



Gorospeko luizia eta eragindako ondorioak

Deslizamiento de Gorospe y sus impactos

Febrero 2022ko Otsaila

(Informe final / Azken txostena)

UPV/EHUko Hidro-Ingurumeneko Prozesuak Ikerketa Talde Kontsolidatuko
(IT1029/16, Eusko Jaurlaritza) kideek aurkeztutako lana

Trabajo presentado por los miembros del Grupo de Investigación Consolidado Procesos Hidro-
Ambientales de la UPV/EHU (IT1029/16, Gobierno Vasco)

Gipuzkoako
Foru Aldundia
Ingurumena eta Obra
Hidraulikoetako Departamentua



ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

Índice

1.	Introducción	2
1.1.	Antecedentes	2
1.2.	Propuesta de trabajo para 2021	9
1.3.	Objetivos	10
2.	Localización y caracterización del entorno	11
2.1.	Aspectos geológicos-geomorfológicos	12
2.2.	Precipitaciones pluviales	15
2.3.	Usos del suelo	17
3.	Metodología	18
3.1.	Elaboración e interpretación de modelos fotogramétricos	18
3.2.	Seguimiento de la turbidez en aguas superficiales	20
3.2.1.	Estación de aforos de Gorospe	20
3.2.2.	Red de muestreo manual	22
4.	Resultados	24
4.1.	Modelos fotogramétricos y comparativa entre vuelos	24
4.2.	Afección en la dinámica de sedimentos en los sistemas acuáticos	26
4.2.1.	Seguimiento continuo de caudal y turbidez en la estación de aforos	26
4.2.2.	Muestreo manual	32
5.	Conclusiones y Recomendaciones	39
	Referencias	42

1. Introducción

Durante la primera quincena de abril de 2020 ocurre un importante movimiento de tierra en la ladera norte de la Sierra de Aizkorri, en el término municipal de Zegama (Gipuzkoa). Este movimiento se constata por parte de un maquinista de la cercana línea ferroviaria de RENFE en su trayecto por Zegama. Además, desde la Dirección de Medio Natural de la Diputación Foral de Gipuzkoa se alerta de un aumento de la turbidez en las aguas del río Oria en su cabecera, a su paso por el pueblo de Zegama.

En este documento se presentan la metodología y los resultados del seguimiento realizado durante un año y medio, tanto del propio deslizamiento como de sus impactos en la dinámica de sedimentos en los cauces de aguas superficiales.

1.1. Antecedentes

La primera valoración del movimiento de tierra se realiza desde la Dirección de Obras Hidráulicas de la Diputación de Gipuzkoa (DFG/GFA). En ese primer informe se indica que el día 9 de abril de 2020 se produce *un gran movimiento de terreno, en la ladera Norte de la Sierra de Aitzgorri en el término municipal de Zegama* (Figura 1). El terreno movilizado está *compuesto por bloques de calizas de varios tamaños, desde decimétricos a métricos, dentro de una matriz de arcillas y limos. Arrastró varios ejemplares de árboles de gran envergadura y todo ello provocó el desvío de una regata y el consiguiente aumento de la turbidez del agua.*

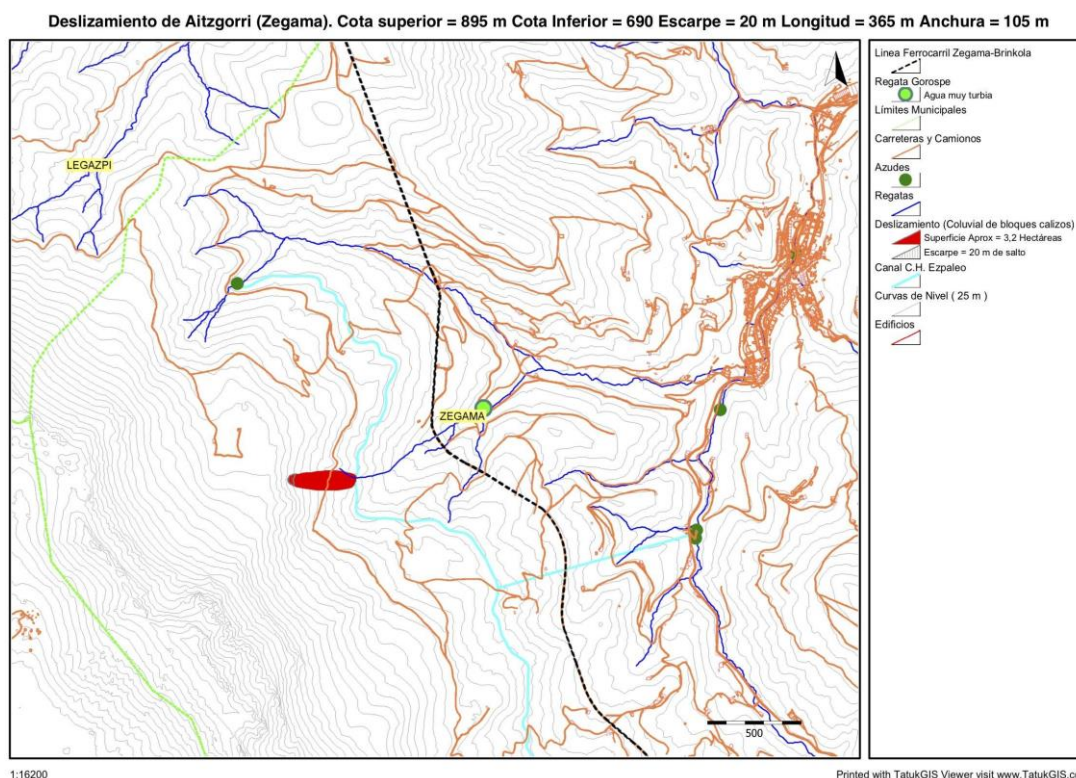


Figura 1: Localización del deslizamiento de Gorospe. Fuente: Informe interno DFG/GFA del 17 de abril de 2020.

Según dicho informe, *la Dirección de Obras Hidráulicas tuvo conocimiento del deslizamiento el martes día 14 de abril a través del Jefe de Servicio de Fauna Salvaje de la Diputación, quien pide que se realice una visita para caracterizarlo y evaluar su alcance. La visita se realizó el miércoles día 15 de abril en la que se recorre y observa la zona afectada, tomando referencia geográfica del contorno del área movilizada. Así, se define el movimiento de tierras como una rotura de ladera tipo “Corriente de derrubios” o “Debris Flow” que ha afectado a un volumen muy considerable de material, de dimensiones desconocidas en las últimas décadas en Gipuzkoa. Los parámetros físicos más significativos del mismo son: la cicatriz tiene unos 50 m de ancho, el salto del escarpe es de unos 20 m, con una longitud superior a 365 m, una anchura en la zona central de unos 100 metros, siendo su superficie aproximadamente de 3 hectáreas. El desnivel es de 205 m, el escarpe está a cota 895 m y el final del deslizamiento a cota 690 m. Los materiales afectados por el deslizamiento pertenecen a un gran coluvión de montaña constituido por bloques calizos de tamaño medio y grande dentro de una matriz limo-arcillosa.*

En la visita realizada *no se constató ninguna entrada de agua en cabecera del deslizamiento, se pudo apreciar que los materiales movilizados presentaban un grado de humedad más bien bajo, aunque no se descartó la existencia de entradas de agua subterránea procedente de las calizas próximas.*

En el informe realizado por la Dirección de Obras Hidráulicas de la DFG/GFA no se ha constatado ninguna causa antrópica (talas de árboles) o meteorológica (precipitaciones intensas) a la que imputar la causa o el carácter de detonante del movimiento de tierras producido. Por lo tanto, se concluye que es de origen natural, unido a la fuerte pendiente de la ladera. *Analizando la estructura geológica de la zona se puede constatar que existe una alineación NO-SE de los contactos entre diferentes formaciones litológicas, y fallas de gran continuidad con esa misma orientación. La estratificación buza fuertemente hacia el interior de la ladera (55º-65º), y se pueden dar las condiciones necesarias para producirse fenómenos de vuelco de estratos, o “toppling”. De hecho, el origen del desarrollo de los coluviones se puede atribuir a mecanismos de vuelco de estratos y su posterior deslizamiento ladera abajo.*

Los daños directos constatados en el informe fueron *de índole medioambiental (turbidez en el río que puede dañar a la fauna piscícola y daños en los árboles),* y se relacionan, sobre todo con la regata Gorospe y el efecto que tienen sus aguas en el alto Oria. Sin embargo, se indica la necesidad de *vigilar la reactivación del deslizamiento mediante imágenes aéreas, así como, el seguimiento del efecto de la turbidez en las regatas afectadas.* Para ello, se realiza una petición de propuesta de seguimiento al Grupo de Investigación en Procesos Hidro-Ambientales de la UPV/EHU (Grupo Consolidado IT1029-16, reconocido por el Gobierno Vasco).

Una vez realizada una primera inspección de campo con personal técnico de la Dirección de Obras Hidráulicas de la DFG/GFA el día 21 de mayo de 2020, el Grupo de Investigación en Procesos Hidro-Ambientales de la UPV/EHU realiza una propuesta de seguimiento del deslizamiento, a finales de mayo, a través de la OTRI de la UPV/EHU. La temática del seguimiento se centraba en el estudio de la afección que el deslizamiento ocurrido a primeros de abril de 2020 en la ladera norte de la Sierra de Aizkorri(Zegama) estaba teniendo sobre la dinámica de sedimentos en las aguas superficiales (en relación con el aumento de turbidez y la consiguiente

sedimentación ya observados) de las regatas próximas y su repercusión en las aguas de la cuenca alta del río Oria.

El objetivo de la propuesta realizada por el Grupo de Investigación era doble. Por un lado, se trataba de situar y diseñar la **estación de control** que necesariamente debía ser construida en la regata Gorospe (primer punto de afección del deslizamiento en la red de drenaje) **para el seguimiento temporal de la afección** (su evolución en relación al régimen de precipitaciones). Esta estación debía incluir, además del control foronómico en continuo, el de la propia turbidez, teniendo para ello que ver la posibilidad de instalar un turbidímetro en continuo alimentado por batería. De hecho, según los datos recogidos por el personal técnico de la DFG/GFA, las fuertes lluvias registradas entre el 8 y el 12 de mayo supusieron un importante aumento de la concentración de sólidos en suspensión (se midieron 19700 mg/l en la regata Gorospe, con una turbidez de >4000 NTU), si bien el caudal se mantuvo prácticamente inalterado; de ahí la necesidad de no limitar el control en continuo sólo a la lámina de agua. El seguimiento temporal de la turbidez era de gran importancia para determinar una de las cuestiones claves a responder en el estudio: si se trataba de una afección pasajera a la calidad de las aguas, o bien si estábamos ante una situación que iba a perdurar largo tiempo, en cuyo caso obligaría a pensar en posibles medidas correctoras en el entorno del deslizamiento.

Así, se diseñó una estación de aforos para su localización en la regata Gorospe. Esta estación se ubicó cerca de la carretera que va desde Zegama hacia el apeadero del ferrocarril de ADIF que realiza el trayecto Madrid-Irun (Figura 2), de modo que fuera de fácil acceso tanto para la instalación, como para la toma de datos y muestras y para realizar el mantenimiento. Las coordenadas UTM de la ubicación son X: 556150.25; Y: 4757695.796. Se debe tener en consideración que en esta zona no se cuenta con toma de electricidad, por lo que la instalación realizada debía funcionar con baterías, que han necesitado ser reemplazadas con asiduidad (una vez por semana) para asegurar una toma de datos de caudal y turbidez exhaustiva en el tiempo (cada diez minutos).

La obra e instalación del equipamiento necesario en la estación de aforos la realizó la propia DFG/GFA mediante la empresa Montajes e Instalaciones Gorbea S.L. Las obras de la estación, incluyendo la colocación de un vertedero triangular, una regleta para la comprobación del nivel de agua en el cauce y la instalación de una sonda de nivel para poder medir el nivel de agua en el cauce en continuo, se concluyeron el 9 de julio de 2020 (Figura 3). La sonda de nivel instalada fue la CNC4200-MT3 de Isurki, que según sus especificaciones técnicas mide en un rango de 0 a 2 metros la presión hidrostática entre la superficie del líquido y la posición de la sonda.

La instalación de la sonda de turbidez llevó algo más de tiempo debido a las dificultades de encontrar una sonda con la suficiente autonomía para una toma de datos exhaustiva en el tiempo. La sonda instalada fue la OBS 501 de Campbell Scientific®, que, según sus especificaciones técnicas, permite medir una turbidez de hasta 4000 unidades en su modo BS, es decir, en su modo backscatter o retrodispersión, que proporciona medidas de alto rango en unidades FBU (Fomazine Backscatter Units) siguiendo las especificaciones del documento “U.S. Geological Survey Implements New Turbidity Data-Reporting Procedures” (USGS, s/f). La sonda de turbidez se colocó en un primer momento en la parte alta del vertedero triangular y se puso en funcionamiento el 2 de septiembre de 2020 (Figura 4).

El siguiente paso en la instalación de la estación de aforos fue colocar un tomamuestras automático acoplado al turbidímetro, de manera que se tomasen muestras de agua a diferentes

niveles de turbidez pre-establecidos. El 23 de septiembre se completa lo que sería la instalación de la estación de aforos de Gorospe con la puesta en marcha del tomamuestras automático (Figura 5). Se trata de un tomamuestras SIGMA 900 de la casa Hach Lange® con bomba peristáltica que tiene una capacidad para 24 botellas.

Tras terminar la instalación, la ubicación de la entrada del tomamuestras y de la sonda de turbidez tuvo que modificarse ya que, ambos quedaron enterrados en varias ocasiones por los sedimentos que provenían del deslizamiento, por lo que los datos obtenidos carecían de sentido. En la figura 6 se pueden observar varias fotografías del 9 de octubre de 2020, cuando la estación de aforos quedó totalmente colmatada por sedimentos en los que las sondas y el tubo del tomamuestras quedaron enterrados. Con el fin de evitar este enterramiento la sonda y el tubo de entrada del tomamuestras se ubicaron inmediatamente aguas abajo del vertedero (Figura 7). La nueva instalación se puso en marcha el 23 de octubre de 2020.

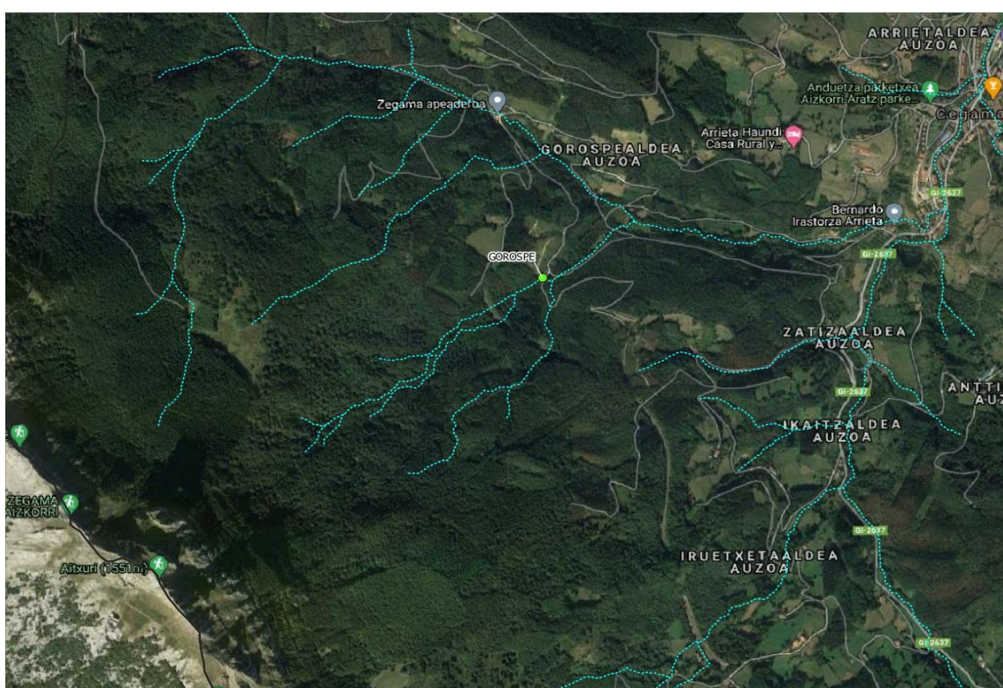


Figura 2: Localización de la estación de aforos de Gorospe sobre una imagen google satellite.



Figura 3: Fotos de la estación de aforo durante la primera fase de instalación, donde se completó la obra de instalación del vertedero y se colocaron la sonda de nivel y la regleta.



Figura 6: Fotografías de algunos momentos en los que la estación de aforos se ha colmatado de sedimentos enterrando las sondas y el tubo de entrada del tomamuestras.



Figura 7: Nueva ubicación de la sonda de turbidez y del tubo del tomamuestras tras el 23 de octubre de 2020.

Los datos obtenidos en la estación de Gorospe durante los meses de octubre a diciembre de 2020 dejaron en evidencia la alta disponibilidad de sedimentos generada por el deslizamiento en la cabecera del Gorospe, con concentraciones de sedimentos en suspensión superiores a 1 g/l de manera habitual y de hasta 30 g/l, y con un total de 80 t de sedimento exportado desde una cuenca de 1 km² en 44 días, octubre - diciembre 2020.

Un segundo objetivo, era la necesidad de **caracterizar espacialmente el deslizamiento**, cosa nada fácil vista la difícil accesibilidad del terreno afectado. Para ello se propuso utilizar un vuelo con un vehículo aéreo no tripulados (dron) para actualizar las ortofotografías de la zona donde había ocurrido el deslizamiento y producir un modelo tridimensional de superficie (3D) del sector (Figura 8). Así, se pretendía analizar los cambios acaecidos en el terreno comparando con una imagen LIDAR que estuviese accesible anteriormente, junto con cuantificar los cambios de volumen tras el deslizamiento. La metodología propuesta permitiría generar un modelo digital de superficie (MDS) de alta resolución espacial (centimétrico) que mostrase las características topográficas del deslizamiento, además de actualizar la ortofotografía disponible para visualizar

el deslizamiento, también con alta resolución espacial (centimétrico). A finales de 2020 se realizó otro vuelo con el objetivo de analizar si se habían producido cambios.

A partir de los datos obtenidos se realizó una primera caracterización del deslizamiento, con una superficie de 5.54 ha y una longitud total de 846 m en el perfil de la lengua principal y un lóbulo lateral de menor longitud, pero mayor anchura. El desnivel total del deslizamiento se cuantificó en 380 m generado como consecuencia de un evento complejo relacionado con un deslizamiento inicial en la parte superior y la continuación en forma de flujo de detritos (*debris flow*) tras la zona del escalón (Figura 9). Asimismo, el cambio de volumen total tras el deslizamiento se calculó en $\pm 165.900 \text{ m}^3$, muestra de la gran magnitud del evento, originando una alta disponibilidad de sedimentos.



Figura 8: Con el ortomosaico derivado de las imágenes fotogramétricas obtenidas por el dron en junio 2020 y el trabajo de campo se genera la superficie actualizada del deslizamiento.

El análisis realizado mostró que los sedimentos más finos se habían acumulado junto al muro que eleva la vía del tren, generando una gran disponibilidad de sedimento fino en esta zona inferior. Además, la regata Gorospe, proveniente de la zona superior adyacente del deslizamiento, continúa su curso por su cauce (con roca madre a la vista) en la lengua principal del deslizamiento, lo cual da un continuo aporte dinámico de sedimentos hacia la parte baja.

Por último, la comparación entre los vuelos del dron realizados en junio y diciembre de 2020, mostró la relativa estabilidad del deslizamiento, si bien es cierto que ciertas zonas se observó una evolución con leves hundimientos o con acumulaciones (de hasta $\pm 2 \text{ m}$), que se relacionó con la existencia de movilidad de sedimentos. Este sistema dinámico mantiene la disponibilidad de sedimentos en la regata Gorospe.

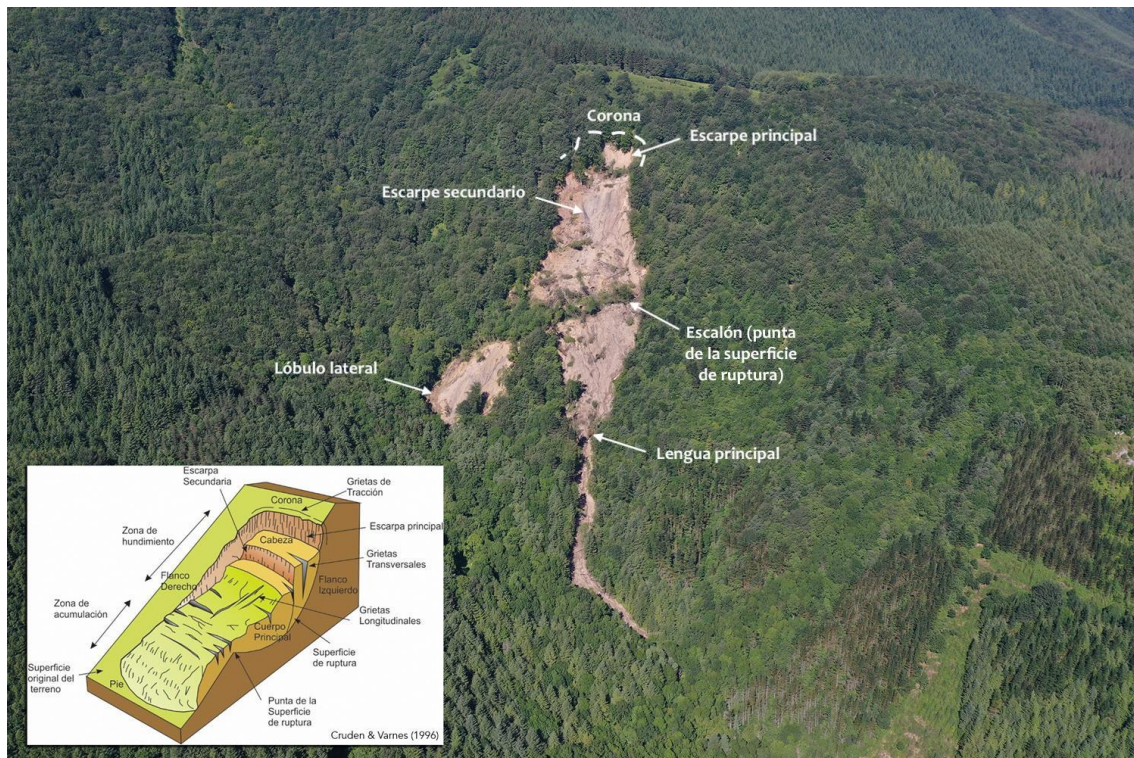


Figura 9: Fotografía aérea obtenida con el dron el 23 de junio de 2020 donde se señalan las partes descritas del deslizamiento. La imagen insertada muestra un esquema general de un deslizamiento y sus partes principales (Cruden y Varnes, 1996).

El trabajo realizado en 2020 propone seguir estudiando la evolución del deslizamiento, para conocer con mayor exactitud su dinámica, y, así, poder evaluar la evolución de la disponibilidad de sedimentos. Además, la corta serie de datos disponibles en la estación de Gorospe, apenas un mes y medio de datos de cierta confianza, dejó el estudio de 2020 limitado en sus conclusiones. Por lo tanto, se veía necesario continuar con el seguimiento temporal de la estación de Gorospe con el fin de aclarar el ámbito temporal de la afección del deslizamiento en la turbidez de las aguas y la evolución de su intensidad.

1.2. Propuesta de trabajo para 2021

El trabajo planteado para el 2021 tiene como punto de partida las conclusiones y recomendaciones realizadas durante la fase anterior del estudio, y recogidas en el informe 2020, y se centra en tres ámbitos relacionados.

Por un lado, se quiere seguir estudiando la dinámica temporal del deslizamiento, para conocer mejor sus cambios y, así, poder evaluar la evolución de la disponibilidad de sedimentos en el cauce de la regata Gorospe, como primer cauce afectado directamente por la masa deslizada. Esto supone la caracterización cuantitativa y cualitativa del deslizamiento, pudiendo constituir una referencia para posibles futuros deslizamientos similares que puedan ocurrir en el territorio. Este seguimiento se basaría en observaciones de campo y en vuelos con el dron utilizado en el 2020, al menos 2 vuelos en el 2021; podrían ser más si las circunstancias (reactivación del flujo) lo requieren.

Por otro lado, es necesario mantener el seguimiento en continuo de caudales y sedimentos en suspensión en la estación de la regata Gorospe, una vez superados los notables problemas técnicos habidos en el control de la fase particulada y que hicieron que la longitud del registro disponible en el 2020 fuera muy limitada. El seguimiento mantendrá la metodología recogida en el informe 2020, incluyendo análisis físico-químicos de las aguas en diferentes situaciones hidrológicas. Sólo este seguimiento temporal permitirá ir aclarando el ámbito temporal de la afección del deslizamiento en la turbidez de las aguas (la evolución de la disponibilidad de sedimentos), y la evolución de su intensidad. De hecho, una de las cuestiones más importantes a seguir es la respuesta de la regata a fuertes episodios lluviosos en diferentes situaciones de humedad de los suelos.

Y por otro, el tratamiento de la información (concentración de sólidos en suspensión) derivada del muestreo manual que los técnicos de la DFG/GFA realizan, con frecuencia semanal, en la red de control de la cuenca del río Oria (hasta Beasain), incluyendo ocasionalmente puntos aguas abajo de Beasain. Especial interés presenta la información en situación de aguas bajas, donde el aporte de sedimentos desde otras subcuencas, que no sean la de Gorospe, es menor.

El estudio propuesto desde la UPV/EHU se planteaba con una duración hasta finales del 2021 (12 meses), momento en el que se proponía entregar el informe final del mismo. El presente informe viene a cumplir con el compromiso adquirido por el Grupo de la UPV/EHU para el año 2021.

1.3. Objetivos

El trabajo realizado persigue dos objetivos principales. Por un lado, la caracterización espacial del deslizamiento y el seguimiento de sus posibles movimientos. Por otro, realizar el seguimiento temporal de la afección del mismo en la dinámica de sedimentos en la regata de Gorospe y, a través de ella, en las aguas de la cuenca alta del río Oria.

Para ello se plantean los siguientes objetivos parciales:

- Caracterización del deslizamiento:
 - Construcción de un modelo 3D y ortomosaico de alta resolución mediante vuelos dron realizados en verano e invierno 2021.
 - Valoración de la progresión del deslizamiento mediante la comparación de los modelos generados en 2021 y en 2020.
- Seguimiento de la afección en la dinámica de sedimentos en los cursos de agua superficiales:
 - Seguimiento en continuo del caudal y la turbidez en la regata de Gorospe mediante la estación de aforos equipada para tal fin.
 - Cálculo de la concentración de sedimentos en suspensión en continuo en las aguas de la regata de Gorospe.
 - Valoración del impacto de la turbidez procedente de la regata de Gorospe en la cuenca alta del río Oria.

2. Localización y caracterización del entorno

El movimiento de tierras estudiado en este informe (de aquí en adelante denominado deslizamiento de Gorospe) se encuentra situado en el flanco norte de la Sierra de Aizkorri, en el término municipal de Zegama, más concretamente en la cabecera de la regata Gorospe y bajo la campa de Itzubia (Figura 10).

Se sitúa en las coordenadas 42°57'59"N y 2°19'16"W, ocupando una superficie de 5.54 ha y una longitud de 846 m en la línea de la lengua principal. Tiene una anchura máxima de 155 m, y en su parte más ancha es donde se sitúa el escalón (o punta de la superficie de ruptura), lugar donde el deslizamiento se desvía en forma de lóbulo lateral unos 245 m hacia el este-sureste (Figura 9).

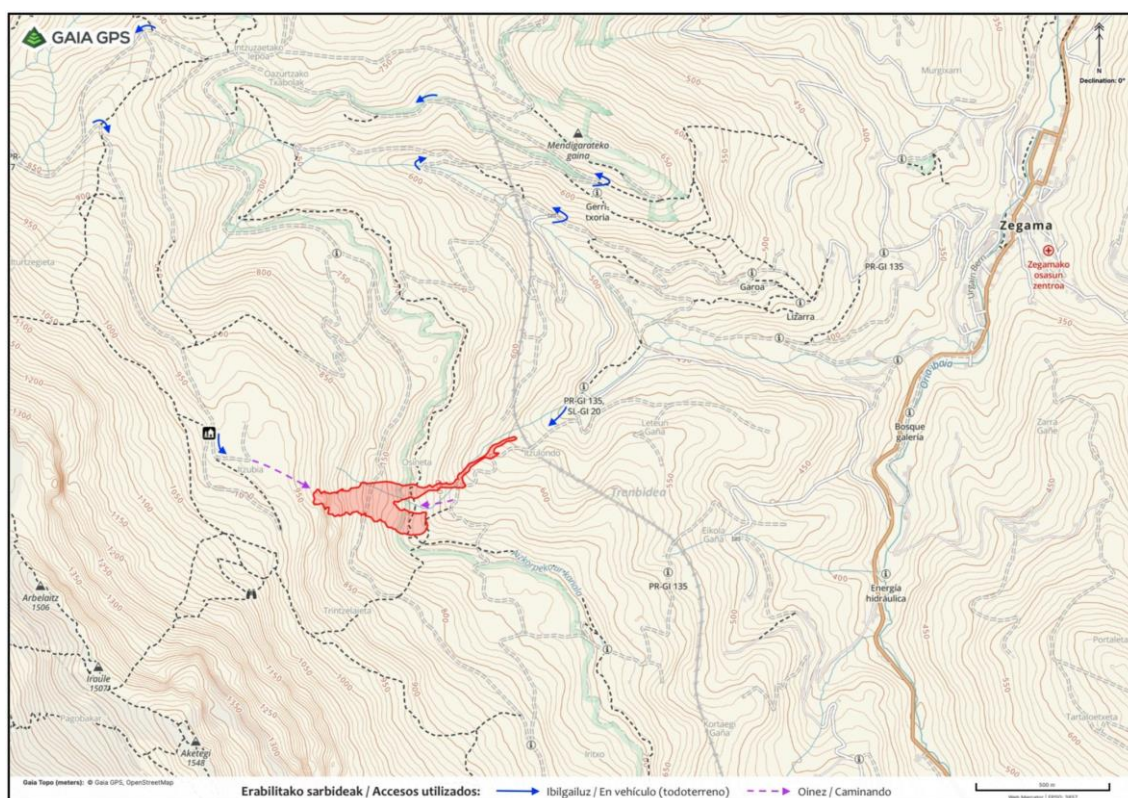


Figura 10: Mapa de ubicación del deslizamiento de Gorospe (señalado en rojo con la superficie actualizada) y los accesos utilizados para llegar al mismo (Gaia GPS).

La corona del deslizamiento se encuentra en la cota de 920 m, y la lengua principal desciende hacia el noreste hasta los 540 m, dando un desnivel total de 380 m. El lóbulo lateral, en cambio, llega hasta la cota de 650 m.

Para acceder al área de estudio desde Zegama, se utiliza la carretera asfaltada a la estación de tren, y tras poco más de 1.5 km donde la carretera traza una curva pronunciada, se encuentra la entrada a la pista que pasa por debajo de las vías del tren y da acceso a la parte inferior del deslizamiento. Para acceder a la parte alta del mismo, se llega hasta la estación para luego tomar una pista que asciende hacia el noroeste hasta Intzuzetako lepoa, para así seguir subiendo y tornando hacia el suroeste para llegar hasta la campa de Itzubia. Desde este punto y tras recorrer la campa, el acceso se realiza descendiendo por la brusca pendiente que da acceso a la corona, los escarpes y el escalón (Figura 9).

2.1. Aspectos geológicos-geomorfológicos

Según el mapa geológico del Ente Vasco de la Energía-EVE (1:25000; hoja 113-II Zegama) el deslizamiento de Gorospe se sitúa sobre materiales diversos del Cretácico Inferior (Barremiense y Albiense) y Superior (Cenomaniense Inferior). En la parte alta del mismo (Figura 11) destacan las lutitas negras y areniscas del Barremiense (066) pertenecientes a la Unidad de Yurre-Gorbea, las cuales se ponen en contacto mediante una **falla inversa o cabalgamiento** con las margas del Cenomaniense Inferior (233) de la Unidad de Oiz que afloran hacia el noreste. Dentro de la Unidad Yurre-Gorbea, hacia la parte basal, son de destacar algunas intercalaciones centimétricas de niveles de yeso, con estructuras de tipo “chickenwire”. La presencia de estos minerales fácilmente hidratables ligados al plano de cabalgamiento podrían haber facilitado el desarrollo del deslizamiento, si bien no es fácilmente demostrable.

Siguiendo hacia la parte baja del deslizamiento, hacia el noreste, se encuentra la alternancia entre las lutitas calcáreas negras con pasadas de areniscas (186) y la alternancia de areniscas silíceas y lutitas (196) del Albiense Superior.

Sobre este substrato rocoso se preserva parte de un modelado del terreno antiguo, con un perfil de equilibrio ya fosilizado que, a su vez, está compuesto por depósitos coluviales con bloques calizos de orden métrico, procedentes del cresterío urgoniano de Aizkorri y deslizados durante al menos dos grandes eventos del Cuaternario (521), uno más antiguo que el otro (Fig. XX). En principio, estos depósitos de coluviales aparecen ubicados hacia el oeste del deslizamiento actual, motivo de este informe, sin contacto con el mismo. Parte de los derrubios presentes en el propio deslizamiento son calizas urgonianas, procedentes del desmantelamiento de los coluviones antiguos situados al oeste. Por ello, se demuestra que la cabecera del deslizamiento interseca con el depósito de los coluviales Cuaternarios antiguos.

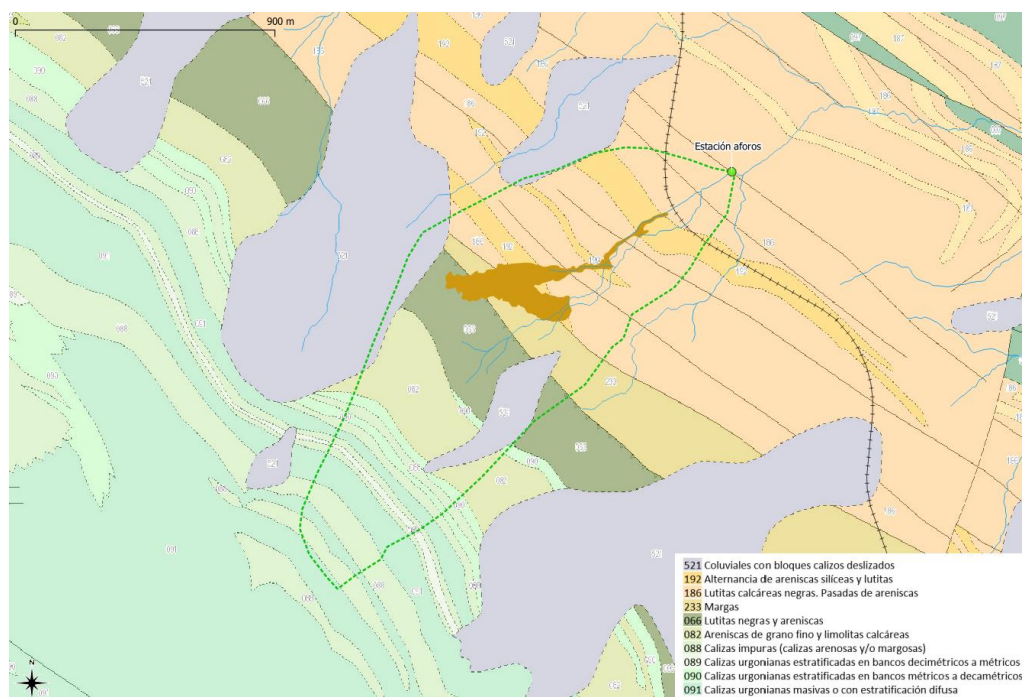


Figura 11: Mapa geológico del entorno del deslizamiento (EVE, hoja 113-II ZEGAMA). Se han señalado el propio deslizamiento de Gorospe mediante una mancha marrón, la ubicación de la nueva estación de aforos de Gorospe, la cuenca drenante hasta la misma mediante una línea verde discontinua y el trazado de la vía del ferrocarril Madrid-Irun.

Además, en el mapa geomorfológico 1:25000 (Geoenskadi) se representa toda la zona afectada por el deslizamiento como una zona de coluvial de bloques (Figura 13), lo cual concuerda algo mejor con los materiales observados en el campo. En la figura 14 se incluye un detalle del mapa geomorfológico de la ladera sur del Aitzgorri en el cual se plasman de manera más detallada los elementos mencionados.

Según la cartografía consultada (Geoenskadi) no existen en el entorno del deslizamiento puntos de agua inventariados, lo cual, teniendo en cuenta las dificultades del terreno para un análisis exhaustivo del mismo, no significa que no existan o que el agua, de alguna manera, no haya estado implicada en el desarrollo del deslizamiento. Se trata, en cualquier caso, de una zona con grandes pendientes, por encima del 50%, e incluso del 100% (Figura 15), propensa por tanto a dinámicas gravitacionales. Y más aún si esta pendiente afecta a depósitos coluviales antiguos.

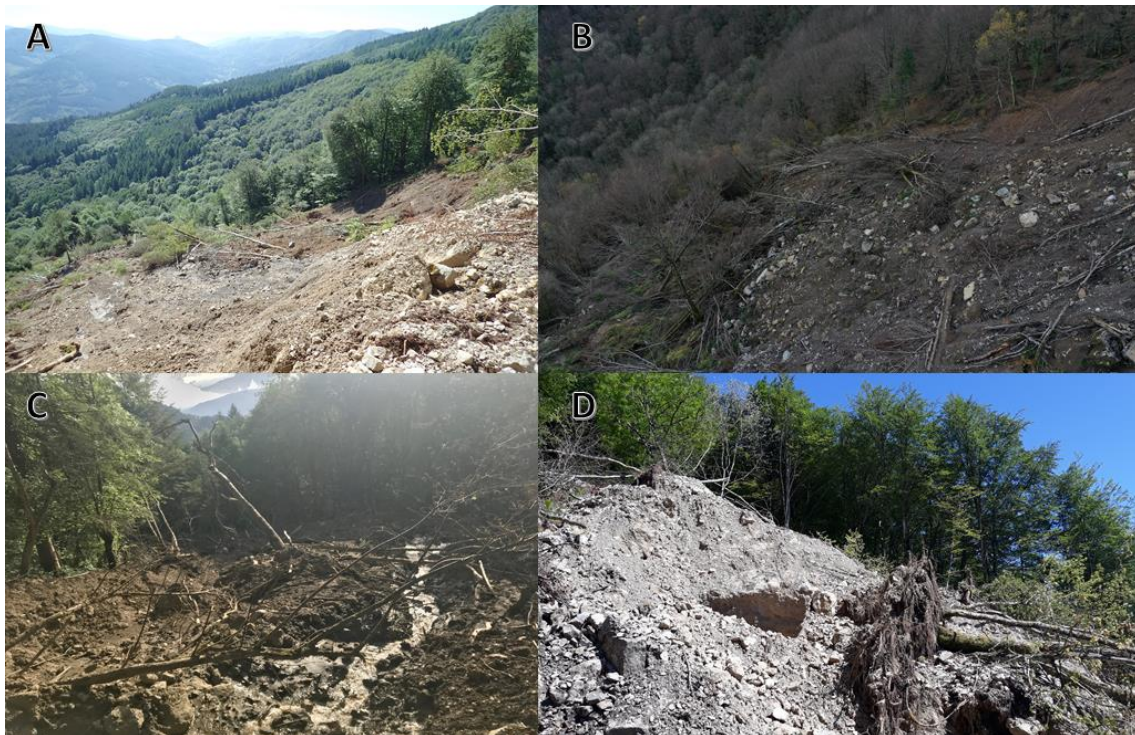


Figura 12: Fotografías del deslizamiento donde se muestra el tipo de materiales que lo forman. A) y B) son de la parte alta del deslizamiento, C) de la parte baja y D) de la parte media.

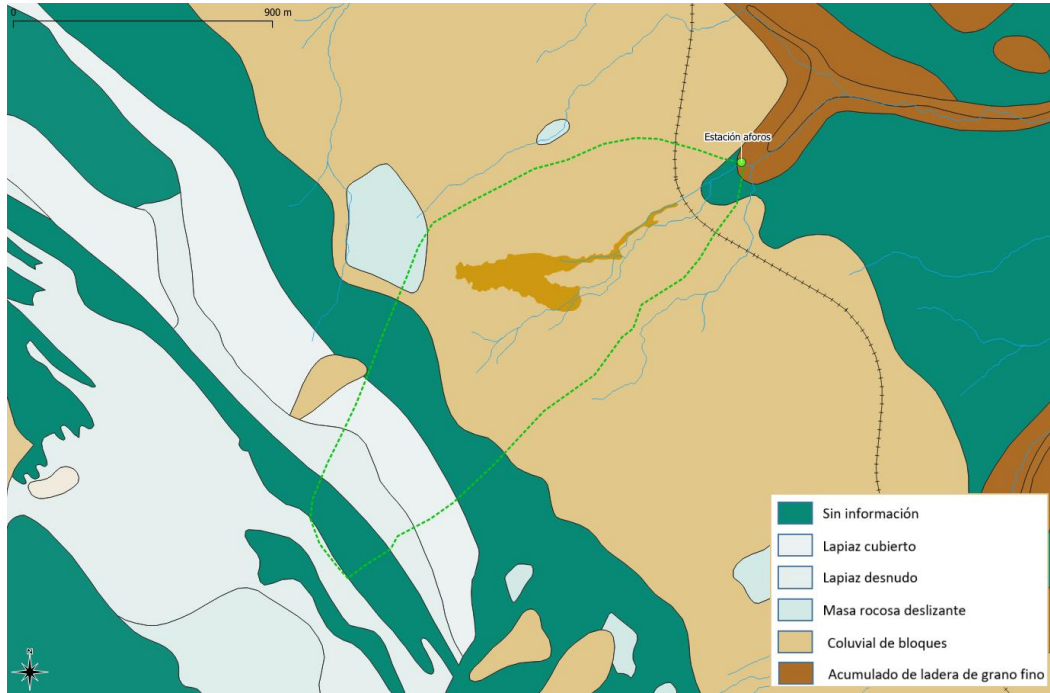


Figura 13: Mapa geomorfológico (Geoeskadi) del entorno del deslizamiento. Se han señalado el propio deslizamiento de Gorospe mediante una mancha marrón, la ubicación de la nueva estación de aforos de Gorospe, la cuenca drenante hasta la misma mediante una línea verde discontinua y el trazado de la vía del ferrocarril Madrid-Irun.

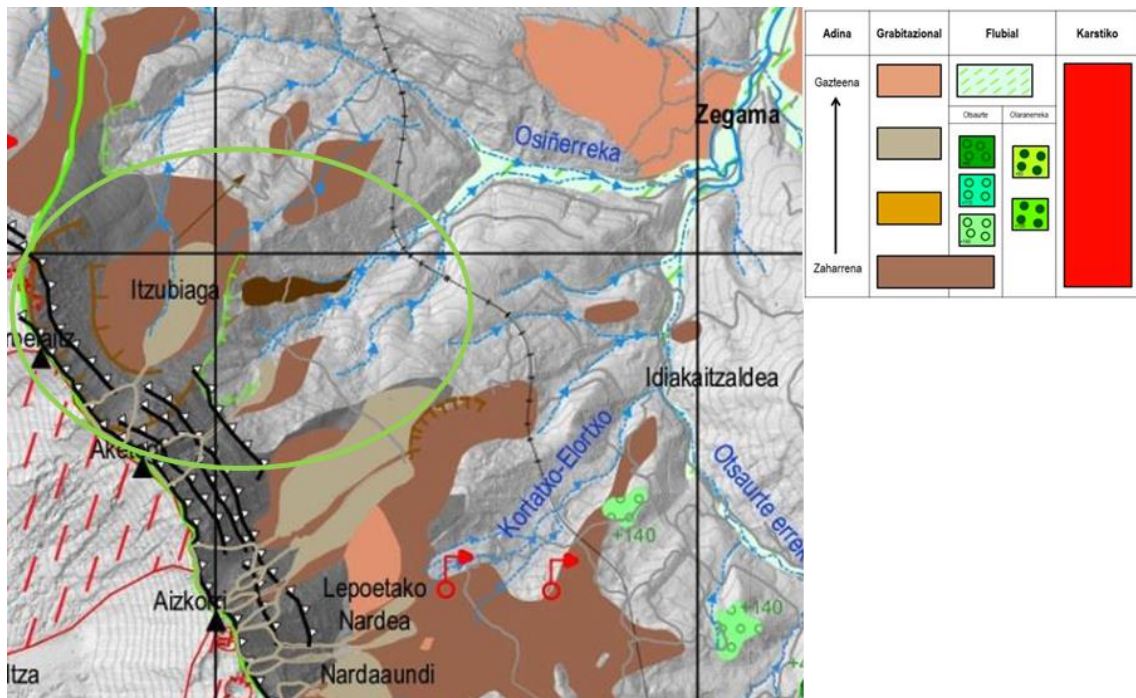


Figura 14: Detalle del mapa geomorfológico de la ladera norte del Aitzgorri (Fuente: Ortiz, 2021).

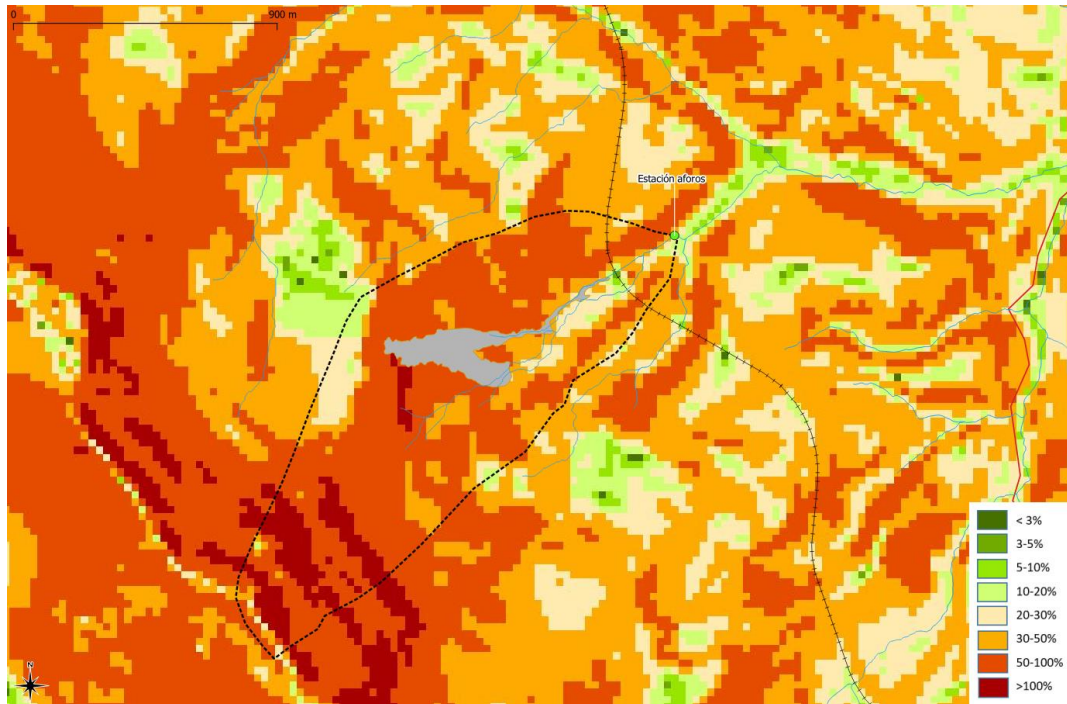


Figura 15: Mapa de pendientes (GeoEuskadi) del entorno del deslizamiento. Se han señalado el propio deslizamiento de Gorospe mediante una mancha gris, la ubicación de la nueva estación de aforos de Gorospe, la cuenca drenante hasta la misma mediante una línea negra discontinua y el trazado de la vía del ferrocarril Madrid-Irun.

2.2. Precipitaciones pluviales

Según los datos de precipitaciones, en base a la información de las estaciones meteorológicas proporcionada por la DFG/GFA (Figura 16), en la vertiente atlántica de la Sierra de Aizkorri se tienen precipitaciones con un promedio anual entre 1400-1500 mm. Hay que considerar que las mayores precipitaciones se registran entre los meses de octubre a enero, si bien, aumentan también durante el mes de abril.

En la figura 17 se han incluido los datos meteorológicos diarios de la estación de Zegama (C028) desde comienzos del año 2020 hasta el 9 de abril. Más allá de una primera quincena de marzo lluviosa, en los datos no se observan eventos lluviosos intensos, ni temperaturas mínimas extremas (puntualmente próximas a 0°C al final de marzo) durante los días previos a que ocurriese el deslizamiento, y que, por tanto, pudiesen justificar el desarrollo del mismo.

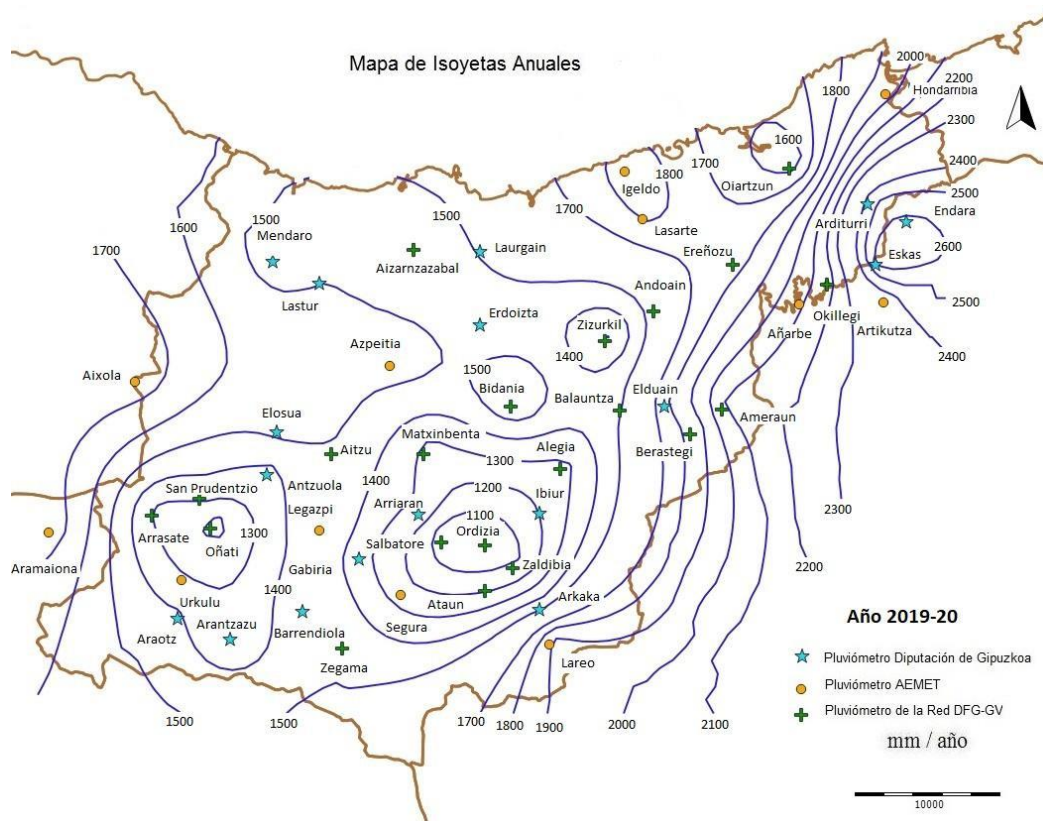


Figura 16: Mapa de isoyetas anuales de la provincia de Gipuzkoa (DFG/GFA, <https://www.gipuzkoa.eus/es/web/obrahidraulikoak/mapas/mapas-anuales/mapa-de-puviometria>).

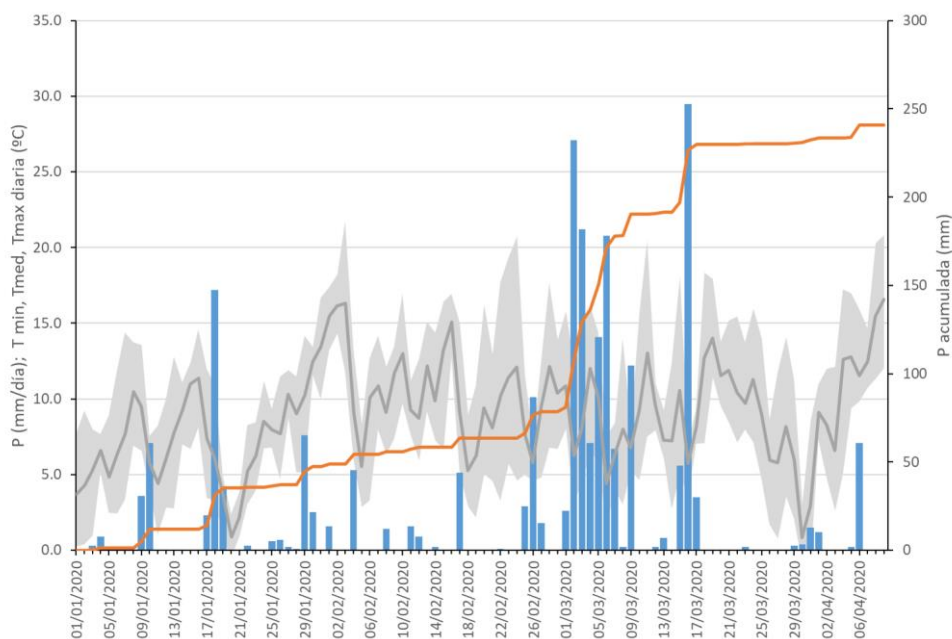


Figura 17: Precipitación diaria (columna azul) y acumulada (línea marrón) y temperatura media, mínima y máxima diarias (grises) en la estación meteorológica de Zegama (C028) perteneciente a la red de estaciones meteorológicas de Euskalmet.

2.3. Usos del suelo

En la zona del deslizamiento las laderas están conformadas por depósitos y suelos coluviales que cubren el substrato rocoso sedimentario, escarpado a abrupto. El terreno donde ha ocurrido el deslizamiento estaba cubierto por vegetación o bosque natural, principalmente hayas (*Fagus sylvatica*), las cuales han sido extirpadas y derruidas deslizamiento abajo (Figura 18).

Asimismo, por debajo del escalón también se extiende un mosaico de bosque atlántico intersectado por plantaciones forestales, específicamente de coníferas como son los pinos insigne (*Pinus radiata*) y laricio (*Pinus nigra*), además del alerce (*Larix spp.*). Es en este sector inferior donde los árboles situados en el trayecto del deslizamiento han sido arrancados y transportados pendiente abajo.

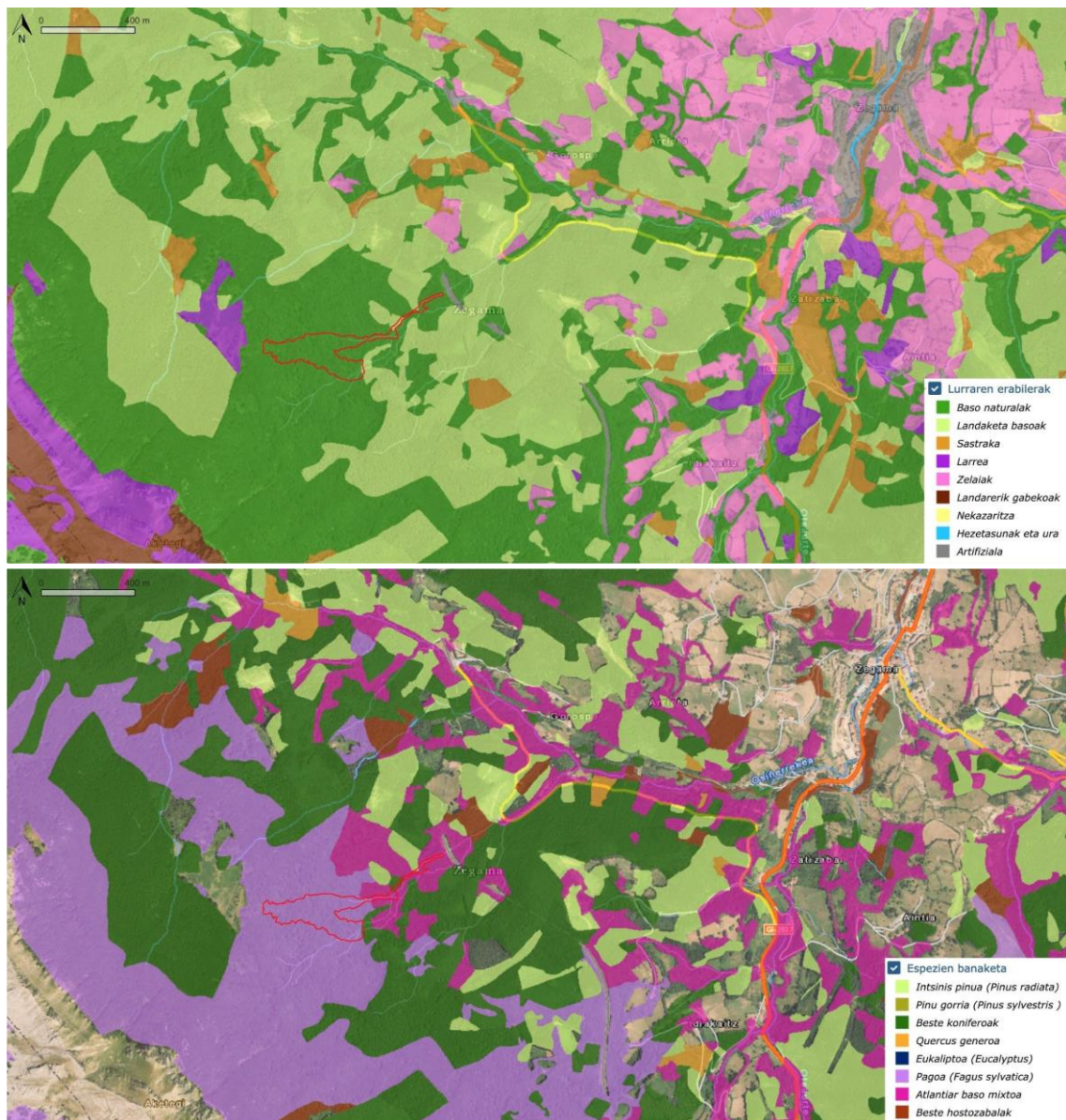


Figura 18: Mapa de usos del suelo (arriba) y distribución de especies (abajo) de 2019 en la zona del deslizamiento de Gorospe (Geoeuskadi).

3. Metodología

3.1. Elaboración e interpretación de modelos fotogramétricos

La fotogrametría es la ciencia de realizar mediciones mediante fotografías aéreas. Los resultados y productos más comunes son ortofotografías que representan la realidad, además de elaborar diferentes productos:

- Modelo Digital de Elevación (DEM en inglés), es un modelo de elevación de “tierra desnuda” referida a un dato vertical. Los edificios construidos (líneas eléctricas, edificios y torres) y naturales (árboles y otros tipos de vegetación) no están incluidos en un DEM.
- Modelos Digitales de Terreno (MDT), se derivan a partir de DEMs (realizados mediante vuelos LIDAR, por ejemplo) y son una representación tridimensional de una superficie de terreno incrementado con elementos tales como líneas de ruptura y observaciones que puedan ser de interés para su estudio. Este es el caso del LIDAR 2017 del Gobierno Vasco, donde se pueden apreciar infraestructuras antrópicas (carreteras, pistas y vías del tren).
- Modelos Digitales de Superficie (MDS), representan las elevaciones sobre el nivel del mar de las superficies reflectantes de árboles, edificios y otras características elevadas sobre la “tierra desnuda”. **Los modelos realizados mediante dron para este proyecto son de este tipo.**

En este sentido, hemos utilizado nuevamente un vehículo aéreo no tripulado (drón) para actualizar las ortofotografías de la zona donde ha ocurrido el deslizamiento y producir una colección de modelos 3D (MDS) para la zona de estudio (Figura 19). Utilizamos estos modelos para analizar los cambios ocurridos en el terreno del deslizamiento entre los diferentes vuelos del año 2021 y comienzos de 2022. Así hemos podido cuantificar con notable precisión (rango de error de ± 0.3 m) la deformación del terreno en el área del deslizamiento.

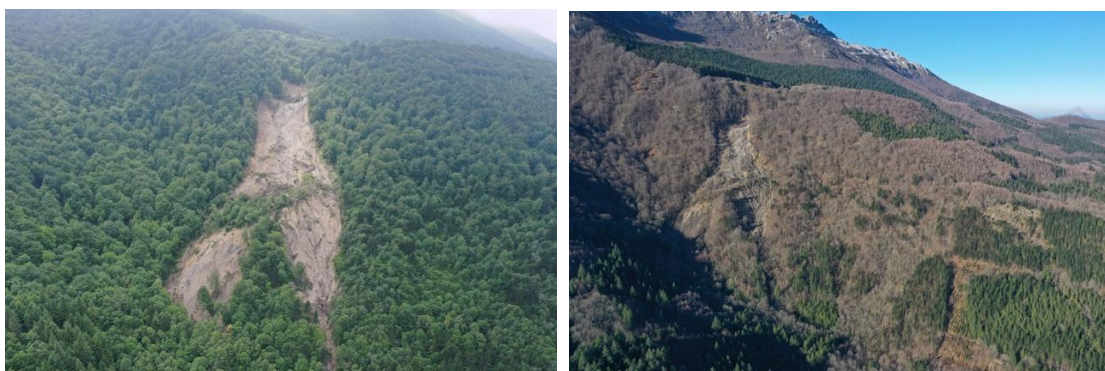


Figura 19: Fotografías aéreas realizadas en los vuelos de julio de 2020 (izquierda) y enero de 2022 (derecha).

El dron *DJI Mavic Pro 2* está equipado con una cámara digital compacta de 20 Megapíxeles, al cual le añadimos un dispositivo GPS con antena diferencial que estaba en contacto con una estación base de GPS. Esta técnica se utiliza comúnmente en trabajos topográficos, donde una estación GPS de referencia provee las correcciones en tiempo real a otro dispositivo GPS móvil, obteniendo así una exactitud centimétrica (Raquet y Lachapelle, 2001; Valente et al., 2020).

Tras la planificación del vuelo dirigido, utilizado en los cuatro vuelos realizados en junio y diciembre de 2020, julio de 2021 y enero de 2022, el dron se lanzó desde la parte alta del deslizamiento (límite de la campa de Itzubia) a una elevación de 100 m sobre la cota de lanzamiento (Figura 20).

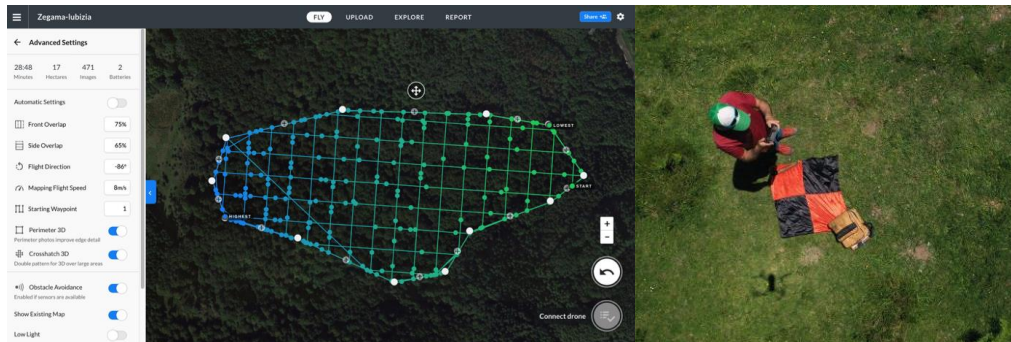


Figura 20: Plan de vuelo para los vuelos realizados en junio y diciembre de 2020, julio de 2021 y enero de 2022 (izquierda) y fotografía vertical del lugar de lanzamiento (derecha).

El plan de vuelo se realizó con la asistencia del LIDAR 2017 (1 m de resolución espacial). En las cuatro ocasiones la velocidad de vuelo fue constante, de 8 m/s y se utilizaron los mismos parámetros de superposición entre imágenes (65% lateralmente y 75% frontalmente), aunque la superposición real terminó siendo más grande, ya que, el terreno modelado se encuentra por debajo (y en pendiente) del lugar de lanzamiento.

Los productos fotogramétricos derivados de las imágenes y el geoposicionamiento del dron se trabajaron con el software *Agisoft Metashape Professional* (v1.6.3), y el cálculo fotogramétrico se realizó utilizando el algoritmo *Structure-from-Motion* (SfM) con el cual se obtuvo la nube de puntos final de donde se derivaron los ortomosaicos (ortofotos con 10 cm de resolución espacial) y los modelos de superficie (MDS con 20 cm de resolución espacial) en las cuatro ocasiones (Figura 21).

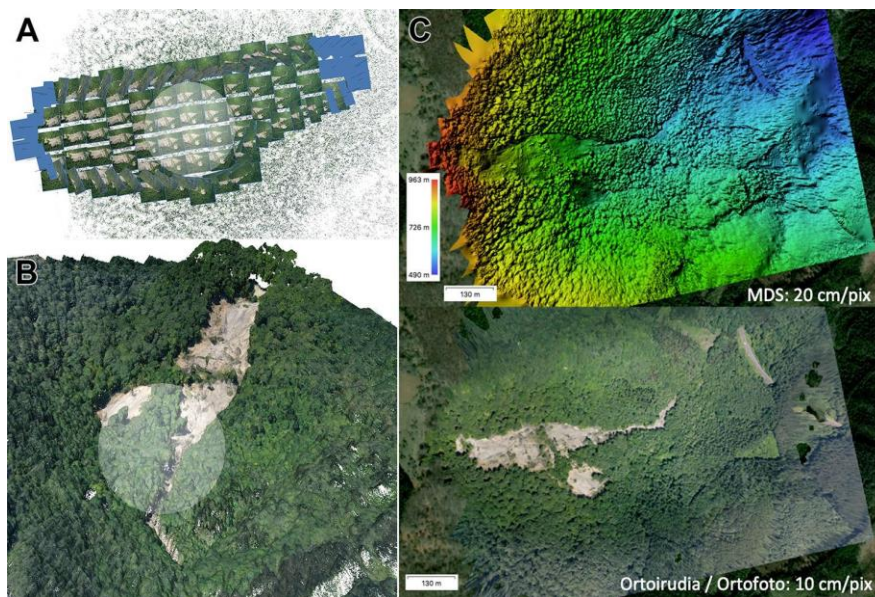


Figura 21: (A) Imágenes individuales obtenidas por el dron con su geoposicionamiento; (B) nube de puntos generada a partir de la técnica fotogramétrica SfM; (C) productos derivados de la nube de puntos con su resolución correspondiente.

3.2. Seguimiento de la turbidez en aguas superficiales

El aumento de la turbidez del agua en la cuenca más alta del Oria fue una de las primeras consecuencias del deslizamiento detectadas. De ahí la importancia de establecer una red de control de la turbidez que informe sobre la evolución de la misma en el tiempo (con datos en continuo) y en el espacio (con datos en diferentes puntos de la red de drenaje). Con el fin de abarcar estos dos objetivos, se ha continuado con el seguimiento establecido en 2020; por un lado, en la estación de aforos a la salida de la regata Gorospe, donde se toman datos de caudal y turbidez del agua en continuo, y, por otro, en la red de puntos de muestreo en los cursos de agua superficiales de la cuenca alta del Oria.

3.2.1. Estación de aforos de Gorospe

Desde la conclusión de la primera fase de instalación de la estación de aforos el 9 de julio de 2020, los aforadores de la DFG/GFA han venido realizando aforos directos en el cauce del río Gorospe para la creación de una curva de gastos real (relación entre nivel de agua y caudal) y la comprobación de la curva teórica de la estación (Figura 22).

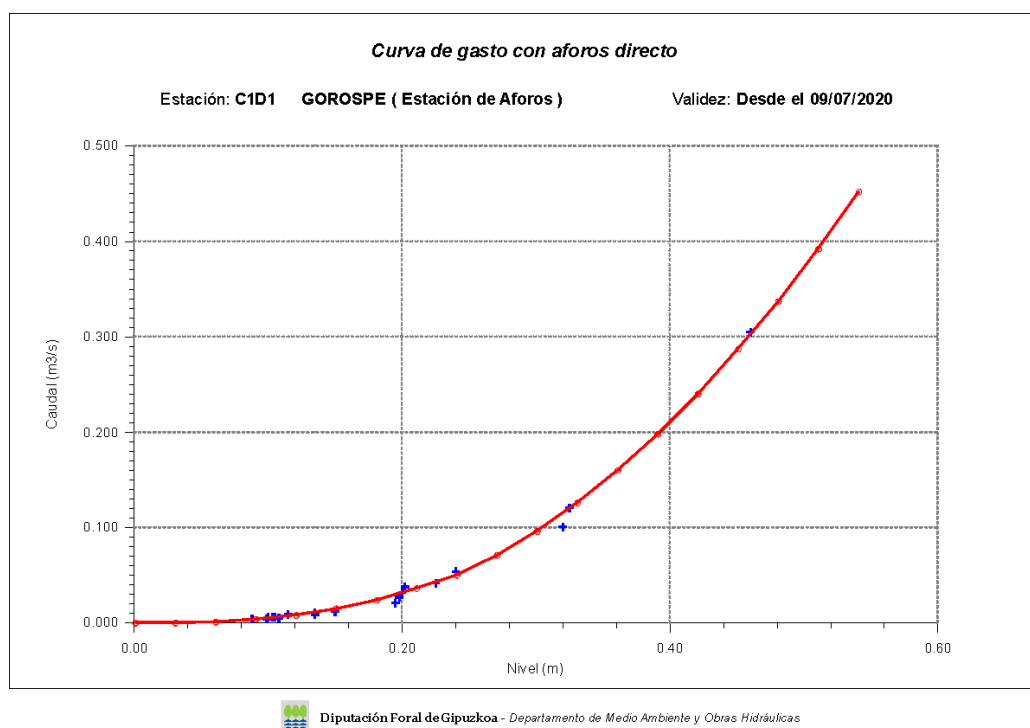


Figura 22: Curva de gastos de la estación de aforos de Gorospe construida a partir de los aforos directos con molinete (recogidos en el Anexo 1) realizados por los aforadores de la DFG/GFA.

Se trata de un tomamuestras SIGMA 900 de la casa Hach Lange® con bomba peristáltica que tiene una capacidad para 24 botellas. El tomamuestras se programa para que recoja una sola muestra de agua cada vez que se rebasen los umbrales de turbidez definidos en la tabla 1.

El objetivo de esta toma de muestras es doble. Por un lado, se pretende obtener datos de turbidez y de concentración de sólidos en suspensión medida físicamente en laboratorio en las aguas del Gorospe, tanto en el rango de medida del turbidímetro de campo (0-4000 FBU) como en los momentos en los que se rebase el límite de 4000 FBUs establecido por el turbidímetro

(en los que no se dispone de dato de turbidez de campo), y, por otro, conocer la cantidad de sedimentos que se aportan desde la cuenca del Gorospe hacia el Oria y su evolución en el tiempo.

Tabla 1: Umbrales de turbidez (FBU) que definen la toma de muestras por parte del tomamuestras automático.

Umbrales muestras					
250	500	750	1000	1250	1500
1750	2000	2250	2500	2750	3000
3250	3500	3750	>3900 cada 90 minutos		

Para abordar ambos objetivos es necesaria la toma de muestras y su posterior procesamiento en el laboratorio. La metodología a aplicar en el estudio en relación a la cantidad de sedimentos exportados desde la cuenca del Gorospe se basa en la que ya se ha utilizado en los estudios de cuantificación de la tasa de sedimentos exportados en las cuencas del Territorio Histórico de Gipuzkoa desde, al menos, 2006 (DFG/GFA, 2015) y también en los trabajos realizados en la cuenca del Leizaran en el marco de los proyectos GURATRANS (UPV/EHU, 2015) y LIFE IREKIBAI (UPV/EHU, 2020). Dicha metodología está descrita en profundidad en Zabaleta (2008).

El método consiste en el control continuo mediante métodos ópticos de la turbidez, en las estaciones de aforo, combinado con la toma de muestras. Los métodos ópticos se pueden utilizar para estimar el flujo de sedimentos en suspensión (Gippel, 1989; Brasington y Richards, 2000), porque si la relación entre la lectura óptica (en este caso, turbidez) y la concentración de sedimentos en suspensión real (CSS, mg/l) se calibra de manera frecuente se pueden derivar series continuas de CSS a partir de las medidas ópticas (Lewis, 1996). En este sentido, resultan de gran ayuda los muestreadores de agua automáticos que permiten la recogida automática de muestras durante los eventos de crecida para su posterior tratamiento en el laboratorio (filtrado, secado y pesado) de modo que sea posible obtener la concentración de sedimentos en suspensión real, medida de manera física (CSS, mg/l), de una muestra recogida en el río en un momento determinado.

Las muestras recogidas por el tomamuestras de Gorospe se llevan al laboratorio del Grupo de Procesos Hidro-Ambientales en el Departamento de Geología (UPV/EHU) para medir la turbidez y la concentración de sedimentos. Además de las medidas de campo, la turbidez también se mide en las muestras en laboratorio con un turbidímetro WTW Turb 555 IR que tiene un rango de 0 – 10000 NTU. La metodología de la medida de ambos turbidímetros no es exactamente la misma por lo que las medidas no son directamente comparables. Sin embargo, se trata de establecer una relación entre ambas que posibilite la estimación de valores de turbidez de campo superiores a 4000 FBU.

Después de medir la turbidez de las muestras y con la ayuda de una bomba de vacío se filtran las muestras a través de filtros (pre-pesados) de nylon Millipore de poros de 45 µm de diámetro. Los filtros se pesan en una balanza ADAM AFP-360L, con una resolución de 1 mg, antes de ser utilizados. Una vez filtrada la muestra se deja secar el filtro con el sedimento a temperatura ambiente (Rovira y Batalla, 2006) y una vez seco se vuelve a pesar. La diferencia entre las dos

pesadas corresponderá al peso de sedimento que contiene la muestra. Por otro lado, se mide el volumen de agua filtrada. De este modo, con el peso del sedimento y el volumen de la muestra, es posible calcular la concentración de sedimentos en suspensión (mg/l) de la muestra. Se mide la concentración de sedimentos en suspensión en todas las muestras recogidas.

Siguiendo esta metodología se pretende mejorar la curva de relación entre la turbidez medida mediante método óptico en la estación de aforos y la correspondiente concentración de sedimentos en suspensión medida en laboratorio para la estación de aforos de Gorospe.

Los estudios previos efectuados en Gipuzkoa evidencian que la mayor parte de la exportación de sedimentos se da durante pocos días al año. Como ejemplo, en una sola crecida en enero de 2004 se exportó desde la cuenca del Añarbe el 80 % de los sedimentos en suspensión de dos años (Zabaleta, 2008) y entre el 5 y el 6 de noviembre de 2011 se exportó casi el 90 % de los sedimentos del año 2011-2012 de la cuenca del Oria (DFG/GFA, 2012). Sin embargo, se espera que el caso de Gorospe sea un tanto singular en este aspecto, ya que, de momento, y como consecuencia del deslizamiento, existe una disponibilidad de sedimentos muy importante en la cabecera del Gorospe. Por ello, por lo menos en esta etapa inicial del estudio, es importante muestrear el mayor número de crecidas posibles, momentos en los que se moviliza una mayor parte del sedimento.

Cada semana los aforadores de la DFG/GFA realizan una visita a la estación de aforos con el fin de realizar el mantenimiento necesario, cambiar las baterías, realizar un aforo, recoger las muestras del tomamuestras automático y tomar una muestra manual de agua en ese mismo punto (la estación de Gorospe se incluye en la red de muestreo manual que se comentará en el siguiente subapartado).

3.2.2. Red de muestreo manual

Teniendo en cuenta la afección del deslizamiento en la turbidez de los cursos superficiales de aguas del alto Oria, y con el objetivo de realizar un seguimiento espacial de dicha afección, la DFG/GFA diseñó una red de puntos en los que se toma una muestra manual de agua una vez por semana (Figura 23).

La red de muestreo completa consta de 12 puntos que van desde la estación de aforos de Gorospe (GOR00860) hasta la estación de aforos de Lasarte (ORI53600). Sin embargo, la mayoría de los muestreos cubren la parte alta del Oria desde Gorospe hasta Beasain (ORI16275), ya que ésta es la zona más afectada por el aumento de turbidez, y aguas debajo de este punto, debido a que el tamaño de la cuenca drenante a cada punto de muestreo aumenta considerablemente, es difícil establecer el origen de los posibles cambios en la turbidez.



Figura 23: Red de muestreo manual en la cuenca del Oria. La mayor parte de los muestreos se realizan hasta el punto situado en Beasain (ORI16275).

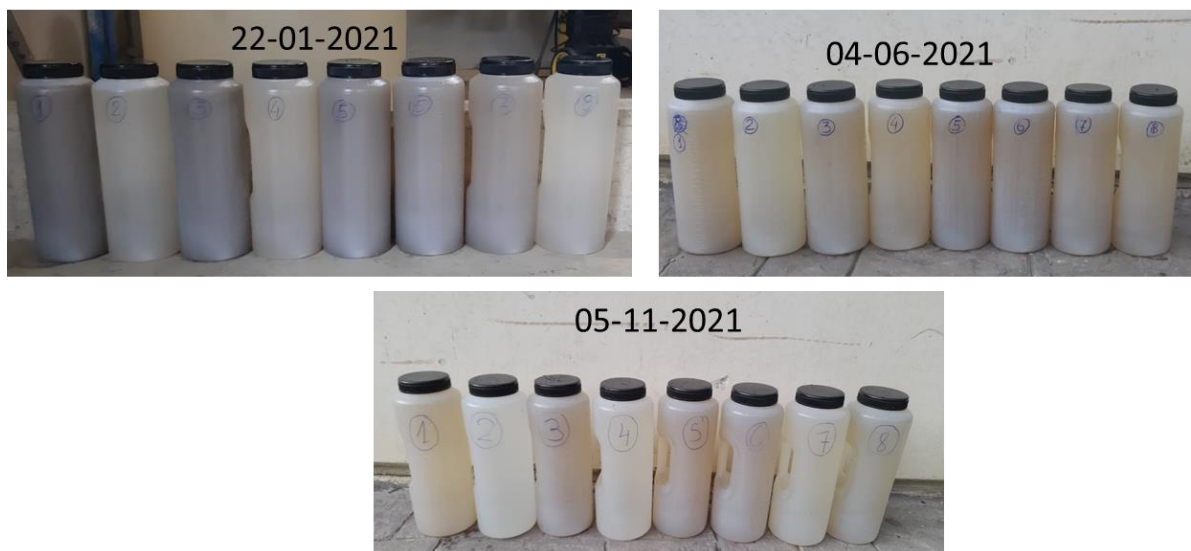


Figura 24: Fotografías realizadas a las muestras manuales tras algunos de los muestreos.

4. Resultados

4.1. Modelos fotogramétricos y comparativa entre vuelos

En el siguiente apartado se muestran los resultados obtenidos a partir de los modelos digitales de superficie (MDS) y los ortomosaicos obtenidos a partir de los vuelos fotogramétricos realizados en julio de 2021 y enero de 2022. Asimismo, se ha analizado la comparativa del cambio topográfico entre los modelos de diciembre de 2020 y enero 2022. Se han escogido estos dos modelos digitales, ya que la cobertura de vegetación en el período invernal genera menor ruido a la hora de realizar la comparación.

4.1.1. Modelos fotogramétricos e incisión fluvial en el deslizamiento

Durante los trabajos de campo llevados a cabo en julio de 2021 y enero de 2022, se realizaron dos vuelos fotogramétricos diferentes para, tras procesar la secuencia de 208 imágenes de cada vuelo, construir los ortomosaicos y MDS de las dos fechas mencionadas (Figura 25).

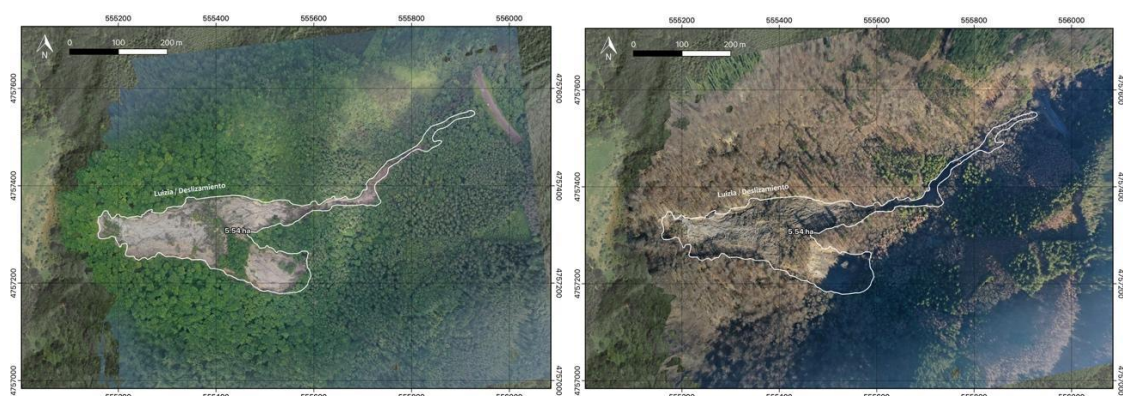


Figura 25: Ortomosaicos derivados de los vuelos realizados en julio de 2021 (izquierda) y enero de 2022 (derecha).

Asimismo, durante estas dos salidas de campo se aprovechó para obtener imágenes aéreas del deslizamiento desde diferentes ángulos y de forma manual (Figura 26). Estas observaciones han constatado leves cambios y deformaciones en la masa del deslizamiento durante el año 2021 e inicios de 2022.



Figura 26: Fotografías aéreas de enero de 2022, mostrando la parte superior del deslizamiento (izquierda) y la zona del escalón central (derecha). Se pueden observar las acanaladuras producidas por la escorrentía superficial, y la regata Gorospe en el margen derecho.



Figura 27: Fotografía aérea de la parte inferior del deslizamiento (izquierda), donde se observa la reciente incisión de la regata Gorospe al adecuarse al gran volumen de sedimentos removidos (derecha).

El informe anterior (diciembre 2020) ya informó de los moderados cambios que ocurrieron entre junio y diciembre de 2020, y desde entonces los cambios observados visualmente no han hecho más que confirmar la adecuación de la regata Gorospe a la masa removida, destacando la incisión realizada por la regata en la masa de sedimentos depositada tras el deslizamiento (Figura 27).

4.1.2. Comparativa entre los modelos de diciembre 2020 y enero 2022

Tras construir los modelos digitales de superficie a partir de las secuencias de imágenes de los vuelos de diciembre de 2020 y enero de 2022, se ha realizado la comparación entre los dos modelos tridimensionales para analizar la actividad de deformación del deslizamiento en el periodo aproximado de un año (Figura 28).

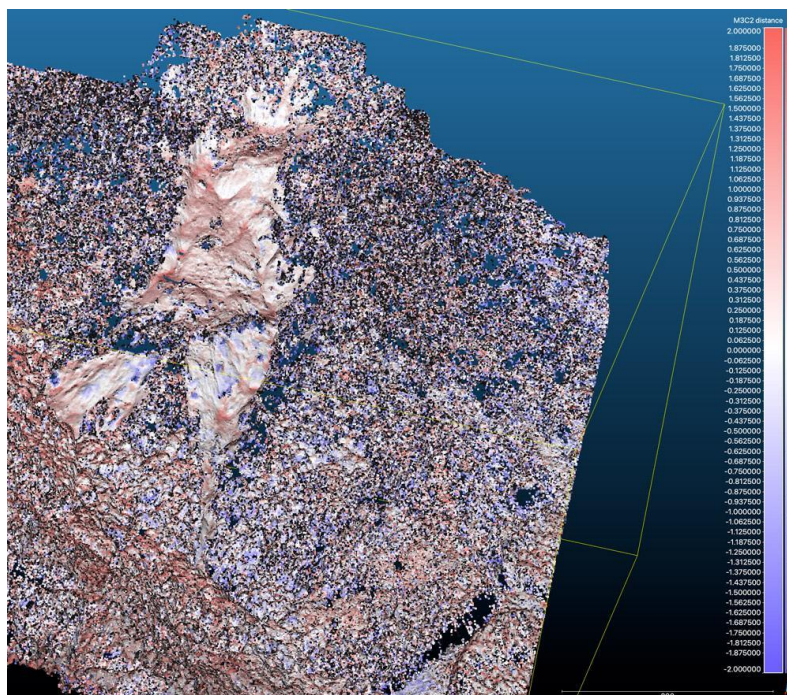


Figura 28: Diferencia de elevación entre el vuelo de diciembre de 2020 y enero de 2022, sin filtrar el ruido obtenido por la vegetación .

Mediante este análisis, y tras afinar en la obtención del cambio de elevación entre los dos modelos mencionados (cubierta vegetal, márgenes distorsionados, etc.), se han logrado obtener resultados precisos (el rango de error es de ± 0.3 m) de la deformación ocurrida en el área del deslizamiento entre los meses de diciembre de 2020 y enero de 2022 (Figura 29). Estos cambios vienen en relación a los procesos de erosión, transporte y sedimentación que han seguido ocurriendo debido al gran volumen de material sedimentario disponible en el área del deslizamiento. El adelgazamiento observado (promedio de -1.1 m) se relaciona con la consolidación del material suelto disponible, que a lo largo del tiempo ha ido lavándose y asentándose en la parte inferior del deslizamiento y junto a la barrera de línea del tren. Este sector no ha podido analizarse mediante técnicas fotogramétricas debido a la espesa masa boscosa de la zona. Asimismo, las ganancias (promedio de 0.7 m) han ocurrido a lo largo de la zona del escalón del deslizamiento y aguas abajo de la misma, por el mismo efecto de consolidación de materiales. Asimismo, se aprecia claramente la incisión de la regata Gorospe siguiendo la lengua principal del deslizamiento.

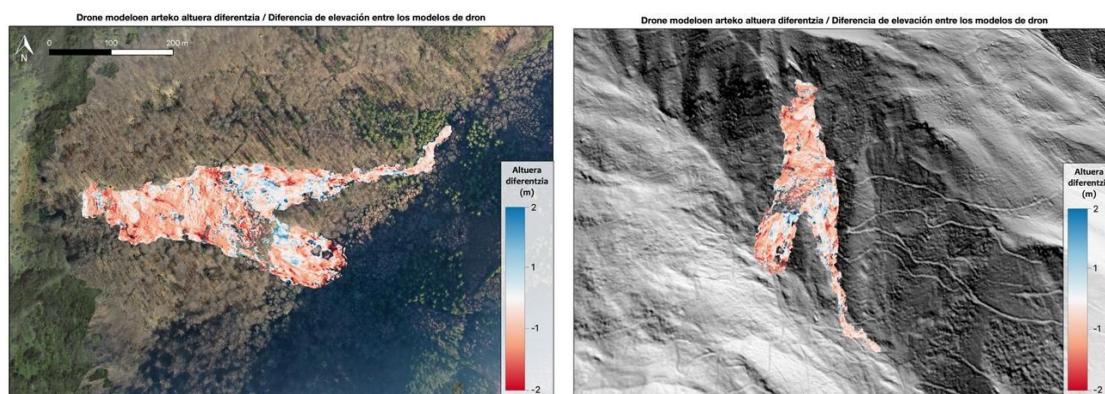


Figura 29: Diferencia de elevación en el área del deslizamiento a partir del análisis comparativo entre los modelos MDS de diciembre de 2020 y enero de 2022 (izquierda). Se muestran los mismos resultados de forma tridimensional sobre el LIDAR de 2017 (derecha).

4.2. Afección en la dinámica de sedimentos en los sistemas acuáticos

4.2.1. Seguimiento continuo de caudal y turbidez en la estación de aforos

La figura 24 muestra los datos diezminutales de caudal (Q; l/s) y turbidez (T, FBS) registrados en la estación de aforos de Gorospe desde la puesta en marcha de la estación (el 9 de julio de 2020) hasta el 16 de diciembre de 2021. Ésta es la serie temporal de la estación de aforos que se trata en este informe.

Durante el periodo mostrado en la figura 24 el caudal medio ha sido de 46.07 l/s, con mínimos de 2.8 l/s registrados durante el mes de septiembre de 2020, y máximos entre el 8 y el 10 de diciembre de 2021. Estos máximos de diciembre no se han podido cuantificar, ya que, quedan fuera del rango de la curva de gastos de la estación de aforos. Así, el máximo que se ha podido registrar ha sido de 629 l/s y corresponde al 17 de junio de 2021.

El gráfico muestra que la turbidez responde de manera inmediata y abrupta a cualquier tipo de precipitación. En la serie de turbidez existen tres partes bien diferenciadas. La primera parte (T1), corresponde a los datos recogidos desde el 2 de septiembre de 2020 (instalación de la sonda de turbidez) hasta el 20 de octubre del mismo año. Esta serie muestra mucho ruido en los

datos, sobre todo a partir de la última semana de septiembre, y los datos son difíciles de interpretar. Durante este periodo, tanto las sondas de turbidez y nivel como el tubo de entrada de agua del tomamuestras automático, quedaron enterrados en varias ocasiones por los sedimentos que provenían del deslizamiento, por lo que los datos obtenidos carecen de sentido (Figura 6).

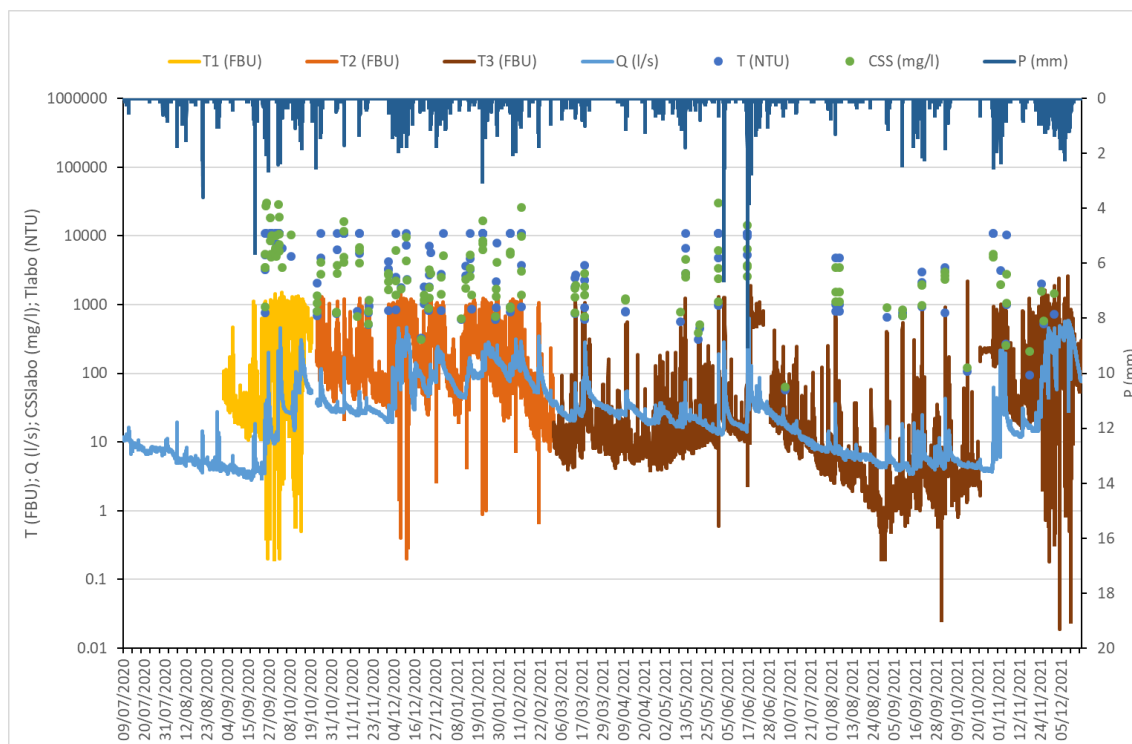


Figura 30: Caudal (Q; l/s) y turbidez (T; FBU) diezminutales en la estación de aforos de Gorospe desde el 9 de julio de 2020 hasta el 16 de diciembre de 2021. También se ha incluido la precipitación (P; mm) diezminutal de la estación meteorológica de Zegama (C028) y los datos de concentración de sedimentos en suspensión (CSS; mg/l) y turbidez (T; NTU) medidos en laboratorio en las muestras recogidas por el tomamuestras automático.

Tras varios eventos de este tipo la sonda de turbidez y el tubo de entrada del tomamuestras se ubicaron inmediatamente aguas abajo del vertedero (Figura 7). La nueva instalación se puso en marcha el 23 de octubre de 2020. Así, los datos del segundo tramo del gráfico de turbidez (T2) comienzan el 23 de octubre de 2020 y se alarga hasta el 2 de marzo de 2021 (Figura 30) y corresponden a esta nueva ubicación. Estos datos se toman por válidos, ya que disminuye de manera importante el ruido presente en los datos y no ha habido problemas de enterramiento de los aparatos instalados.

Como se ha indicado en el apartado de metodología la sonda de turbidez tiene un rango de medida que va hasta los 4000 FBU, sin embargo, en el gráfico de la figura 24 se observa que los datos de turbidez de campo del segundo tramo (T2) parecen tener un límite de unos 1200 FBU. En principio el turbidímetro debería tomar datos por encima de ese límite que, sin embargo, parecía no rebasar nunca. Por ello, tras tratar el tema con la empresa suministradora de la sonda se decidió colocar una nueva sonda en el mismo lugar. Así, el último tramo (T3), desde el 2 de marzo de 2021 hasta el final de la serie en diciembre de 2021, corresponde a los datos registrados por la nueva sonda.

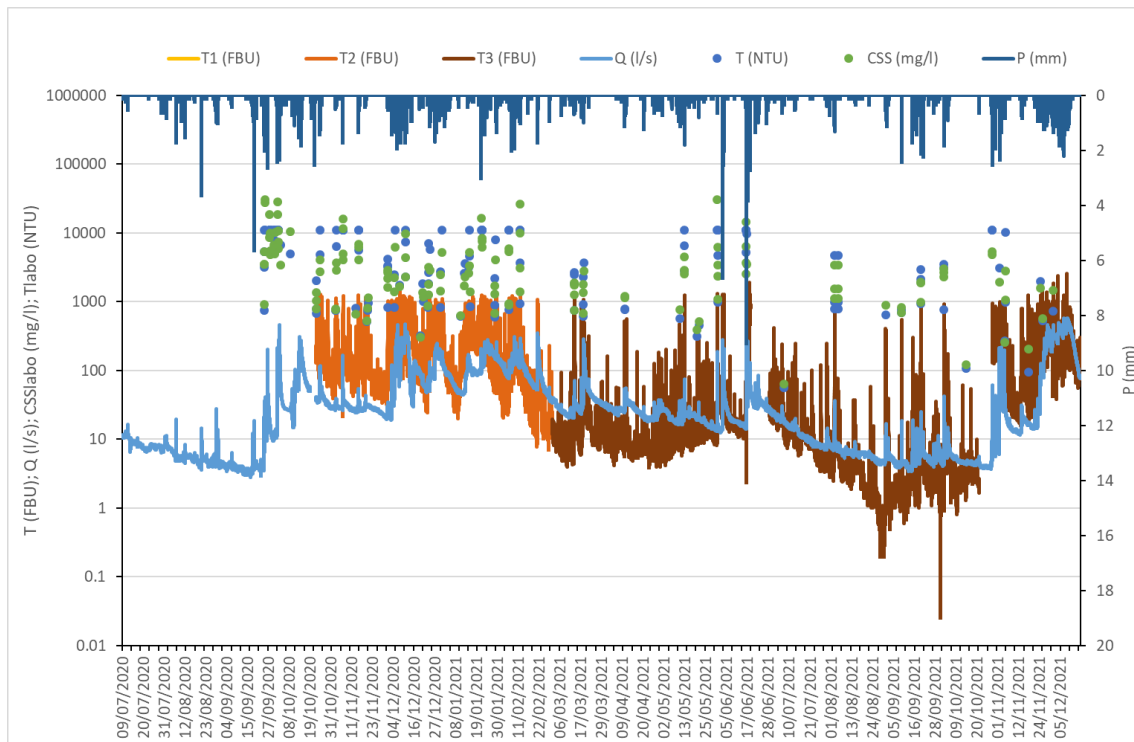


Figura 31: Caudal (Q; l/s) y turbidez (T; FBU) diezminutales validados de la estación de Gorospe y concentración de sedimentos en suspensión (CSS; mg/l) y turbidez (T; NTU) medidas en laboratorio en las muestras recogidas por el tomamuestras automático durante el periodo entre el 9 de julio de 2020 y el 16 de diciembre de 2021.

Durante los periodos correspondientes a los tres tramos se han recogido muestras de agua con un tomamuestras automático para su procesamiento en el laboratorio (Figura 30). Debido al enterramiento ocasional del tubo de entrada de agua del tomamuestras, las muestras recogidas durante el primer tramo (T1) de la serie no se considerarán en el análisis posterior. Además, de las series originales registradas en campo se han eliminado datos que claramente no eran correctos, ya que, cuando la turbidez en el agua es muy alta los registros del turbidímetro ofrecen, en ocasiones, datos poco coherentes, hecho que corroboran los datos obtenidos en el laboratorio a partir de las muestras recogidas por el tomamuestras automático. En la figura 31 se muestran las series que contienen solamente los datos validados.

Como consecuencia de la eliminación de datos durante el proceso de validación, ha aumentado el número de datos faltantes en las series. En la siguiente tabla (tabla 2) se muestra el porcentaje de datos nulos existentes a escala mensual en las series de T y Q de manera conjunta. El cálculo se ha realizado de forma conjunta porque ambos parámetros son necesarios para el posterior cálculo de masa exportada desde la estación. En general, la mayor parte de datos faltantes se dan en momentos de grandes caudales y altos niveles de turbidez en la estación. Así, junio, octubre y diciembre de 2021 son los meses con mayor número de lagunas, También octubre de 2020, pero en este caso se debe a que hasta el día 23 no comienza el tramo T2, y el tramo T1 ha sido eliminado por completo. Es necesaria la consideración de los datos mostrados en esta tabla de cara a poder realizar una valoración más realista de los cálculos y análisis realizados en adelante.

Tabla 2: Porcentaje de datos nulos (inexistentes u erróneos) existentes en las series de turbidez (T2 y T3) y caudal (Q) de forma conjunta para la estación de Gorospe a escala mensual.

oct-20	nov-20	dic-20	ene-21	feb-21	mar-21	abr-21	may-21	jun-21	jul-21	ago-21	sep-21	oct-21	nov-21	dic-21
72.43	0.16	3.90	1.10	0.72	0.38	0.00	0.16	35.60	0.09	0.09	0.16	23.72	4.70	18.97

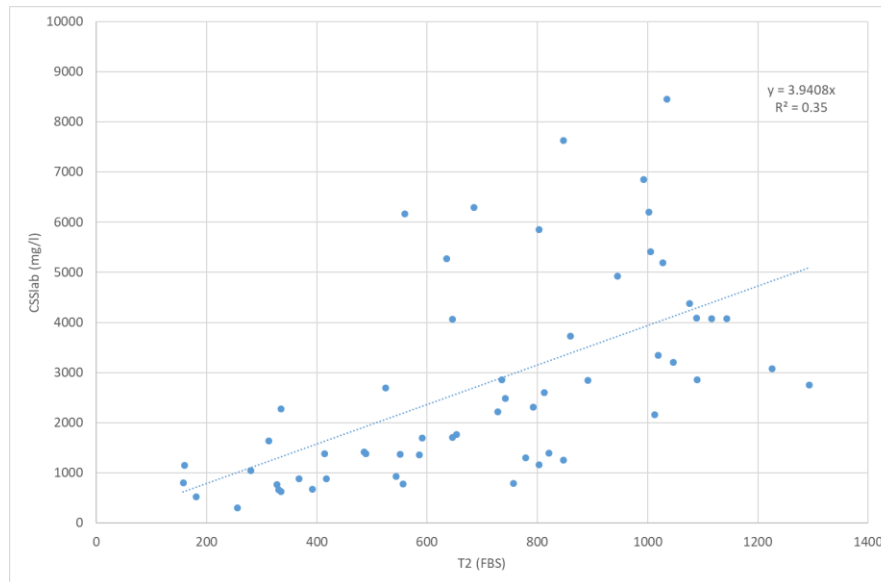


Figura 32: Relación entre la turbidez medida en la estación de aforos de Gorospe mediante la sonda en continuo (T2; FBS) y la concentración de sedimentos en suspensión medida en laboratorio (CSSlab, mg/l). Se han utilizado las muestras representadas del T2.

Utilizando estos datos se han querido relacionar los datos de concentración de sedimentos en suspensión medidos en el laboratorio con los datos de turbidez de campo en el momento de recogida de la muestra. Para ello, se han considerado por separado los datos del tramo 2 (T2) y del tramo 3 (T3) de turbidez, ya que, se trata de sondas diferentes. En la figura 32 se puede observar la relación entre turbidez (T, FBS) y concentración de sedimentos en suspensión (CSS, mg/l) para el T2. La relación muestra un coeficiente de determinación de 0.35. En el caso del T3 (Figura 33) la relación es algo mejor, con un coeficiente de determinación de 0.46. Como se observa en ambas figuras se han medido valores de CSS superiores a 1 g/l de manera habitual; se trata de valores muy superiores a los observados en estudios de transporte de sedimentos del territorio (Zabaleta, 2008; DFG/GFA, 2015; UPV/EHU, 2015; UPV/EHU, 2020).

$$\text{CSS} = 3.9408 \cdot \text{T2} ; \quad (R^2 = 0.35) \quad (\text{ecuación T2})$$

$$\text{CSS} = 2.748 \cdot \text{T3} ; \quad (R^2 = 0.46) \quad (\text{ecuación T3})$$

Las relaciones obtenidas en las figuras 32 y 33 deben ser consideradas con una gran cautela, ya que, muestran una gran dispersión, especialmente para concentraciones altas de sedimentos. Entre otras características, la propia variabilidad natural del tipo de sedimento transportado influye en las relaciones entre las medidas ópticas y las físicas.

En cualquier caso, y a modo de aproximación, se han tenido en cuenta las relaciones entre la turbidez de campo y la CSS de laboratorio para calcular una serie de CSS calibrada, continua en el tiempo, entre el 23 de octubre de 2020 y el 16 de diciembre de 2021. Para ello, se ha utilizado la regresión pertinente para cada uno de los tramos de turbidez T2 y T3. Teniendo en cuenta los

datos obtenidos se estima que desde la cuenca del Gorospe se han exportado, al menos, unas 1600 t de sedimento fino, en suspensión, en 14 meses. Teniendo en cuenta que se trata de una cuenca muy pequeña, de alrededor de 1 km² de superficie, se trata de una masa muy importante de sedimento.

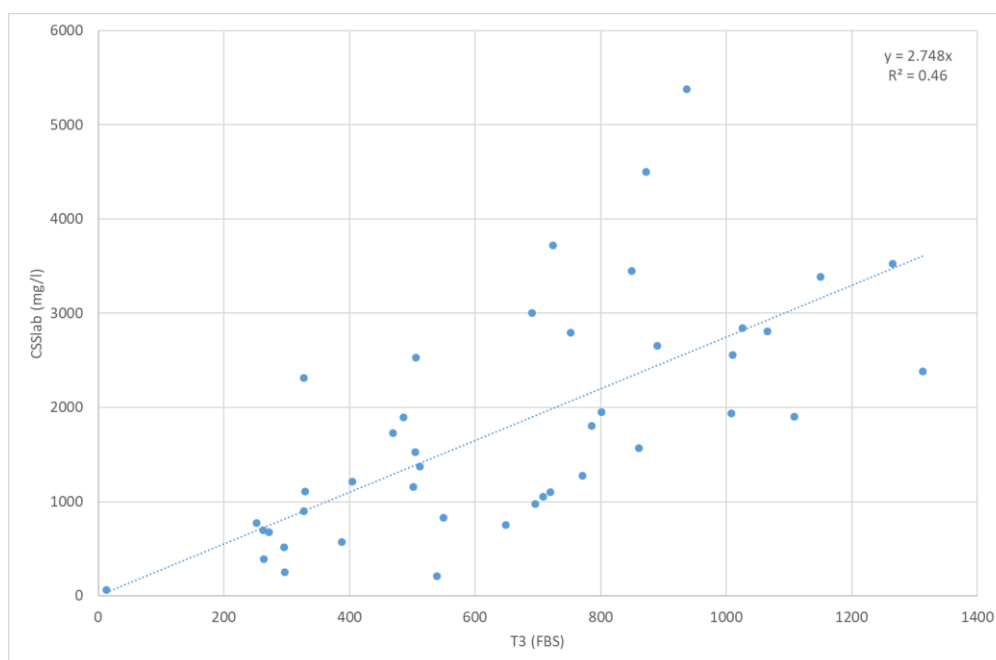


Figura 33: Relación entre la turbidez medida en la estación de aforos de Gorospe mediante la sonda en continuo (T3; FBS) y la concentración de sedimentos en suspensión medida en laboratorio (CSSlab, mg/l). Se han utilizado las muestras representadas del T3.

En la figura 34 se muestra la distribución porcentual mensual de las precipitaciones, los caudales y la exportación de sedimentos en suspensión, el porcentaje diario acumulado de la escorrentía y de la exportación de sedimentos en suspensión y la distribución de los caudales medios diarios de cada mes ordenados de mayor a menor, todo ello referido el periodo entre octubre de 2020 y diciembre de 2021 para la estación de Gorospe.

Los meses más lluviosos han sido diciembre del 2020 y del 2021 (a tener en cuenta que los datos de 2021 acaban el 16 de diciembre), noviembre de 2021 y octubre de 2020, siendo los periodos de mayor escorrentía el correspondiente a diciembre de 2020 y enero y febrero de 2021, y el correspondiente a diciembre de 2021. Los meses con mayor exportación de sedimentos en suspensión han coincidido con los meses con una mayor escorrentía, de modo que aproximadamente un 60 % de la exportación de sedimentos en suspensión, se da entre diciembre de 2020 y enero de 2021, y otro 15 % durante los primeros 16 días de diciembre de 2021. Este hecho queda claramente reflejado en el gráfico inmediatamente inferior. que la mayor parte de la exportación se da en la segunda mitad del mes de noviembre y en la primera de enero y de marzo, habiendo otros pulsos de menor magnitud, pero destacables, en febrero y también a principios de abril. El mes con los mayores caudales máximos diarios es diciembre de 2021, con caudales por encima del rango de la curva de gastos, seguido de noviembre de 2021 y de diciembre de 2020 y enero de 2021.

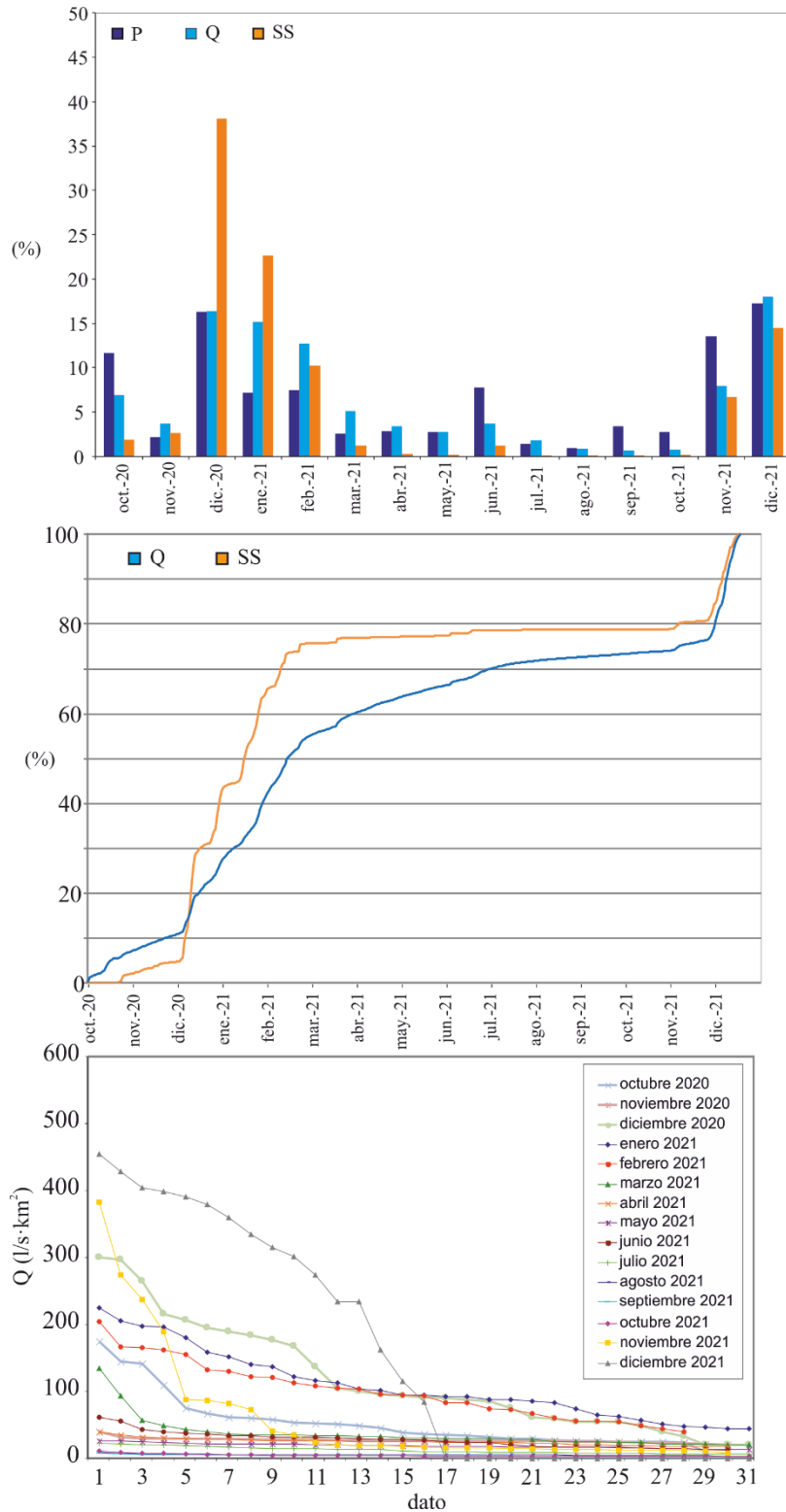


Figura 34: Distribución porcentual mensual de la precipitación (P), la escorrentía (Q) y la exportación de sedimentos en suspensión para la estación de aforos de Gorospe durante el periodo desde octubre de 2020 hasta diciembre de 2021. Debajo, el porcentaje diario acumulado de escorrentía y exportación de sedimentos en suspensión. En la figura inferior la distribución de los caudales diarios medios de cada mes (ordenados de mayor a menor).

4.2.2. Muestreo manual

En la figura 29 se han ubicado en el tiempo los muestreos manuales, aquellos de los que se tienen datos hasta la realización de este informe, es decir entre abril de 2020 y finales de noviembre de 2021. Se trata de un total de 76 muestreos, que tal y como muestra el gráfico de precipitaciones, se han realizado en situaciones meteorológicas diversas.

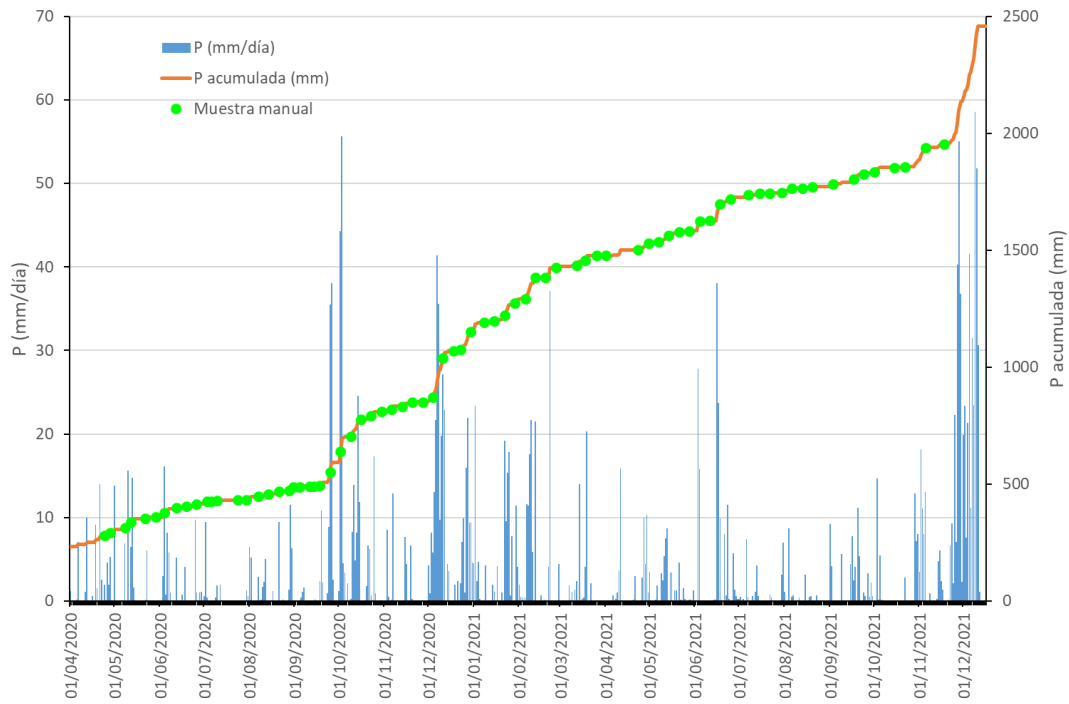


Figura 35: Momentos en los que se realizaron los muestreos manuales en el Oria (puntos verdes) representados sobre la precipitación acumulada desde el 1 de abril de 2020.

En la figura 36 se han agrupado los datos de los 76 muestreos para cada uno de los puntos de la red de control de la red de muestreo manual (Figura 23). En ella se observa claramente la influencia de los sedimentos procedentes del deslizamiento en la parte alta de la cuenca del Oria, desde la estación de aforos de Gorospe (GOR00860) hasta el punto de muestreo de Beasain (ORI16575). La concentración de sedimentos en suspensión es máxima en Gorospe (llegando hasta casi 40 g/l) y disminuye paulatinamente hasta Beasain (con un máximo que no llega a 1 g/l). Solamente se observan dos puntos que no siguen esta tendencia: el de la regata Itzulondo (ITZ00817), cercana a Gorospe y no influenciada por el deslizamiento y el del Oria aguas arriba de su confluencia con el Gorospe (ORI05500).

La figura 37 permite observar estos mismos datos agrupados en las dos fases de estudio realizadas. La correspondiente al año 2020 (i), entre el 24 de abril y el 20 de noviembre, con 36 muestreos, y la correspondiente al año 2021 (ii), entre el 27 de noviembre de 2020 y el 18 de noviembre de 2021, con 43 muestreos. Se observa claramente una disminución de la concentración de sedimentos en suspensión, entre la primera y la segunda fase en todos los puntos de la red de muestreo. No obstante, es necesario tener en cuenta, que, por un lado, siguen observándose concentraciones de sedimentos en suspensión muy altas, de entre 1000 y 10000 mg/l, en los puntos de control de la regata Gorospe, y de entre 100 y 1000 mg/l en los puntos afectados del Oria. Por otro lado, no se dispone de datos para las importantes lluvias

ocurridas entre finales de noviembre y mediados de diciembre de 2021, las cuales, movilizaron una gran cantidad de sedimentos tal y como puede observarse en la figura 31.

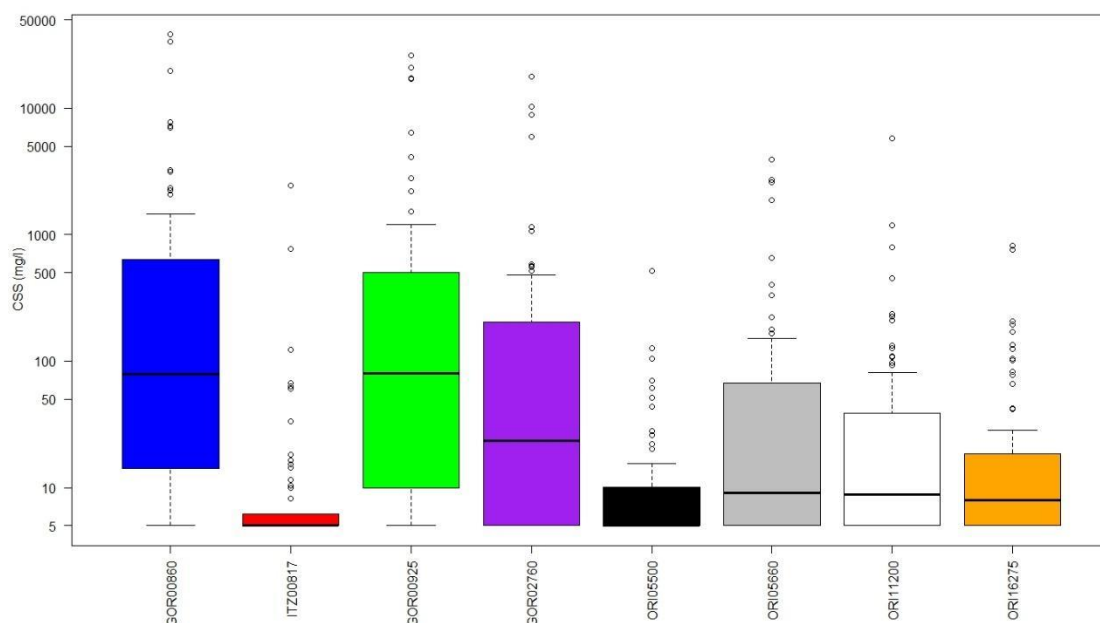


Figura 36: Gráficos tipo boxplot de la concentración de sedimentos en suspensión (CSS; mg/l) en los puntos de la red de muestreo manual. Se han considerado los 76 muestreos representados en la figura 35.

La figura 38 permite una mejor visión de los datos de cada día de muestreo tanto a escala aritmética, como a escala logarítmica. En este gráfico se observa que en las muestras recogidas durante los muestreos del 22 de enero y el 12 de febrero de 2021, destacan por su concentración de sedimentos en suspensión, por encima de muchos de los muestreos realizados durante el 2020.

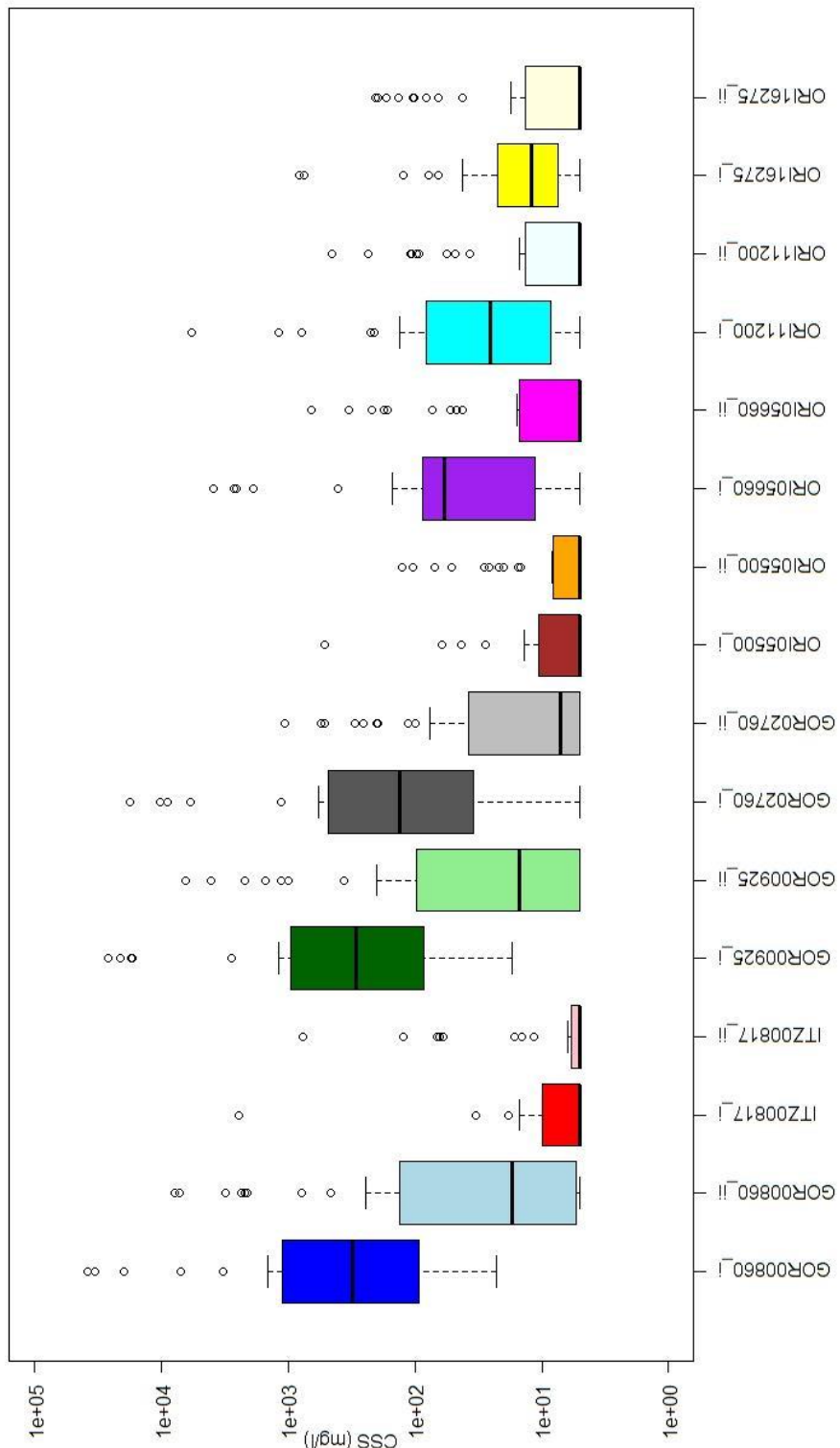


Figura 37: Gráficos tipo boxplot de la concentración de sedimentos en suspensión (CSS; mg/l) en los puntos de la red de muestreo manual para cada una de las fases del estudio. i: entre el 24 de abril y el 20 de noviembre de 2020 y ii: entre el 27 de noviembre de 2020 y el 18 de noviembre de 2021.

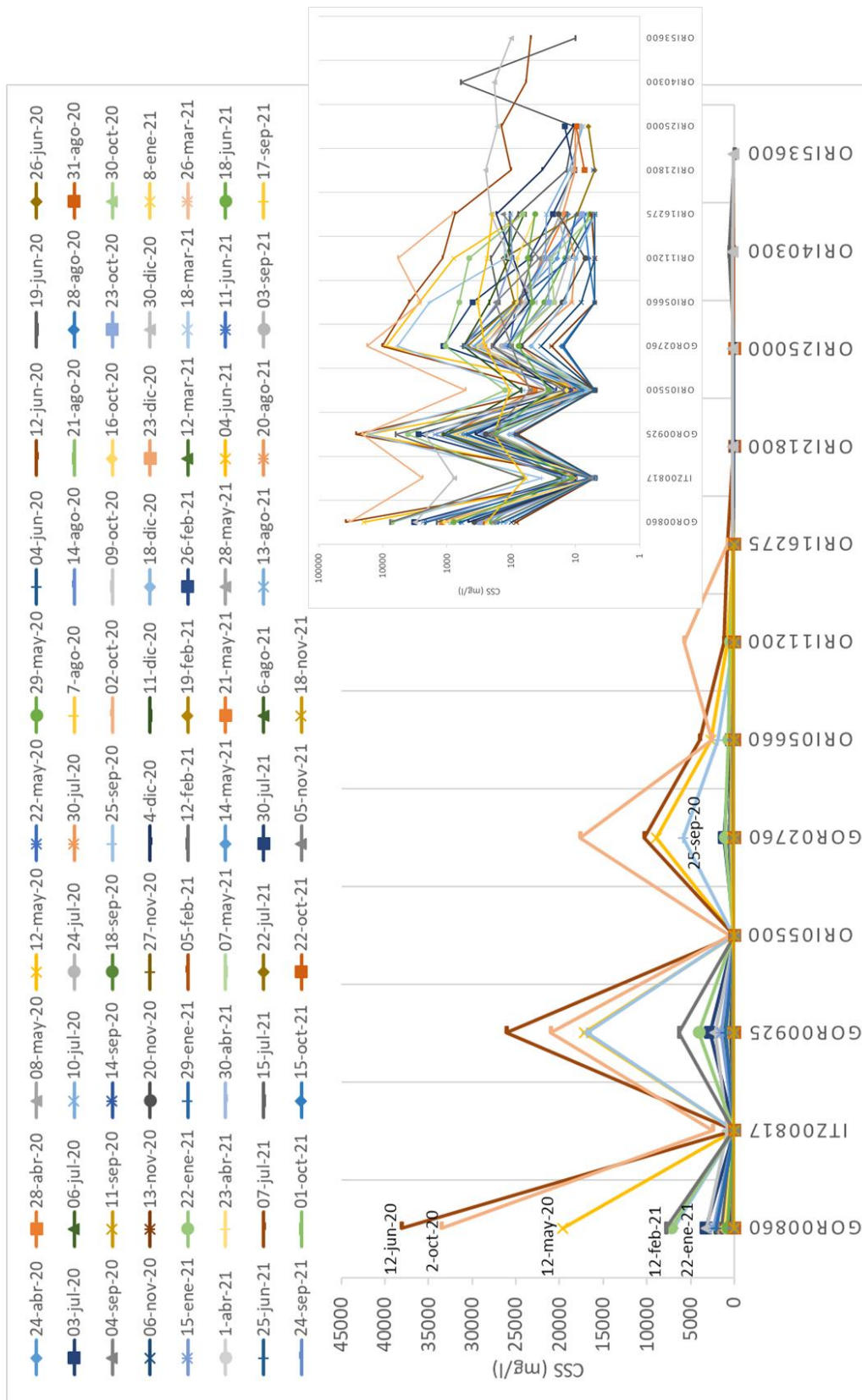


Figura 38: Concentración de sedimentos en suspensión (CSS; mg/l) en los puntos de la red de muestreo manual para cada uno de los días de muestreo. Se han considerado los 33 muestreos representados en la figura 35. Se muestran los mismos datos con el eje de CSS en escala lineal y logarítmica.

En la figura 39 se ha representado la distancia desde el punto de muestreo GOR00860, en la estación de aforos de Gorospe, hasta algunos otros puntos de muestreo localizados en Zegama (ORI05500 (aguas arriba de la confluencia con el Gorospe), GOR02760, ORI05660), Segura (ORI11200) y Beasain (ORI16275), con el fin de tener una mejor visión del alcance de la influencia del deslizamiento de Gorospe en la dinámica de sedimentos de las aguas de la cabecera del río Oria. Para ello, es necesario también tener en cuenta las dimensiones, tanto del deslizamiento en sí, como de la cuenca del Gorospe. El deslizamiento tiene un área de unas 5.5 ha y la cuenca de la regata Gorospe hasta la estación de aforos (primer punto de muestreo de aguas) tiene aproximadamente 1 km² de extensión. Como ya se ha comentado, la influencia del aumento de la CSS en el agua llega, por lo menos, hasta Beasain, que se encuentra a unos 14.5 km de río del punto de Gorospe. Además, entre Gorospe y Beasain confluyen en el Oria otras regatas, que evidentemente van diluyendo CSS aportada por Gorospe. Esta red drenaje del alto Oria forma una cuenca de unos 150 km² hasta el punto de muestreo de Beasain, es decir, un área unas 150 veces mayor que la de la regata Gorospe. Se trata de un dato importante para valorar de manera adecuada la escala de la afección de este tipo de deslizamientos en la dinámica de sedimentos de los sistemas acuáticos.

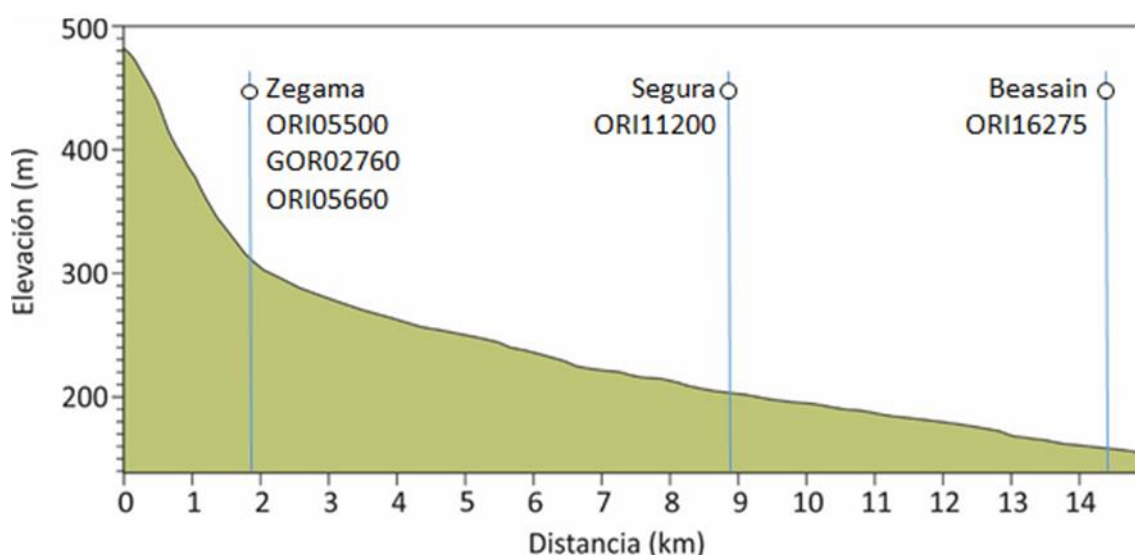


Figura 39: Perfil longitudinal de los cursos de agua afectados por el deslizamiento, comenzando en la estación de aforos de la regata Gorospe y terminando en el río Oria en Beasain.

El momento hidrológico en el que se realizan los muestreos también puede tener influencia en los resultados, y el alcance del aumento de la CSS en el río Oria podría ser diferente dependiendo de los caudales provenientes de cada parte de la cuenca. En los muestreos realizados hasta noviembre de 2020 se observaba que, en los muestreos de aguas bajas, se registraba una menor CSS en los puntos de muestreo no relacionados con el deslizamiento de Gorospe (ITZ0817 y ORI05500), aunque esto no parecía suponer una mayor dilución de la CSS que proveniente de Gorospe, probablemente debido a un menor caudal circulante. En los muestreos de aguas medias-altas, el caudal circulante es mayor, sin embargo, esto tampoco parecía suponer una mayor dilución, ya que los aportes sólidos de CSS de puntos no relacionados con el deslizamiento (ITZ0817 y ORI05500) también suelen ser mayores.

En la figura 40 se han indicado los momentos en los que la exportación de sedimentos en suspensión diaria ha sido mayor. Se indican los 8 periodos en los que se han registrado exportaciones de sedimentos en suspensión mayores a 10 toneladas diarias. Aunque, en

general, los días con mayor exportación de sedimentos son aquellos con una mayor concentración de sedimentos en suspensión, no siempre coinciden ambos parámetros, ya que, el caudal juega un papel fundamental en la relación entre ambos.

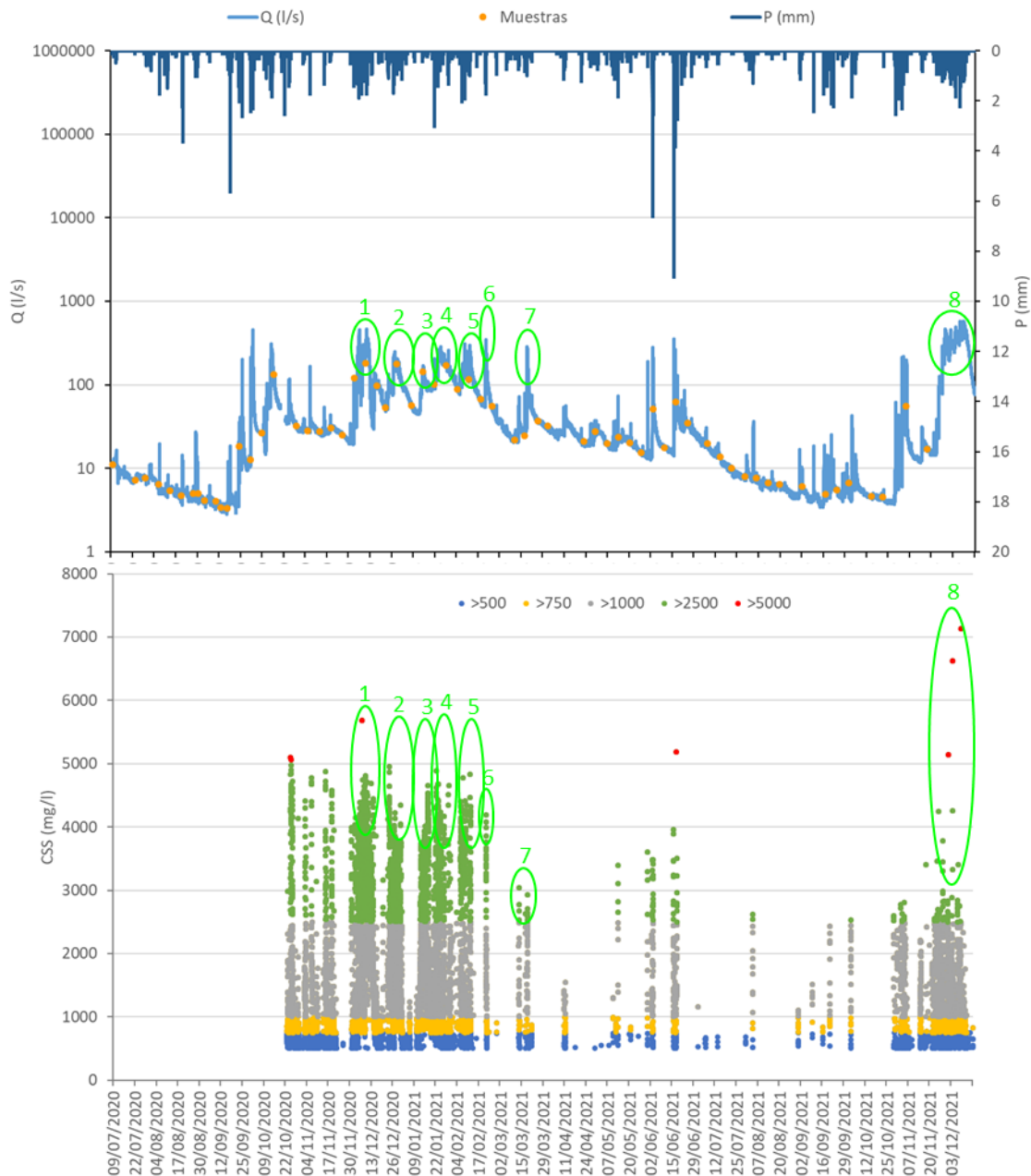


Figura 40: Arriba, hidrograma e hietograma del periodo analizado. Se indica el momento en el que se han tomado las muestras manuales. Abajo, concentración de sedimentos en suspensión (CSS; mg/l) indicado por rangos: en azul entre 500 y 750 mg/l, en naranja entre 750 y 1000 mg/l, en gris entre 1000 y 2500 mg/l, en verde entre 2500 y 5000 mg/l y en rojo los valores mayores de 5000 mg/l. En ambos gráficos se indican los periodos con mayor exportación diaria de sedimentos en suspensión (>10 t/día).

Durante los meses de octubre y noviembre de 2020 se observa una gran concentración de sedimentos en suspensión, sin embargo, la exportación diaria de sedimento no supera en ningún momento las 10 t diarias y no es hasta diciembre cuando ocurren los primeros pulsos

importantes de exportación (Figura 28). Algo similar ocurre en la crecida registrada entre el 14 y el 19 de junio de 2021 (tabla 3), en la que la concentración de sedimentos en suspensión supera los 5000 mg/l, aunque la exportación total no supera las 4 toneladas durante ninguno de los días. Al contrario, en la crecida del 18 de marzo se exportaron 13 t en un día, sin embargo, la concentración de sedimentos en suspensión difícilmente superó los 3000 mg/l.

De cara a la afección al ecosistema hídrico ambos son importantes, tanto la exportación de sedimentos, y, por lo tanto, la cantidad de sedimento aportada al río aguas debajo de Gorospe, como la concentración de sedimentos en suspensión. Esta última, la CSS, tiene probablemente un efecto más inmediato en la calidad del agua del río, y ha sido posible constatar que su efecto llega hasta la estación de Beasain, 14 km aguas debajo de Gorospe (Figura 33). De la figura 34 se extrae, además, que, en momentos de precipitaciones intensas y continuadas, como es el caso de las precipitaciones de finales de noviembre y principios de diciembre de 2021, la cantidad de sedimentos en suspensión movilizada puede ser todavía muy alta, habiéndose registrado las CSS más altas de todo el estudio.

Si comparamos los datos de la tabla 3 con los datos de CSS obtenidos durante los muestreos manuales (Figura 38), se observa que los muestreos del 12 de febrero y del 22 de enero coinciden en ser muestreos con una alta exportación de sedimentos y, además, una alta CSS máxima que también se refleja en aguas debajo de la estación de Gorospe y en el propio Oria (Figura 38). Sin embargo, los muestreos realizados en otros periodos de grandes concentraciones, no reflejan este hecho debido a que se han realizado en momentos concretos en los que la concentración de sedimentos en suspensión en Gorospe no era tan alta. En cualquier caso, la figura 38 deja de manifiesto que en los momentos de altas concentraciones en Gorospe la CSS aguas abajo se ve claramente afectada.

Tabla 3: Exportación total y máxima diaria de sedimentos en suspensión (t) y concentración máxima diezminutal de sedimentos en suspensión (CSS max; mg/l) de los periodos de máxima exportación incluidos en la figura 34.

periodo	fecha	exportación total (t)	exportac max diaria (t)	CSS max (mg/l)
1	6-14dic2020	372	64	5679
2	24dic20-1ene21	182	45	4953
3	13-18ene21	130	40	4654
4	22-27ene21	135	34	4882
5	6-12feb21	105	26	4831
6	22-feb-21	25	25	4075
7	18-mar-21	13	13	2929
	14-19jun21	9	4	5190
8	25nov21-12dic21	264	36	7138

5. Conclusiones y Recomendaciones

El seguimiento realizado durante los 18 meses posteriores a que ocurriera el deslizamiento de Gorospe ha sido determinante a la hora de entender mejor dos cuestiones complementarias planteadas en los objetivos de este mismo informe. Por un lado, la caracterización y posible evolución del propio deslizamiento. Por otro, el alcance de la afección a la dinámica de sedimentos de los cursos superficiales de agua en la cuenca alta del Oria.

En lo referente al propio deslizamiento, se ha realizado una detallada caracterización del mismo, utilizando herramientas de última generación que han aportado una alta resolución (escala centimétrica) y, asimismo, se ha podido cuantificar el cambio de volumen ocurrido tras el deslizamiento, junto con analizar la evolución temporal del mismo. Los datos obtenidos durante los trabajos de campo de 2020 permitieron definir la extensión del deslizamiento, con una superficie de 5.54 ha y una longitud total de 846 m en el perfil de la lengua principal, si bien se divide también en un lóbulo lateral de menor longitud, pero mayor anchura. El desnivel total del deslizamiento se estimó en 380 m.

El movimiento de tierras ocurrió en un evento complejo relacionado con un deslizamiento rotacional inicial (en la parte superior) y la continuación en forma de flujo de detritos (*debris flow*) tras la zona del escalón. Este hecho generó que los sedimentos más finos se acumularan junto al muro que eleva la vía del tren, generando una gran disponibilidad de sedimento fino en esta zona inferior. Además, ya en 2021 se observó que la regata Gorospe, proveniente de la zona superior adyacente del deslizamiento, continúa su curso por su cauce (con roca madre a la vista) en la lengua principal del deslizamiento, lo cual da un continuo aporte dinámico de sedimentos hacia la parte baja descrita.

- La comparación entre los vuelos del dron realizados en 2020 y en 2021/2022, muestra la relativa estabilidad del deslizamiento, si bien es cierto que ciertas zonas han seguido evolucionando con leves deformaciones en forma de hundimientos o con acumulaciones. El adelgazamiento observado entre diciembre de 2020 y enero de 2022, de un promedio de 1.1 m, se relaciona con el lavado y asentamiento del material suelto disponible en la parte inferior del deslizamiento y junto a la barrera de línea del tren. Por su parte, las ganancias, con un promedio de 0.7 m, han ocurrido a lo largo de la zona del escalón del deslizamiento y aguas abajo de la misma. Además, se aprecia claramente la incisión de la regata Gorospe siguiendo la lengua principal del deslizamiento.
- Por lo tanto, dentro de la relativa estabilidad del deslizamiento, sigue siendo un sistema dinámico donde su superficie, es decir, los propios sedimentos siguen evolucionando, dando lugar a cambios moderados. Esto origina una todavía alta disponibilidad de sedimentos que sigue repercutiendo en la dinámica de sedimentos de las aguas superficiales en la regata Gorospe y en el río Oria aguas abajo de la misma.

En lo que respecta a la dinámica de sedimentos de los cursos de agua, se ha continuado con las dos estrategias utilizadas durante el 2020 para poder abordar la escala espacial y temporal de la afección. Los datos de registro continuo de turbidez en la estación de aforos de Gorospe son necesarios para obtener una visión temporal de gran resolución de la evolución en el transporte de sedimentos generados por el deslizamiento. Los muestreos manuales, por su parte, abordan la escala espacial, determinando el alcance, en el espacio, del impacto en la dinámica de sedimentos de las aguas del alto Oria. Son, por tanto, dos estrategias complementarias.

- Los datos obtenidos en la estación de Gorospe dejan en evidencia que sigue habiendo una alta disponibilidad de sedimentos en la zona de estudio, aunque se observa un ligero descenso de las concentraciones máximas registradas durante el 2021 con respecto a las observadas durante los meses inmediatamente posteriores al deslizamiento. Sin embargo, las concentraciones de sedimentos en suspensión medidas en las muestras tomadas en la estación de Gorospe siguen siendo superiores a las observadas en los estudios llevados a cabo en los últimos años en otras cuencas de diversos tamaños de Gipuzkoa.

El número de crecidas ocurridas durante el 2021 ha sido pequeño, y, a excepción de las lluvias de finales de noviembre y primeros de diciembre de 2021, no han ocurrido eventos lluviosos de gran intensidad, lo cual, en principio, favorece una menor exportación de sedimentos en suspensión desde las cuencas. Sin embargo, se ha estimado que desde la cuenca del Gorospe se han exportado, al menos, unas 1600 t de sedimento fino, en suspensión, en 14 meses, de los cuales 80 t se exportaron entre octubre y diciembre de 2020 y 310 t en las lluvias de finales de noviembre y principios de diciembre de 2022. Se trata de una masa muy importante de sedimentos.

Los datos indican que existe todavía una gran cantidad de sedimentos disponibles, aunque la afección que los mismos tienen sobre la dinámica de sedimentos del río depende directamente de la magnitud y distribución de las precipitaciones, así como de la respuesta hidrológica. En ese sentido, el año 2021 ha sido un año de pocas precipitaciones, a excepción de los meses de noviembre y diciembre, por lo que no se considera que pueda ser representativo de la respuesta hidrológica, ni de la sedimentaria, de la regata Gorospe en años venideros.

- Tal y como se constató en el informe de 2020, los datos de los muestreos manuales muestran que la influencia del deslizamiento de Gorospe sobre la dinámica de sedimentos de las aguas del alto Oria, llega, por lo menos, hasta Beasain, es decir, afecta a, al menos, 14.5 km de cursos superficiales. Así, se establece que el deslizamiento de unas 5.5 ha, integrado en una subcuenca de 1 km², llega a afectar a una zona en el río Oria con una cuenca 150 veces superior en superficie (calculada a partir del punto de muestreo de Beasain), con lo que esa diferencia de área supone en dilución de los sedimentos transportados. Éste es un dato que puede resultar de interés de cara a otros eventos parecidos que puedan ocurrir en el territorio.

Se observa claramente una disminución de la concentración de sedimentos en suspensión, entre el 2020 y el 2021 en todos los puntos de la red de muestreo. No obstante, siguen observándose concentraciones de sedimentos en suspensión muy altas en los puntos de control de la regata Gorospe y en los puntos afectados del río Oria. Además, no se dispone de datos para las importantes lluvias ocurridas entre finales de noviembre y mediados de diciembre de 2021, las cuales, movilizaron una gran cantidad de sedimentos.

El deslizamiento de Gorospe no es un evento aislado en el entorno estudiado, ya que, tal y como definió Ortiz (2021) en su Trabajo Fin de Grado de Geología, se observan varios depósitos antiguos de procesos gravitacionales generados a partir de caídas de rocas, debris-flows o procesos complejos, en las zonas aledañas al deslizamiento en cuestión. Se trata de materiales que provienen de las calizas urgonianas y que se sitúan encima de los materiales siliciclásticos. Según Ortiz, en esta zona de la falda norte del Aizkorri, entre los 1350 y los 700 metros, predominan los procesos gravitacionales frente a los fluviales o los kársticos. La presencia de

una falla inversa en la zona, así como de minerales fácilmente hidratables como el yeso, podrían facilitar, también en el futuro, este tipo de procesos en la zona.

Sin embargo, ésta no se trata de una zona aislada en la que puedan ocurrir este tipo de procesos. Recientemente, el 9 de diciembre de 2021 ocurrió un evento similar al de Gorospe en Gabiria. En este último caso, sin embargo, el deslizamiento ocurrió tras unas intensas lluvias y se vio afectado el servicio de tren de cercanías entre Ormaiztegui y Zumarraga. El caso de Gabiria es, quizás, el más habitual en Gipuzkoa, es decir, procesos que suelen darse tras lluvias intensas o grandes cantidades de lluvia acumuladas durante varios días o meses. Esa es quizás, la particularidad del deslizamiento de Gorospe, el hecho de que durante los días o semanas anteriores no se registraron lluvias de gran intensidad o cuantía.

En cualquier caso, la metodología definida en este informe puede resultar una base sólida sobre la que adaptar el seguimiento necesario en otros deslizamientos que puedan generar afecciones a cursos de agua superficiales o cuya evolución sea susceptible de necesitar seguimiento por otro tipo de impactos que pueda generar.

Referencias

- Brasington, J., Richards, K., 2000. Turbidity and suspended sediment dynamics in small catchments in the Nepal Middle Hills. *Hydrological Processes* 14, 2559-2574.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996. *Landslide Types and Processes*. Transportation Research Board, U.S. National Academy of Sciences, Special Report, 247: 36-75.
- DFG/GFA - Diputación Foral de Gipuzkoa/Gipuzkoako Foru Aldundia, 2015. Cuantificación de la tasa de sedimentos exportados de las cuencas del Territorio Histórico de Gipuzkoa. Fase IX. (Año hidrológico 2014-2015). Caracterización de los contaminantes del sedimento de la cuenca del Urumea. Informe inédito realizado por el Grupo de Hidrogeología y Medio Ambiente de la UPV/EHU.
- DFG/GFA, Mapa de pluviometría 2019/2020. <https://www.gipuzkoa.eus/es/web/obrahidraulikoak/mapas/mapas-anuales/mapa-de-puviometria>
- GeoEuskadi. Infraestructura de datos espaciales - IDE Euskadi. <https://www.geo.euskadi.eus/s69-15375/es/>
- Gippel, C.J., 1989. The use of turbidimeters in suspended sediment research. *Hydrobiologia* 176/177, 465-480.
- Lewis, J., 1996. Turbidity-controlled suspended sediment sampling for runoff-event load estimation. *Water Resources Research* 32(7), 2299-2310.
- Ortiz, A. 2021. Zegama inguruetakoko interpretazio geomorfologikoa (Aizkorriko ipar isurialdea, Gipuzkoa). Gradu Amaierako Lana. Euskal Herriko Unibertsitatea. Publikatu gabea.
- Planet Team. 2017. *Planet application program interface: In space for life on earth*. <https://api.planet.com>
- Raquet, J., Lachapelle, G., 2001. RTK positioning with multiple reference stations. *GPS World* 12, 48-53.
- Rovira, A., Batalla R.J., 2006. Temporal distribution of suspended sediment transport in a Mediterranean basin: the Lower Tordera (NE Spain). *Geomorphology* 79, 58-71.
- UPV/EHU, 2015. Cuantificación de la tasa de sedimentos exportados de la cuenca del río Leizaran antes, durante y después de la demolición de la presa de Inturia. Informe final inédito. Trabajo presentado para el proyecto GURATRANS por los miembros del Grupo de Investigación Consolidado Hidrogeología y Medio Ambiente de la UPV/EHU (IT598/13, Gobierno Vasco)
- UPV/EHU, 2020. Seguimiento del transporte de sedimentos en la cuenca del río Leizaran debido a los trabajos del Life IREKIBAI. Leizaran ibaiko sedimentuen garraioaren jarraipena IREKIBAI Life-ko lanen ondorioz. Año hidrológico 2019-2020 urte hidrológikoa. Trabajo

presentado para el proyecto IREKIBAI por los miembros del Grupo de Investigación Consolidado Procesos Hidro-Ambientales de la UPV/EHU (IT1029/16, Gobierno Vasco).

USGS. s/f. US Geological Survey Implements New Turbidity Data-Reporting Procedures. <http://water.usgs.gov/owq/turbidity/TurbidityInfoSheet.pdf>

Valente, D.S.M., Momin, A., Grift, T., Hansen, A., 2020. Accuracy and precision evaluation of two low-cost RTK global navigation satellite systems. *Comput. Electron. Agric.* 168, 105142. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105142>.

Zabaleta, A., 2008. Análisis de la respuesta hidrosedimentaria en pequeñas cuencas de Gipuzkoa. Departamento de Geodinámica. Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea. Tesis Doctoral. 252 pp, anexos y CD.