

USO DE VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO (UAV) EN EL ANÁLISIS DE RIESGOS NATURALES: REMOCIONES EN MASA EN SECTOR EMBALSE ANCOA, PROVINCIA DE LINARES, REGIÓN DEL MAULE.

USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) IN THE ANALYSIS OF NATURAL RISKS: LANDSLIDES IN THE ANCOA RESERVOIR SECTOR, LINARES PROVINCE, MAULE REGION.

Sr. César Becerra Baeza^{1,3}, Sr. Nicolás Galáz Hormazábal², y
Sra. Jacqueline De Rurange Espinoza^{2,4}

RESUMEN

El día 20 de julio de 2022 a las 21:00 horas, se registró una remoción en masa del tipo deslizamiento en la ruta L-39, específicamente en el Km. 30,7 del área del primer mirador del Embalse Ancoa, el cual es frecuentado por los residentes y visitantes que acuden a este sector turístico. El deslizamiento generó un corte de ruta de 200 m, siendo el área afectada de la ladera aproximadamente de 5.251 m². Se realizó Vuelo UAV (Unmanned Aerial Vehicle) en el área de estudio, para obtención de información geográfica, recopilación de datos y procesos superficiales geomorfológicos del deslizamiento, en base a mediciones de ortofotos y generación de modelos de elevación de superficie (DSM). Los resultados demuestran que la fotogrametría a partir de UAV, proporciona herramientas flexibles y efectivas para evaluar y analizar características geomorfológicas, además de mapear y monitorear este tipo de remociones en masa, siendo la base para generar estudios multitemporales.

Palabras claves: UAV, remociones en masa, análisis geomorfológico.

ABSTRACT

On July 20, 2022 at 9:00 p.m., a landslide-type mass removal was recorded on route L-39, specifically at km 30.7 of the area of the first viewpoint of the Ancoa Reservoir, which is frequented by residents and visitors who come to this tourist sector. The landslide generated a road cut of 200 m, with the affected area of the hillside approximately 5,251 m². UAV (Unmanned Aerial Vehicle) flight was carried out in the study area, to obtain geographic information, data collection and geomorphological surface processes of the landslide, based on orthophoto measurements and generation of surface elevation models (DSM). The results show that photogrammetry from UAVs provides flexible and effective tools to evaluate and analyze geomorphological characteristics, in addition to mapping and monitoring this type of mass removal, being the basis for generating multitemporal studies.

Keywords: UAV, Landslide, geomorphological analysis.

¹Unidad de Gestión de Información Territorial, Dirección de Planeamiento, Ministerio de Obras Públicas, Región del Maule. 1 oriente 1253, Talca.

²Servicio Nacional de Geología y Minería. Departamento de Propiedad Minera, Región de Atacama. Av. Manuel Antonio Matta 264, Copiapó.

³Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Departamento de Obras civiles. Universidad Católica del Maule. Av. San Miguel 3605, Talca, Chile.

⁴Consultora Anaterrea. www.anaterrea.cl

INTRODUCCION

Las remociones en masa son unos de las amenazas naturales más peligrosas, especialmente para los países montañosos. En Chile, los eventos de este proceso geodinámicos en zonas cordilleranas son comunes, dada la configuración del relieve y los factores desencadenantes, causando graves daños en vidas humanas, infraestructura y bienes materiales. (Hauser, 1994; Sepulveda, 2000; Scott et al, 2001; Becerra, 2006; Lara, 2007; Becerra & De Rurange, 2018; Marín et al 2021). Por lo que su estudio es esencial para elaborar y enfocar la gestión del riesgo asociadas a estas amenazas naturales (Varnes, 1978, Cruden, 1991, Hauser, 1994; Cruden & Varnes, 1996; Corominas y García Yagüe, 1997, Sepulveda, 2000; Becerra, 2006; Lara, 2007; Becerra & De Rurange, 2018; Marin et al 2021).

Se entiende como movimiento de ladera o "landslide", al movimiento de una masa de roca, suelo o derrubios, de una ladera en sentido descendente (Varnes, 1978; Cruden, 1991; Corominas y García Yagüe, 1997). Hauser (1994) define como como procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores. Estos múltiples factores son importantes para la activación de estos procesos como los tipos de materiales involucrados (suelo o roca), el mecanismo de ruptura y el grado de saturación que alcanza por la influencia del agente desencadenante como las precipitaciones, sismos y actividad antrópica. Estos factores, junto con las características geológicas, geotécnicas y geomorfológicas del entorno, condicionan la potencial generación de estos procesos, así como las velocidades de desplazamiento y el volumen de material desplazado. Son frecuentes además, los procesos combinados o complejos (Varnes, 1978; Crudden, 1991, Cruden & Varnes, 1996, Scott et al, 2001). Un deslizamiento es un tipo de remoción en masa que puede definirse como un movimiento de rocas o suelos o material desplazado hacia abajo por una pendiente (Hauser, 1994; Cruden & Varnes, 1996).

En la actualidad, se ha incrementado el uso y aplicación de las tecnologías geomáticas para

el control y seguimiento de los procesos geomorfológicos evolutivos que se presentan en la corteza terrestre, debido al impacto y daño que generan, dando como resultado el planteamiento y desarrollo de diversas técnicas (Becerra & De Rurange, 2021). Una de las técnicas para obtener datos de forma rápida y precisa a través de la fotogrametría es utilizar UAV. Esta tecnología entrega datos geoespaciales de manera rápida, fácil, con alta resolución y eficiente en el tiempo. En el campo de los riesgos naturales, el uso de UAV para el estudio y seguimiento de deslizamientos representa una de las aplicaciones más comunes (Giordan et al, 2018; Yaprak et al, 2018; Gomez y Chávez, 2021). La aplicación UAV facilita la identificación de procesos geodinámicos en donde es difícil obtener información (El Bardai, 2016; Wulan, 2017; Gupta y Shukla, 2018; Chang, 2020; Giordan et al, 2020; Becerra & De Rurange, 2021). La contribución de los UAV a los deslizamientos puede tener varias aplicaciones: reconocimiento, mapeo, monitoreo y análisis de amenazas (Giordan et al, 2018). La tecnología UAV se utiliza ampliamente en el mapeo de precisión de deslizamientos, generando ortofotos y modelos digitales de superficie (DSM) con una resolución extremadamente fina (Nikolakopoulos et al, 2017; Depountis et al, 2023). La cuantificación y caracterización del volumen de deslizamientos es esencial para la prevención de desastres y la comprensión de la evolución del paisaje (Chang, 2020, Depountis et al, 2023).

El tipo de remoción en masa ocurrido en la ruta L-39, específicamente en el Km. 30,7, del sector del mirador del Embalse Ancoa, caracterizado por una alta rapidez de desencadenamiento y de gran volumen de material de suelo y rocas, hace necesario la obtención de datos para la generación de cartografías, basándose en vuelos UAV, ya que es altamente peligroso y de difícil acceso para el personal de inspección, obtener información de estos tipos de deslizamientos con instrumentos y herramientas convencionales. Por lo tanto, se hace necesario un método de levantamiento datos fotogramétricos, para obtener datos

geoespaciales de manera rápida y eficaz para analizar este tipo de procesos geodinámicos.

ÁREA DE ESTUDIO

El embalse Ancoa se encuentra en la región del Maule, comuna de Linares, a 47 km de la ciudad homónima y en la cuenca del río del mismo nombre, en una zona donde el valle fluvial experimenta un ensanchamiento, con laderas menos pronunciadas. El sector se encuentra ubicado en la unidad geomorfológica precordillera, la cual se caracteriza por un plano inclinado, con pendiente suave hacia el oeste, con alturas variables entre 500 y 1.500 m.s.n.m. Producto de la fuerte denudación cuaternaria, este plano se encuentra profundamente disecado

por valles de origen glacial, tributarios de

aquellos de origen volcánico. El sector al norte se caracteriza por laderas rocosas de menor altura y baja pendiente, respecto a la zona del embalse (figura 1). El sector sur, también de baja pendiente, presenta depósitos de origen fluvial y aluvial, con desarrollo de suelo sobre la unidad rocosa intrusiva de granodioritas, dioritas y tonalitas. Tanto en el norte como en el sur, en los sectores del embalse, las laderas experimentan un aumento en las pendientes, llegando sobre los 50°. Particularmente, en el sector donde se generó el deslizamiento, la pendiente previa al deslizamiento se estimó de 30° a 40° (Ramírez et al 2022).

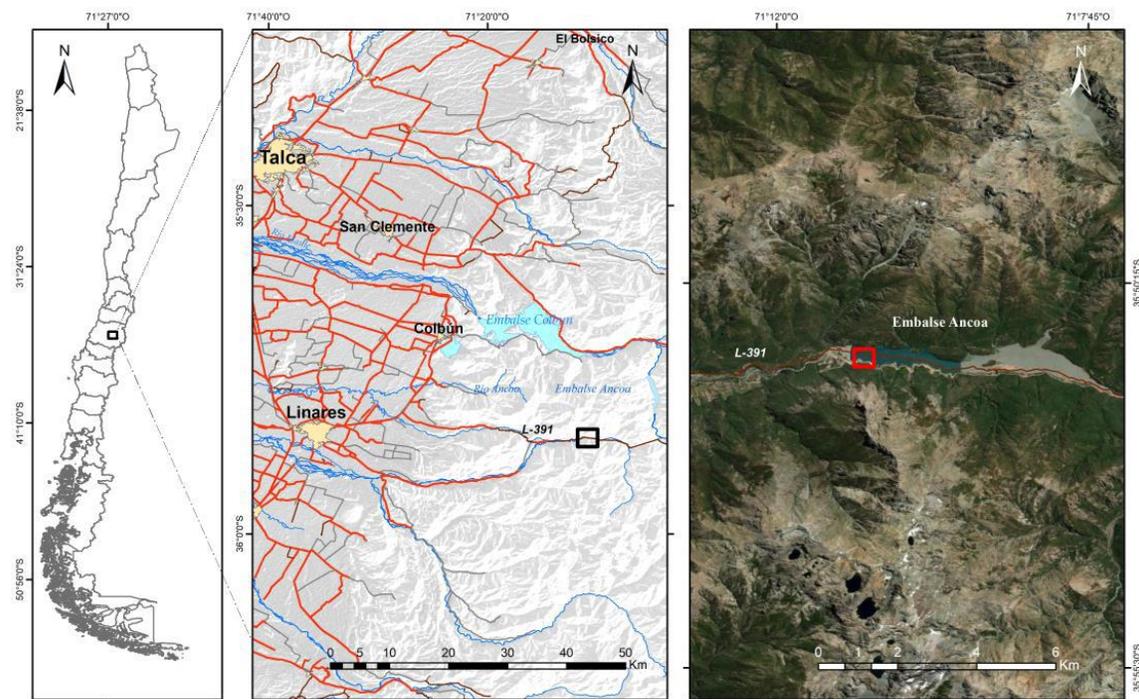


Figura 1. Área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

La vegetación del sector es uniforme, en algunos sectores se encuentra seca en la cima de la vertiente, lo que genera con alta pluviometría, pequeños procesos de escorrentía y cárcavas que penetran en las grietas de suelo y que van acumulándose interiormente en la vertiente, lo que potencialmente es un factor intrínseco para la generación de movimientos de masas.

El proceso de remoción en masa, se generó 400 metros hacia el este de su cortina, a lo

largo de la ruta L-39, específicamente en el Km. 30,7, que pasa por la ribera sur del embalse, existiendo un mirador panorámico entre ambos puntos, el cual es frecuentado por los visitantes que acuden al sector. Existen registros de remociones en masa anteriores cerca del área de estudio. Es preciso indicar que durante las dos semanas previas a la remoción existieron al menos 6 eventos importantes de precipitaciones, registrándose un acumulado con montos de hasta 50 mm. Existen dos estaciones

meteorológicas cercanas al evento, las que registraron como suma durante ese período aproximadamente 163 mm para la estación Ancoa y 192 mm para Melado en el Salto, siendo este un factor desencadenante de este tipo de procesos geodinámicos (Ramirez et al 2022).

MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología se basó en la generación de fotogrametría de alta resolución, obtenido de vuelo procesado de UAV con software Agisoft PhotoScan 1.4 y para modelación ráster ArcGis 10.2.1. Para UAV se utilizó vuelo aerofotogramétrico realizado en 21/07/2022 con dron Phantom 4, con altura media del vuelo de 145 metros snmm, modelo cámara FC330 (3.61 mm), número de imágenes 50, resolución centimétrica. Mediante postproceso se obtuvo imágenes de alta resolución de espectro visible (RGB) y nube de puntos (X, Y, Z).

El levantamiento fotogramétrico se realizó en cuatro etapas diferentes: (1) planificación de la misión, (2) adquisición de datos geoespaciales, (3) procesamiento e (4) implementación en entorno SIG. (1) Se generó planificación del vuelo para garantizar una cobertura óptima del área y para superposición de imágenes. (2) Para optimización del vuelo, la cobertura espacial y la resolución, el dron fue programado para volar a una altitud constante de aproximadamente 145 m sobre el nivel del mar desde la parte superior de la pendiente, con superposición lateral y superposición frontal al 80 y 70% para garantizar condiciones óptimas para el algoritmo de detección de puntos de enlace y la alineación de la cámara. (3) Los datos obtenidos son imágenes en formato JPEG con coordenadas geográficas. El número de imágenes obtenidas fue de 50, las que se procesaron con software específico. Se orientaron las imágenes, con generación de nube de puntos densa, la cual se basa en una combinación de la posición estimada de la cámara y la información de profundidad de cada imagen. (4) Se generó el modelo digital de elevaciones y el ortomosaico de alta resolución de espectro visible (RGB). Los datos obtenidos se georreferenciaron en datum mundial WGS84, coordenadas UTM y Huso 19 (tabla 1).

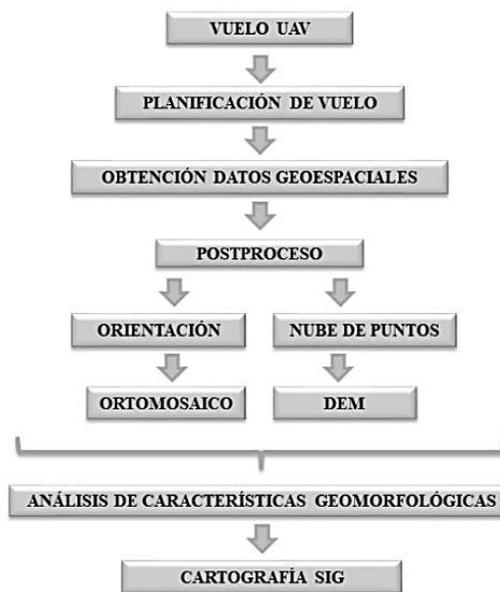


Figura 2. Esquema metodológico para vuelo UAV. Fuente: Elaboración Propia.

Para la generación del DSM UAV, se utilizó el método de interpolación TIN (Triangulated Irregular Network) utilizando puntos de elevación, de acuerdo a lo establecido por Felicísimo (1994). Se generaron ráster matricial de tamaño de celda de 15 cm. Con esta matriz se originaron capas ráster de pendientes y sombras. La fotointerpretación de las ortofotos reveló las principales características geomorfológicas. El análisis de sombras (monobanda) y pendientes se realizaron para identificar dinámica en formas y procesos. En la figura 2 se observa el esquema metodológico.

RESULTADOS

Mediante la aplicación de la metodología, se generaron las cartas temáticas de ortofoto UAV (figura 3) con las características asociadas del vuelo (tabla 1), ráster DSM, pendientes y sombras.

Vuelo UAV	Estadísticas
Número de imágenes	50
Altitud media de vuelo	145 m
Resolución en terreno	3.14 cm/pix
Posiciones de cámara	50
Puntos de enlace	35,272
Proyecciones	151,235
Error de reproyección	0.815 pix
Resolución ortomosaico	0,12 cm/pix
Resolución DSM	0,12 cm/pix

Tabla 1. Características asociadas del vuelo UAV, Sector Embalse Ancoa. Fuente: Elaboración propia.

La cartografía ráster UAV (figura 4A) muestra el área de deslizamiento de suelo y rocas y la parte colapsada de la ruta L-39, arrasando aproximadamente 200 mts de la curva del camino. La cartografía ráster DSM UAV, indica las diferencias de altura que existe en área de deslizamiento, desde la corona del talud hasta el pie del deslizamiento (figura 4B).

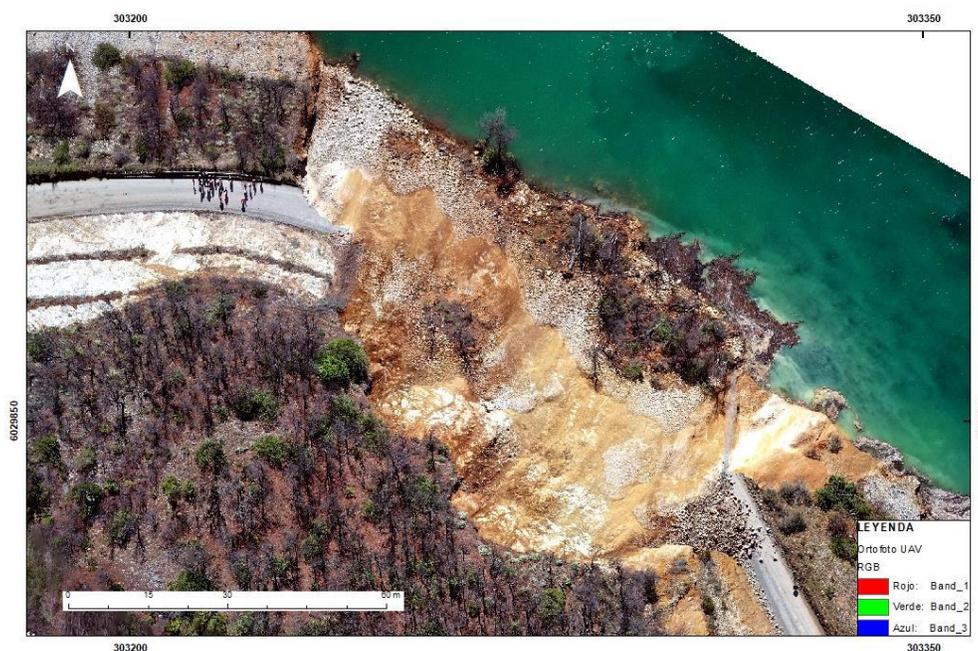


Figura 3. Ortofotografía UAV, deslizamiento sector Embalse Ancoa. Fuente: Elaboración propia.

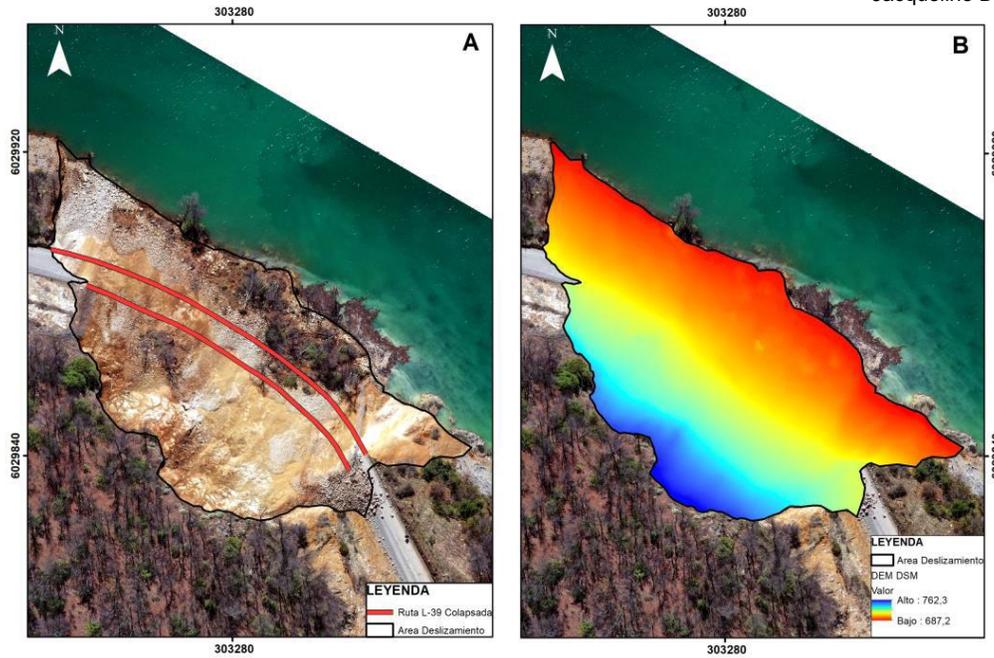


Figura 4. Ortofotografía UAV (A) y DSM UAV (B) con Ortofotografía del deslizamiento sector Embalse Ancoa.
 Fuente: Elaboración propia.

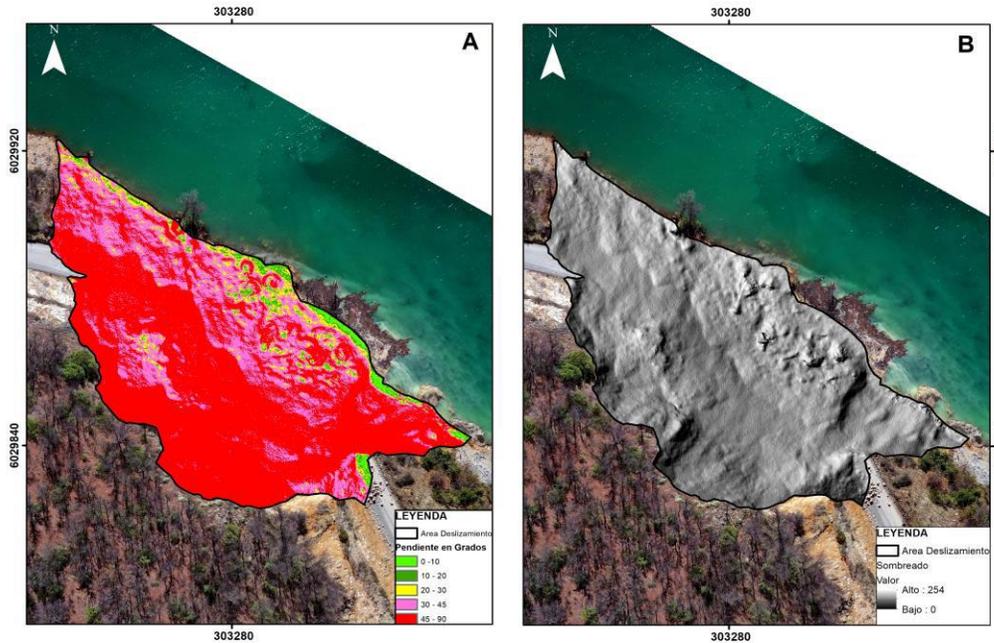


Figura 5. Pendiente (A) y Sombreado (B) con Ortofotografía del deslizamiento sector Embalse Ancoa.
 Fuente: Elaboración propia.

La cartografía ráster de pendientes, en sección de la corona del deslizamiento se presentan fuertes pendientes mayores a 45°, incluso de mayor grado, ya esta área presentaba cortes de talud de gran altura (figura 5A), las que establecen un rol importante en la inestabilidad de ladera. Geodinámicamente, el deslizamiento siguió

manteniendo las pendientes del corte de talud, incluso aumentando su graduación. La cartografía ráster de sombreado (figura 5B) presenta las principales características morfológicas del deslizamiento, caracterizada por la acumulación de suelo y rocas en pie de talud.

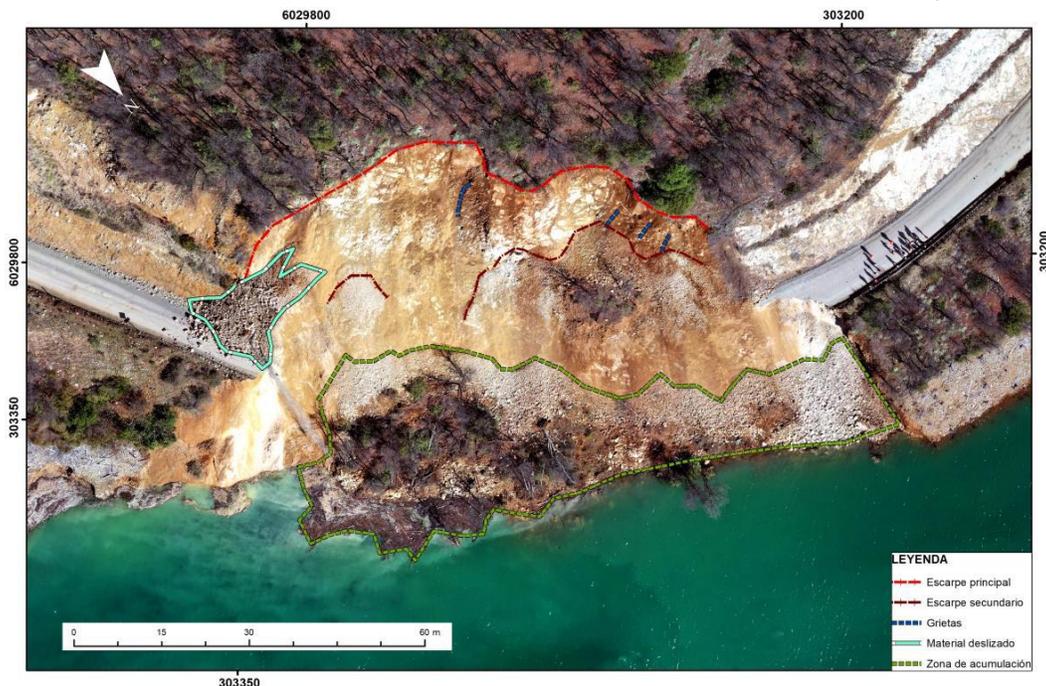


Figura 6. Cartografía UAV con caracterización geomorfológica, Sector Embalse Ancoa.
Fuente: Elaboración propia.

La cartografía UAV con caracterización geomorfológica (figura 6), muestra la dinámica que presentó el deslizamiento, principalmente de suelos, incluyendo vegetación, y rocas de tipo intrusivo con buena calidad geotécnica, pero intensamente fracturado, desde la corona del talud, con un escarpe principal amplio y de corte de alta pendiente, con sectores específicos de escarpes secundarios y sectores aislados de grietas, lo que infiere que la porción deslizada fue de alta cantidad de volumen de material, lo que se demuestra en el material coluvial a los bordes de camino colapsado y en el pie de talud, siendo la zona

de acumulación del material deslizado.

Mediante el sobrevuelo realizado con UAV, se estima que las dimensiones de la remoción en masa son aproximadamente de 102,9 metros lineales, considerando que el camino en la curva era cercano a los 200 metros de largo, y una altura medida desde el nivel de aguas del embalse hasta la corona del talud, de 67,02 metros (figura 7). Se determinó que el área afectada de la ladera del cerro fue de aproximadamente de 5.186,5 m² y con un perímetro de 364,53 m.

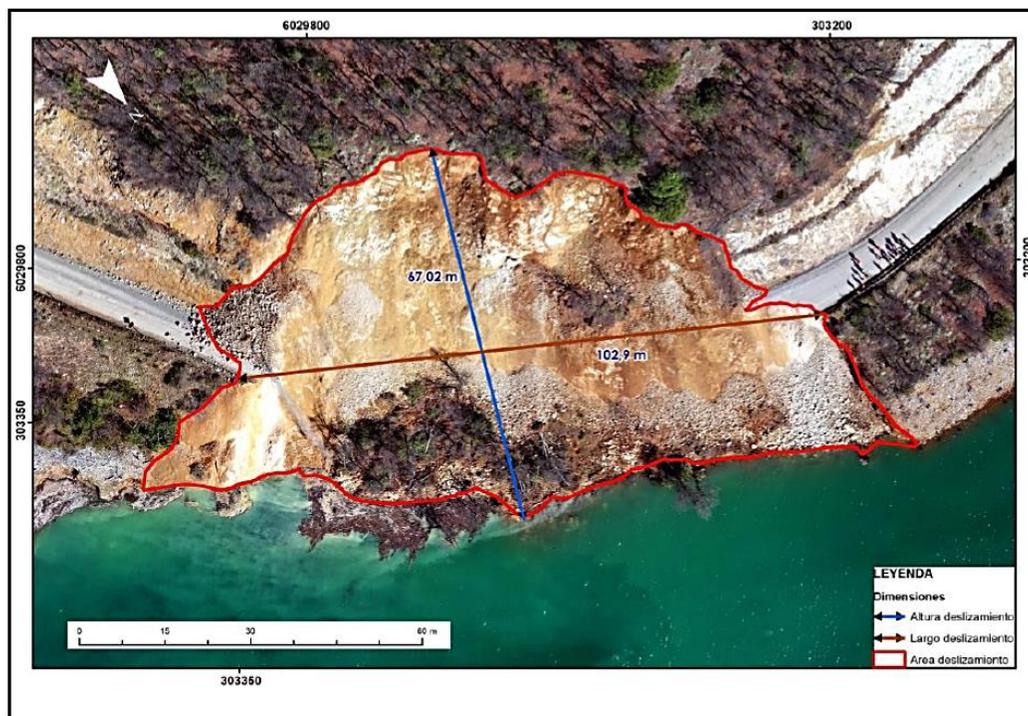


Figura 7. Dimensiones del deslizamiento de suelos y rocas, Sector Embalse Ancoa. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El deslizamiento de suelos y rocas, que afectó parte de la ruta L-391 en sector del Embalse Ancoa, fue gatillado por diferentes factores, donde las intensas precipitaciones de días anteriores, contribuyeron a lubricar el plano de debilidad en la superficie de ruptura, siendo común para zonas cordilleranas en Chile (Hauser, 1994; Sepulveda, 2000; Becerra, 2006; Lara, 2007; Becerra & De Rurange, 2018; Marin et al 2021). Ramirez et al (2022) indica que en un periodo de dos semanas, las estaciones meteorológicas, Ancoa y Melado, cercanas al deslizamiento fueron mayores a 150 mm, por lo que su acumulación fue un factor desencadenante. Además las características intrínsecas físicas de su entorno (pendiente alta, orientación fuerte, acumulación de material coluvial - granítico disgregado, fuerte grado de meteorización y alteración de roca y suelo, alta concentración de grietas superficiales, aportación de material, cárcavas estacionales, vegetación uniforme, suelo saturado y aterramiento de corte de talud sin tratamiento hidráulico o sistema de drenaje (topografía con intervención antrópica), contribuyen a generar una inestabilidad de terreno en el sector. En

otros sectores cordilleranos, como Paso Pehuenche, Región del Maule y Carretera el Cobre, Región de O'Higgins, si se presentan las condiciones de alta pluviosidad y características intrínsecas favorables, se tienden a activar las remociones en masa (Becerra, 2006, Becerra & De Rurange, 2018).

La aplicación de tecnología UAV, para el levantamiento de información geoespacial de riesgos naturales, en zonas peligrosas, complejas e inaccesibles con equipos topográficos convencionales y en fase previa de emergencia, ha demostrado ser una herramienta muy útil en la identificación y monitoreo de estos procesos geodinámicos, permitiendo generar información en tiempo real de manera rápida, permitiendo ser la base para generar modelaciones de datos, ventajas en eficiencia de tiempo y bajos costos asociados. En este estudio, la tecnología UAV proporciona imágenes de ortofoto y modelos de superficie de alta resolución que permite identificar, evaluar y geomensurar el área afectada por el deslizamiento de suelo y rocas.

El Vuelo UAV proporciona información geoespacial de alta resolución para análisis y

caracterización geomorfológica, modelación ráster, análisis de factores desencadenantes superficiales como pendiente, estado de litología - suelo, desplazamientos, grado de daños y medición de sus dimensiones, entregando información rápida y eficaz para la toma de decisiones en el sector.

Los resultados obtenidos infieren una base para generar metodologías de análisis multitemporal, con el objetivo de analizar su dinámica y obtener grado de conocimiento para la toma de decisiones. Con esta metodología, utilizando DSMs de alta resolución, se obtiene una representación topográfica y características morfométricas superficiales para detectar, mapear y monitorear los principales cambios geomorfológicos en remociones en masa, en el tiempo y con precisión centimétrica. Para realización de análisis multitemporal, que implica la realización de varios vuelos en el tiempo para adquirir el análisis y conocimiento de la dinámica superficial, sería la principal limitación del procedimiento. Esta técnica es una de las mejor calificadas para caracterizar la evolución de los procesos geomorfológicos, siendo una herramienta viable y factible para comparar procesos geodinámicos. Además es un complemento para estudios de estabilidad del talud, para evaluar el estado geotécnico del suelo y rocas e identificar de manera eficiente la canalización y drenaje de aguas lluvias del sector del embalse.

En consecuencia, los datos de UAV son adecuados para la identificación de características morfométricas y geomorfológicas del deslizamiento de suelo y rocas, validando el uso de UAV para el análisis de remociones en masa que requieren alta resolución espacial y permiten enfocar el análisis a escala local.

BIBLIOGRAFÍA

BECERRA, C. Análisis de riesgo natural por remociones en masa, carretera El Cobre, División El Teniente. Rancagua, Chile. Corporación Nacional del Cobre (CODELCO), 2006, 105 pp.

BECERRA, C. Y DE RURANGE, J. Modelo de susceptibilidad a procesos de remociones en masa en rutas cordilleranas de Chile Central: Ruta 115 CH, Paso Pehuenche, Región del

Maule. *Investigaciones Geográficas*, 55, 89-110 pp, 2021, <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2018.50799>

BECERRA, C. Y DE RURANGE, J. Análisis de deslizamiento mediante técnicas UAV y LIDAR en Ruta 115 CH, Paso Pehuenche, Sector Monjes Blancos, Región del Maule, Chile. *Investigaciones Geográficas*, (61), 2021, 87-98 pp. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2021.59646>

COROMINAS, J. Y GARCÍA YAGÜE, A. Terminología de los movimientos de ladera. IV Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables. Vol. III, 2021, 1051-10 1072 pp.

CRUDEN, D. M. A Simple Definition of a Landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43, 2021, 27-29 pp. <https://doi.org/10.1007/BF0259016>

CRUDEN, D.M, Y VARNES, D.J., 1996. Landslide types and processes, in Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L. eds. *Landslides—Investigation and mitigation: Transportation Research Board, Special report no. 247*, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C, 1996, 36–75 pp.

DEPOUNTIS, N., KAVOURA, K., NIKOLAKOPOULOS, K., DRAKATOS, G., ARGYRAKIS, P., ELIAS, P., SABATAKAKIS, N. *Landslide Monitoring Using Geotechnical, UAV, GNSS and MTInSAR Instrumentation*. Editorial Universitat Politècnica de València, 2023, 207-2013 pp. <https://doi.org/10.4995/JISDM2022.2022.13818>.

EL BARDAL, R., LAGÜELA, S., ROCA, D., GONZALEZ, H. Geometric landslide analysis based on VANT platforms and siga systems processing: Xunqueira slope, Spain. *Revista Dyna*. Vol. 91, no. 6, 2016, 675-680 pp. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7972>.

GIORDAN, D., HAYAKAWA, Y., NEX, F., REMONDINO, F., AND TAROLLI, P. The use of remotely piloted aircraft systems (RPAS) for natural hazards monitoring and management, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 18, 2018. 1079–1096 pp. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-1079-2018>.

GIORDAN, D., ADAMS, M.S., AICARDI, I. ET AL. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for engineering geology applications. *Bull Eng Geol Environ* 79, 2020, 3437–3481 pp. <https://doi.org/10.1007/s10064-020-01766-2>

GÓMEZ, L Y CHAVEZ S. Uso de drones y sensores remotos para el monitoreo de laderas: una revisión. *Ingenierías USBMed*, vol. 12, N° 2, 2021, 65-73 pp.

GUPTA, S.K Y SHUKLA, D.P. Application of drone for landslide mapping, dimension estimation and its 3D reconstruction. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, (46), 2018, 903-914 pp. <https://doi.org/10.1007/s12524-017-0727-1>

HAUSER, A. (1994). Remociones en masa en Chile. (mass wasting in Chile). *International journal of rock mechanics and mining sciences & geomechanics abstracts*, Volumen 31 (3), 159. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(94\)90783-8](https://doi.org/10.1016/0148-9062(94)90783-8).

LARA, M. Metodología para la evaluación y zonificación de Peligro de Remociones en Masa con Aplicación en la Quebrada San Ramón, Santiago Oriente, Región Metropolitana. Tesis para optar el Grado de Magíster en Ciencias Mención Geología y Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología, 2007, 212 p.

MARÍN, M., NEIRA, H., GARRIDO, N., BÁEZ, F. SERNAGEOMIN (Chile). Visor Territorial de fallecidos por Remociones en Masa (R.M.) en Chile entre los años 1938- 2020. SERNAGEOMIN. 2021. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/33193>

NIKOLAKOPOULOS, KG., KAVOURA, K., DEPOUNTIS, N., KYRIOU, A., ARGYROPOULOS, N., KOUKOUVELAS, I. Y SABATAKAKIS, N. Resultados preliminares del monitoreo activo de deslizamientos mediante sondeos multidisciplinarios. *Revista europea de teledetección*, 50:1, 2017, 280-299 pp. DOI: 10.1080/22797254.2017.1324741

RAMÍREZ, F., MARÍN, M., FUENTES, P. Visita técnica por deslizamiento en ruta L-39 sector Embalse Ancoa, Provincia de Linares, Región del Maule. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Técnico (Inédito). 2022. 21 p. Santiago.

SEPÚLVEDA, S. Metodología de Evaluación del Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos. *Revista Comunicaciones, Departamento de Geología, Universidad de Chile*, No.51, 2000, 3-28 pp.

SCOTT, K.M., MACÍAS, J.M., NARANJO, J.A., RODRÍGUEZ, S., MCGEEHIN, J. Catastrophic Debris Flows Transformed from Landslides in Volcanic Terrains: Mobility, Hazard Assessment and Mitigation Strategies. U.S. Geological Survey Professional Paper 1630, 2001, 72 pp.

VARNES, D.J. Slope movement types and processes. R.L Schuster & R.J Krizek, (Eds.) *Landslides, analysis and control. Special report N°176. Transportation research board, National academy of sciences*, 1978, Washington D.C, 11-33 pp.

WULAN, T., AMBARWULAN, W., PUTRA, A., IBRAHIM, F., PUTRA, M., MARYANTO, D., PINEM, F., MAULANA, D. Pemetaan Cepat Kawasan Terdampak Bencana Longsor dan Banjir di Kabupaten Bangli, Provinsi Bali. *Majalah Geografi Indonesia* Vol. 31, No. 2, 2017, 44 – 50 pp. DOI: <https://doi.org/10.22146/mgi.25493>, web: <https://jurnal.ugm.ac.id/mgi>.

YAPRAK, S., YILDIRIM, O., SUSAM, T., INYURT, S., AND OGUZ, I. The Role of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) In Monitoring Rapidly Occuring Landslides. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2018, 23 pp. <https://doi.org/10.5194/nhess-2018-13>, 2018.