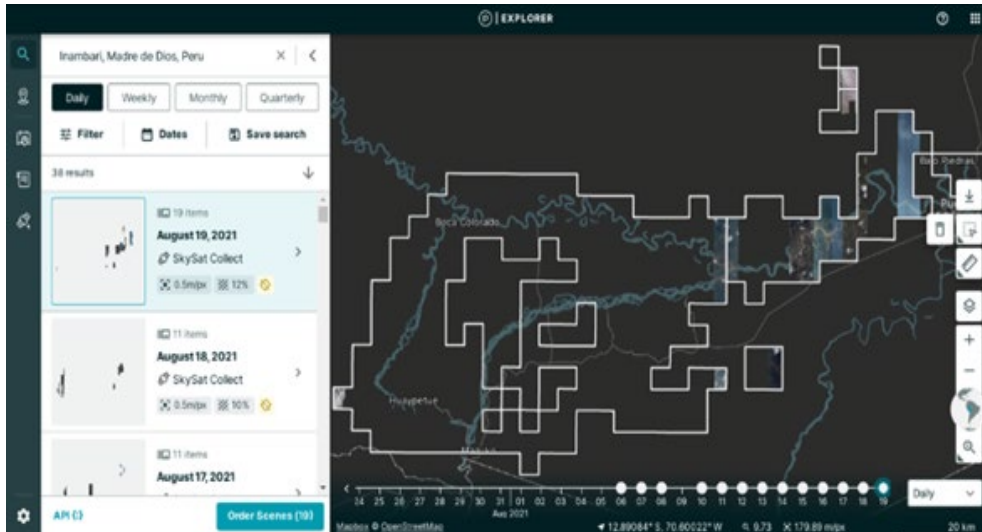
Figura 4: Tasking dashboard.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

Para la adquisición de imágenes, se revisó el catálogo de imágenes de SkySat en la plataforma de Planet Explorer. Se consideró un porcentaje de nubosidad menor del 15 % y el tipo de producto Ortho-Pansharpened para una mejor fotointerpretación.

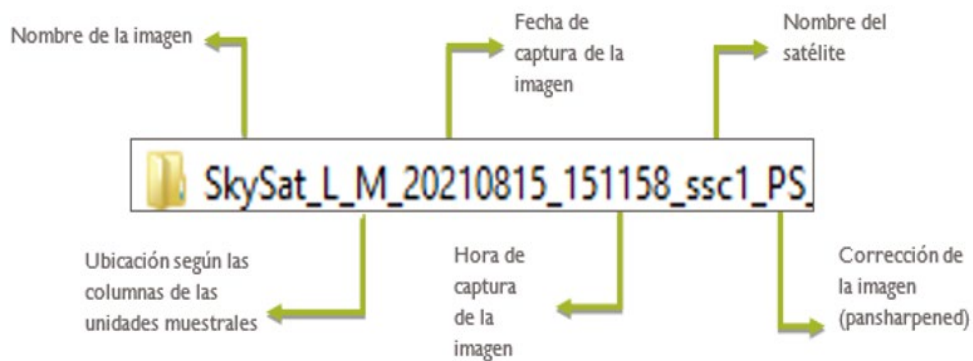
Figura 5: Planet Explorer.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

Las imágenes se ordenaron en la misma plataforma, y el tiempo de procesamiento por imagen fue de aproximadamente 40 minutos. Cabe destacar que dicho procesamiento se realizó en los servidores de la empresa Planet Labs y se dio en paralelo. Una vez concluida la orden, se descargaron las imágenes en formato comprimido (.zip).

Figura 6: Codificación de las carpetas de almacenamiento.



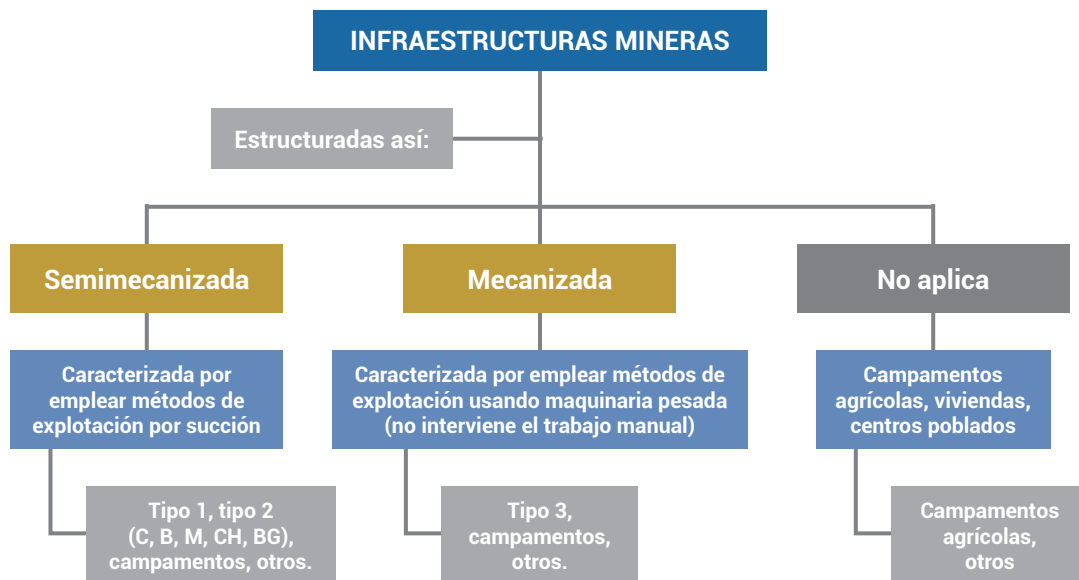
Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

Como se ve en la figura 6, los archivos se descomprimieron y se organizaron en carpetas independientes con una codificación basada en la ubicación de las imágenes con respecto a la grilla. Asimismo, se tomaron en consideración la fecha de captura de la imagen (en formato yyyyymmdd), la hora de captura (en formato hhmmss) y el nombre del satélite (SkySat posee más de 10 satélites en órbita).

5.3. FOTOINTERPRETACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS MINERAS

Según Mosquera *et al.* (2009), de acuerdo con el empleo de herramientas y/o equipos, se distinguen tres tipos de explotación minera en el departamento de Madre de Dios: artesanal, semimecanizada y mecanizada. El estudio "Estimación de la población minera informal e ilegal en el departamento de Madre de Dios, a partir del uso de imágenes satelitales submétricas", realizado por Conservación Amazónica (ACCA) y el Proyecto Prevenir de USAID en 2022, se centró en los dos últimos tipos de explotación: semimecanizada y mecanizada.

Figura 7: Clasificación de los tipos de minería y sus infraestructuras asociadas.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

Asimismo, las infraestructuras mineras se subdividieron en tipos y se renombraron según la frecuencia de hallazgos. En el caso de la actividad semimecanizada, se denominó "infraestructura de tipo 1" al método de extracción conocido como "traca", por ser el más frecuente en el análisis; a otros métodos de succión diferentes de traca se los denominó "infraestructura de tipo 2". Por otra parte, en el caso de la actividad mecanizada, se denominó "infraestructura de tipo 3" a todas las infraestructuras. Según estos métodos de explotación, por lo general se emplean las siguientes infraestructuras:

5.3.1. INFRAESTRUCTURAS SEMIMECANIZADAS DE SUCCIÓN

• TRACA (TIPO 1)

Este método de succión se utiliza en piedemonte y terrazas de llanura. Su empleo es por debajo del nivel freático mediante mangueras que son movidas de un punto a otro. Se utilizan bombas para extraer el material, que luego pasa a una tolva ubicada en tierra, que dispone de una zaranda y una canaleta provista de una alfombra en la que se deposita la arenilla aurífera (MINAM, 2011).

Las bombas de succión que utiliza esta infraestructura son accionadas por un motor estacionario de 180, 220 o 250 HP. Dichas bombas impulsan la grava aurífera por el sistema de transporte, para lo cual emplean tubos de PVC de 6", 8" y 10" de diámetro, dependiendo de la potencia del motor utilizado.

Figura 8: Vista de traca en campo.



Fuente: MINAM (2011).

Estas infraestructuras se encuentran tanto en tierra firme como en pozas de agua. Por lo general, se identifican por tener un techo de color azul y se ubican en los márgenes de los cuerpos de agua. No poseen mucha movilidad y se caracterizan por tener en la parte frontal soportes de madera que funcionan como estabilizadores.

Figura 9: Contexto espacial de las tracas.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

Figura 10: Vistas detalladas de las tracas mediante imágenes de SkySat.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

• Balsa TRACA (TIPO 2-B)

Es una unidad móvil que puede succionar material directamente del lecho del río, de las playas inundables e incluso de los acantilados. La balsa comprende una plataforma de madera ubicada sobre dos canoas también de madera, y, en la parte superior, un techo provisto de una zaranda y una canaleta para lavado del material aluvial. El material succionado sale a través del tubo de PVC colocado en una tolva instalada por lo general en la playa. El material grueso es depositado en la playa y el material fino, luego de discurrir a lo largo de la canaleta, se dirige nuevamente al cauce del río. La traca es de madera, construida de forma artesanal y, en muchos casos, de manera temporal (MINAM, 2011).

La principal característica de las balsas traca es que cuentan con un sistema de poleas en el cual se acondiciona la lanza, la cual es operada por el equipo denominado traca.

Figura 11: Vista de balsa traca en campo.



Fuente: MINAM (2011).

En comparación con las tracas (tipo 1), estas infraestructuras tienen una menor capacidad de succión; sin embargo, poseen una mayor movilidad y, por ello, se encuentran principalmente en ríos. Son similares a las tracas, pero ligeramente más pequeñas.

Figura 12: Contexto espacial de las balsas traca.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

Figura 13: Vistas detalladas de las balsas traca mediante imágenes de SkySat.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

• Balsa GRINGO (TIPO 2-BG)

Es una infraestructura de dragado por succión que es utilizada en los cauces de los ríos (playas inundables). Es una unidad móvil que puede operar durante todo el año y succionar material directamente del lecho del río, de las playas inundables e incluso de los acantilados. La balsa gringo comprende una plataforma de madera ubicada sobre dos canoas también de madera, y, en la parte superior, un techo provisto de una zaranda y una canaleta para lavado del material aluvial, aunque, por lo general, en época de estiaje se arma una tolva en la playa de los ríos. En la plataforma, se encuentran la bomba de succión (18, 20 y 90 HP), la manguera de succión, los tubos de PVC, el combustible, otros accesorios y un lugar de descanso para los operarios. En el extremo de la manguera de succión hay un armazón de metal que facilita su anclaje. Posee un palo que permite orientar el punto de anclaje, el cual se conoce como "gringo" (Mosquera et al., 2009).

Figura 14: Vista de balsa gringo en campo.



Fuente: Heck et al. (2014).

Estas infraestructuras poseen una alta movilidad y son más grandes que las tracas y las balsas traca. Se han encontrado balsas gringo con techo de diferente color. Su presencia se detecta por los cuerpos de arena acumulados remanentes en los ríos.

Figura 15: Contexto espacial de las balsas gringo.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

Figura 16: Vistas detalladas de las balsas gringo mediante imágenes de SkySat.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

• CARANCHERA (TIPO 2-C)

Se emplea en la llanura amazónica, sobre todo en los cauces de los ríos o playas. Consiste en la succión del material que se encuentra debajo del nivel freático a través de mangueras (4-6") que son movidas de un punto a otro por un buzo. Se utilizan bombas que, por lo general, funcionan con diésel. El material succionado pasa a una tolva ubicada en tierra, que dispone de una zaranda y una canaleta provista de una alfombra en la que se deposita la arenilla aurífera (Mosquera *et al.*, 2009).

Figura 17: Vista de caranchera en campo.



Fuente: MINAM (2011).

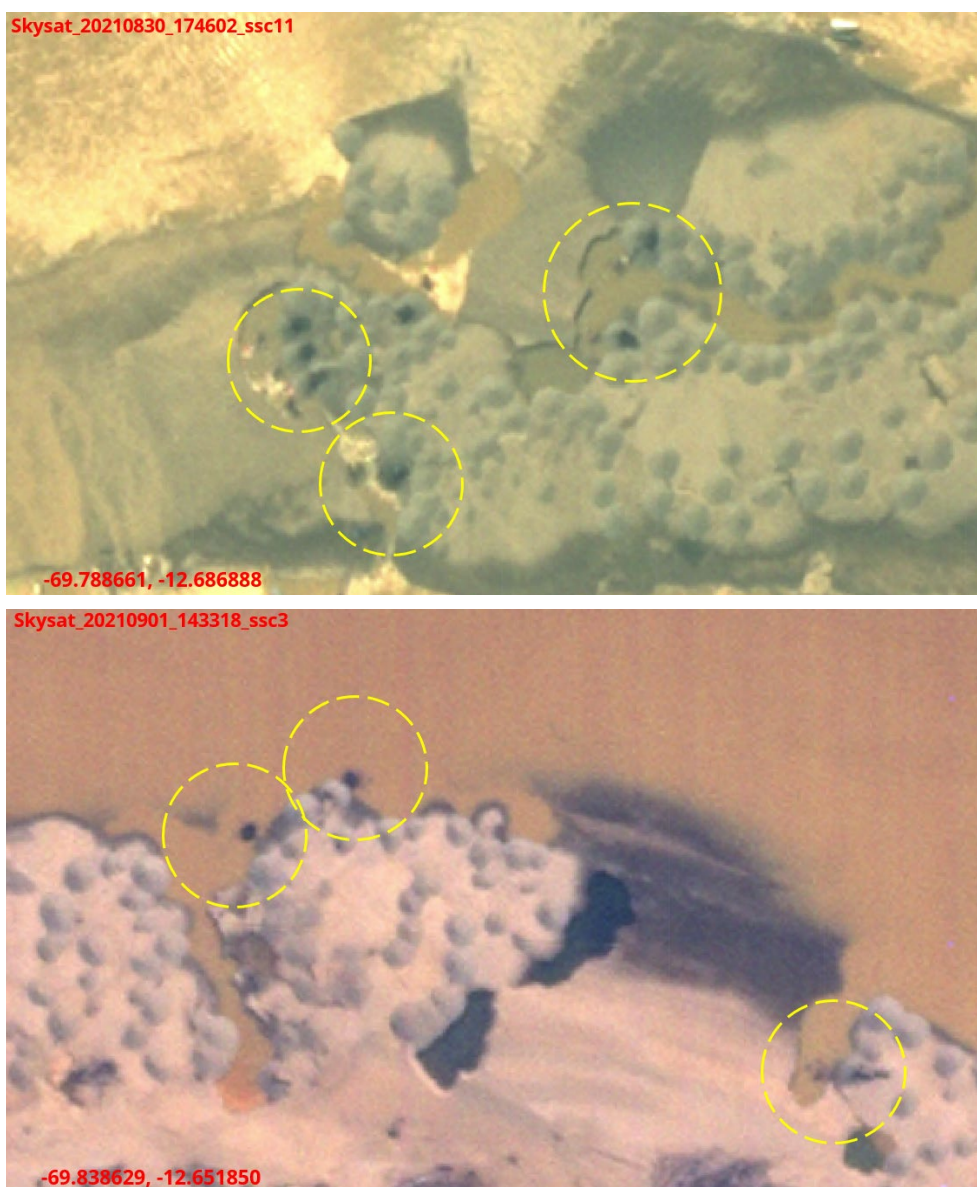
Estas infraestructuras son alargadas y se encuentran en las orillas de los cuerpos de agua. Poseen un tubo largo que conecta el segmento ubicado en la tierra con una plataforma pequeña en el cuerpo de agua.

Figura 18: Contexto espacial de las carancheras.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

Figura 19: Vistas detalladas de las carancheras mediante imágenes de SkySat.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

• CHUPADERA (TIPO 2-CH)

Este método de extracción se emplea en piedemonte y en terrazas de llanura. Se realiza en tierra firme y, por ende, puede ser ejecutado durante todo el año. Para operar, necesariamente se tiene que desbrozar el área donde se va a trabajar, y disponer de una fuente de agua cercana (río, quebrada, aguajal o laguna). Mediante una bomba fija (18-20 HP), ingresa presión de agua al área de trabajo para formar un lodo. Otra bomba (90-120-180-220 HP) es instalada para bombear el lodo hacia la zaranda y la tolva, provista de una canaleta con alfombra donde se deposita la arenilla. La tolva se encuentra a una altura mayor que en los métodos anteriores, con la finalidad de acumular una mayor cantidad de cascajo, en vista de que este método es menos móvil que los anteriores (Mosquera *et al.*, 2009).

Figura 20: Vista de chupadera en campo.



Fuente: Iglesias y Minería (2023).

Estas infraestructuras son similares a las carancheras, pero más alargadas.

Figura 21: Contexto espacial de las chupaderas.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

Figura 22: Vista detallada de la chupadera mediante imagen de SkySat.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

5.3.2. INFRAESTRUCTURAS SEMIMECANIZADAS DE SUCCIÓN TIPO DRAGA

• MINIDRAGA (TIPO 2-M)

Este tipo de infraestructura hace referencia a las balsas traca de mayor capacidad de succión. Las minidrugas utilizan motores de 220 o 250 HP y tubos PVC de 8 o 10" de diámetro. Se ubican predominantemente en el sector de San Juan.

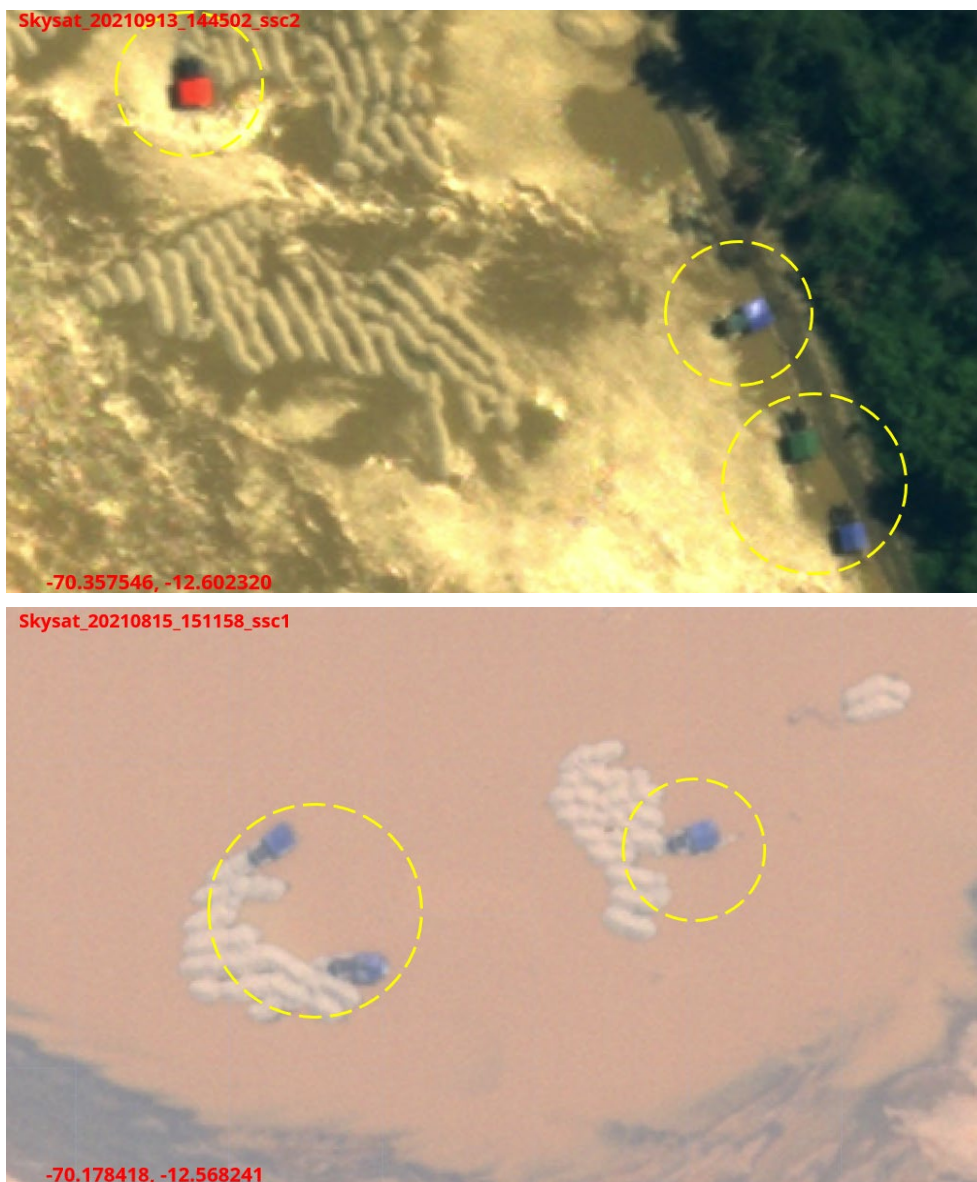
Figura 23: Contexto espacial de las minidrugas.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

Al igual que las balsas gringo, estas infraestructuras dejan formaciones de arena particulares en los cuerpos de agua. Poseen una alta movilidad y también tienen techos de colores diferentes.

Figura 24: Vistas detalladas de las minidragas mediante imágenes de SkySat.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

5.3.3. INFRAESTRUCTURAS MECANIZADAS A TAJO ABIERTO

• CHUTE BÁSICO Y CHUTE COMPLETO (TIPO 3)

Este método requiere una inversión de capital mayor que los métodos anteriores, ya que comprende la adquisición o el alquiler de maquinaria pesada (cargador frontal, volquete) y el pago a los operarios de estas máquinas, además de los otros gastos de la operación. Se realiza durante todo el año en los lechos de ríos y quebradas, así como en las zonas de apertura y corte de riberas hacia el monte. Al igual que en los demás métodos, requiere de una fuente de aprovisionamiento de agua, pero de mayor volumen, hecho que limita su operación en algunas zonas, sobre todo en época de estiaje (Mosquera *et al.*, 2009).

Esta infraestructura utiliza el método de banqueo descendente. Una excavadora realiza el trabajo de descarga y carga de grava al volquete. Dicho volquete es luego transportado hasta el chute, provisto de una canaleta de madera cubierta por una alfombra en la que se deposita la arenilla aurífera.

Figura 25: Vista de chute (arriba) y cargador frontal (abajo) en campo.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

Estas infraestructuras se encuentran presentes en tierra firme; sin embargo, se ha observado que operan en lugares próximos a cuerpos de agua.

Figura 26: Contexto espacial de los chutes.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

Figura 27: Vistas detalladas de los chutes mediante imágenes de SkySat.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

• CAMPAMENTOS

Los campamentos son otro tipo de infraestructura asociado y no asociado a la actividad minera. Estos no forman parte de la estimación de la población minera, debido a que los factores de conversión se centran en el personal mínimo requerido para la puesta en operación de maquinarias.

Figura 28: Contexto espacial de los campamentos en la actividad mecanizada.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

• OTROS

Esta categoría hace referencia a infraestructuras difíciles de identificar o maquinarias no directamente asociadas a la minería, como grifos de combustible, camionetas, etc.

Figura 29: Contexto espacial de otras infraestructuras en la actividad mecanizada.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

5.3.4. NO APLICA

Hace referencia a estructuras como viviendas, campamentos agrícolas o centros poblados aislados del área de influencia de la minería identificados por el INEI, que no guardan relación directa con la actividad.

• CAMPAMENTOS AGRÍCOLAS

Estos se encuentran fuera de la actividad minera, pues se ubican en zonas donde se desarrolla la actividad agrícola.

Figura 30: Contexto espacial de los campamentos agrícolas.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

• OTROS

Hace referencia a centros poblados identificados según la base catastral del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) y de la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) de Madre de Dios. Son maquinarias, botes u otras infraestructuras sin relación directa con la minería.

Figura 31: Contexto espacial de la categoría "otros".



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

5.4. CONSTRUCCIÓN DE LA BASE DE DATOS

Se construyó la base de datos teniendo en cuenta las categorías basadas en las actividades mineras (mecanizada, semimecanizada y no aplica) y la clave de interpretación generada de acuerdo con los tipos de infraestructura. Se creó en formato *shapefile* (.shp) y se le añadieron atributos de importancia (como la fecha, el tipo de infraestructura, el tipo de actividad, la cantidad de infraestructuras, etc.). Asimismo, esta base de datos estuvo referenciada espacialmente con el sistema proyectado de coordenadas WGS-84 – zona 19S.

La tabla 3 muestra los atributos de la base de datos construida. Cada elemento digitalizado contó con propiedades que permitieron su relación sistemática con la imagen satelital fotointerpretada.

Tabla 3: Atributos de los hallazgos de infraestructuras asociadas a la actividad minera.

ID GRILLA	UBICACIÓN			INFORMACIÓN DE LA IMAGEN			TIPO DE INFRAESTRUCTURA			ANÁLISIS DE SUPERPOSICIÓN		INFORMACIÓN DE LA DETECCIÓN					
	Cod	Dep	Prov	Dist	YMD	Time	NamSat	TipAct	Infraest	Cant	AsocDef	TítHab	YMDDetect	Este	Norte	Consult	Obs
AB-11	Madre de Dios	Tambopata	Laberinto	20210707	103122	ssc3	Mecanizada	Campamento	8	Sí	No	20210909	47	86	Keyra Álvarez		

Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

La tabla 4 muestra la descripción de la nomenclatura de cada atributo en la base de datos, así como el tipo de dato.

Tabla 4: Ficha descriptiva de la nomenclatura de los campos en la tabla de atributos.

	CAMPOS	DESCRIPCIÓN DE CAMPOS	TIPO DE DATO
ID grilla	Cod	Código de la unidad muestral, está representado con letra mayúscula (columnas) y número (filas)	Char
Ubicación	Dep	Nombre del departamento donde se identifique la actividad minera	Char
	Prov	Nombre de la provincia donde se identifique actividad minera	Char
	Dist	Nombre del distrito donde se identifique actividad minera	Char
Información de la imagen	YMD	Fecha de la imagen satelital usada para la identificación (año, mes, día)	Whole number
	Time	Hora, minutos y segundos en los que pasó el satélite por un determinado lugar	Whole number
	NamSat	Nombre del satélite que captura las imágenes (Skysat)	Char
Tipo de infraestructura	TipAct	Tipo de actividad minera (mecanizada, semimecanizada, no aplica)	Char
	Infraest	Elementos asociados a la actividad minera (tipo I, tipo II, campamentos, otros)	Char
	Cantidad	Número de infraestructuras u elementos identificados	Whole number
Análisis de superposición	AsocDef	Confirmación de si existen o no actividades de deforestación en el punto identificado	Char
	TítHab	Validar si la actividad minera se encuentra dentro de un título habilitante	Char
Información de la detección	YMDDetec	Fecha de identificación de infraestructura asociada a la actividad minera por parte del consultor	Whole number
	Este	Coordenada UTM al este (WGS-84)	Decimal number
	Norte	Coordenada UTM al norte (WGS-84)	Decimal number
	Consult	Nombre del especialista que hizo el hallazgo	Char
	Obs	Observaciones	Char

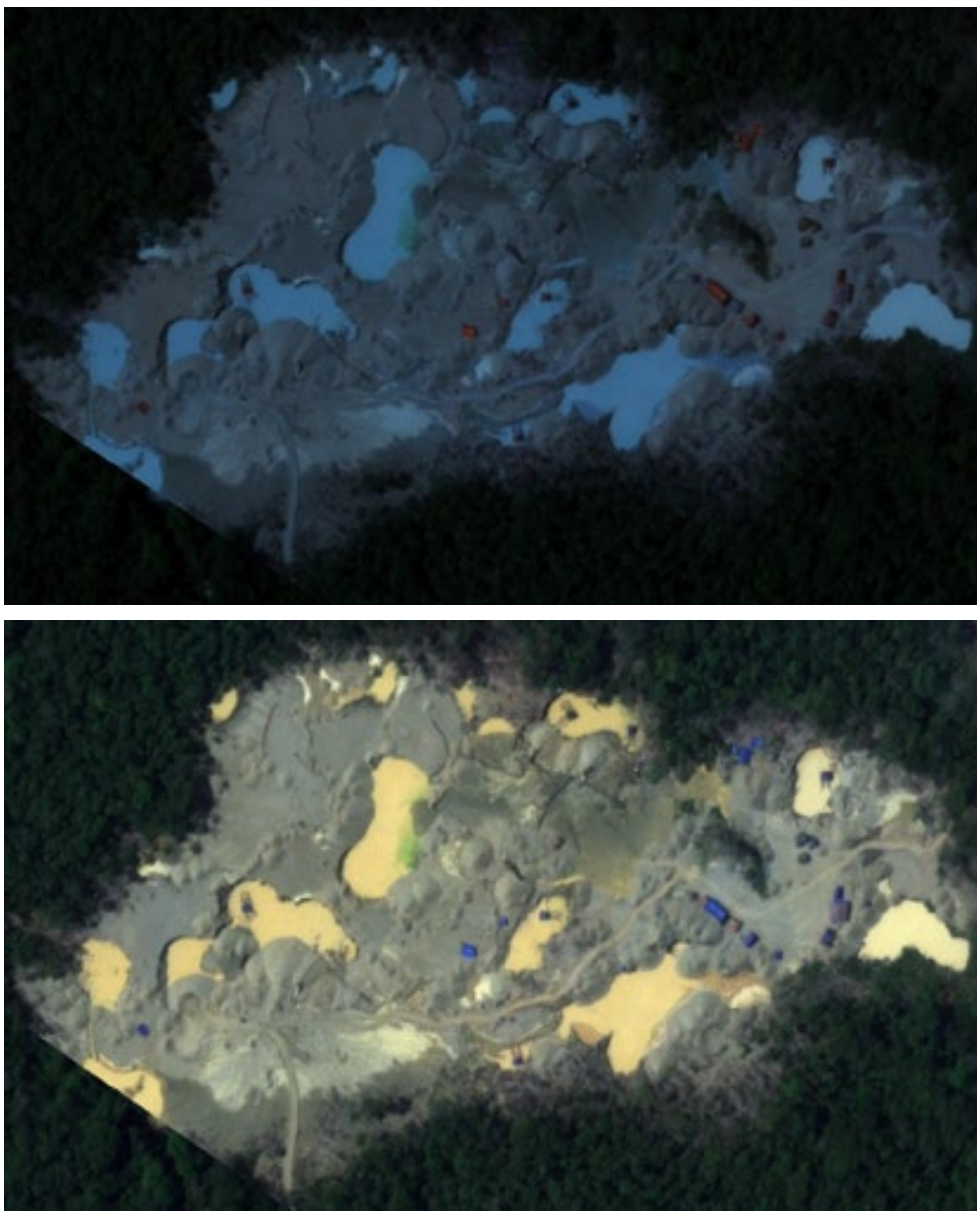
Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

5.5. DIGITALIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS MINERAS

A cada especialista encargado de la digitalización se le asignó un sector. Cada especialista procedió a descargar las imágenes correspondientes a su sector de la plataforma de Planet Explorer (Planet Labs). Dichas imágenes vienen comprimidas (en formato .zip), por lo que se descomprimieron para extraer la imagen satelital utilizando WinRAR.

Las imágenes fueron cargadas individualmente al *software* SIG ArcMap y se ajustaron los parámetros de visualización. Se empleó la combinación de bandas RGB: la banda 3 fue la roja, la banda 2 fue la verde y la banda 1 fue la azul. Asimismo, se empleó un realce dinámico para que el rango de valores se ajuste a la extensión de la pantalla.

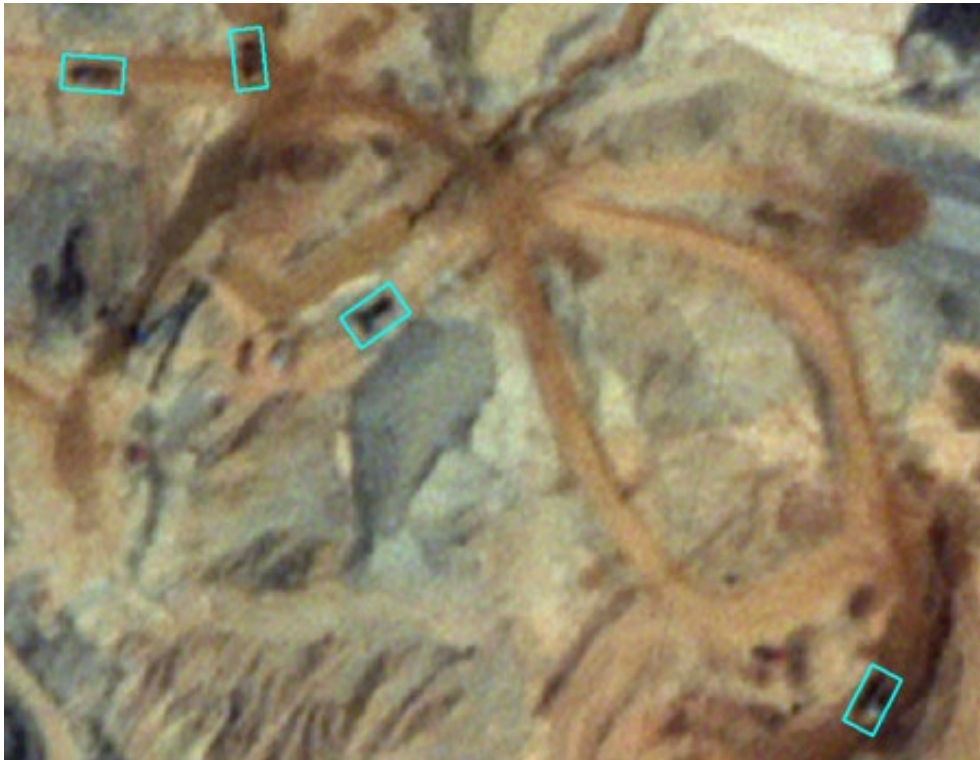
Figura 32: Comparación de imágenes de SkySat sin realce (arriba) y con realce (abajo).



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

Luego de que la visualización de las imágenes fue óptima, se procedió con la digitalización manual de las infraestructuras mineras. Para ello, se editó la base de datos creada previamente usando las herramientas de edición del *software*. Se delimitó la extensión de los objetos de manera manual empleando polígonos, como se muestra en la figura 33.

Figura 33: Digitalización de infraestructuras mineras.



Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

Luego de digitalizar cada infraestructura, se rellenó la tabla de atributos como se muestra en la figura 34.

Figura 34: Llenado de la tabla de atributos.

Dep	Prov	Dist	YMD	Time	NamSat	Infraest	Cantidad	AsocDef	TítHab	Estado	YMDDetect	Este	Norte	Consult	Obs	TipAct
Madre de Dios	Manu	Huepetuhe	20210831	144639	ssc2	Tipo 3	1	Si	Si	Legal	20210903	317774.37	8565000	Victor Alvaro M	1 maquinaria	Semi-mecanizada
Madre de Dios	Manu	Huepetuhe	20210831	144639	ssc2	Campamento	1	Si	No	Excluido	20210903	317754.90	8565000	Victor Alvaro M		Semi-mecanizada
Madre de Dios	Manu	Huepetuhe	20210831	144639	ssc2	Campamento	2	Si	No	Excluido	20210903	317699.23	8565000	Victor Alvaro M		Semi-mecanizada
Madre de Dios	Manu	Huepetuhe	20210831	144639	ssc2	Tipo 3	1	Si	No	Illegal	20210903	317709.94	8565000	Victor Alvaro M	1 maquinaria	Semi-mecanizada
Madre de Dios	Manu	Huepetuhe	20210831	144639	ssc2	Tipo 3	1	Si	No	Illegal	20210903	317663.04	8565000	Victor Alvaro M	1 maquinaria	Semi-mecanizada
Madre de Dios	Manu	Huepetuhe	20210831	144639	ssc2	Campamento	3	Si	No	Excluido	20210903	317510.50	8565000	Victor Alvaro M		Semi-mecanizada
Madre de Dios	Manu	Huepetuhe	20210831	144639	ssc2	Campamento	2	No	No	Excluido	20210903	317157.76	8564000	Victor Alvaro M		Semi-mecanizada
Madre de Dios	Manu	Huepetuhe	20210902	144639	ssc1	Campamento	3	Si	Si	Excluido	20210906	315179.33	8565000	Victor Alvaro M		Semi-mecanizada
Madre de Dios	Manu	Huepetuhe	20210902	144639	ssc1	Campamento	1	Si	Si	Excluido	20210906	315181.39	8565000	Victor Alvaro M		Semi-mecanizada
Madre de Dios	Manu	Huepetuhe	20210902	144639	ssc1	Tipo 3	1	Si	Si	Legal	20210906	314982.19	8565000	Victor Alvaro M	1 maquinaria	Semi-mecanizada
Madre de Dios	Manu	Huepetuhe	20210902	144639	ssc1	Tipo 3	1	Si	Si	Legal	20210906	314996.05	8565000	Victor Alvaro M	1 maquinaria	Semi-mecanizada
Madre de Dios	Manu	Huepetuhe	20210902	151730	ssc1	Campamento	4	Si	Si	Excluido	20211004	315843.56	8566000	Victor Alvaro M		Semi-mecanizada
Madre de Dios	Manu	Huepetuhe	20210831	151730	ssc1	Tipo 3	1	Si	Si	Legal	20211004	316945.77	8566000	Victor Alvaro M	1 maquinaria	Semi-mecanizada
Madre de Dios	Manu	Madre de Dios	20210902	151730	ssc1	Otros	4	No	No	Excluido	20211004	315143.68	8576000	Victor Alvaro M	Campamentos ai	Otras infraestructu
Madre de Dios	Manu	Madre de Dios	20210902	151730	ssc1	Otros	1	No	No	Excluido	20211004	315967.65	8577000	Victor Alvaro M	Campamentos ai	Otras infraestructu
Madre de Dios	Tambo	Laberinto	20210811	174052	ssc8	Campamento	1	Si	Si	Excluido	20210909	444578	8606179	Keyra Avarez		Semi-mecanizada
Madre de Dios	Tambo	Tambopata	20210829	151356	ssc16	Tipo 2 - BG	1	No	Si	Illegal	20210830	467259	8609263	Keyra Avarez	Balsa gringo	Semi-mecanizada
Madre de Dios	Tambo	Tambopata	20210829	151356	ssc16	Tipo 2 - BG	1	No	Si	Illegal	20210830	467261	8609284	Keyra Avarez	Balsa gringo	Semi-mecanizada
Madre de Dios	Tambo	Tambopata	20210811	174052	ssc8	Tipo 1	1	Si	No	Legal	20210821	445856	8610006	Keyra Avarez	Se identificó solo	Semi-mecanizada
Madre de Dios	Tambo	Tambopata	20210811	174052	ssc8	Tipo 1	1	Si	No	Legal	20210821	445832	8610007	Keyra Avarez	Se identificó solo	Semi-mecanizada
Madre de Dios	Tambo	Laberinto	20210811	174052	ssc8	Tipo 1	1	Si	No	Legal	20210821	445873	8609978	Keyra Avarez	Se identificó solo	Semi-mecanizada
Madre de Dios	Tambo	Laberinto	20210811	174052	ssc8	Otros	1	No	Si	Legal	20210903	447220.59	8601000	Tania Galván		Semi-mecanizada
Madre de Dios	Tambo	Laberinto	20210811	174052	ssc8	Otros	1	No	Si	Excluido	20210901	447003.21	8603000	Tania Galván	Transporte fluvial	Semi-mecanizada
Madre de Dios	Tambo	Laberinto	20210811	174052	ssc8	Tipo 1	1	Si	Si	Legal	20210901	444697.92	8602000	Tania Galván		Semi-mecanizada
Madre de Dios	Tambo	Laberinto	20210811	174052	ssc8	Campamento	4	Si	Si	Excluido	20210901	444734.72	8601000	Tania Galván		Semi-mecanizada
Madre de Dios	Tambo	Laberinto	20210811	174052	ssc8	Tipo 1	1	Si	Si	Legal	20210901	445055	8601000	Tania Galván		Semi-mecanizada
Madre de Dios	Tambo	Laberinto	20210811	174052	ssc8	Tipo 1	1	Si	Si	Legal	20210901	446339.34	8601000	Tania Galván	Se identificó solo	Semi-mecanizada
Madre de Dios	Tambo	Laberinto	20210811	174052	ssc8	Campamento	7	Si	Si	Excluido	20210901	447042.78	8603000	Tania Galván		Semi-mecanizada
Madre de Dios	Tambo	Laberinto	20210811	174052	ssc8	Campamento	3	Si	Si	Excluido	20210901	447090.31	8603000	Tania Galván		Semi-mecanizada
Madre de Dios	Tambo	Laberinto	20210811	174052	ssc8	Campamento	2	Si	Si	Excluido	20210901	446988.95	8603000	Tania Galván		Semi-mecanizada
Madre de Dios	Tambo	Laberinto	20210811	174052	ssc8	Campamento	2	Si	Si	Excluido	20210901	446941.64	8603000	Tania Galván		Semi-mecanizada

Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

Por último, se unificaron las bases de datos de los consultores y se obtuvo la base de datos final, con todos los atributos llenados.

5.6. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PERSONAS INVOLUCRADAS EN LA ACTIVIDAD MINERA MEDIANTE FACTORES DE CONVERSIÓN

Para obtener el factor de conversión, se realizaron entrevistas aplicadas a 260 mineros de los diferentes sectores y a expertos en la materia vinculados a la actividad minera en el departamento de Madre de Dios. La tabla 5 muestra las preguntas que se hicieron a los mineros y expertos en la materia.

Tabla 5: Preguntas a los mineros y expertos en la materia.

TIPO DE PREGUNTA	DESCRIPCIÓN
Código del entrevistado	Se asignó un código único a cada experto y minero, para mantener la anonimidad
Tipo de persona	Si el entrevistado es una persona natural o jurídica
Género	Si es varón o mujer
Equipo utilizado	Hace referencia al tipo de infraestructura empleada por el minero
Conocimiento sobre actividad ilegal	Si la persona entrevistada conoce sobre actividades ilegales
Número de personal por infraestructura	Hace referencia a cuántas personas están involucradas en la manipulación de una determinada infraestructura minera. Se realizó esta pregunta por cada tipo de infraestructura minera (traca, balsa traca, balsa gringo, caranchera, chupadera y minidraga)
Turnos por día por infraestructura	Hace referencia a la cantidad de turnos por día que se destinan a una determinada infraestructura minera. Esta pregunta también se realizó por cada tipo de infraestructura minera

Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

A partir de las encuestas, se obtuvieron valores referenciales del personal requerido para la realización de las actividades de extracción minera según cada tipo de infraestructura identificada y según el tipo de categoría territorial.

Tabla 6: Personas involucradas estimadas por zona de exclusión minera e infraestructura.

ZONA DE EXCLUSIÓN MINERA	TIPO DE EXTRACCIÓN	SIMBOLOGÍA	TURNO /DÍA	FACTOR
Comunidad nativa	Traca	Tipo 1	2	4
	Balsa traca	Tipo 2-B	2	5
	Balsa gringo	Tipo 2-BG	2	4
	Caranchera	Tipo 2-C	1	3
	Chute	Tipo 3	2	10
Cuerpos de agua	Traca	Tipo 1	2	4
	Balsa traca	Tipo 2-B	2	5
	Balsa gringo	Tipo 2-BG	2	4
	Caranchera	Tipo 2-C	1	3
	Chupadera	Tipo 2-CH	1	10
	Minidraga	Tipo 2-M	2	8
Fuera del corredor minero (fuera del área comprendida en el anexo 1 del D. L. N.° 1100)	Traca	Tipo 1	2	4
	Balsa traca	Tipo 2-B	2	5
	Balsa gringo	Tipo 2-BG	2	4
	Chute	Tipo 3	2	10
Zona de amortiguamiento	Traca	Tipo 1	2	4
	Chute	Tipo 3	2	10

Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

Las encuestas no solo permitieron conocer la cantidad de personas involucradas en la actividad minera, sino también las funciones de cada una de ellas. Asimismo, se identificaron tipos de extracción adicionales (ingenio, canaleta, arrastre) que no formaron parte de la estimación de la población minera al no haber podido ser fotointerpretados por los especialistas. Esto se debió a la insuficiente resolución espacial de las imágenes para la detección de dichas infraestructuras.

Tabla 7: Labores del personal minero según el tipo de extracción.

TIPO DE EXTRACCIÓN	PERSONAL	LABOR QUE DESEMPEÑA	N.º DE PERSONAS	TURNO	FACTOR DE CONVERSIÓN
Ingenio	01. Apoyo	Limpia el cauce de la fuente de agua	1	1	3
	02. Apoyo	Vigila la alfombra	1		
	03. Cocinera	Prepara los alimentos	1		
Canaleta	01. Apoyo	Suministra material al canal	1	1	3
	02. Yatero	Suministra agua a la zaranda	1		
	03. Cocinera	Prepara los alimentos	1		
Arrastre	01. Yatero	Dirige la manguera hacia el frente de minado	1	1	5
	02. Apoyo	Prepara el frente de minado	1		
	03. Apoyo	Limpieza del canal de derivación	1		
	04. Apoyo	Inspecciona la zaranda	1		
	05. Cocinera	Prepara los alimentos	1		
Carretilla Varia según número de carretillas	01. Carretillero	Carga material a la carretilla	1	1	3
	02. Yatero	Suministra agua a la tolva y zaranda	1		
	03. Cocinera	Prepara los alimentos	1		
Caranchera	01. Buzo	Dirige la manguera de succión	1	1	3
	02. Apoyo	Vigila la tolva y opera el motor	1		
	03. Cocinera	Prepara los alimentos	1		
Chupadera	01. Maraquero	Realiza la función de monitor	2	1	10
	02. Yatero	Dirige la manguera de succión	2		
	03. Retén	Apoyo en la operación minera	2		
	04. Bravo	Apoyo múltiple (logístico)	2		
	05. Machetero	Realiza la limpieza del bosque	1		
	06. Cocinera	Prepara los alimentos	1		
Balsa gringo	01. Buzo	Dirige la manguera de succión	1	2	4
	02. Apoyo	Vigila la tolva, opera el motor y conduce la balsa	2		
	03. Cocinera	Prepara los alimentos	1		
Traca Actividad informal	01. Traquero	Opera la traca	2	2	7
	02. Retén	Apoyo en la operación de la traca	2		
	03. Bravo	Apoyo múltiple (logístico)	1		
	04. Machetero	Realiza la limpieza del bosque	1		
	05. Cocinera	Prepara los alimentos	1		
Traca Actividad ilegal	01. Apoyo	Opera la traca	1	2	4
	02. Retén	Apoyo múltiple (logístico y operación)	2		
	03. Cocinera	Prepara los alimentos	1		
Balsa traca	01. Traquero	Opera las balsas y poleas (sistema de succión)	1	2	5
	02. Retén	Apoyo en la operación de la traca	2		
	03. Bravo	Apoyo múltiple (logístico)	1		
	04. Cocinera	Prepara los alimentos	1		
Minidraga	01. Traquero	Opera la balsa y poleas (sistema de succión)	2	2	8
	02. Retén	Apoyo en la operación de la traca	2		
	03. Bravo	Apoyo múltiple (logístico)	2		
	04. Titular	Dueño de la draga	1		
	05. Cocinera	Prepara los alimentos	1		

TIPO DE EXTRACCIÓN	PERSONAL	LABOR QUE DESEMPEÑA	N.º DE PERSONAS	TURNOS	FACTOR DE CONVERSIÓN
Chute Módulo básico Cargador frontal y/o excavadora	01. Titular	Realiza la gestión de provisión	1	2	10
	02. Operador	Opera la excavadora	1		
	03. Operador	Opera el cargador frontal	1		
	04. Apoyo	Apoyo múltiple (logístico)	3		
	05. Mecánico	Personal externo, pero continuo en la operación	1		
	06. Huaychulero	Opera la manguera del lavado de la draga	1		
	07. Machetero	Realiza la limpieza del bosque	1		
	08. Cocinera	Prepara los alimentos	1		
Chute Módulo completo Cargador frontal, excavadora y volquete	Explotación			2	16
	01. Titular	Opera la traca	1		
	02. Operador	Apoyo múltiple (logístico y operación)	2		
	03. Operador	Prepara los alimentos	2		
	04. Conductor	Opera las balsas y poleas (sistema de succión)	2		
	05. Apoyo	Apoyo en la operación de la traca	1		
	06. Mecánico	Apoyo múltiple (logístico)	1		
	07. Machetero	Prepara los alimentos	1		
	08. Cocinera	Opera la balsa y poleas (sistema de succión)	2		
	Beneficio				
	09. Huaychulero	Lavado de gravas	2		
10. Apoyo	Apoyo múltiple (logístico)	1			
11. Encargado de mina	Supervisa la operación minera	1			

Fuente: ACCA y Proyecto Prevenir de USAID (2022).

5.7. UBICACIÓN Y CLASIFICACIÓN POR ACTIVIDAD LEGAL, INFORMAL E ILEGAL

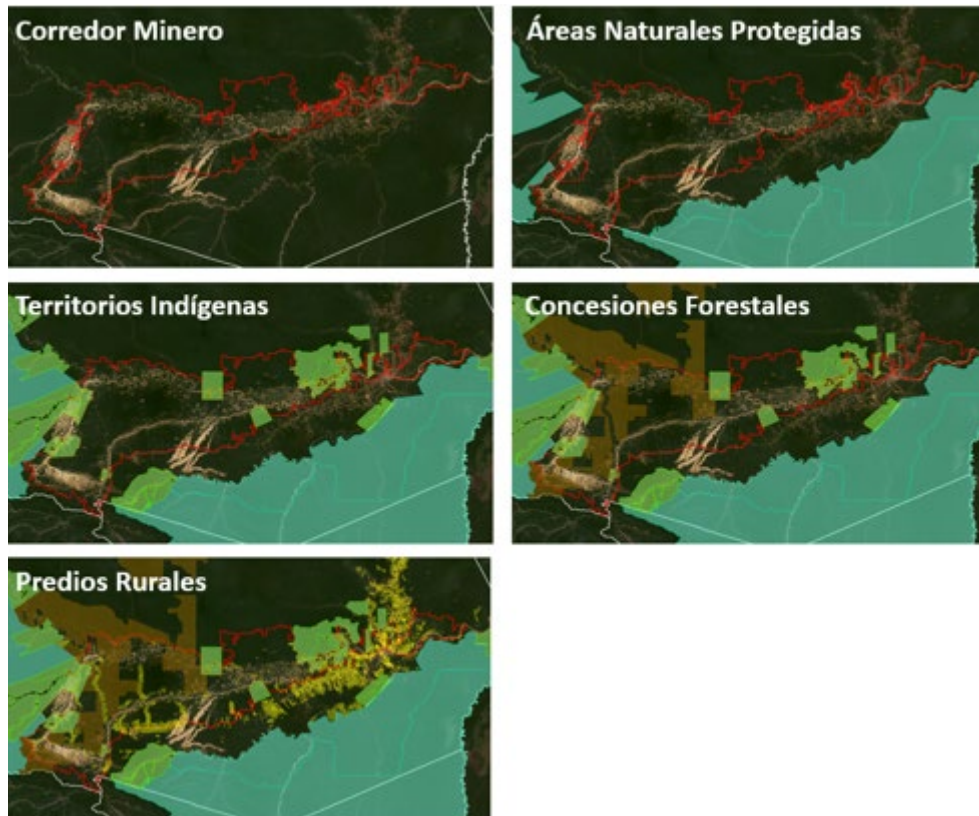
Luego de aplicar los factores de conversión para estimar el número de personas involucradas con las infraestructuras mineras identificadas, se realizó un análisis de las infraestructuras ubicadas en comunidades nativas, áreas naturales protegidas y sus zonas de amortiguamiento; así como respecto de otros derechos, como las concesiones forestales y los predios agrícolas, con la finalidad de clasificar la actividad que realizan como "legal", "informal" o "ilegal". A continuación, se describe lo que, para efectos y alcances del presente estudio, con base en la legislación vigente sobre la materia, se entiende en cada caso:

Actividad minera formal: considera aquella ubicada en concesiones mineras vigentes que han recibido la resolución de inicio y reinicio de actividades mineras por parte de la autoridad regional competente, al haber cumplido con la obtención de los permisos y autorizaciones contemplados en la legislación.

Actividad minera informal: la actividad minera ubicada dentro de la zona de pequeña minería y minería artesanal de Madre de Dios, aprobada en el anexo I del Decreto Legislativo N.º 1100, con exclusión de las áreas de concesiones mineras ya formalizadas (categorizadas como actividad minera formal); y la ubicada en áreas consideradas prohibidas donde se desarrolla minería ilegal.

Actividad minera ilegal: se ha clasificado así a la actividad minera asociada a la infraestructura detectada en el marco del presente estudio, que se ubica en una o más de las siguientes categorías territoriales: (1) opera fuera de la zona de pequeña minería y minería artesanal de Madre de Dios o "corredor minero"; (2) opera en comunidades nativas; (3) opera en áreas naturales protegidas o sus zonas de amortiguamiento; (4) fue identificada en cuerpos de agua naturales en la fase de análisis de las imágenes satelitales.

Figura 35: Ubicación y clasificación de actividad minera en diferentes usos y categorías territoriales en Madre de Dios.



Fuente: elaboración propia.

5.8. ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN MINERA POR CATEGORÍA

Finalmente, con la base de datos y los factores de conversión específicos por infraestructura y categoría territorial, se multiplicó dicho factor por la cantidad de infraestructuras correspondientes. Luego, se sumó el total de personas involucradas en la actividad minera formal, informal e ilegal, y se estimó la población minera. Para el cálculo de la población minera, se empleó la siguiente fórmula:

$$X = \sum_k (N_k * q_k * z_k)$$

Donde:

- X: población minera estimada
- k: tipo de infraestructura identificada
- N: cantidad de infraestructuras contabilizadas
- q: factor de conversión calculado
- z: número de turnos

Por ejemplo, para la estimación de la cantidad de población minera relacionada con tracas (tipo 1), se utiliza la cantidad de tracas contabilizadas. Asimismo, tomando como referencia la tabla 6, el factor de conversión (q) para dicha infraestructura es 4 y el número de turnos (z) es 2. Por ello, la cantidad de tracas contabilizadas (N) se multiplicará por 4 y luego por 2, lo que da como resultado la población minera relacionada con tracas. Este procedimiento se realizará para cada tipo de infraestructura identificada.

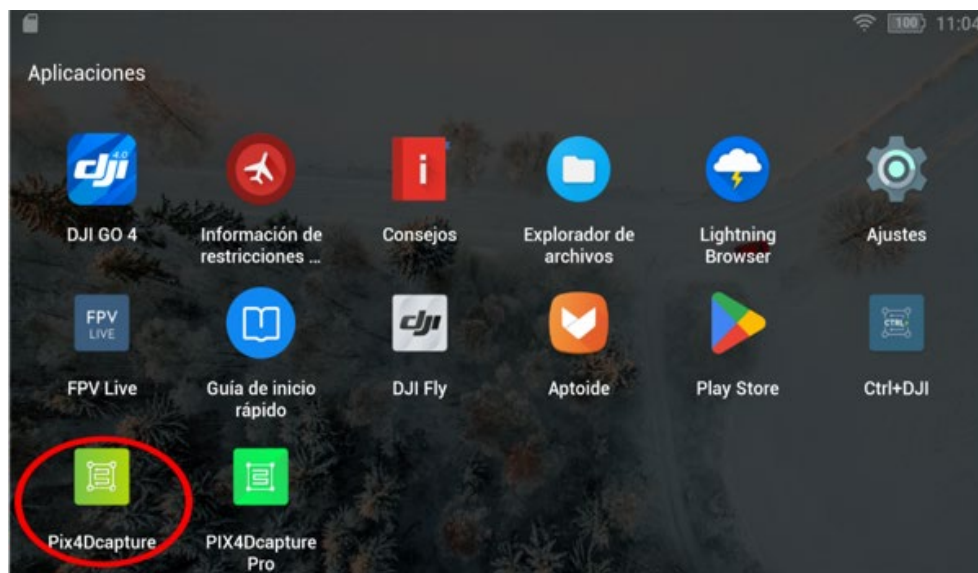
5.9. PLANIFICACIÓN PARA LA VERIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS MINERAS EN CAMPO MEDIANTE EL USO DE DRONES

La planificación para la verificación de infraestructuras mineras en campo mediante el uso de drones implica recopilar datos geoespaciales y visuales de las operaciones mineras en una zona de interés. Este enfoque permite una inspección eficiente y detallada de las infraestructuras mineras, incluso en áreas de difícil acceso.

5.9.1. PLANIFICACIÓN DE VUELOS DE DRON CON PIX4DCAPTURE

Primero, en el dispositivo móvil o *smart controller*, se instalan los aplicativos Pix4Dcapture y Control+DJI, los cuales se utilizan para planificar la misión y para el vuelo automático. A continuación, se da clic en Pix4Dcapture para el inicio y exploración.

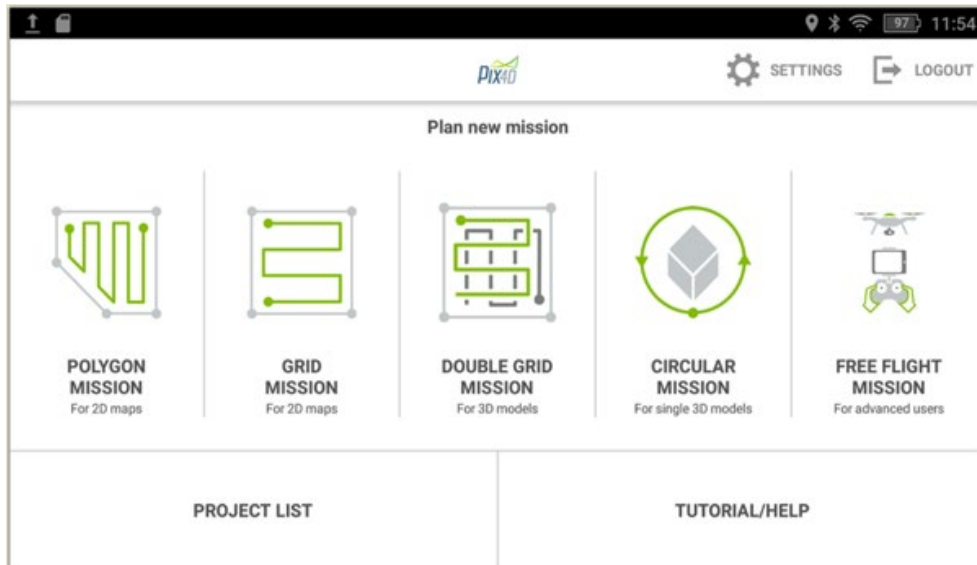
Figura 36: Aplicación móvil Pix4Dcapture.



Fuente: elaboración propia.

Luego, se ingresa a la pestaña "Settings".

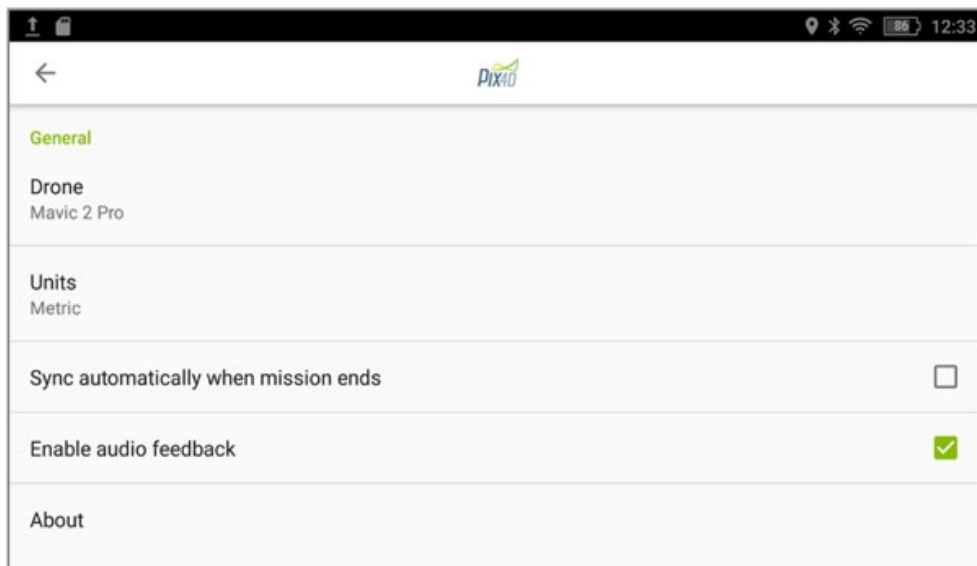
Figura 37: Aplicación móvil Pix4Dcapture – pantalla principal.



Fuente: elaboración propia.

La interfaz permite elegir el dron deseado y seleccionar el tipo de unidades de medición. Una vez hecho esto, se retrocede presionando la flecha a la izquierda hasta volver a la ventana inicial.

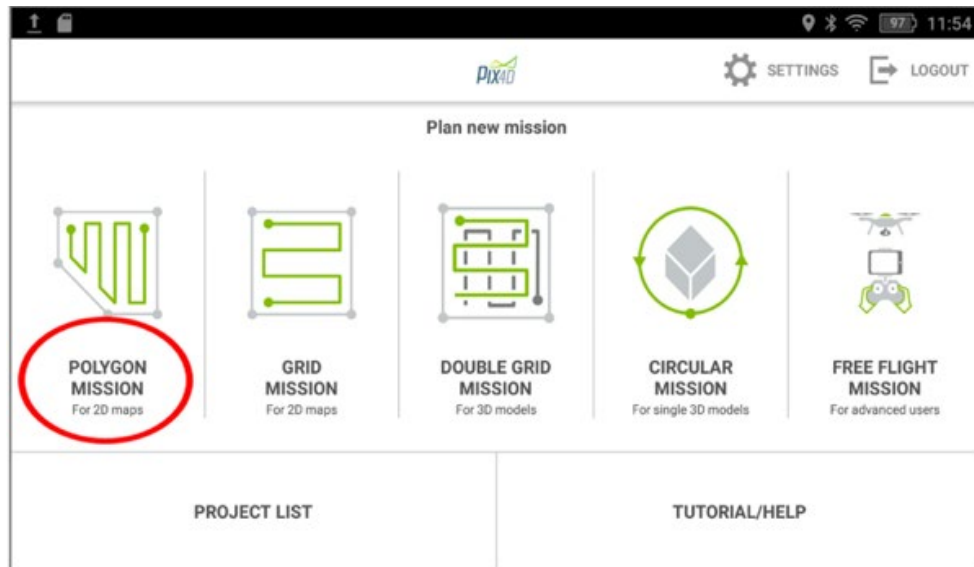
Figura 38: Aplicación móvil Pix4Dcapture – configuración.



Fuente: elaboración propia.

Se da clic en el botón Polygon Mission (misión polígono).

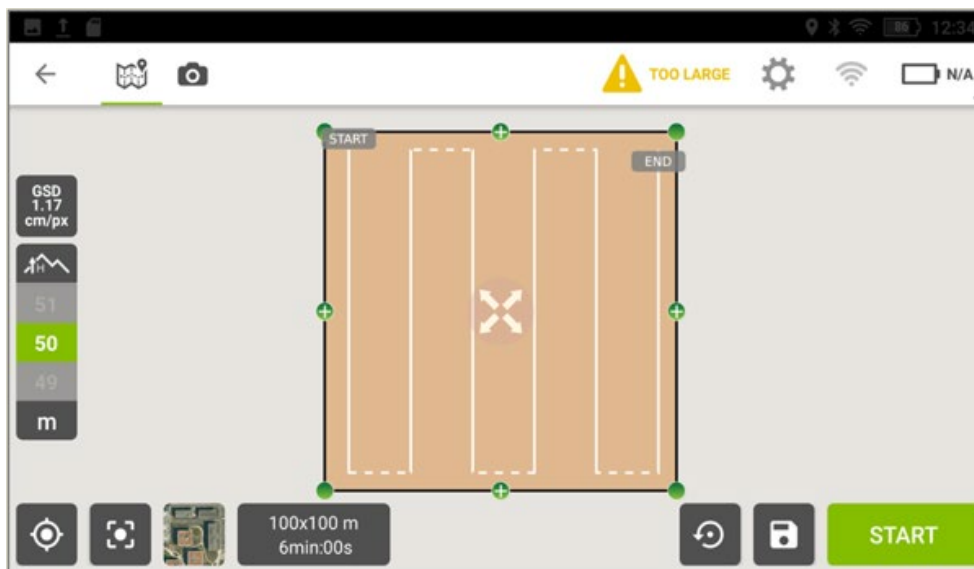
Figura 39: Aplicación móvil Pix4Dcapture – *polygon mission*.



Fuente: elaboración propia.

La interfaz muestra el polígono en la última zona de interés marcada en el mapa. Se guarda el mapa para usar el archivo KML con la zona de interés elaborada con anterioridad usando el software SIG.

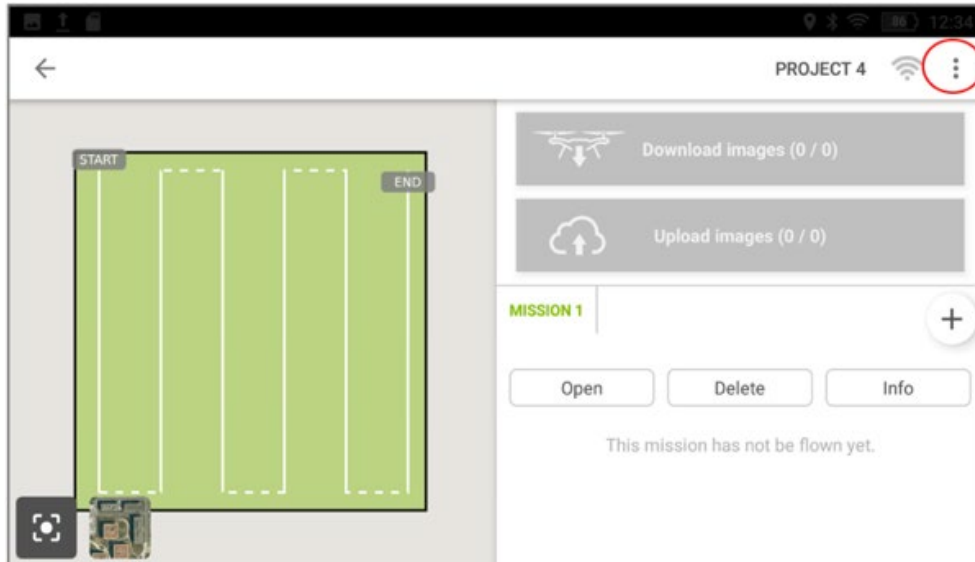
Figura 40: Aplicación móvil Pix4Dcapture – *polygon mission*.



Fuente: elaboración propia.

Al presionar el botón con tres puntos de la esquina superior derecha, se puede definir el nombre del proyecto.

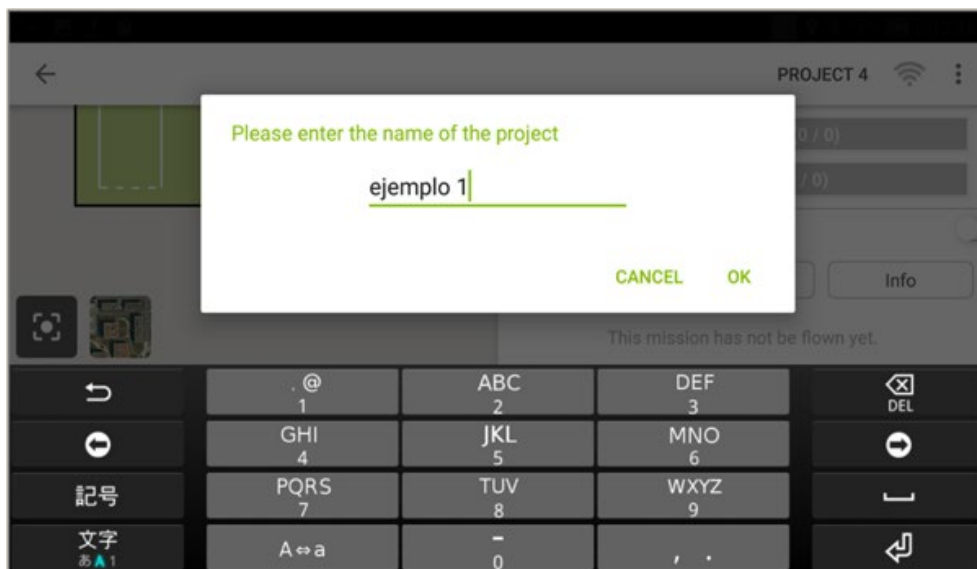
Figura 41: Aplicación móvil Pix4Dcapture – *polygon mission*.



Fuente: elaboración propia.

A continuación, aparece una ventana emergente que permite confirmar el nombre del proyecto.

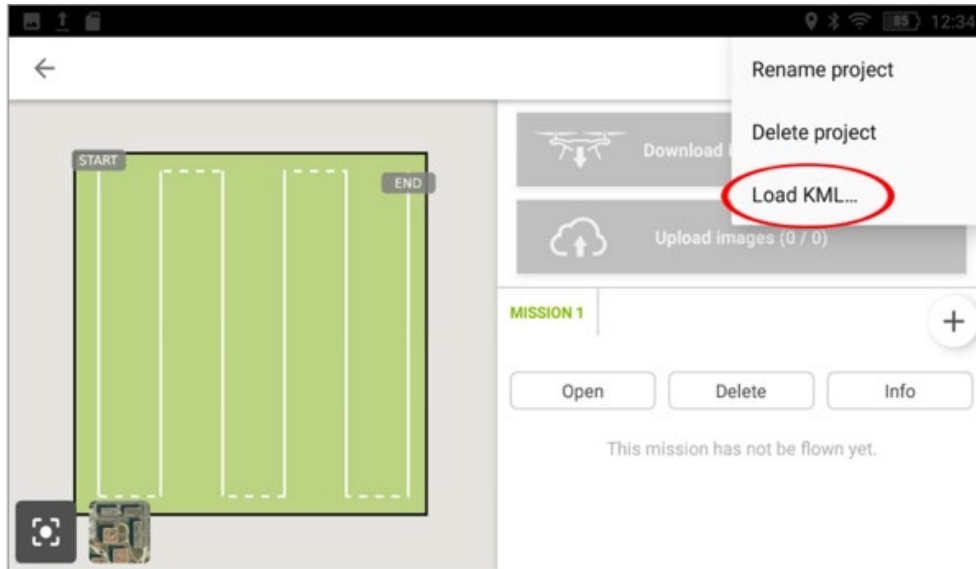
Figura 42: Aplicación móvil Pix4Dcapture – renombrar el proyecto.



Fuente: elaboración propia.

Al presionar el mismo botón con tres puntos en la parte superior derecha, se puede cargar el archivo KML en el proyecto.

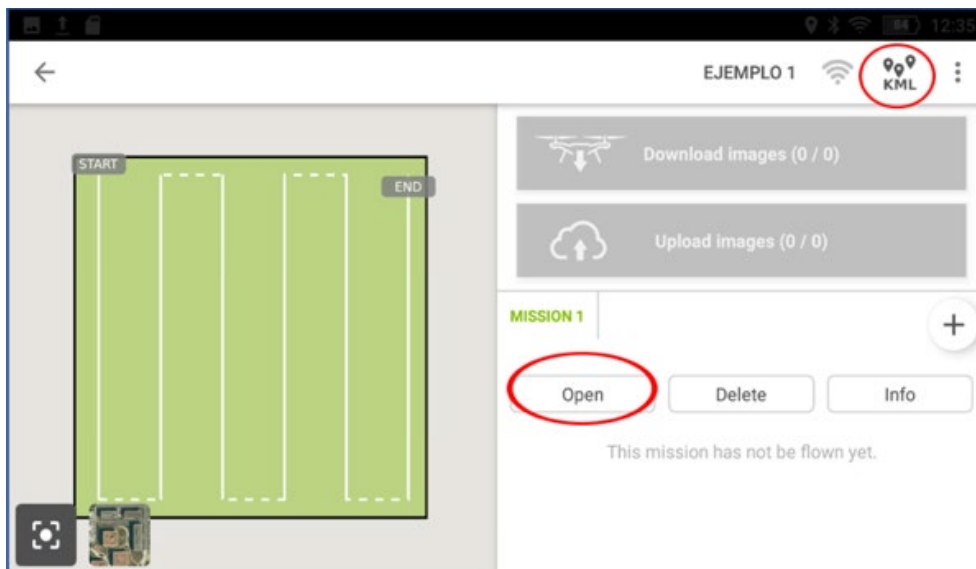
Figura 43: Aplicación móvil Pix4Dcapture – cargar KML.



Fuente: elaboración propia.

La interfaz permite buscar la carpeta donde previamente se cargó el archivo KML. Esto hace que aparezca un ícono que confirma la existencia de un archivo KML ya cargado.

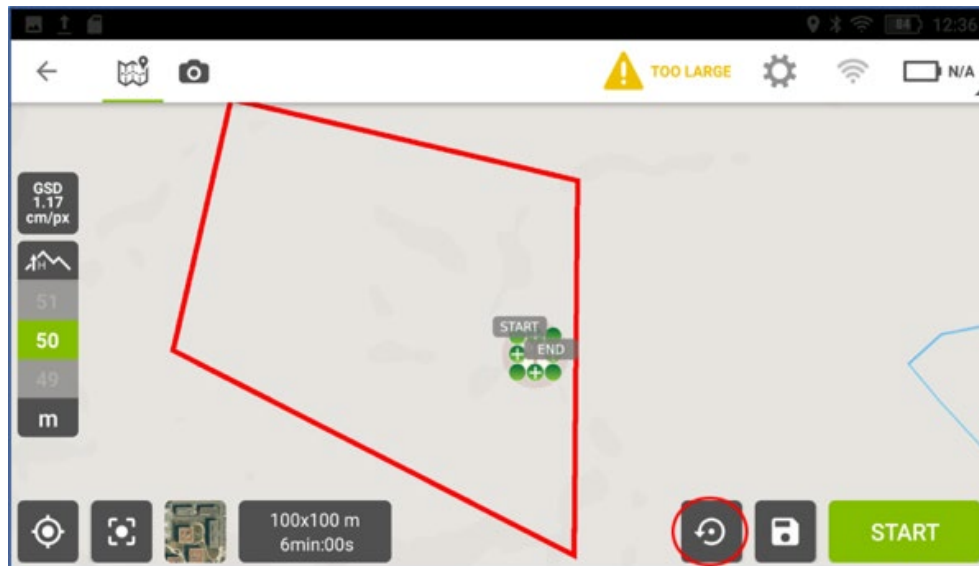
Figura 44: Aplicación móvil Pix4Dcapture – cargar KML.



Fuente: elaboración propia.

Se busca la ubicación del polígono KML y se presiona el botón con la flecha circular para ubicar el polígono de vuelo en el lugar del KML.

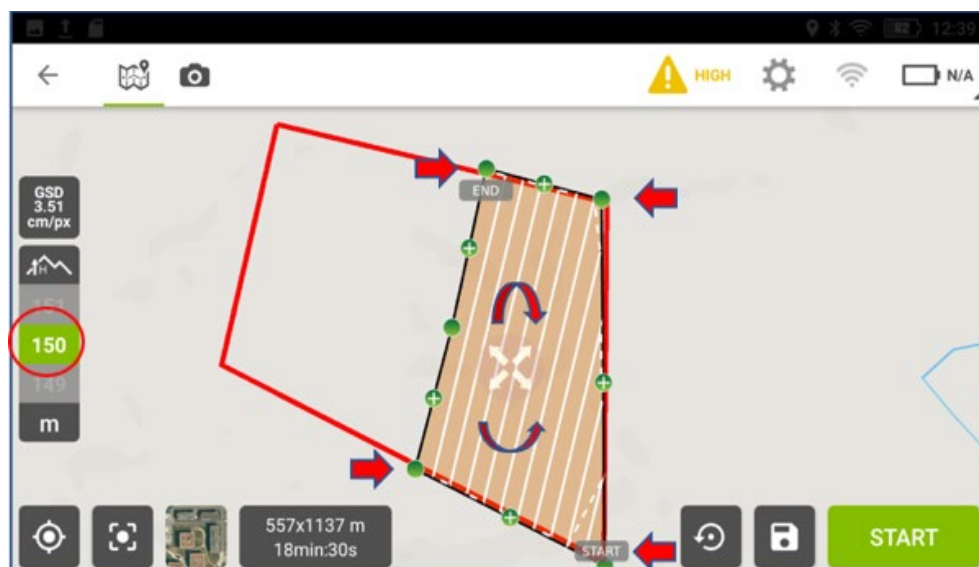
Figura 45: Aplicación móvil Pix4Dcapture – ubicar KML.



Fuente: elaboración propia.

Esta interfaz permite extender el área hasta que encaje, mediante el control de los vértices verdes del polígono. Por otra parte, al interactuar con el centro se puede mover todo el polígono y también se pueden girar las líneas de vuelo del dron. En el presente caso, la zona de interés es muy grande por lo que se planifican tres sesiones. En el centro, se fija la altura de vuelo en 150 m, que es la medida más adecuada.

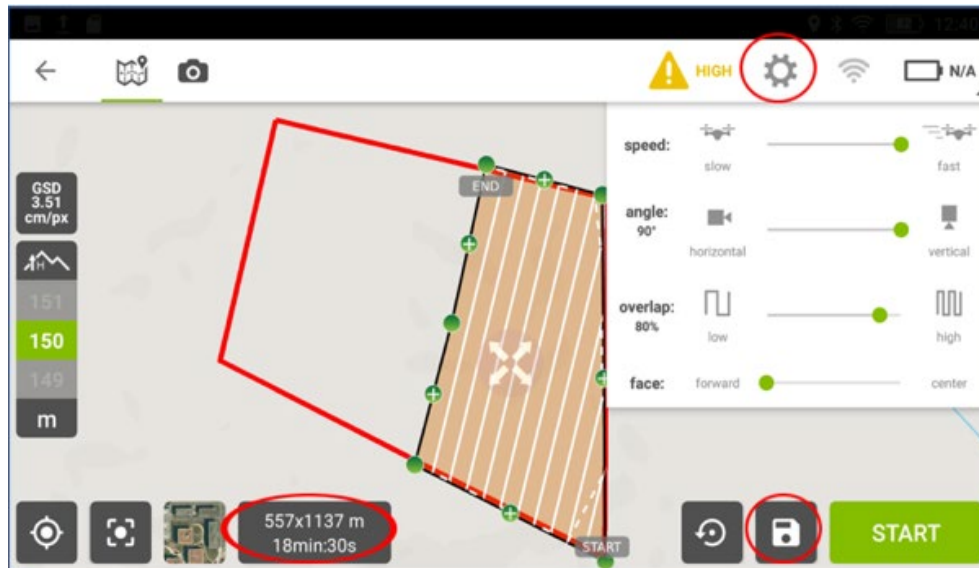
Figura 46: Aplicación móvil Pix4Dcapture – mover KML.



Fuente: elaboración propia.

Se recomienda revisar siempre los parámetros de vuelo. Esto se realiza presionando la rueda dentada en la parte superior. Se debe tener en cuenta que el tiempo total de vuelo no es el indicado en la pantalla: solo se indica el tiempo de vuelo en el polígono, sin incluir el tiempo de subida y bajada ni el desplazamiento desde el lugar de inicio del vuelo, tanto en el despegue como en el aterrizaje. Se recomienda guardar el proyecto con las modificaciones realizadas.

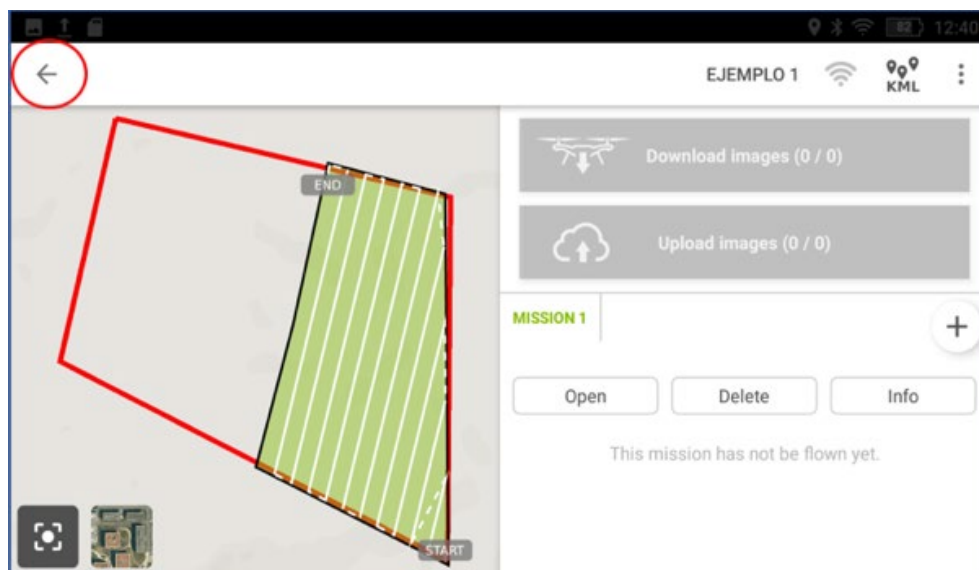
Figura 47: Aplicación móvil Pix4Dcapture – mover KML.



Fuente: elaboración propia.

Luego, se verifica que se hayan guardado todos los cambios y se hace clic en la flecha.

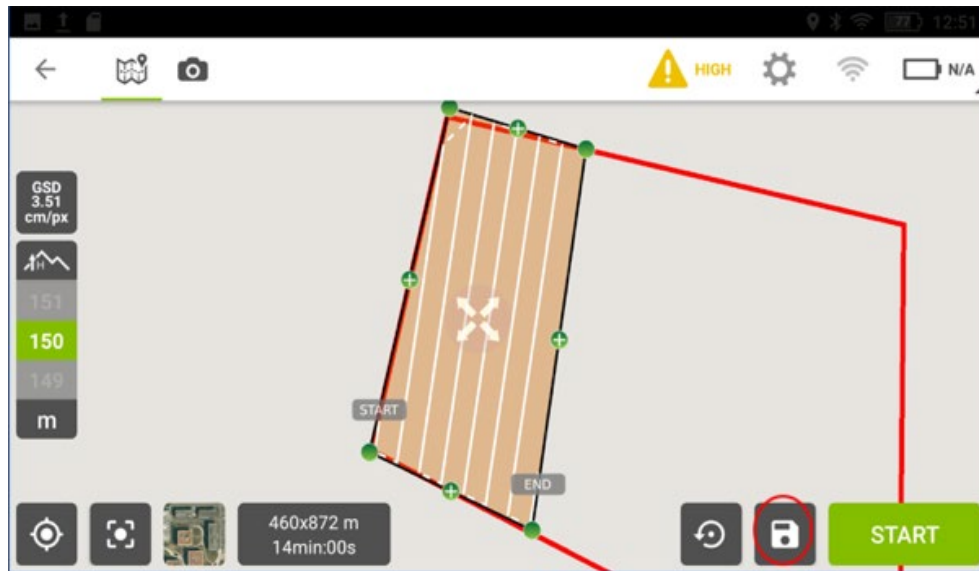
Figura 48: Aplicación móvil Pix4Dcapture – verificar proyecto.



Fuente: elaboración propia.

El procedimiento descrito se repitió hasta completar el área de interés, y se grabó con un nombre diferente cada proyecto o misión.

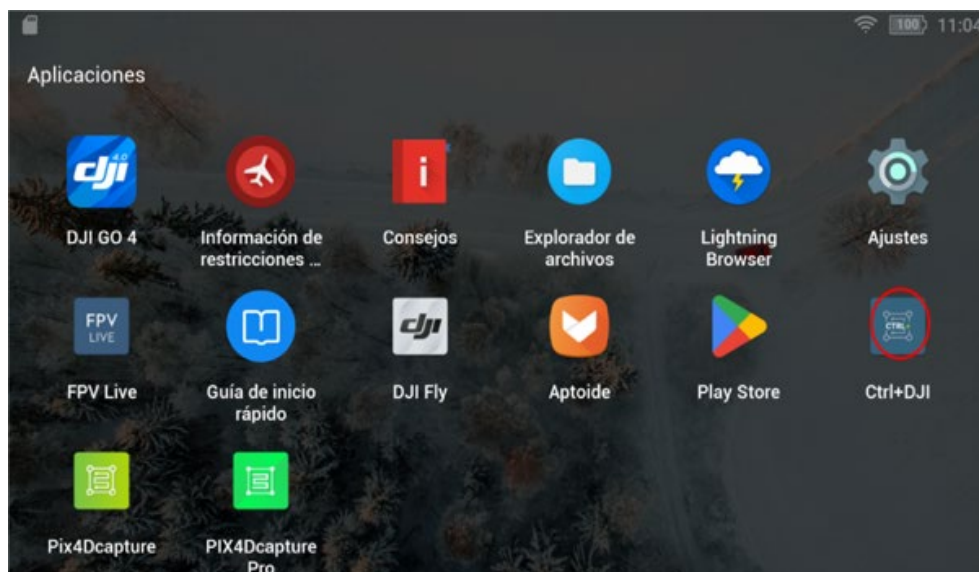
Figura 49: Aplicación móvil Pix4Dcapture – creación de otros proyectos hasta culminar el área de interés.



Fuente: elaboración propia.

Se ejecutó la misión usando el aplicativo Ctrl+DJI. Para ello, se recomienda seleccionar una buena ubicación, de preferencia lo más cerca posible al área de interés. Se debe tener el dron y el control encendidos, y el dispositivo móvil conectado al control.

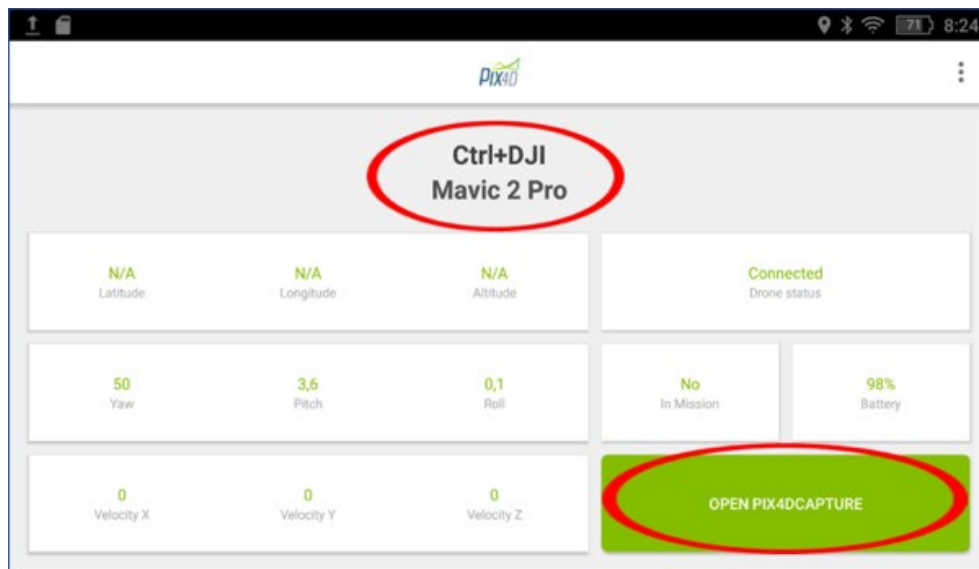
Figura 50: Aplicación móvil Ctrl+DJI.



Fuente: elaboración propia.

Se revisa que se vea el modelo del dron en la parte central, y luego se abre el aplicativo Pix4Dcapture.

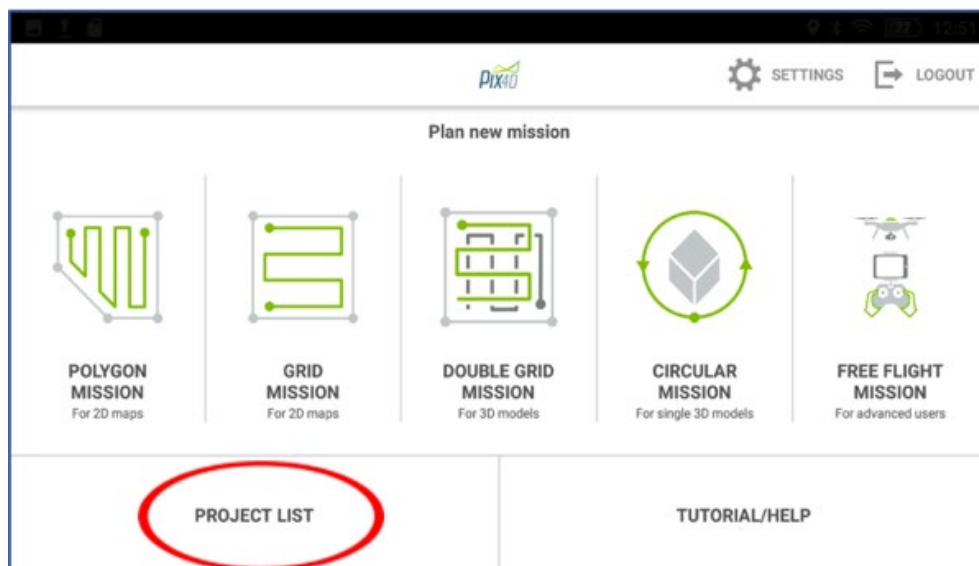
Figura 51: Aplicación móvil Ctrl+DJI – abrir proyecto/misión.



Fuente: elaboración propia.

Se abre la lista de proyectos.

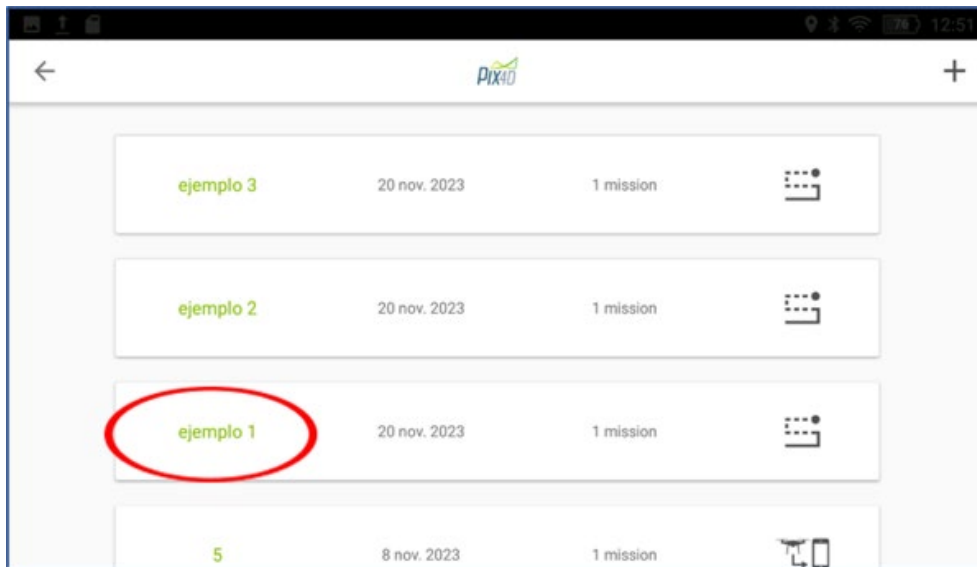
Figura 52: Aplicación móvil Ctrl+DJI – lista de proyectos.



Fuente: elaboración propia.

En la lista de proyectos, se identifica el proyecto de interés.

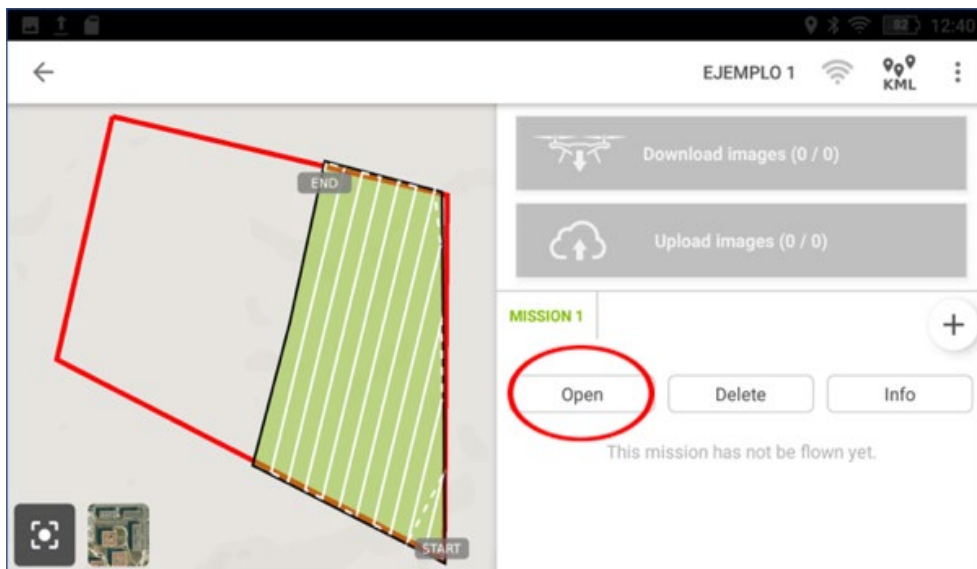
Figura 53: Aplicación móvil Ctrl+DJI – proyecto de interés.



Fuente: elaboración propia.

Luego, se abre el proyecto guardado.

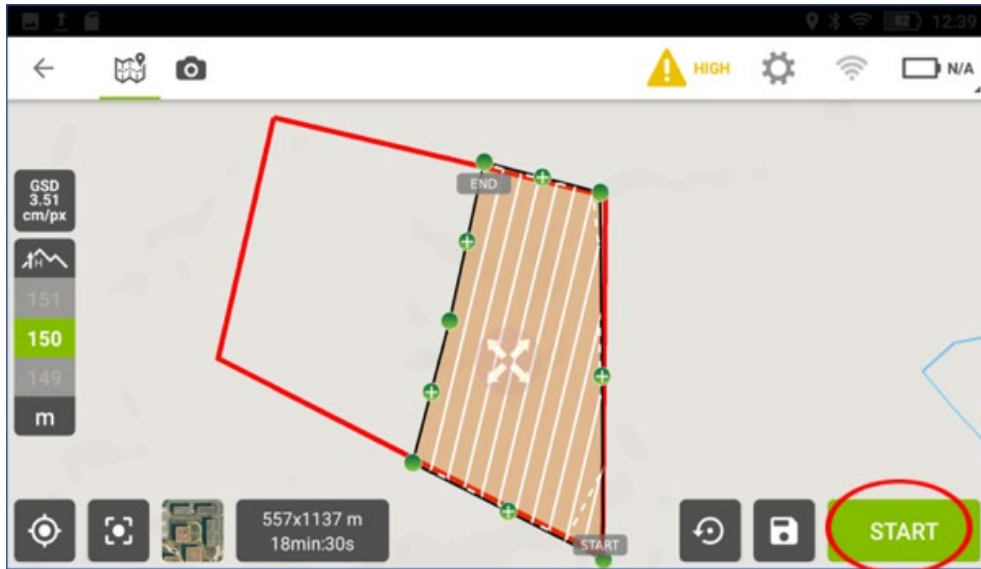
Figura 54: Aplicación móvil Ctrl+DJI – abrir proyecto.



Fuente: elaboración propia.

Se verifica que los parámetros sean los correctos, así como el tiempo de vuelo, y se hace clic en el botón "Comenzar".

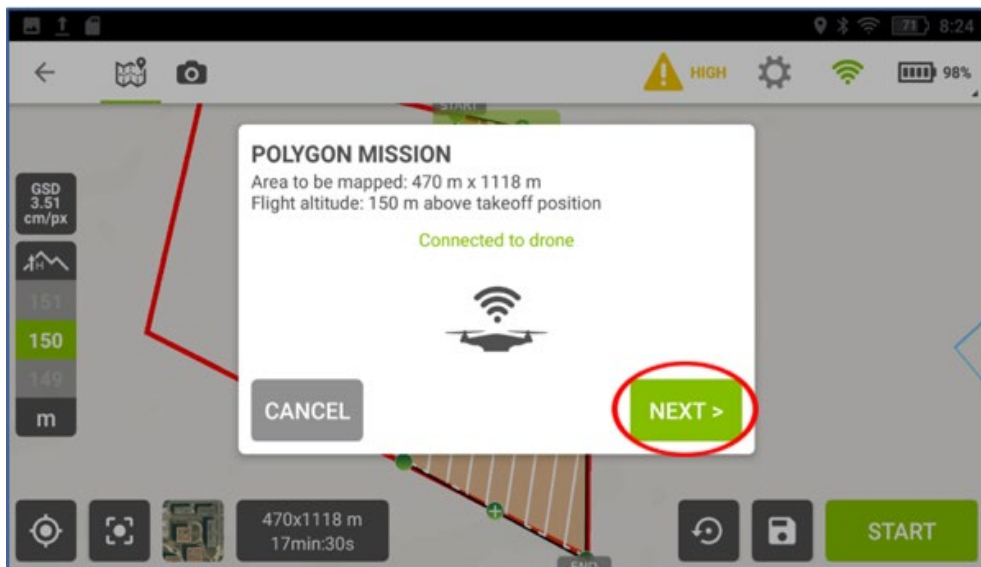
Figura 55: Aplicación móvil Ctrl+DJI – iniciar misión.



Fuente: elaboración propia.

El programa verifica que el dron esté conectado. Luego, se presiona el botón "Siguiente".

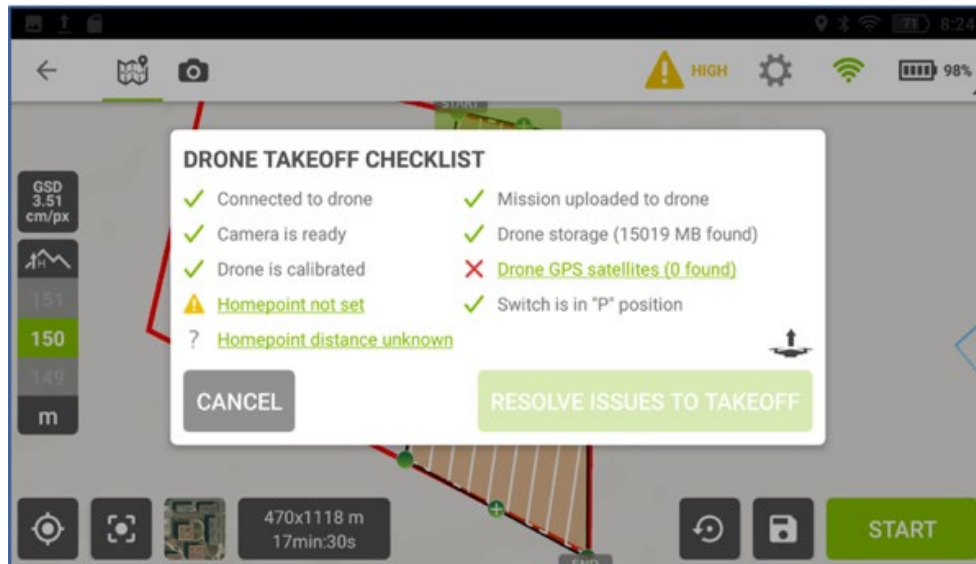
Figura 56: Aplicación móvil Ctrl+DJI – iniciar misión.



Fuente: elaboración propia.

Se revisan todos los puntos del *checklist* y se presiona la opción de despegar. En la figura 57, por ejemplo, el *checklist* no es correcto porque se tomó la captura en un lugar alejado del área de interés y en el interior de un edificio que bloquea la señal del GPS.

Figura 57: Aplicación móvil Ctrl+DJI – *checklist*.



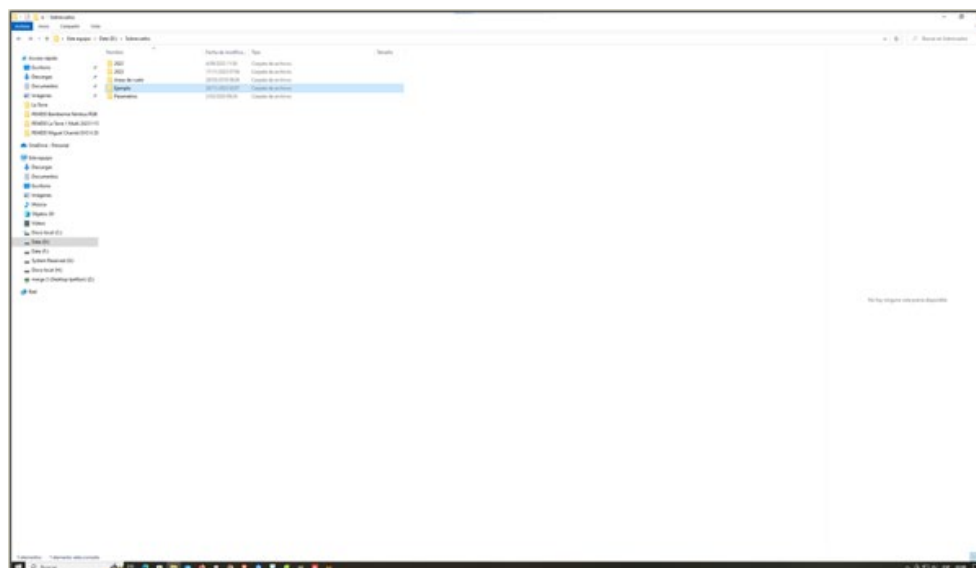
Fuente: elaboración propia.

5.9.2. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DE DRON

• PROCESAMIENTO EN AGISOFT METASHAPE

Se crea la carpeta principal, donde se almacenan todas las imágenes de dron y se exportan los productos resultantes.

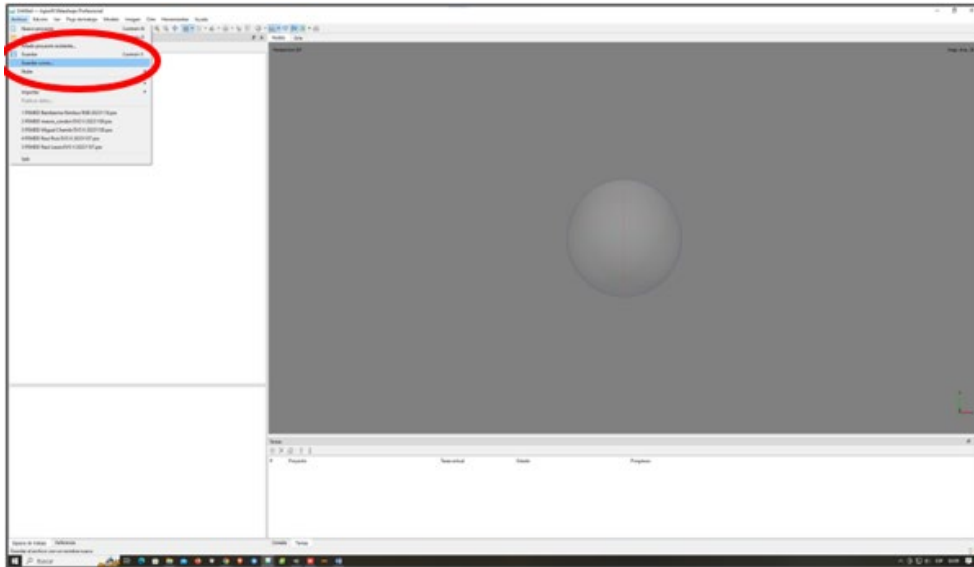
Figura 58: Creación de nueva carpeta para el proyecto.



Fuente: elaboración propia.

Se abre el *software* Agisoft Metashape, previamente instalado, y se guarda el nuevo proyecto en la carpeta antes creada.

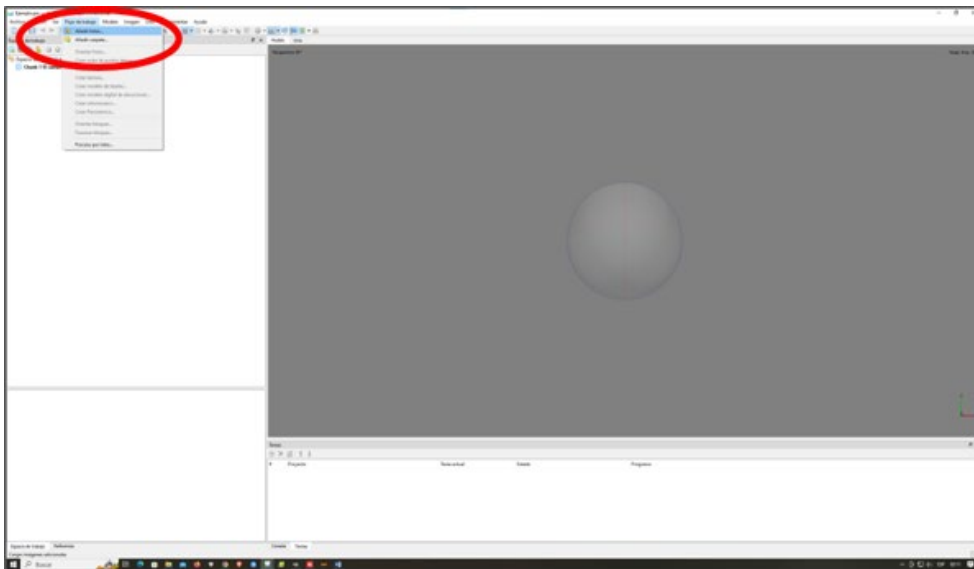
Figura 59: Aplicación Agisoft Metashape.



Fuente: elaboración propia.

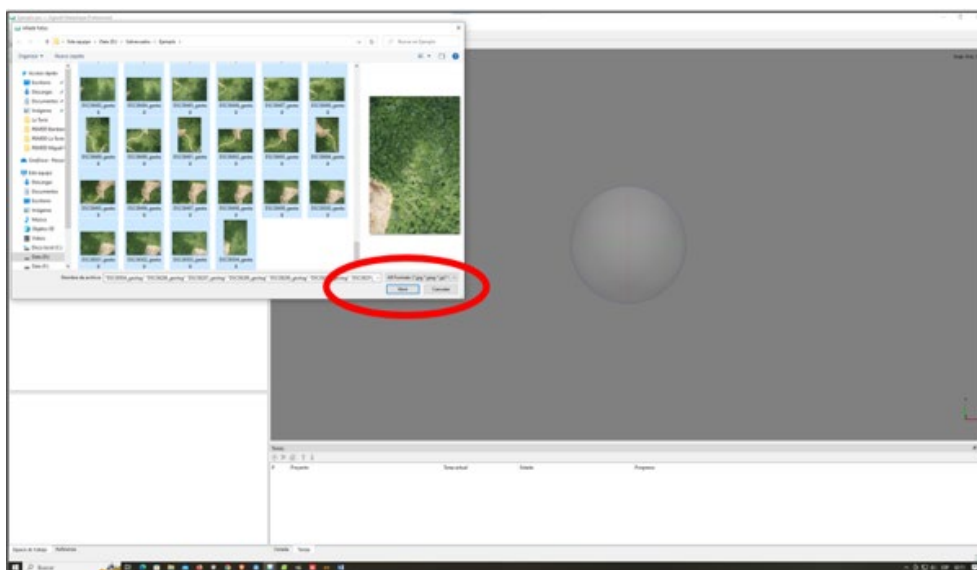
Se agregan las imágenes del dron al proyecto actual. Para ello, se selecciona la opción "Añadir fotos" en la pestaña "Flujo de trabajo". Se abre la carpeta y se marcan todas las fotos de interés.

Figura 60: Aplicación Agisoft Metashape – pestaña "Flujo de trabajo".



Fuente: elaboración propia.

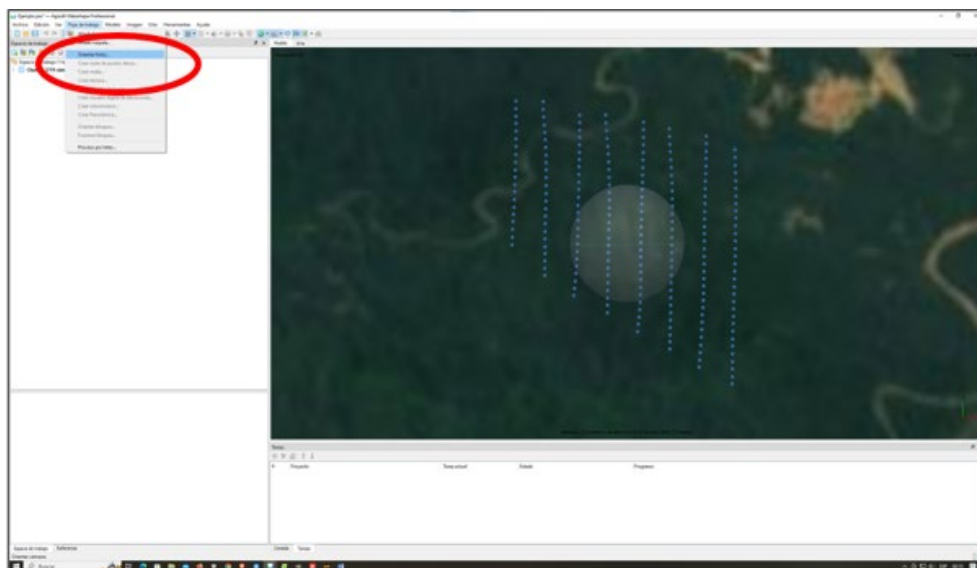
Figura 61: Aplicación Agisoft Metashape – importar fotos.



Fuente: elaboración propia.

Se puede visualizar la ubicación de las fotos en el mapa del proyecto. Para orientar todas las fotos es necesario dirigirse a la pestaña "Flujo de trabajo".

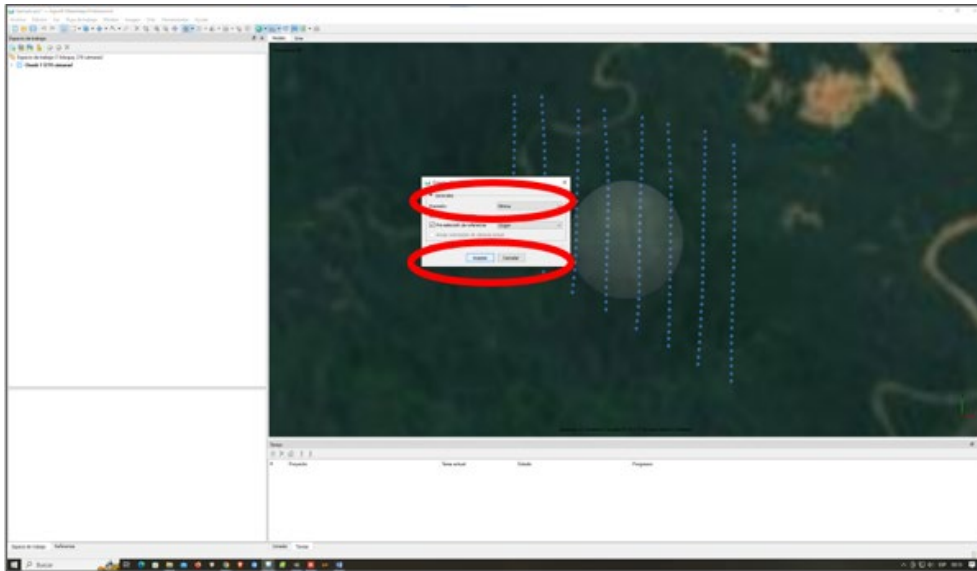
Figura 62: Aplicación Agisoft Metashape – orientar fotos.



Fuente: elaboración propia.

La precisión se deja en media o mínima, dependiendo del rendimiento y la potencia de la computadora o *laptop* usada, y se confirma haciendo clic en "Aceptar".

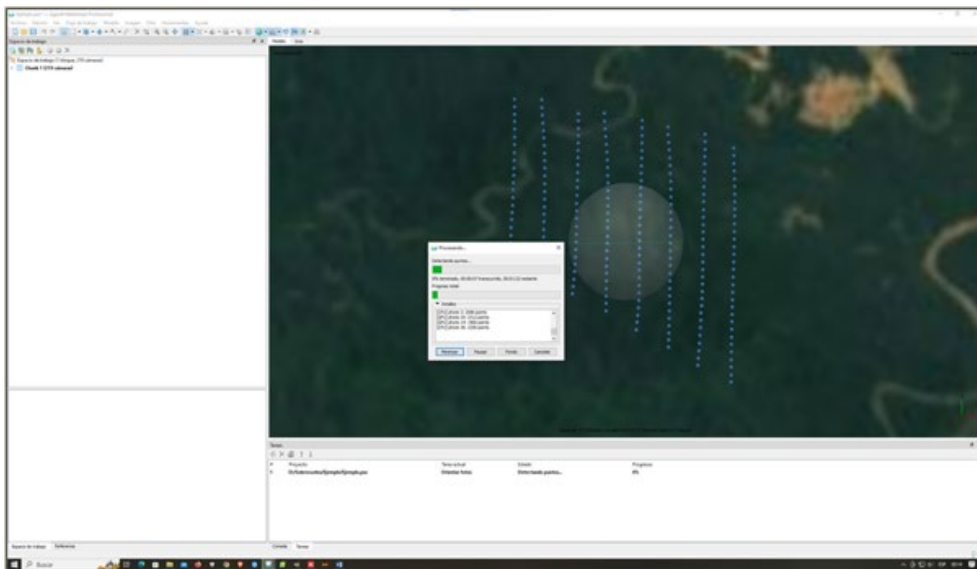
Figura 63: Aplicación Agisoft Metashape – precisión.



Fuente: elaboración propia.

La ejecución del proceso toma algunos minutos, dependiendo del número de fotos y la potencia del *hardware*.

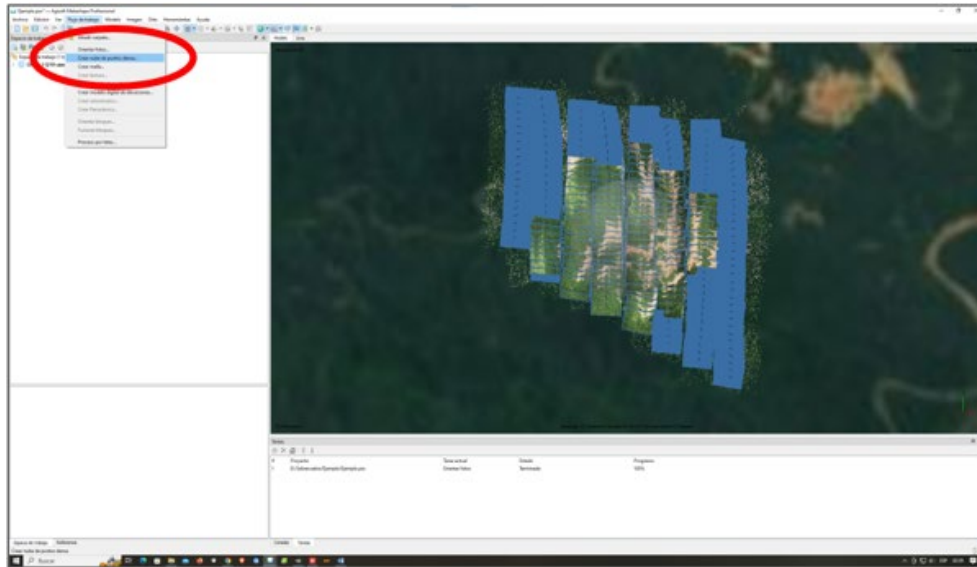
Figura 64: Aplicación Agisoft Metashape – procesamiento.



Fuente: elaboración propia.

Luego del procedimiento, se pueden observar las fotos del dron en sus posiciones y con la orientación correcta. Luego, se selecciona la opción "Crear nube de puntos densa".

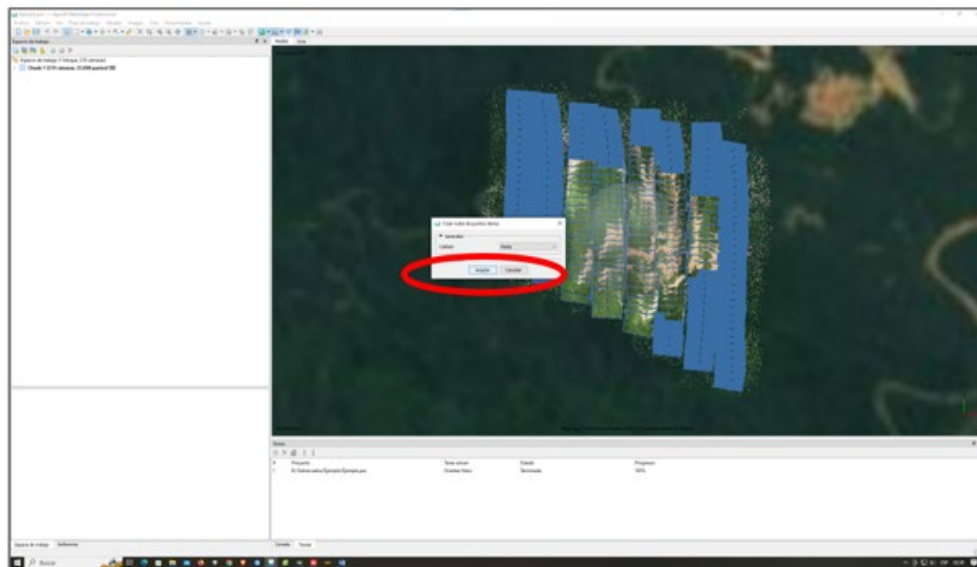
Figura 65: Aplicación Agisoft Metashape – visualización de imágenes.



Fuente: elaboración propia.

La calidad es proporcional al tiempo de procesamiento. En este ejemplo, se selecciona la calidad media para que no tome mucho tiempo. Luego se confirma.

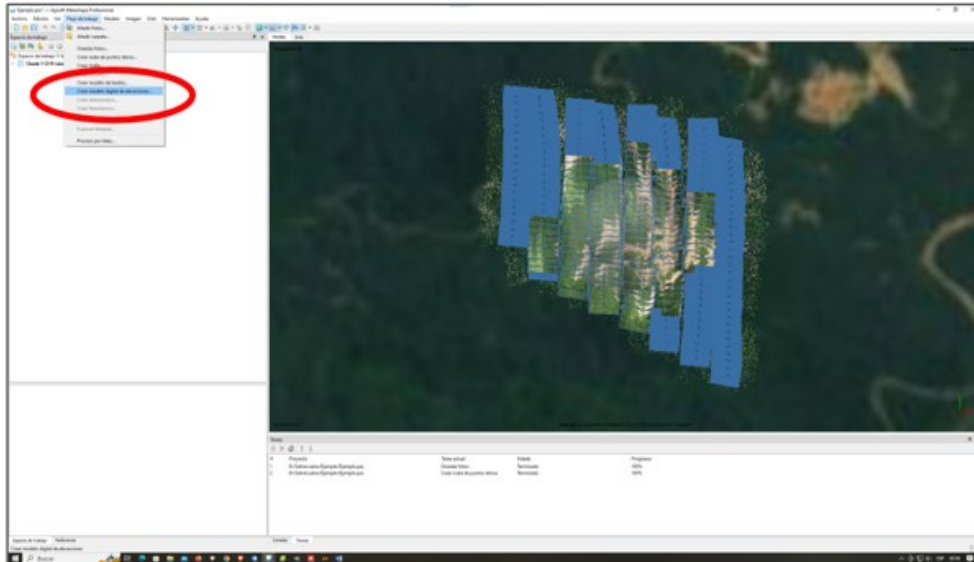
Figura 66: Aplicación Agisoft Metashape – nube de puntos densa.



Fuente: elaboración propia.

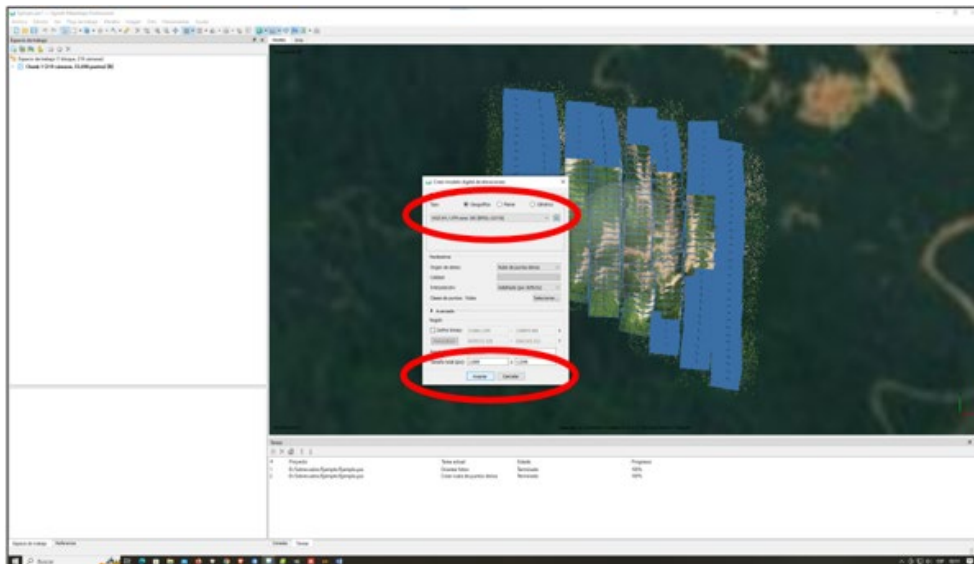
El siguiente paso es crear los modelos digitales de elevación. Para ello, es necesario configurar correctamente la proyección geográfica, de acuerdo con la región donde se realizó el sobrevuelo. En este caso fue WGS-84 / UTM zona 19S. Luego de este procedimiento, se hace clic en "Aceptar".

Figura 67: Aplicación Agisoft Metashape – crear DEM.



Fuente: elaboración propia.

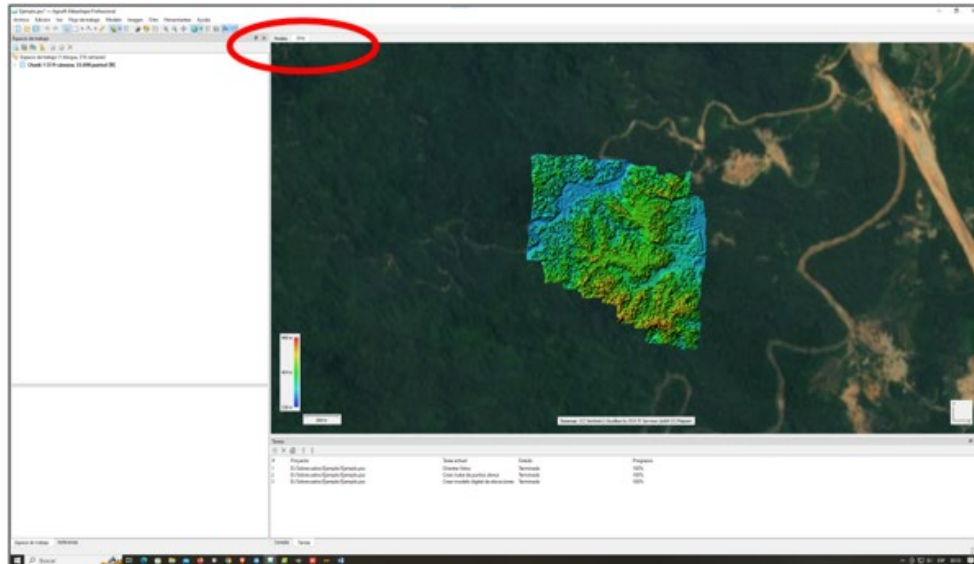
Figura 68: Aplicación Agisoft Metashape – configuración del DEM.



Fuente: elaboración propia.

Al terminar, se puede visualizar el Modelo Digital de Elevación (DEM) del terreno generado al presionar la opción "Orto".

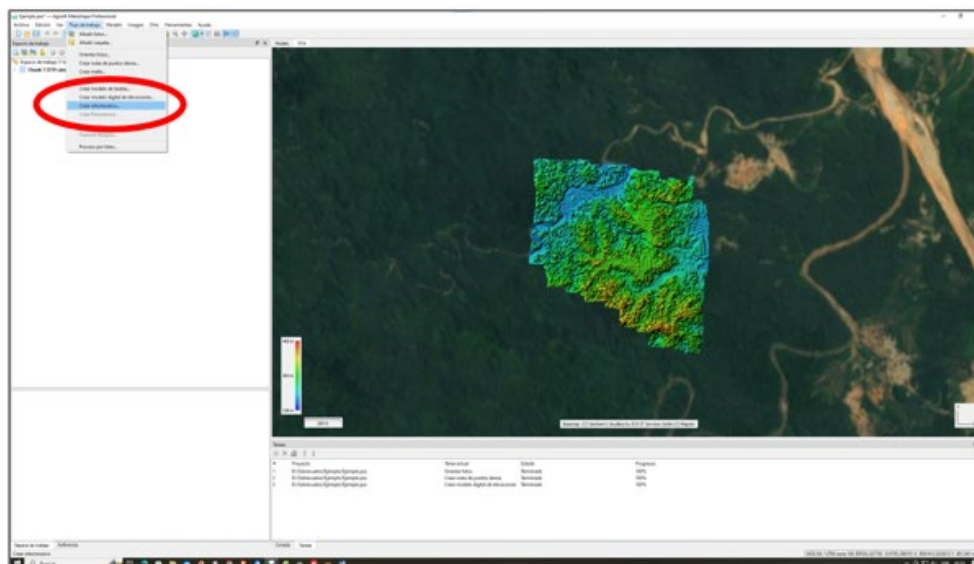
Figura 69: Aplicación Agisoft Metashape – visualización del DEM.



Fuente: elaboración propia.

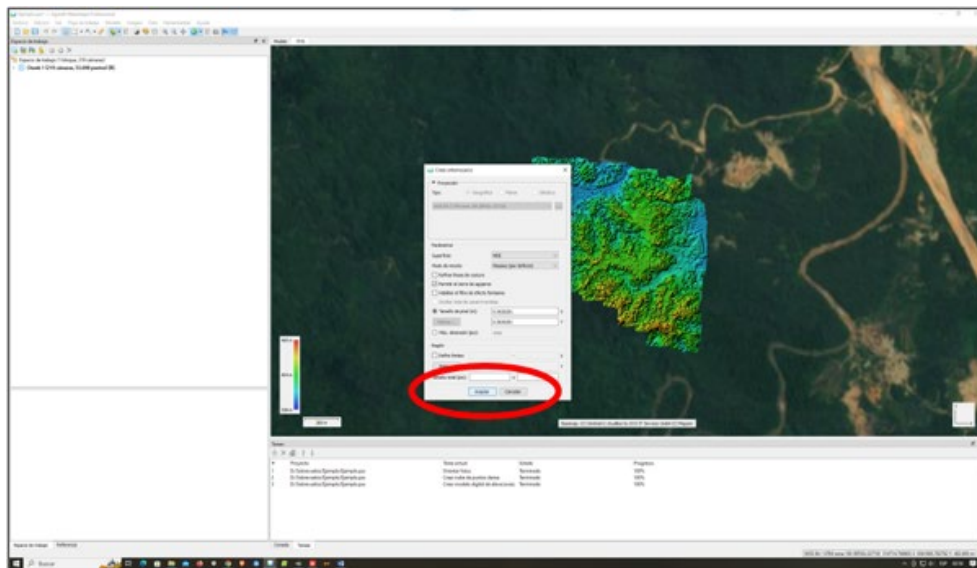
Además, se puede generar el ortomosaico presionando la opción "Crear ortomosaico". Luego, se da clic en "Aceptar". Cabe mencionar que esta es la etapa más larga del proceso.

Figura 70: Aplicación Agisoft Metashape – crear ortomosaico.



Fuente: elaboración propia.

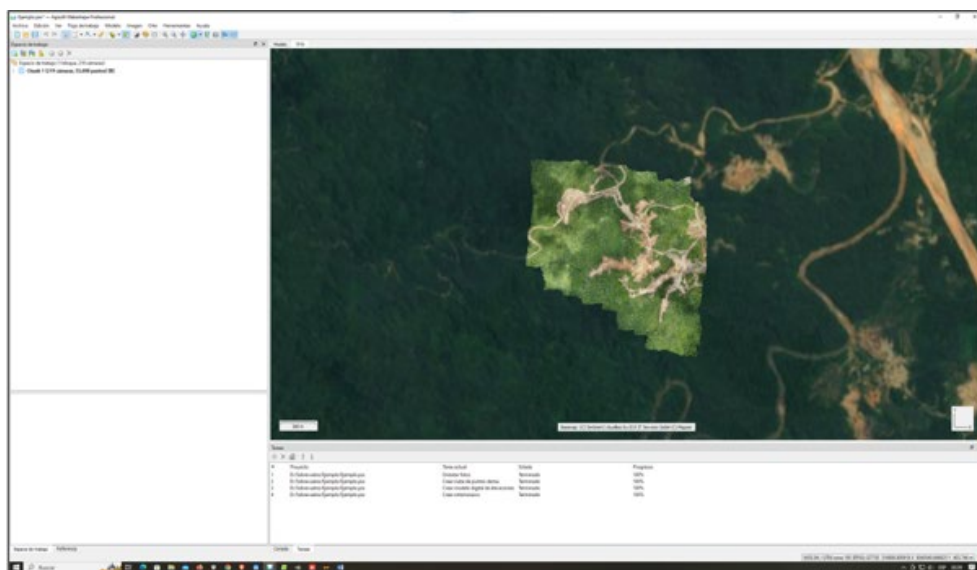
Figura 71: Aplicación Agisoft Metashape – configuración del ortomosaico.



Fuente: elaboración propia.

Al terminar, se puede ver el ortomosaico ubicado en el mapa.

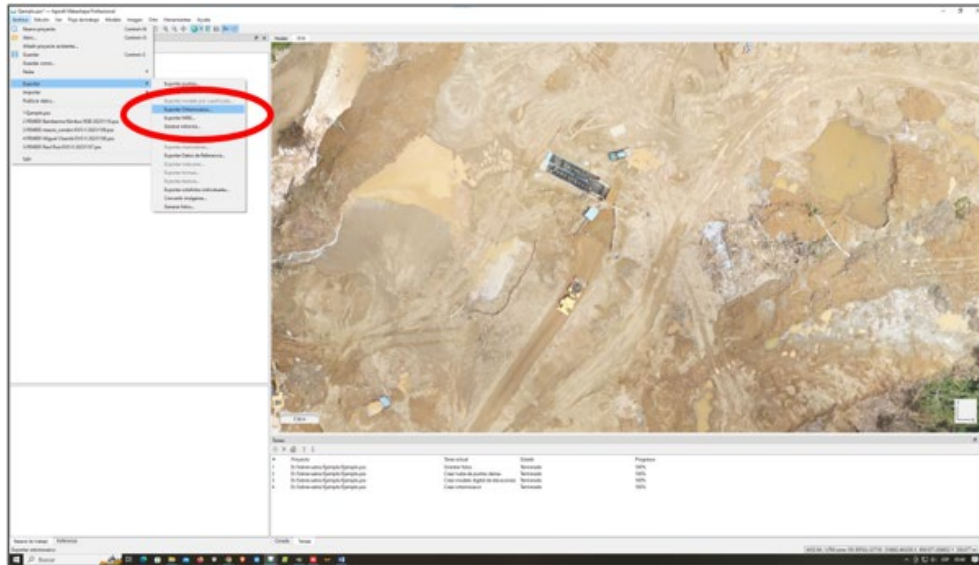
Figura 72: Aplicación Agisoft Metashape – visualizar ortomosaico.



Fuente: elaboración propia.

En el ortomosaico generado, se puede navegar y ver los detalles al hacer zoom. Sin embargo, no se puede obtener la ubicación de los objetos de interés usando el software. Para ello, se debe exportar el ortomosaico y abrirlo en un software SIG como ArcMap o QGIS.

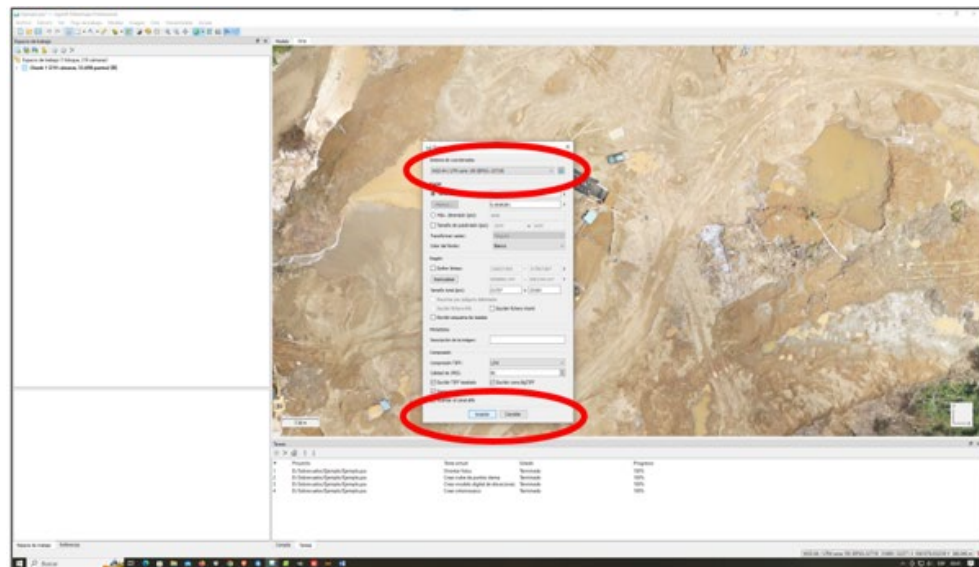
Figura 73: Aplicación Agisoft Metashape – exportar ortomosaico.



Fuente: elaboración propia.

Luego, se revisa que el ortomosaico se encuentre en la proyección adecuada y se confirma.

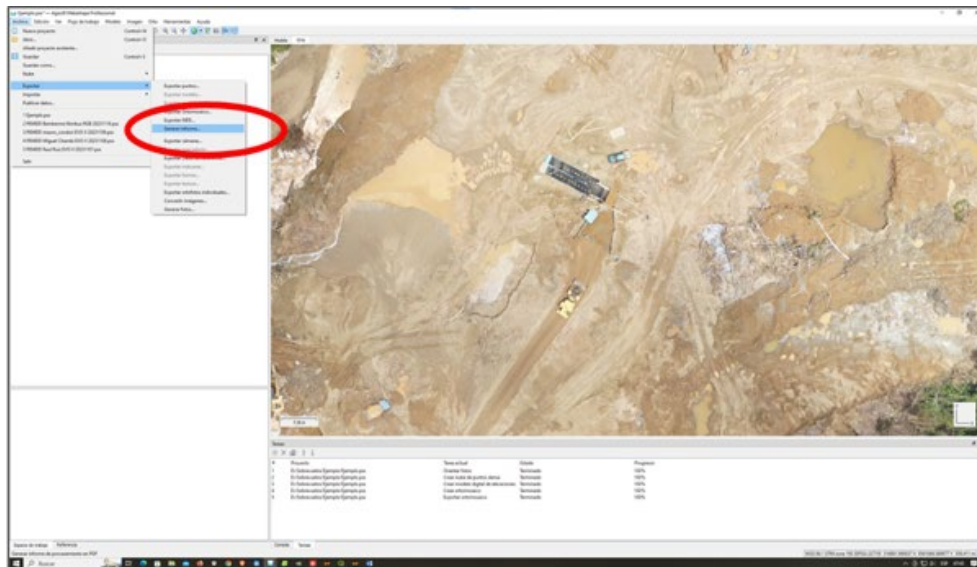
Figura 74: Aplicación Agisoft Metashape – configuración al exportar el ortomosaico.



Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, se puede generar un reporte del proyecto en formato PDF.

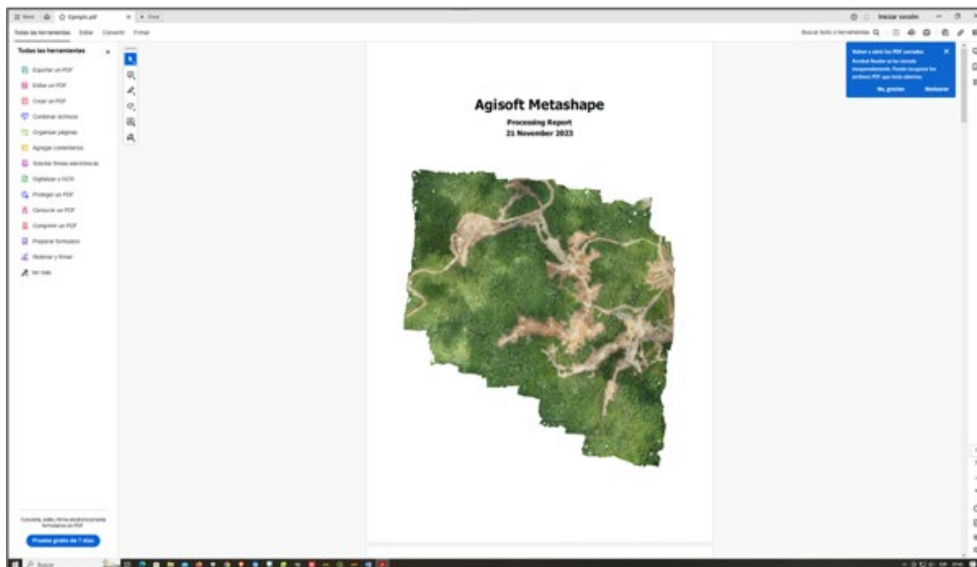
Figura 75: Aplicación Agisoft Metashape – generar reporte del proyecto.



Fuente: elaboración propia.

El reporte creado en formato PDF almacena los tiempos de procesamiento, la resolución espacial, así como otros datos referentes a la generación del ortomosaico.

Figura 76: Aplicación Agisoft Metashape – visualizar reporte del proyecto.

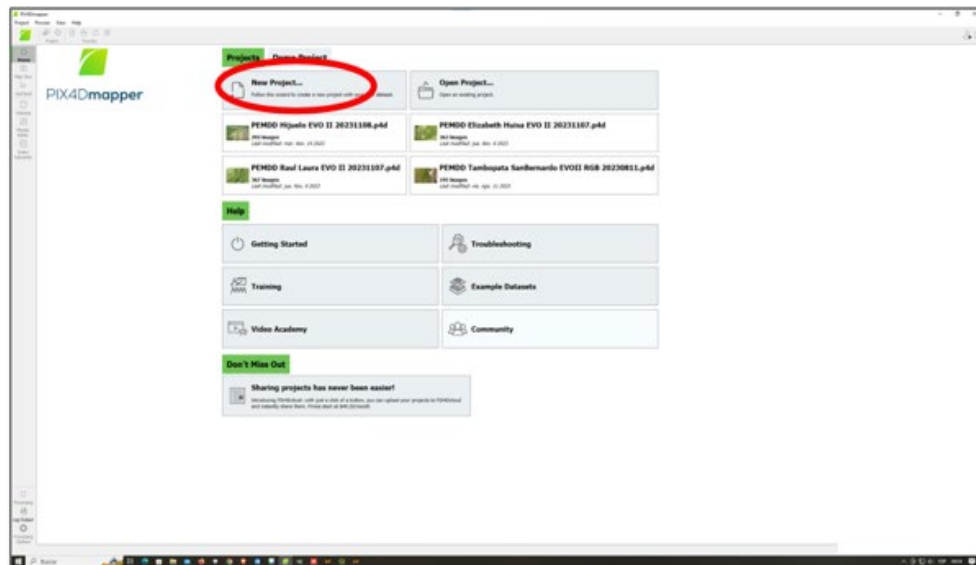


Fuente: elaboración propia.

• PROCESAMIENTO EN PIX4DMAPPER

Primero, se abre el *software* Pix4Dmapper, instalado previamente. Luego, se hace clic en “Nuevo proyecto” para empezar un proyecto en blanco.

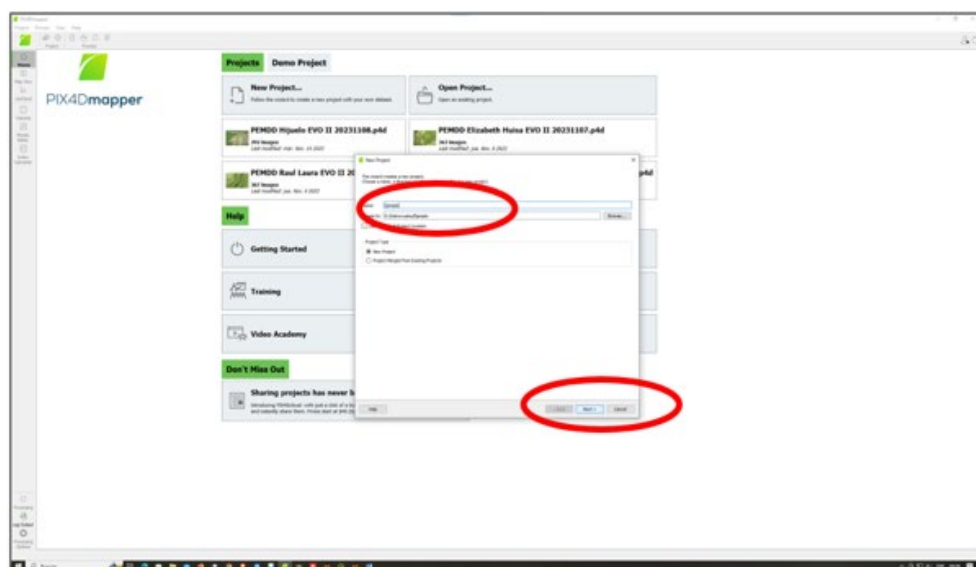
Figura 77: Aplicación Pix4Dmapper – crear nuevo proyecto.



Fuente: elaboración propia.

Se selecciona la carpeta donde se planea almacenar el nuevo proyecto y se selecciona la opción “Siguiente”.

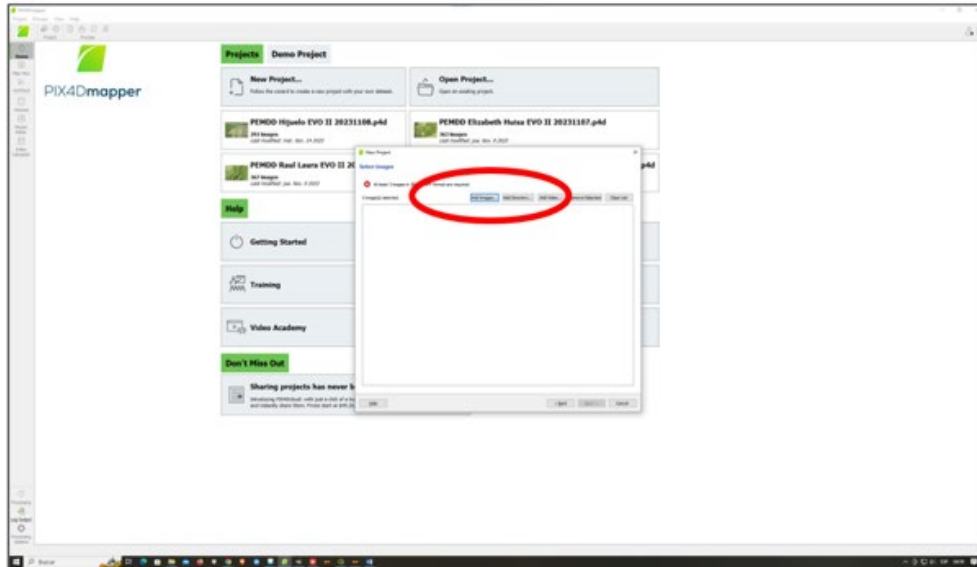
Figura 78: Aplicación Pix4Dmapper – almacenar nuevo proyecto.



Fuente: elaboración propia.

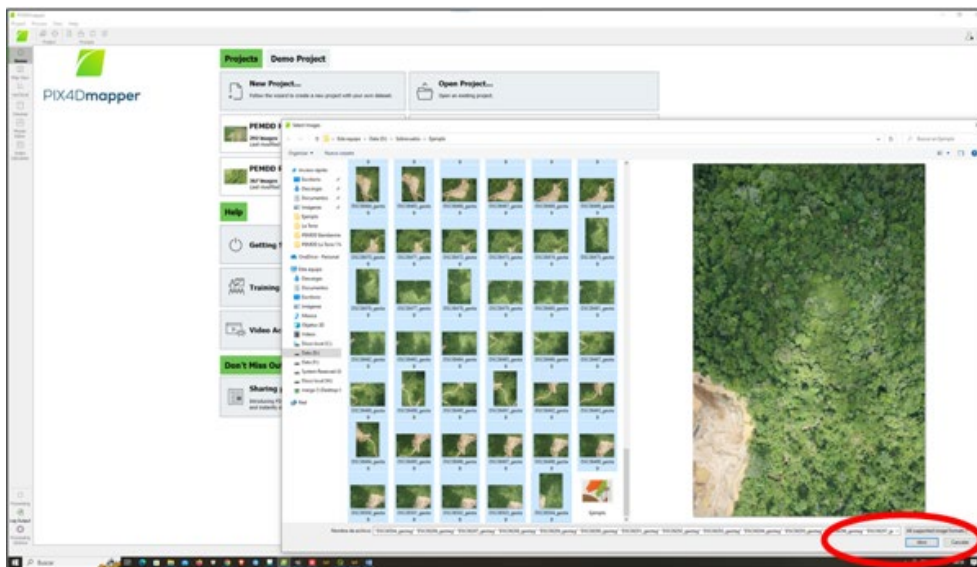
Luego, se importan todas las imágenes de dron al nuevo proyecto, se verifica que se encuentren todas las fotos de interés y se hace clic en "Siguiente (Next)".

Figura 79: Aplicación Pix4Dmapper – importar imágenes de dron.



Fuente: elaboración propia.

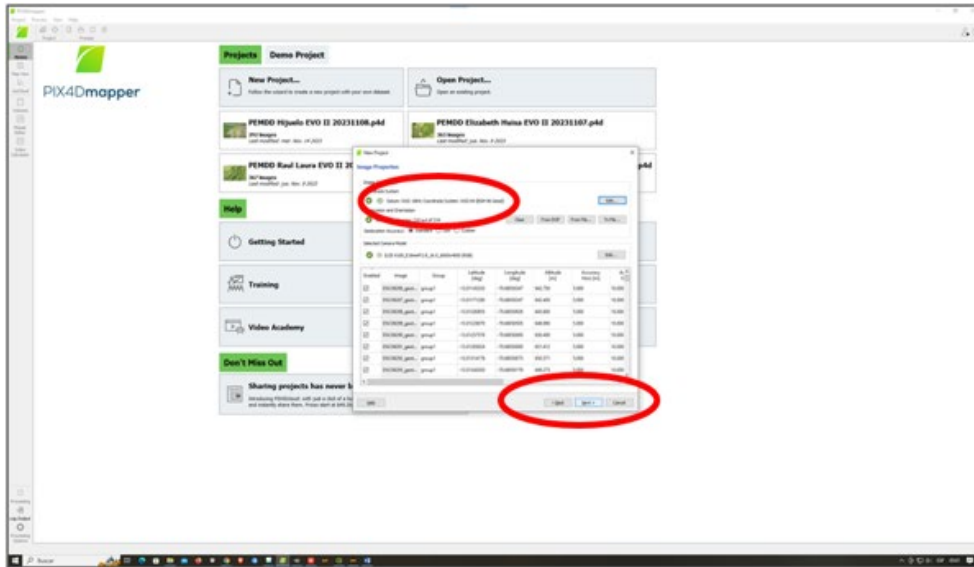
Figura 80: Aplicación Pix4Dmapper – seleccionar imágenes de dron.



Fuente: elaboración propia.

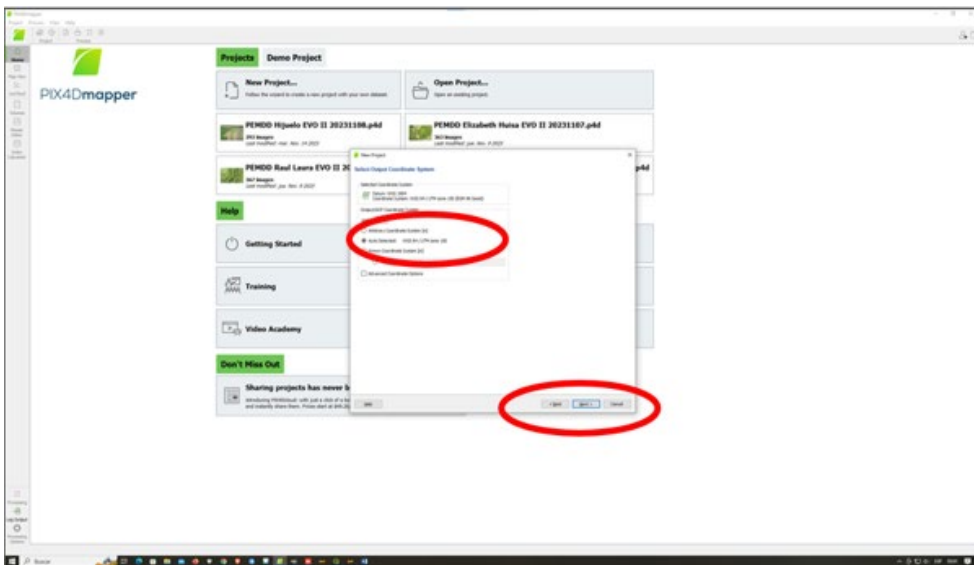
Luego, se verifica que el datum y la proyección geográfica sean los correctos para el área de estudio, en este caso, WGS-84, y se da clic en "Siguiente (Next)".

Figura 81: Aplicación Pix4Dmapper – proyección geográfica del proyecto.



Fuente: elaboración propia.

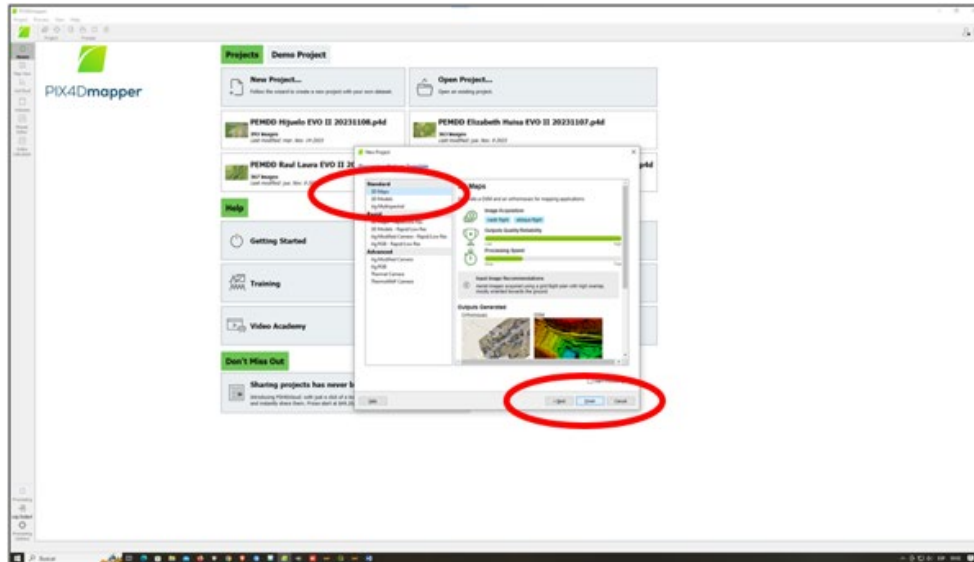
Figura 82: Aplicación Pix4Dmapper – proyección geográfica del proyecto.



Fuente: elaboración propia.

Luego, se selecciona el tipo de trabajo que se va a realizar, en este caso un mapa 2D, y se da clic a "Terminar (Finish)".

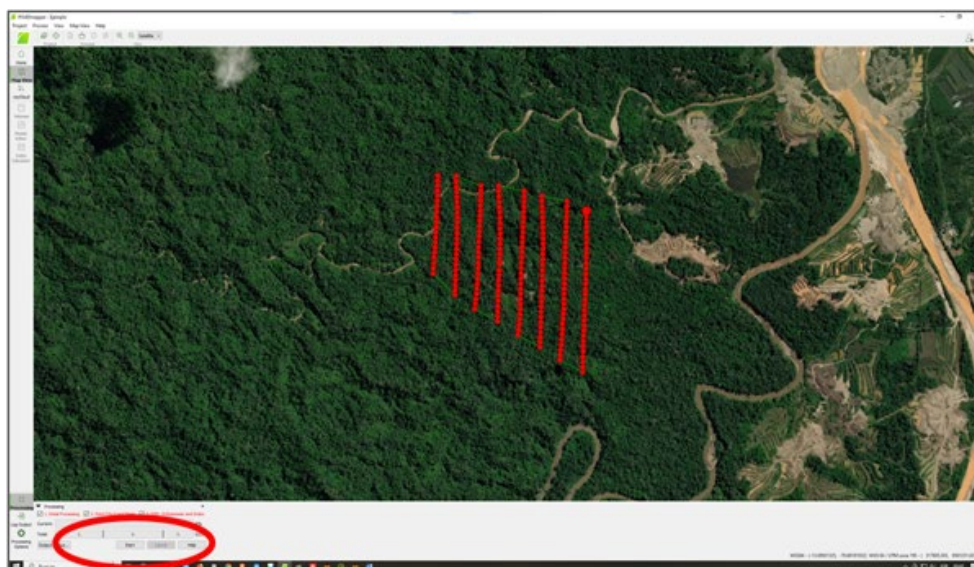
Figura 83: Aplicación Pix4Dmapper – configuración del proyecto.



Fuente: elaboración propia.

Se puede visualizar la ubicación de todas las imágenes de dron importadas al proyecto en el mapa, luego, se da clic a la opción "Inicio (Start)". Este proceso requiere de una alta capacidad de procesamiento y puede tardar algunas horas.

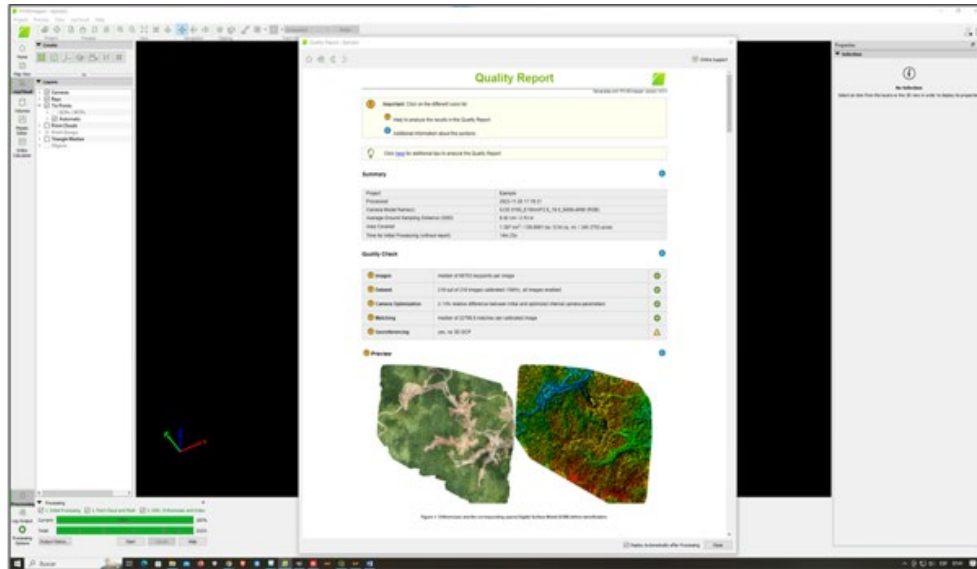
Figura 84: Aplicación Pix4Dmapper – ubicación de las imágenes de dron.



Fuente: elaboración propia.

Al terminar el procesamiento, se puede visualizar el reporte de calidad con la información relevante del proyecto y el ortomosaico generado.

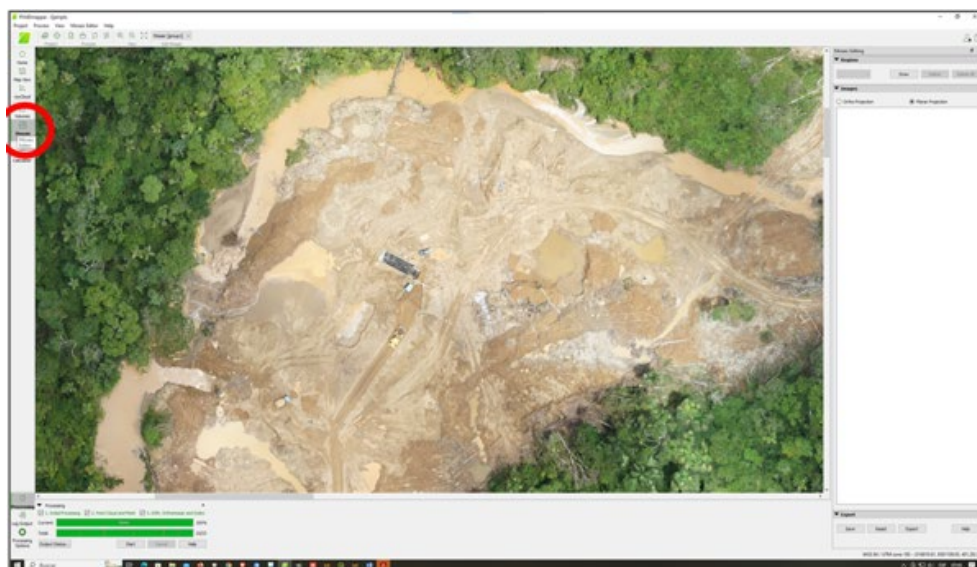
Figura 85: Aplicación Pix4Dmapper – reporte de calidad.



Fuente: elaboración propia.

Luego, se puede revisar el ortomosaico presionando el botón "Mosaic". En este *software* no es posible obtener la ubicación de los puntos de interés, por ello hay que exportar el ortomosaico.

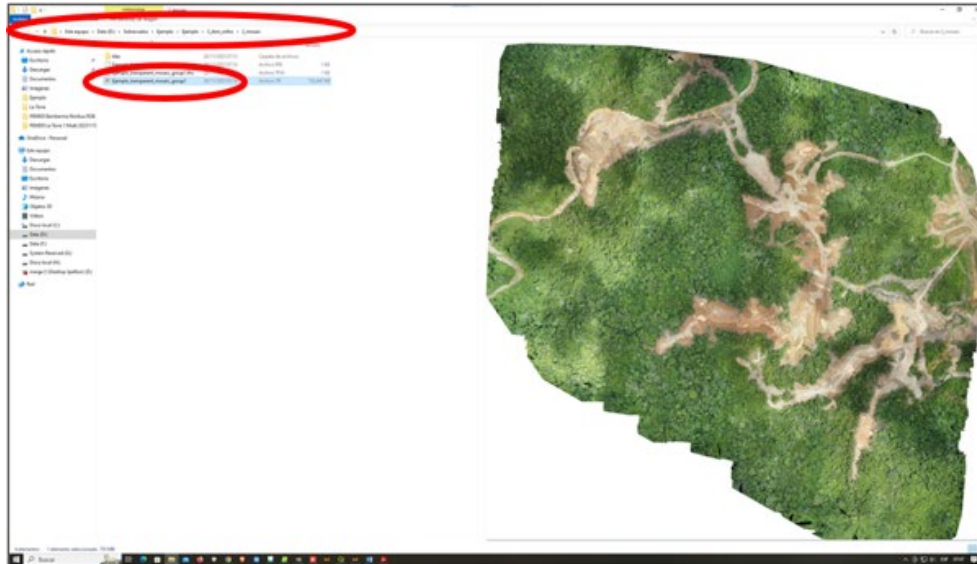
Figura 86: Aplicación Pix4Dmapper – exportar el ortomosaico.



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se puede visualizar el ortomosaico generado en la carpeta donde se encuentra almacenado el proyecto.

Figura 87: Aplicación Pix4Dmapper – ubicación del ortomosaico.



Fuente: elaboración propia.

Al crear y planificar las misiones con drones, es fundamental realizarlas en momentos con acceso a internet y otras herramientas. Además, se debe garantizar, antes del vuelo, que el dron se encuentre en condiciones óptimas, con baterías cargadas y elementos necesarios como memoria SD y hélices en buen estado. La cámara del dron debe configurarse en enfoque manual ("MF") y apuntar hacia el infinito. Previamente al vuelo, es esencial revisar las condiciones meteorológicas en la zona designada, y evitar volar si estas no son adecuadas. Posteriormente a cada vuelo, se recomienda descargar toda la información recolectada por el dron. Al realizar ortomosaicos, es crucial utilizar una máquina con rendimiento y capacidades adecuadas, además de contar con suficiente espacio de almacenamiento para gestionar de manera eficiente toda la información.

5.9.3. FOTOINTERPRETACIÓN DE IMÁGENES DE DRON

Para la detección de las infraestructuras mineras en las imágenes de dron, se emplearon los mismos criterios que con las imágenes de SkySat. Este procedimiento resultó ser más sencillo por la extensión de las imágenes y por la mayor resolución espacial. Es posible también distinguir otras infraestructuras como *canisters* (tanques de combustible), motos, vehículos, depósitos, e incluso personas. Estos recursos proporcionan una evidencia más sólida sobre la presencia de infraestructuras mineras.

Figura 88: Infraestructuras en cuerpos de agua en una imagen de dron.



Fuente: elaboración propia.

Figura 89: Infraestructuras en tierra firme en una imagen de dron.



Fuente: elaboración propia.



VI. RECOMENDACIONES

- Se debe considerar complementar el análisis de encuestas para la estimación de los factores de conversión con otras actividades de trabajo de campo, con el objetivo de mejorar su estimación y mejorar la aproximación de los análisis.
- Mejorar los mecanismos de adquisición de información por parte de la DGFM, con el fin de acceder a la información espacial actualizada que se requiere para complementar los análisis realizados mediante metodologías indirectas para la estimación de la población minera.
- Actualizar periódicamente la estimación de la población minera a partir del análisis de la infraestructura asociada a la actividad minera.
- Entrenar de manera continua a los intérpretes en la interpretación visual de las infraestructuras mineras y disponer de una sólida clave de interpretación.
- La utilización de algoritmos más sofisticados, como los de aprendizaje profundo (inteligencia artificial), podría acelerar y mejorar el procedimiento de levantamiento de información y automatizar la recolección de datos y la generación de reportes.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- ACCA & Proyecto Prevenir de USAID. (2022). *Estimación de la población minera informal e ilegal en el departamento de Madre de Dios, a partir del uso de imágenes satelitales submétricas. Informe técnico*. Lima, Perú. 51 pp.
- Decreto Legislativo N.º 1100. (2012). Decreto legislativo que regula la interdicción de la minería ilegal en toda la República y establece medidas complementarias. Diario Oficial El Peruano.
- Decreto Legislativo N.º 1105. (2012). Decreto legislativo que establece disposiciones para el proceso de formalización de las actividades de pequeña minería y minería artesanal. Diario Oficial El Peruano.
- Heck, C., Ipenza, C., Silva, C., Tejada, A., Robles, J., De Acevedo, I., Güiza, L., Cisneros, P., Valencia, L., & Milano, S. (2014). *La realidad de la minería ilegal en países amazónicos*. Lima, Perú: Sociedad Peruana de Derecho Ambiental.
- Iglesias y Minería. (2023). *Los impactos culturales, religiosos y socio-ambientales que provoca la minería en nuestras comunidades*. <https://iglesiasymineria.org/>
- MINAM (Ministerio del Ambiente). (2011). *Minería aurífera en Madre de Dios y contaminación con mercurio: una bomba de tiempo*. Ministerio del Ambiente del Perú.
- Mosquera, C. et al. (2009). *Estudio diagnóstico de la actividad minera artesanal en Madre de Dios*. CooperAcción.
- Murthy, K., Shearn, M., Smiley, B. D., Chau, A. H., Levine, J., & Robinson, M. D. (2014). SkySat-1: Very high-resolution imagery from a small satellite. *Proceedings SPIE 9241, Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XVIII*, 924111E.
- Planet Labs. (2020). *SkySat imagery product specification*. Planet Labs Inc. 2020.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). (2015). *Developing a national action plan to reduce, and where feasible, eliminate mercury use in artisanal and small-scale gold mining: Working draft*. Ginebra: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Richards, J. A. (2013). *Remote sensing digital image analysis: An introduction*. Berlín: Springer.
- Wade, T., & Sommer, S. (Eds.). (2012). *A to Z GIS: An illustrated dictionary of geographic information systems*. ESRI. ISBN: 9781589481404 2006.

