

REMOCIONES EN MASA TIPO FLUJO (ALUVIONES) QUE AFECTARON A LA LOCALIDAD DE HUATACONDO (CHILE) DESDE EL 25 AL 26 DE JUNIO DE 2025

Informe preliminar

Francisca Roldán^{1,2}

¹ Department of Geological Sciences, Universidad Católica del Norte, Antofagasta, 1270709, Chile.

² Research Center for Integrated Disaster Risk Management CIGIDEN ANID/FONDAP 1523A0009, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 8331150, Chile.

Huatacondo es una localidad ubicada en la Región de Tarapacá en la Provincia de Tamarugal, al interior de la comuna de Pozo Almonte (506493 mE – 7884929 mN). Específicamente se ubica a 243 km al sureste de Iquique por la carretera Panamericana Norte Ruta 5 y por la carretera A-85. Su población se estima entre 150 a 200 personas cuya actividad principal se centra en la agricultura y minería que han motivado diversas actividades económicas que perduran hasta el día de hoy (Figura 1).

Se encuentra ubicada a aproximadamente 2.334 m s.n.m., en el flanco occidental de la Cordillera de los Andes, dentro de la macrocuenca del Río Loa. Específicamente, la subcuenca donde se emplaza la localidad de Huatacondo corresponde a una cuenca endorreica de carácter transicional altiplánico. La localidad se sitúa en un valle aluvial-fluvial encajonado, característico de las quebradas andinas del norte de Chile.

Hidrológicamente, el ápice de la cuenca se ubica en la Cordillera Prealtiplánica y se extiende hacia el oeste atravesando la Precordillera del Río Loa Superior. A lo largo de su recorrido, la cuenca transiciona morfológicamente hacia sectores de pediplanos, glaciares y piedemontes, hasta alcanzar finalmente la depresión intermedia conocida como Pampa del Tamarugal. Su aporte hídrico proviene directamente desde el Estero Huatacondo de morfología meandriforme, teniendo un rol fundamental en la configuración geomorfológica del entorno mediante un curso de agua intermitente que se activa principalmente en eventos de lluvia o por deshielo ocasionales.

A pesar de su aislamiento geográfico, Huatacondo tiene particularidades geológicas, geomorfológicas y climáticas que la hacen un caso de estudio interesante en cuanto al desarrollo de amenazas hidrometeorológicas. De hecho, si bien en Huatacondo no existen registros históricos abundantes de activaciones de quebradas con daños significativos en esta localidad, recientemente fue afectada por una tormenta de lluvia que generó remociones en masa tipo flujo entre los días 25 y 26 de junio de 2025. Estos flujos alcanzaron alturas de hasta un metro y provocaron daños considerables: al menos 170 personas afectadas, 25 viviendas con daños con una de ellas completamente destruida; varios vehículos fueron arrastrados por los sedimentos, caminos quedaron inhabilitados y tanto la posta rural como otros servicios públicos se vieron gravemente comprometidos, afectando el funcionamiento cotidiano y la calidad de vida de los habitantes de esta comunidad.

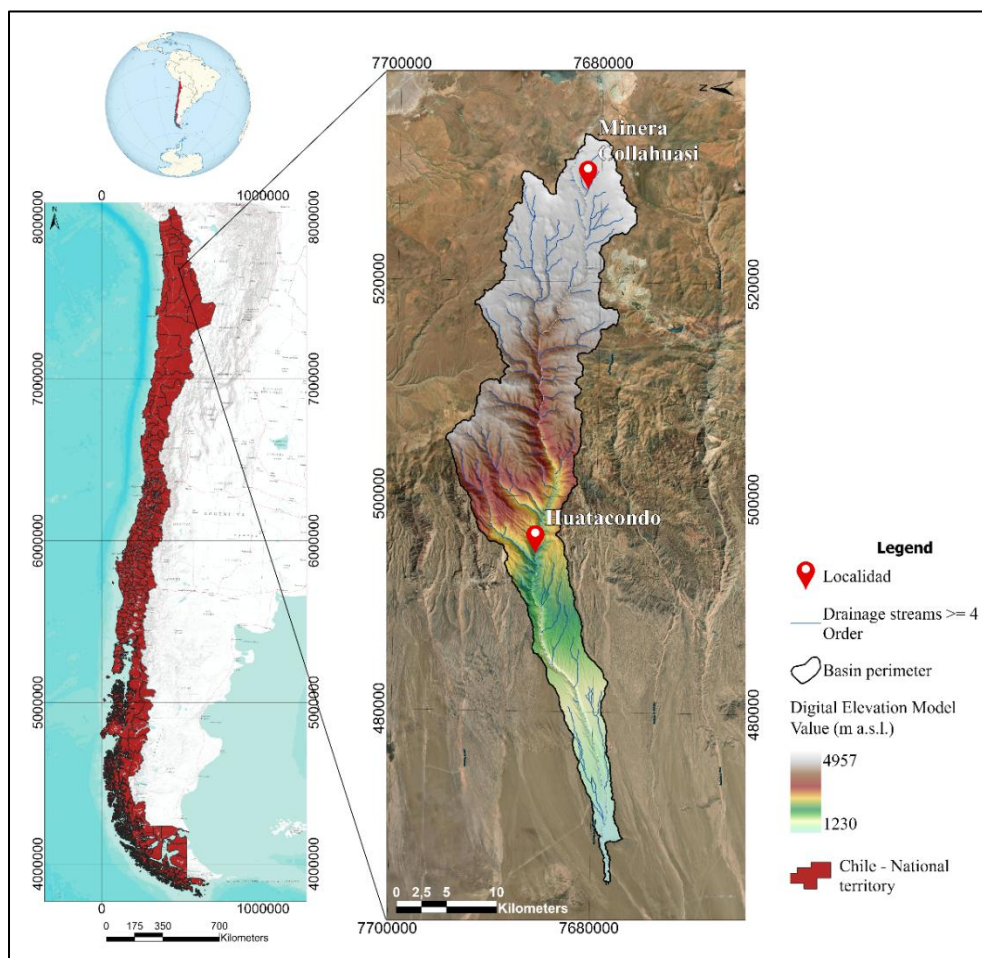


Figura 1. Ubicación de la sub-cuenca endorreica de Huatacondo (506493 mE – 7884929 mN). Región de Tarapacá en la Provincia de Tamarugal, al interior de la comuna de Pozo Almonte.

En cuanto a las características hidrometeorológicas de esta cuenca en particular, los registros de la estación Huatacondo de la Dirección General de Aguas (DGA) muestran una precipitación acumulada anual promedio de 22 mm para el período 1977–2025. Esta serie evidencia una notoria variabilidad interanual, mensual y diaria, estrechamente asociada a las fases del fenómeno El Niño–Southern Oscillation (ENSO), especialmente a su fase fría (La Niña), tal como se observa en la Figura 2. A pesar de la baja media anual, se identifica una tendencia general al alza en la precipitación acumulada, destacando el año 2005, que registró un total de 136 mm anuales. Este valor constituye una anomalía respecto del comportamiento histórico y se interpreta como un periodo anual extremo, sobre todo considerando que no se reportó una alta frecuencia de eventos de lluvia ese año, lo que sugiere la ocurrencia de precipitaciones intensas concentradas en pocos días como el evento de enero de 2005 acumulando un total de 126 mm en 9 días efectivos de lluvia (desde el 10 al 19 de enero de 2005).

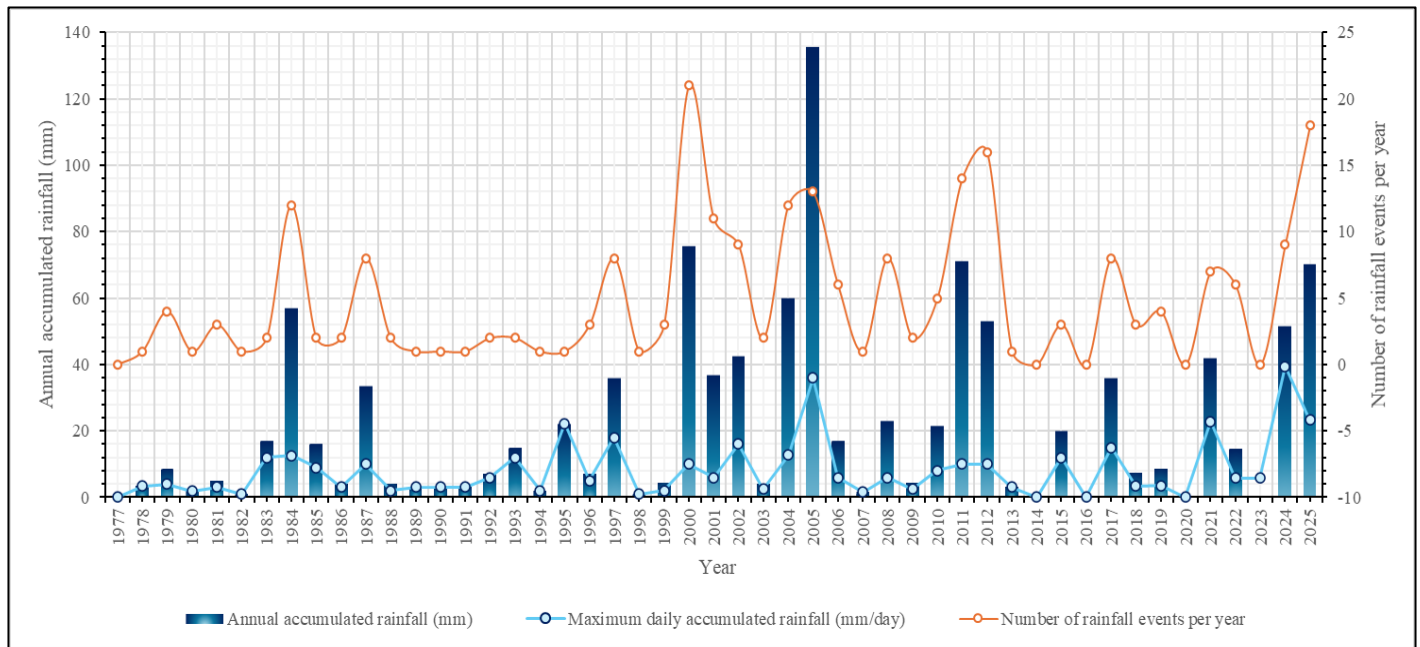


Figura 2. Registros históricos-actuales de la estación Guatacondo de la Dirección General de Aguas (DGA) desde 1977 a la actualidad representando las lluvias acumuladas anuales (mm) destacándose eventos de lluvia máxima diaria por año y la cantidad de eventos de lluvia anuales. Este gráfico demuestra las fluctuaciones de lluvia acumulada anual destacándose el año 2005, que si se relaciona con la cantidad de eventos se puede estimar que fueron eventos con intensidades importantes.

Como se constata en la Figura 3, si bien las lluvias en esta zona suelen estar asociadas a eventos convectivos estivales conocidos como Altiplanic Rainfall (frecuentes en los meses de diciembre a febrero), el evento registrado entre el 25 y 26 de junio de 2025 correspondió a un sistema frontal invernal, un fenómeno poco frecuente en esta región. Este sistema no sólo generó precipitaciones intensas, sino que también estuvo acompañado por fluctuaciones significativas en la isoterma 0 °C, lo que provocó el deshielo en sectores medios y altos de la cuenca. Dicho deshielo actuó como un aporte hídrico adicional, incrementando el caudal y contribuyendo al desarrollo de flujos de detritos en quebradas activas del sector.

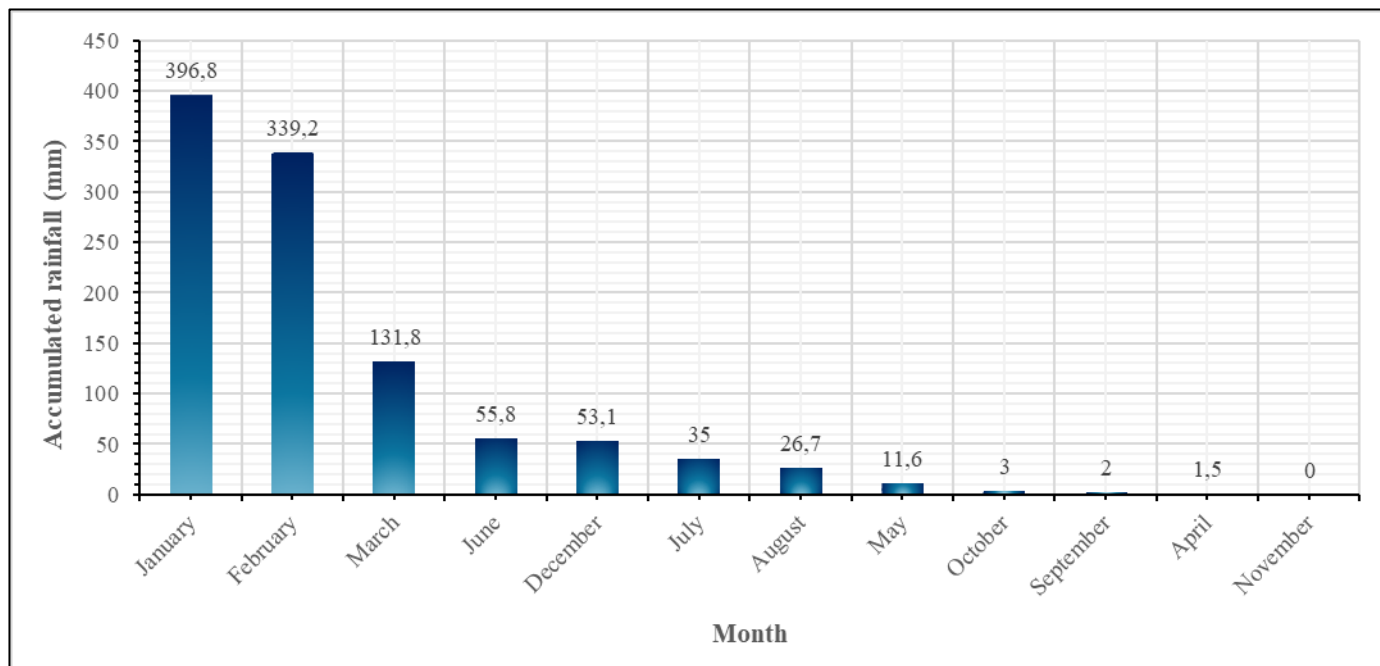


Figura 3. Registros históricos-actuales de la estación Guatacondo de la Dirección General de Aguas (DGA) desde 1977 a la actualidad. Este gráfico demuestra los meses con mayor recurrencia de eventos de tormentas de lluvia, siendo el de mayor recurrencia el mes de enero, relacionándose por ellos eventos estivales de Altiplanic Rainfall, característicos de estas zonas orientales de Chile.

La Figura 4 muestra que el evento de precipitaciones se concentró en tan solo dos días, específicamente entre el 25 y 26 de junio de 2025, con acumulaciones diarias de 9,3 mm y 9,8 mm respectivamente, registradas por la estación DGA Huatacondo. Durante ese mismo período, se observaron variaciones significativas en la temperatura del aire, con un leve aumento el 26 de junio, lo que sugiere un cambio en las condiciones térmicas de la atmósfera.

Al aplicar un gradiente adiabático ambiental estándar (Environmental Lapse Rate) de $0,0065\text{ }^{\circ}\text{C/m}$ para extrapolar la isoterma $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ desde la estación de radiosonda de Antofagasta (DMC) hacia la localidad de Huatacondo (Figura 4 – Figura 6), se observa un descenso de la isoterma el 25 de junio, seguido de un ascenso el día 26, totalmente correlacionable con la evolución propia de la temperatura en las mismas fechas. Esta oscilación térmica, en combinación con las precipitaciones acumuladas, podría haber favorecido procesos de fusión nival en los sectores medios y altos de la cuenca.

De acuerdo con la Figura 5, se registra una pérdida del 12,5 % del área nival entre el inicio y el término de la tormenta (25 y 26 de junio, respectivamente), lo que evidencia un aporte hídrico directo a la escorrentía líquida-detrítica de tipo aluvial-pluvial. Este ascenso de la isoterma $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ al final del evento indica un aumento en la franja altitudinal sometida a temperaturas positivas, lo cual favorece el deshielo en cotas superiores y coincide con el momento de mayor descarga, amplificando la respuesta hidrológica de la cuenca. Este comportamiento se alinea con testimonios de residentes que reportaron un aumento en la intensidad y volumen de los flujos, atribuido al aporte hídrico por deshielo,

reforzando así la hipótesis de una combinación de precipitaciones y escurrimiento nival como factores gatillantes y condicionantes del evento de remoción en masa.

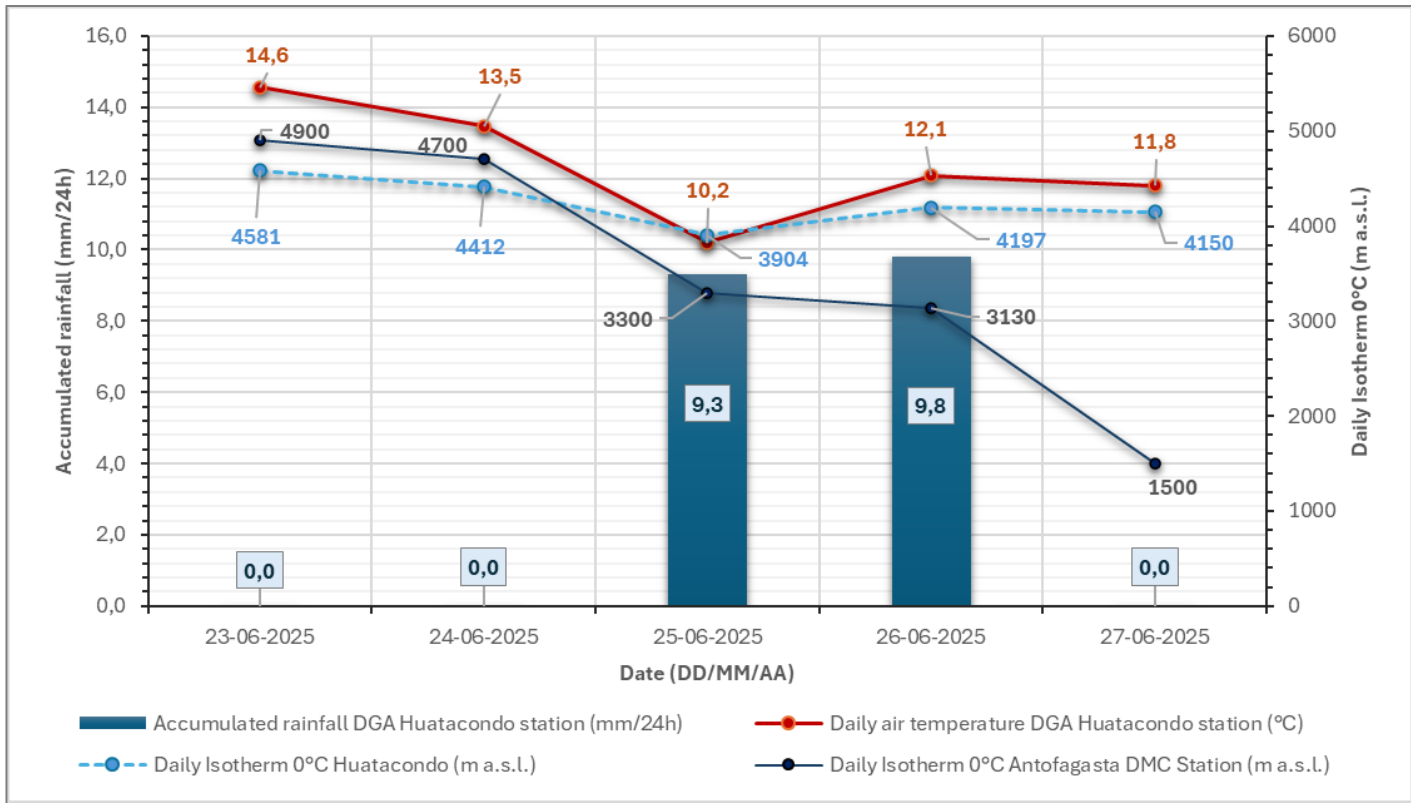
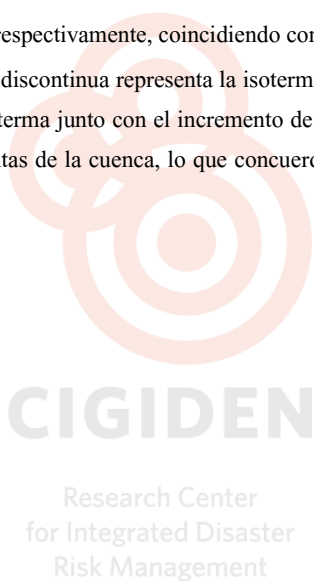


Figura 4. Comportamiento diario de la precipitación acumulada (mm/24 h), temperatura del aire (°C) e isoterma 0 °C (m s.n.m.) entre el 23 y 27 de junio de 2025 en la localidad de Huatacondo, en el marco del evento de remociones en masa tipo flujo. Se observa que las precipitaciones se concentraron los días 25 y 26 de junio, con 9,3 y 9,8 mm respectivamente, coincidiendo con un descenso marcado de la isoterma 0 °C estimada para Antofagasta, desde 4900 a 1500 m s.n.m. La línea celeste discontinua representa la isoterma 0 °C estimada para Huatacondo aplicando un gradiente adiabático ambiental estándar. Esta disminución de la isoterma junto con el incremento de temperaturas superficiales el día 26 sugiere un probable aporte de agua por fusión de nieve o hielo desde zonas altas de la cuenca, lo que concuerda con observaciones en terreno que indican aumento de caudales y torrencialidad de los flujos.



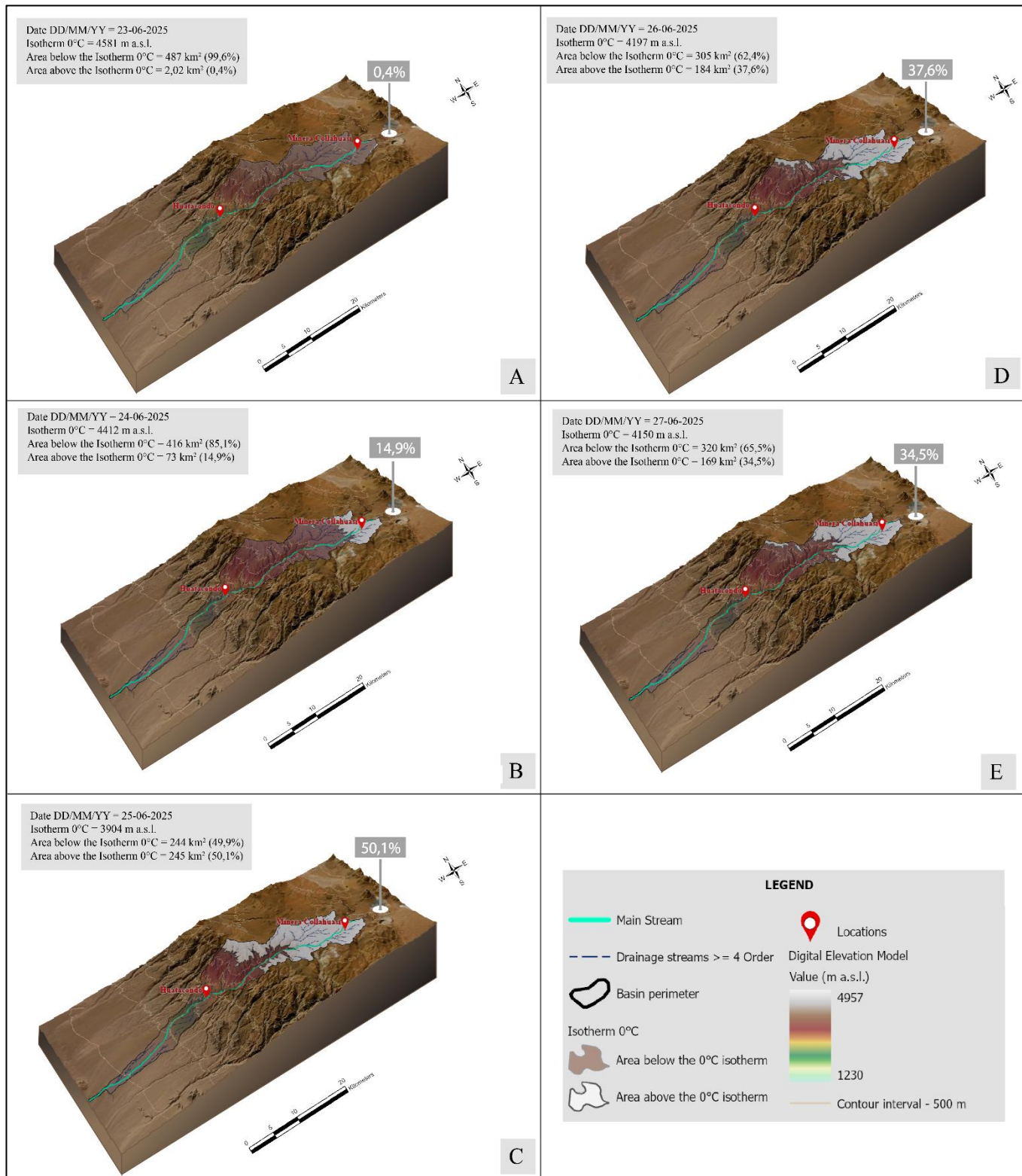


Figura 5. Modelos 3D de la subcuenca de Huatacondo correspondientes al periodo comprendido entre el 23 y el 27 de junio de 2025.

Se representa la evolución espaciotemporal diaria de la altitud de la isoterma 0 °C, permitiendo visualizar la variabilidad del área expuesta al deshielo. La delimitación entre las zonas por debajo y por encima de la isoterma permite inferir cambios en el volumen nival disponible para escorrentía, destacando el rango entre los días 25 y 26 de junio como el momento de mayor contribución potencial de fusión nival al sistema hidrográfico, lo que

coincide con el desarrollo del evento aluvial. Información relevante para comprender el rol del deshielo como factor co-gatillante durante tormentas invernales en zonas de alta montaña.

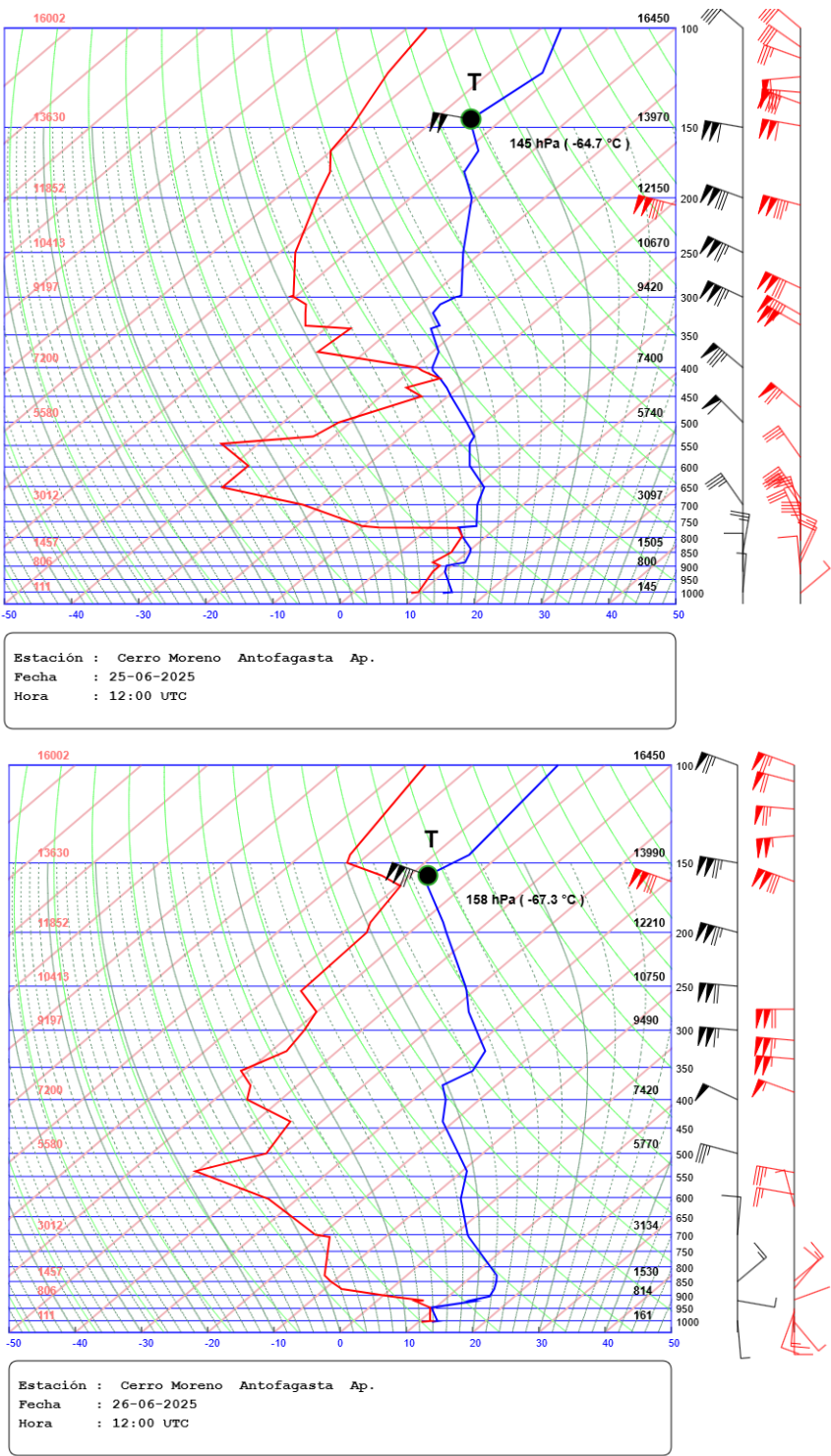


Figura 6. Diagrama termodinámico Skew-T/Log-P correspondiente a la radiosonda de la estación Cerro Moreno (Antofagasta), proporcionado por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC). Se muestran los perfiles verticales de temperatura (línea roja) y punto de rocío (línea azul) en función de la presión atmosférica. Este perfil atmosférico permite estimar el comportamiento térmico de la atmósfera, incluyendo la altura de la isoterma 0 °C

(círculo verde), así como condiciones de estabilidad, saturación y potenciales niveles de condensación, relevantes para evaluar la ocurrencia de precipitaciones y procesos de deshielo en zonas cordilleranas.

Por otro lado, si bien se indica que el evento fue el 25 y 26 de junio, estos se concentraron en menor de 24 horas. Específicamente el evento hidrometeorológico de lluvias se desarrolló el 25 de junio de 2025 a las 10:26 hasta el 26 de junio de 2025 a las 03:26, contabilizándose un total de 17 horas en total donde el 26 de junio a las 00:26 horas se registraron las mayores intensidades (8,8 mm/h), siendo valores considerables para los registros históricos del norte de Chile (Figura 7). Por otro lado, si consideramos la ubicación de la estación, esta se encuentra a una altitud de 2460 m s.n.m. ubicada en la localidad de Huatacondo, por lo cual sus valores podrían estar subestimados pudiendo ser incluso mayores para este evento en particular.

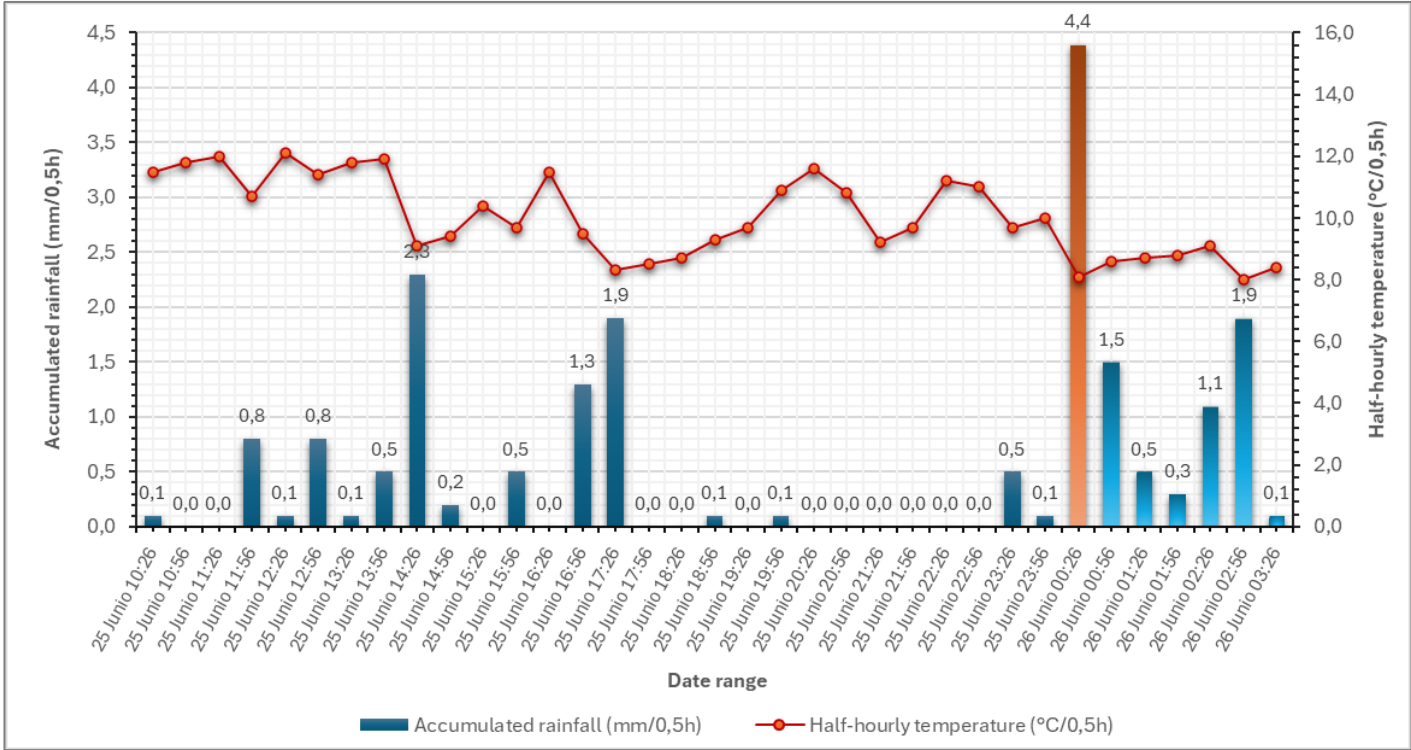


Figura 7. Evolución de la temperatura del aire (°C) y la precipitación acumulada cada media hora (mm/0,5 h) registrada en la estación Huatacondo (DGA) entre las 10:26 del 25 de junio y las 03:26 del 26 de junio de 2025. Se observa una concentración de lluvias en dos fases principales, destacando un máximo de 4,4 mm en 30 minutos durante la madrugada del 26 de junio, acompañado por una disminución sostenida de la temperatura del aire. Estos datos son consistentes con el desarrollo de flujos aluvionales observados en la cuenca.

Por otro lado, si bien el valor de las lluvias acumuladas para este evento no fue de carácter anómalo, si lo comparamos con los registros históricos, la particularidad del mes de ocurrencia y la particular activación de quebradas infiere factores inusuales que infieren una importancia única para no descartar su análisis. Si analizamos las curvas Intensidad–Duración–Frecuencia (IDF) para la estación pluviométrica de Huatacondo DGA (Figura 8), las curvas muestran la intensidad media de precipitación (mm/h) en función del tiempo de duración (horas) para diferentes periodos de retorno (Tr), desde 2 hasta 200 años. En particular, la lluvia extrema registrada el 25 de junio de 2025

entre las 23:56 y 00:26 h, alcanzó una intensidad máxima de 8,8 mm/0,5 h, corresponde a un período de retorno igual o superior a 200 años, evidenciando la excepcionalidad y carácter extremo de este evento en la zona.

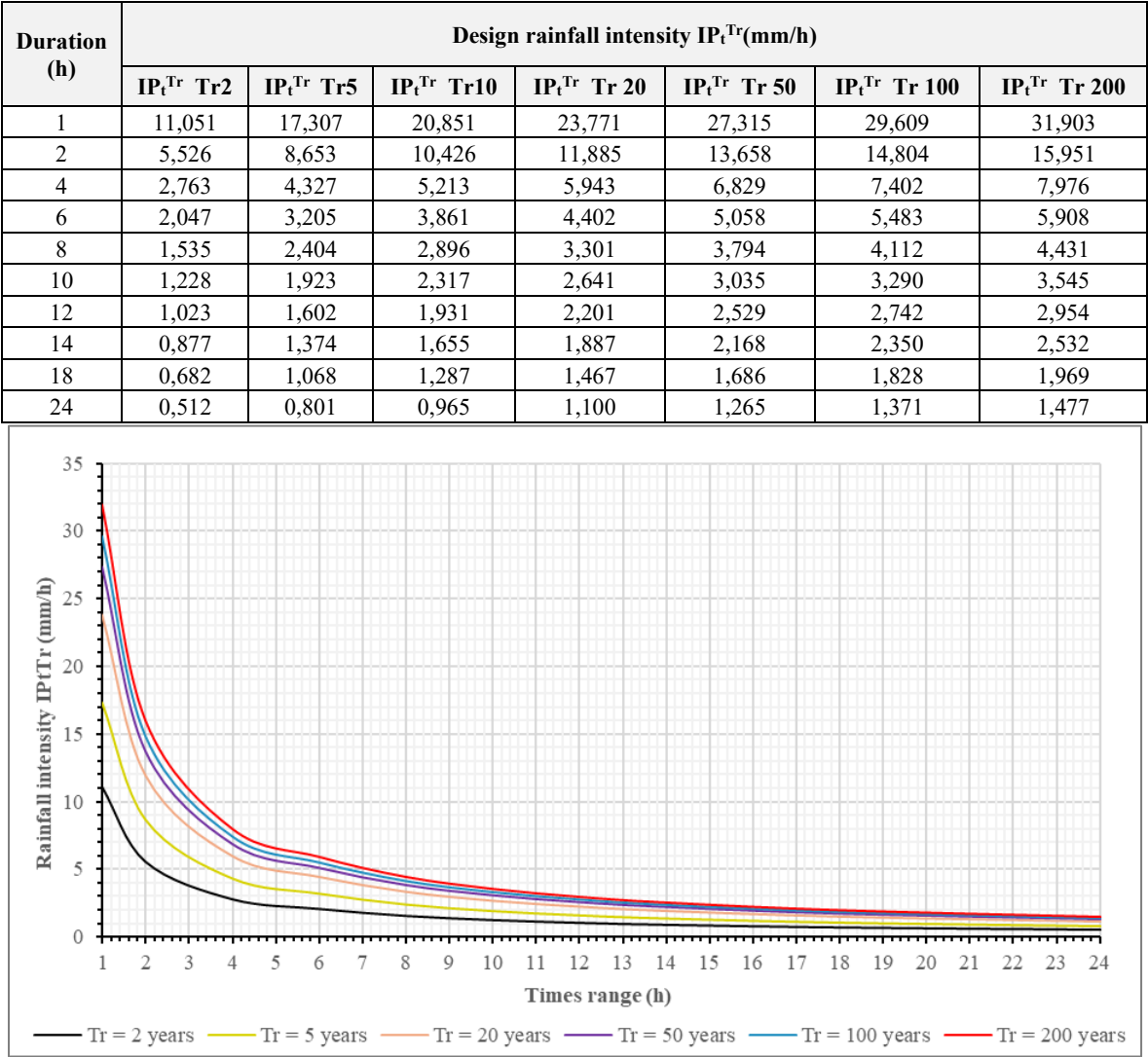


Figura 8. Intensidad de lluvia de diseño $IP_t^{Tr}(\text{mm/h})$ y el gráfico de Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para la estación Huatacondo, generadas a partir de los datos pluviométricos de la Dirección General de Aguas (DGA). Se presentan las intensidades de lluvia (mm/h) en función del tiempo de duración (1 a 24 h) para distintos períodos de retorno (Tr) de 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 200 años. Estas curvas permiten evaluar el carácter extremo de eventos de precipitación, facilitando su comparación con lluvias observadas recientes y el análisis de amenazas hidrometeorológicas, para lo cual este evento en particular se relaciona entre un Pr2-5.

En cuanto a la activación de cuencas requiere tanto de factores meteorológicos (como precipitaciones intensas que actúan como gatillantes) como de condiciones físicas del entorno. Entre estas últimas, destacan los factores hidromorfológicos y geológicos presentes en la subcuenca. En términos hidromorfológicos, la cuenca posee una extensa área de captación de 489 km² (equivalente a aproximadamente 59.273 canchas de fútbol) y un perímetro de 252 km. Las pendientes oscilan entre valores máximos de 74° y mínimos de 4°, representando zonas altamente escarpadas y zonas en tendencia a planicies respectivamente. Las altitudes varían entre 1.231 y 4.957 m s.n.m.,

generando un desnivel absoluto de 3.726 m y un desnivel local de 640 m en el sector de la localidad, lo que refuerza su potencial hidrológico torrencial. En cuanto a su respuesta hidrológica, la cuenca presenta un tiempo de concentración (T_c) estimado de 6,9 horas, considerando una longitud de cauce principal de 86 km. No obstante, si se considera el tiempo de respuesta entre la localidad de Huatacondo y el ápice de la subcuenca, el T_c se reduce a aproximadamente 4 horas, correspondiente a una longitud de cauce de 48 km (Figura 9).

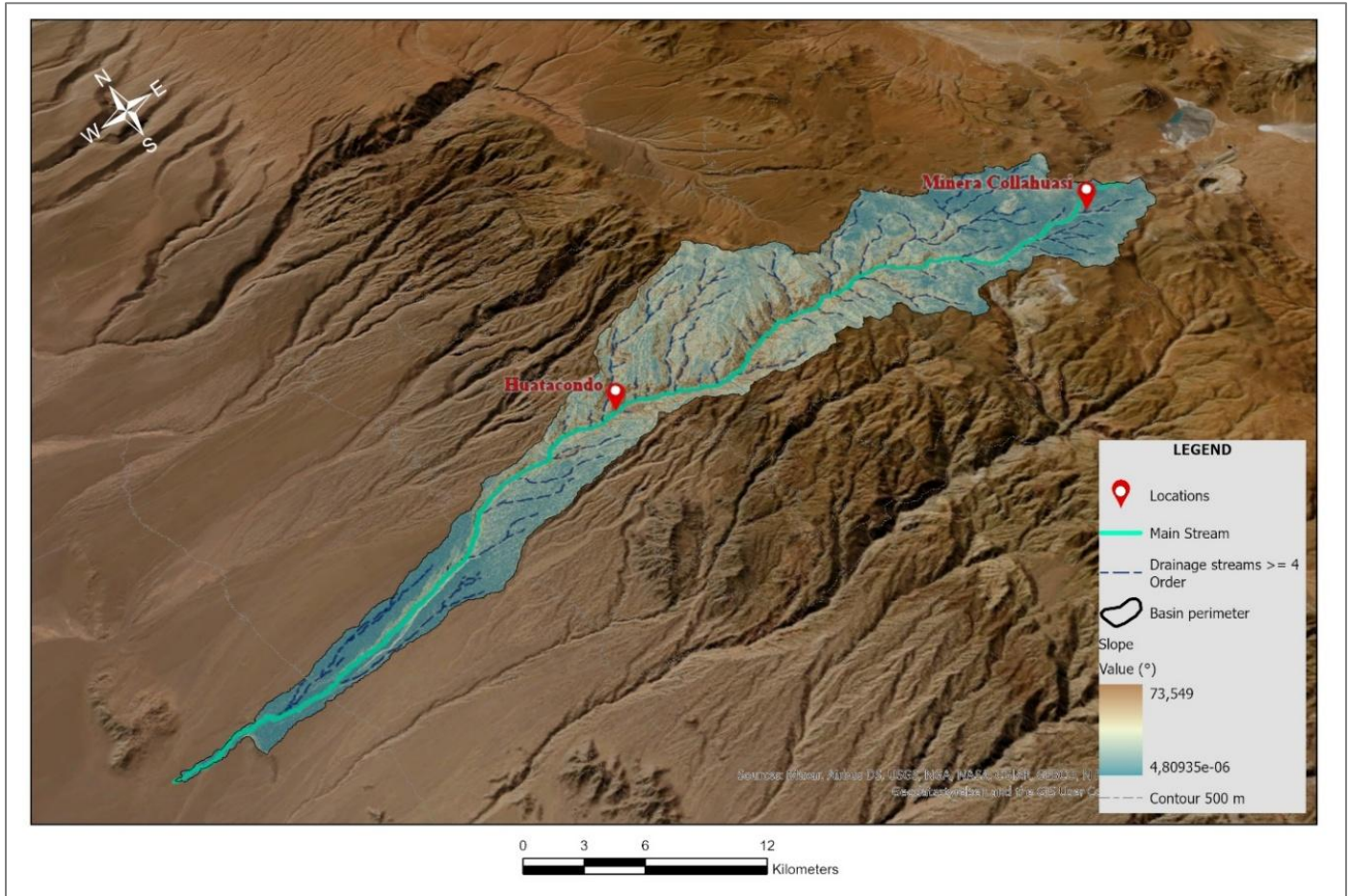


Figura 9. Modelo 3D de la cuenca endorreica de Huatacondo con mapa de pendiente (slope), red de drenaje tributaria ($\geq$ orden 4) y cauce principal. La representación destaca la configuración morfológica de la cuenca, caracterizada por una estructura alargada y una marcada gradiente topográfica desde las cabeceras (zona de Minera Collahuasi) hacia el sector de Huatacondo. Esta configuración favorece la concentración de escorrentía superficial y la conectividad hidráulica, siendo factores críticos para la generación y desplazamiento de flujos (aluviones) durante eventos de tormentas de lluvia.

En este contexto, un factor que podría haber contribuido a una menor activación de quebradas hacia la localidad de Huatacondo es el índice de forma, estrechamente relacionado con la morfología del perímetro de la cuenca, según los conceptos propuestos por Robert E. Horton. Los análisis realizados indican que se trata de una cuenca alargada, lo que típicamente se asocia con menores caudales peak y mayores tiempos de concentración, debido a la dispersión temporal del escurrimiento superficial hacia las zonas de desembocadura. Este comportamiento se ve reforzado por el cálculo del Factor de Compacidad (K_c) el cual arrojó un valor que caracteriza a la cuenca como muy rectangular u oblonga, reforzando su naturaleza elongada. En contraste, cuencas de morfología más circular tienden a presentar una

respuesta hidrológica más rápida, con tiempos de concentración más cortos y mayor probabilidad de generar hidrogramas con alta torrencialidad y mayor volumen específico en intervalos breves, pudiendo ser un factor clave en la poca activación de eventos anteriores.

El análisis conjunto del modelo 3D y los perfiles topográficos evidencia una morfología marcadamente contrastada a lo largo de la subcuenca de Huatacondo, con implicancias directas en su comportamiento hidrológico y en su susceptibilidad a remociones en masa tipo flujo. Destaca un desnivel absoluto de aproximadamente 3.700 m y la presencia de sectores con pendientes superiores a 35°, lo que revela una alta energía de relieve favorable a dinámicas torrenciales. La red de drenaje, jerarquizada con cauces de orden ≥ 4 , se encuentra bien desarrollada y distribuye eficientemente los escurrimientos hacia el cauce principal (Figura 10).



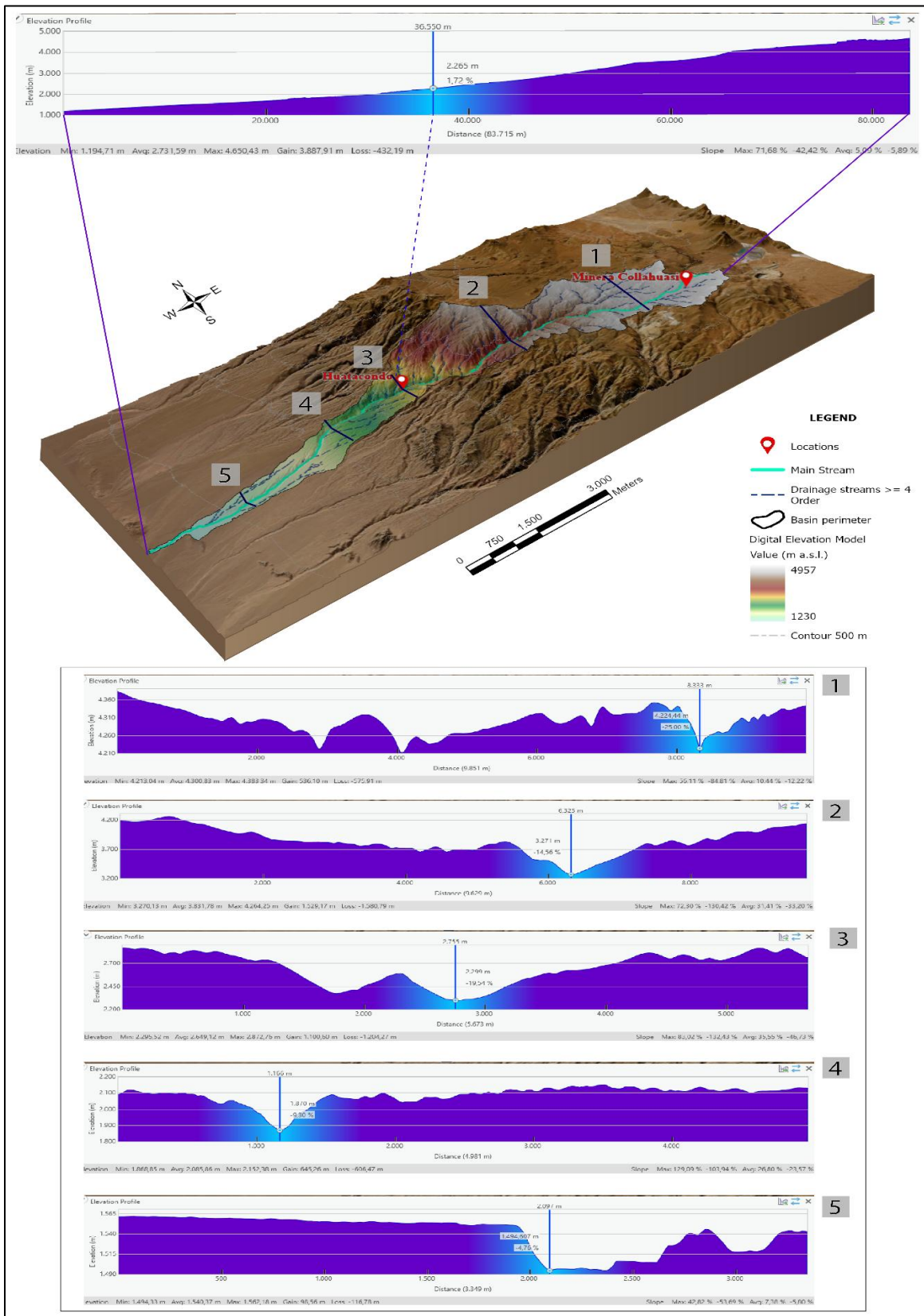


Figura 10. Modelo 3D de la cuenca endorreica de Huatacondo con evolución geomorfológica longitudinal y transversal, que evidencia las incisiones y características fluviales-aluviales de sus valles, así como los cambios morfológicos abruptos a lo largo del perfil este-oeste desde su origen en la Cordillera Prealtiplánica hasta su transición hacia la Pampa del Tamarugal.

Los perfiles topográficos transversales permiten delimitar cinco zonas geomorfológicas, que reflejan variaciones en la pendiente, profundidad de incisión y potenciales zonas de acumulación o canalización de flujos, destacando valles fuertemente encajonados en los tramos intermedios y bajos. Estas características, sumadas a una conectividad longitudinal eficiente y a la presencia de depresiones topográficas, refuerzan el potencial de la cuenca para generar flujos gravitacionales de alta movilidad ante eventos hidrometeorológicos extremos.

Desde una perspectiva hidromorfológica, el análisis de índices morfométricos aporta información clave sobre su respuesta hidrológica. El índice de forma, según los conceptos propuestos por Horton, indica que se trata de una cuenca elongada, lo cual se asocia típicamente a menores caudales pico y mayores tiempos de concentración, debido a la mayor dispersión temporal del escurrimiento superficial. Este comportamiento es consistente con el valor del Factor de Compacidad (K_c , Gravelius), que caracteriza a la cuenca como muy rectangular u oblonga. En contraste, las cuencas de forma más circular presentan respuestas más rápidas, con tiempos de concentración reducidos y mayor probabilidad de generar hidrogramas torrenciales con picos intensos en corto plazo, lo que podría explicar la baja frecuencia de eventos previos en la zona.

En contraste, la cuenca presenta una alta densidad de red de drenaje, lo que implica que, bajo eventos de precipitación intensa y concentrada, existe una mayor capacidad para la concentración rápida de esorrentía y el transporte de flujos (detríticos, lodos y/o hiperconcentrados), favoreciendo la activación de quebradas hacia la zona de interés. Este comportamiento se ve reforzado por los valores obtenidos del Coeficiente de Torrencialidad (C_t) y del Índice de Eficiencia de la Cuenca (I_e), los cuales clasifican la respuesta hidrológica de la cuenca como de alta a extrema torrencialidad, indicando una susceptibilidad significativa frente a eventos de remoción en masa tipo flujo.

Otro factor fundamental son los aspectos geológicos y principalmente la disposición de material sedimentario dispuesto a ser transportado por caudales líquidos. Específicamente esta sub-cuenca, se caracteriza por tener fallas de orientación preferentemente NNE-SSW, estando constituida principalmente por Depósitos aluviales-fluviales activos, la unidad de Depósitos de piedemonte (sub-unidad de gravas superiores), Formación Altos de Pica con el miembro de facies arenosas, Formación Chacarilla compuesta por una secuencia clástica continental fluvial, Formación Majala siendo una unidad clásticas de areniscas y lutitas principalmente constituyendo unidades actuales del holoceno hasta unidades del jurásico superior. Resulta eso relevante considerando que presentan una calidad geotécnica desde media a media-baja con aporte directo también de material sedimentario de estas fallas y diaclasas (las cuales son abundantes) constituyendo un aporte sedimentario directo al piedemonte o zona del drenaje principal del valle.

Un aspecto geológicamente relevante en la subcuenca de Huatacondo es la clara evidencia de activaciones previas de remociones en masa, representadas por un elevado número de depósitos aluviales y coluviales en las desembocaduras y laderas a lo largo de todo el valle principal y tributarios que confluyen a la localidad. La Figura 11 muestra, en un área relativamente acotada, una relevante concentración de depósitos coluviales-aluviales y fluviales, muchos de los cuales se encuentran actualmente activos, lo que indica una dinámica sedimentaria reciente o recurrente. Es

especialmente preocupante que la principal zona poblada de Huatacondo se encuentre emplazada directamente sobre abanicos aluviales, lo cual refleja una ocupación en áreas de acumulación sedimentaria asociadas a eventos pasados de remociones en masa tipo flujos. Además, este sector coincide con una confluencia de al menos 3 tributarios activos y el cauce principal, aumentando la susceptibilidad local ante procesos de concentración de caudal y transporte de detritos. Estos tributarios, además, drenan desde sectores de alta pendiente que alcanzan incluso los 30–35°, lo que incrementa el potencial de erosión y generación de escorrentía directa y/o detrítica. En este contexto, la naturaleza geotécnica de los depósitos presentes juega un rol clave, ya que su baja cohesión y alta disponibilidad sedimentaria pueden favorecer la movilización rápida de materiales durante eventos extremos. Esto es particularmente relevante en entornos de hiperaridez, donde los intervalos entre eventos de remoción pueden ser prolongados, permitiendo la acumulación de grandes volúmenes de sedimento que luego pueden ser movilizados súbitamente por lluvias intensas o procesos de deshielo.



Figura 11. Vista en 3D de la zona de Huatacondo, donde se identifican depósitos recientes (en términos geológicos) de abanicos aluviales activos, depósitos coluviales-aluviales y terrazas fluviales. Estos elementos geomorfológicos evidencian una dinámica sedimentaria activa, asociada a procesos gravitacionales e hidrometeorológicos que han modelado el paisaje y representan zonas potencialmente susceptibles a remociones en masa tipo flujo.

Finalmente, un aspecto relevante en esta cuenca es la influencia de factores antropogénicos, particularmente la presencia de la faena minera Collahuasi en el ápice de la subcuenca (Figura 8-9). Esta intervención modifica

extensamente la superficie natural mediante caminos, botaderos y zonas de acopio, aumentando la disponibilidad de sedimentos susceptibles de ser movilizados durante eventos de lluvia intensa. Además, estas modificaciones alteran la red de drenaje, la infiltración y los patrones de escurrimiento, dificultando la caracterización precisa de la respuesta hidrológica de la cuenca.

Aunque Huatacondo se ubica a unos 48 km aguas abajo de la faena, la alta torrencialidad de la cuenca y su conectividad longitudinal podrían permitir que estos aportes antrópicos influyan en el volumen y características del caudal detrítico generado durante eventos extremos, especialmente si estos incluyen precipitaciones intensas combinadas con deshielo en zonas altas.

CONCLUSIONES

El evento de remoción en masa tipo flujo ocurrido entre el 25 y 26 de junio de 2025 en Huatacondo evidencia la vulnerabilidad de esta localidad ante fenómenos hidrometeorológicos extremos, incluso en contextos de hiperaridez. A pesar de la baja precipitación media anual registrada históricamente, la ocurrencia de lluvias intensas en un corto periodo, junto con el alza súbita de la isoterma 0 °C, generaron condiciones propicias para el deshielo en zonas altas, lo que actuó como factor co-gatillante al aumentar el caudal disponible para la generación de flujos de diversa concentración volumétrica.

Desde un enfoque morfométrico e hidrogeomorfológico, la subcuenca de Huatacondo presenta características que favorecen procesos torrenciales, tales como un alto desnivel absoluto (>3.700 m), pendientes locales superiores a 35°, una red de drenaje jerarquizada bien desarrollada y una alta densidad de drenaje. La existencia de una forma elongada de cuenca, con un tiempo de concentración superior a 6 h, puede atenuar la simultaneidad de escorrentías en comparación con cuencas más circulares; sin embargo, esta condición es compensada por la alta eficiencia de drenaje, la disponibilidad sedimentaria y modificación antropogénica en el ápice de la cuenca.

Además, se identifican depósitos recientes de abanicos aluviales, coluviales y fluviales activos, sobre los cuales se asienta parte importante del núcleo urbano, lo que aumenta significativamente la exposición de la población a flujos de alta torrencialidad. La confluencia de múltiples tributarios, el carácter encajonado de los valles y la baja cohesión de los materiales geológicos contribuyen a una alta susceptibilidad geomorfológica.

Por otro lado, los factores antropogénicos, en particular la intervención minera en la zona alta de la cuenca, agregan incertidumbre a la caracterización hidrológica, al modificar tanto la disponibilidad de sedimento como los patrones de escurrimiento superficial. Aunque Huatacondo se encuentra a 48 km aguas abajo de esta faena, la alta conectividad longitudinal podría facilitar la transmisión de impactos durante eventos de gran magnitud.

Finalmente, se debe considerar que la isoterma 0 °C actuó como un umbral crítico durante el evento, presentando una oscilación altitudinal significativa entre los días 25 y 26 de junio, lo que modificó de manera sustancial la extensión

del área expuesta a temperaturas positivas y a una mayor captación de aguas lluvias. Esta variabilidad térmica, en sincronía con las precipitaciones acumuladas, favoreció procesos de fusión nival en sectores medios y altos de la cuenca, amplificando la respuesta hidrológica del sistema y aportando caudal líquido adicional a los flujos aluviales. Bajo escenarios de cambio climático, se estima que el aumento sostenido en la altitud de esta isoterma durante tormentas invernales intensifique la frecuencia e intensidad del deshielo simultáneo a las lluvias, lo que incrementaría la probabilidad de generación de caudales mixtos y eventos de remoción en masa, incluso durante estaciones tradicionalmente secas en la zona norte de Chile. En conjunto, estos elementos refuerzan la necesidad de integrar monitoreo climático, caracterización geomorfológica detallada y planificación territorial con enfoque en riesgo para mitigar futuras amenazas en la localidad de Huatacondo.

