

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Diseño integral de soluciones para márgenes inestables del río Daule
(presa Daule Peripa a Balzar).

INGE-3046

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Ingeniería Civil

Presentado por:

Carlos Alejandro Macías Loor

Daniel Rodríguez Berrezueta

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mi familia, por su apoyo incondicional y su cariño. A Wilo, quien estuvo a mi lado cada noche de estudio hasta su último aliento. A Carlos, por ser un amigo y un compañero de trabajo excepcional.

Daniel Rodríguez Berrezueta

El presente trabajo se lo dedico a Dios por ser mi fortaleza y guía a lo largo de todo este trayecto. A mis padres, que gracias a su esfuerzo, sacrificio y amor incondicional me brindaron todas las herramientas necesarias para seguir adelante en la carrera y en la vida. A mis tías, por su paciencia y acogida estos últimos años. A mi hermano por su compañía y apoyo. A mi abuela, que con su inmenso amor nunca dejó de orar por mi avance y mi futuro, y que aún sigue siendo una luz en mi camino desde el cielo.

Carlos Alejandro Macías Loor

Agradecimientos

Nuestro más sincero agradecimiento. al Ing. Mijail Arias, por su guía experta, su paciencia y el apoyo constante brindado durante todo el desarrollo del proyecto. Asimismo, agradecemos al Ing. Danilo Dávila por sus valiosos consejos y aportes. Finalmente, a todos nuestros amigos quienes enriquecieron esta etapa de nuestras vidas, especialmente a Alan, Chrystel, Odalys, Celinne, Johan, Álvaro, Jeison, José Andrés, Juan, Keen y Jorge, gracias por su amistad sincera y por ser un pilar de apoyo incondicional en cada etapa de este proceso.

Declaración Expresa

Nosotros Carlos Alejandro Macías Loor y Daniel Rodríguez Berrezueta acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 15 de Octubre del 2025.



Carlos Alejandro Macías Loor



Daniel Rodríguez Berrezueta

Evaluadores

Ing. Ingrid Tatiana Orta Zambrano

Profesora de Materia Integradora

Ing. Mijail Eduardo Arias Hidalgo

Tutor del proyecto

Resumen

El proyecto aborda la estabilización de taludes en los márgenes del río Daule, desde el Embalse Daule-Peripa hasta Balzar, en Ecuador, una zona propensa a deslizamientos debido a factores naturales y humanos. El principal objetivo es mitigar los riesgos asociados con la inestabilidad de los taludes mediante el diseño de soluciones geotécnicas, hidráulicas y ambientales. Se utilizó modelación hidrodinámica 2D con el software HEC-RAS para identificar las áreas críticas y evaluar su estabilidad. El análisis de alternativas incluyó medidas estructurales, geotécnicas y vegetativas, destacando el uso reconformación de taludes, enrocados y sistemas de vegetación como soluciones sostenibles. Los resultados muestran un aumento significativo en el factor de seguridad de las zonas intervenidas, superando el umbral de 1.5. Finalmente, el proyecto contribuye al desarrollo sostenible de la región, promoviendo la seguridad de las comunidades y la conservación del entorno.

Palabras clave: Reconformación de taludes, río Daule, modelación hidrodinámica, sostenibilidad

Abstract

This project focuses on slope stabilization along the banks of the Daule River, from the Daule-Peripa Reservoir to Balzar, Ecuador, an area prone to landslides due to natural and human factors. The main objective is to mitigate the risks associated with slope instability by designing geotechnical, hydraulic, and environmental solutions. Two-dimensional hydrodynamic modeling was used with HEC-RAS software to identify critical areas and assess their stability. The analysis of alternatives included structural, geotechnical, and vegetative measures, highlighting the use of slope reshaping, riprap, and vegetation systems as sustainable solutions. The results show a significant increase in the safety factor of the areas intervened, exceeding the threshold of 1.5. Finally, the project contributes to the sustainable development of the region, promoting community safety and environmental conservation.

Keywords: Slope reshaping, Daule River, hydrodynamic modeling, sustainability

Índice general

CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Descripción del Problema	3
1.3 Justificación del Problema	3
1.4 Objetivos	4
<i>1.4.1 Objetivo general</i>	4
<i>1.4.2 Objetivos específicos</i>	5
CAPÍTULO 2	6
2. MATERIALES Y MÉTODOS	7
2.1 Revisión de Literatura	7
2.2 Área de estudio	11
2.3 Trabajo de campo y laboratorio	13
2.4 Análisis de datos	13
2.5 Análisis de alternativas	16
CAPÍTULO 3	23
3. DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES	24
3.1 Análisis y estudios preliminares	24
<i>3.1.1 Definición de parámetros hidráulicos</i>	24
<i>3.1.2 Caracterización de la rugosidad</i>	28
<i>3.1.3 Modelación hidrodinámica 2D</i>	29
<i>3.1.4 Análisis preliminar geotécnico</i>	38
3.2 Diseño definitivo	42
<i>3.2.1 Reconformación de taludes</i>	43
<i>3.2.2 Uso de vegetación</i>	46

3.2.3 <i>Enrocado / Riprap</i>	48
3.3 Comprobación de diseño	52
CAPÍTULO 4	54
4. ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL	55
4.1 Descripción del proyecto	55
4.2 Línea base ambiental	56
4.3 Actividades del proyecto	57
4.4 Identificación de impactos ambientales	60
4.4.1 <i>Impactos negativos</i>	60
4.4.2 <i>Impactos positivos</i>	61
4.4.3 <i>Matriz de Leopold</i>	62
4.5 Valoración de impactos ambientales	64
4.6 Propuestas de medidas de prevención / mitigación	66
4.6.1 <i>Medidas para la pérdida de vegetación por limpieza y desbroce</i>	67
4.6.2 <i>Medidas para la alteración del suelo por movimiento de tierras</i>	67
4.6.3 <i>Medidas para la aplicación de solución integral para estabilidad de taludes</i>	67
4.6.4 <i>Medidas para la revegetación de taludes con vetiver</i>	68
4.6.5 <i>Medidas para la alteración del paisaje solución estructural</i>	68
4.7 Resultados de medidas	68
CAPÍTULO 5	70
5. PRESUPUESTO	71
5.1 Estructura Desglosada de Trabajo	71
5.2 Especificaciones Técnicas	71
5.3 Rubros y análisis de precios unitarios	82
5.4 Cantidades en obra	83
5.5 Costo del proyecto	88
5.6 Cronograma de obra	89

CAPÍTULO 6	91
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
6.1 Conclusiones	92
6.2 Recomendaciones	93
REFERENCIAS	94
PLANOS Y ANEXOS	99

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de la zona de estudio del Río Daule.	11
Figura 2. Inundación en Río Daule (Primicias, 2025).	12
Figura 3. Sección del TIN sin corregir.	14
Figura 4. Sección del TIN corregida.	15
Figura 5. Tamaños de celda en el río y terreno cercano.	16
Figura 6. Histograma de Caudales liberados y Precipitación ingresado a HECRAS	26
Figura 7. Polígonos de Manning para la caracterización de la rugosidad en modelación 2D.	28
Figura 8. Secciones transversales generadas en el modelo hidrodinámico para identificación de taludes inestables.	30
Figura 9. Simulación de elevación de agua generada por el modelo hidrodinámico.	31
Figura 10. Sección transversal con agua de la Zona 1 seleccionada.	33
Figura 11. Superposición del área de inundación obtenida con Sentinel-1.	34
Figura 12. Perfil de socavación de la Zona 2 de estudio con el método Lischtván-Lebediev.	37
Figura 13. Mapa de velocidad de flujo obtenido de HECRAS.	38
Figura 14. Esquema para el análisis de estabilidad de un talud indefinido, diagrama de cuerpo libre (Alonso, 1989).	41
Figura 15. Talud de la Zona 2 de estudio sin propuesta de reconfiguración.	44
Figura 16. Talud de la Zona 2 de estudio con propuesta de reconfiguración.	45
Figura 17. Zona 3 de estudio donde se adoptará un sistema vetiver de vegetación.	47
Figura 18. Uso de vetiver en el edificio de postgrados STEM, ESPOL.	48
Figura 19. Vía cerca de la Zona 10 de estudio que limita la reconfiguración de talud como alternativa.	49
Figura 20. Bosquejo del diseño propuesto para el enrocado.	51
Figura 21. Estructura desglosada de trabajo para el proyecto.	71
Figura 22. Cronograma de obra (1/3).	89
Figura 23. Cronograma de obra (2/3)	90
Figura 24. Cronograma de obra (3/3).	90
Figura 25. Inclinaciones Normales de Taludes de Corte (ACJ, 1984).	103
Figura 26. Tamaño de partículas máximo y mínimo en pulgadas (FHWA, 2009).	104

Índice de Tablas

Tabla 1. Evaluación de alternativas planteadas	18
Tabla 2. Selección del mejor ajuste estadístico para caudales liberados	25
Tabla 3. Selección del mejor ajuste estadístico para estaciones meteorológicas	27
Tabla 4. Selección de las zonas de estudio	32
Tabla 5. Comparación de área inundada en Sentinel-1 con resultados de HEC-RAS	35
Tabla 6. Profundidad de socavación en la extensión del cauce	36
Tabla 7. Parámetros de diseño geotécnico para las zonas de estudio	39
Tabla 8. Factor de seguridad de taludes en análisis geotécnico preliminar	42
Tabla 9. Solución propuesta para cada zona de estudio	43
Tabla 10. Factor de seguridad de taludes con solución propuesta sin presencia de agua	52
Tabla 11. Descripción de actividades del proyecto	59
Tabla 12. Matriz de Leopold	63
Tabla 13. Escala de valores cuantitativos	64
Tabla 14. Valoración de actividades realizadas	65
Tabla 15. Escala de valoración del índice de Impacto Ambiental (IA).	66
Tabla 16. Análisis de precios unitarios	82
Tabla 17. Cantidades en obra para la Zona 1	83
Tabla 18. Cantidades en obra para la Zona 2	83
Tabla 19. Cantidades en obra para la Zona 3	84
Tabla 20. Cantidades en obra para la Zona 4	84
Tabla 21. Cantidades en obra para la Zona 5	85
Tabla 22. Cantidades en obra para la Zona 6	85
Tabla 23. Cantidades en obra para la Zona 7	86
Tabla 24. Cantidades en obra para la Zona 8	86
Tabla 25. Cantidades en obra para la Zona 9	87
Tabla 26. Cantidades en obra para la Zona 10	87

Tabla 27. Costo total del proyecto

88

Índice de Planos

PLANO 1. Perfiles transversales para movimiento de tierras para terrazas.

PLANO 2. Perfiles transversales de socavación

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En Ecuador, el mantenimiento y cuidado de la cuenca del río Daule es de gran importancia, sobre todo por la población que se asienta dentro de esta área de influencia. Allí se ven involucradas un sin número de actividades como el abastecimiento de agua para los sectores ganaderos e industriales, aporte al riego en el desarrollo agrícola y el sustento en sus actividades diarias. Al presentarse inestabilidad de taludes a lo largo de este cuerpo de agua, se presenta también un gran riesgo de seguridad para los diversos sectores involucrados, en especial para los asentamientos humanos ubicados en zonas aledañas de este río, o aquellas comunidades que dependen de este afluente aguas abajo.

Partiendo de esto, se han desarrollado a lo largo del tiempo diversas técnicas de estabilización de taludes que integran metodologías geotécnicas, hidráulicas y ambientales. Avances tecnológicos como el modelamiento numérico y el uso de programas de monitoreo y teledetección han permitido brindar soluciones de índole sostenible que ayuden a entender el comportamiento hidráulico y de taludes ante gran variabilidad de circunstancias. De esta forma, se puede minimizar riesgos en los márgenes de los ríos, sobre todo en aquellos puntos donde las variaciones fluviales junto con los procesos erosivos son de gran intensidad.

La mitigación de riesgos a través de soluciones ingenieriles integrales para estos sectores inestables surge como una contribución relevante, especializado no sólo en aspectos hidráulicos y mecánicos del suelo, sino que también se enmarcan en un diseño enfocado en la sostenibilidad ambiental. En este contexto, el análisis de las condiciones características de los ríos en zonas costeras busca, además de brindar una solución ingenieril para mitigar la inestabilidad de taludes, promover un desarrollo sostenible en las comunidades aledañas a la zona de interés.

1.2 Descripción del Problema

La inestabilidad de taludes tiene una gran presencia en el tramo de estudio comprendido entre el Embalse Daule – Peripa y el cantón Balzar. Este problema no solo se ocasiona por causas naturales, sino que también se ve involucrado el accionar humano con actividades dentro de los distintos sectores productores. La saturación del suelo ante la presencia de lluvias, junto con la variabilidad de los niveles del afluente a causa del desalojo de exceso de agua de la presa, han producido erosión, deslizamientos y socavación. Además, otros factores antropológicos como el uso incorrecto del suelo aledaño a la zona, la deforestación y la falta de infraestructura y obras de protección, han incrementado el riesgo.

Por otra parte, la ausencia temprana de apropiada planificación, considerando las debidas características técnicas, no ha permitido el desarrollo e implementación de medidas adaptadas a las cualidades del tramo del río Daule. A su vez, no se han identificado causas específicas para la inestabilidad del suelo y los puntos que demandan mayor atención desde un enfoque crítico de riesgos. Considerando lo mencionado, la comprensión de lo que sucede es limitada, y con esto la capacidad de brindar soluciones que integren un diseño efectivo e integral.

1.3 Justificación del Problema

Esta problemática compromete tanto al ámbito social como económico. En principio, presenta un riesgo de seguridad para las propias comunidades arraigadas en la zona de influencia de este río, así como también incurre a la posible pérdida de terrenos en la parte agrícola y afectación en vías rurales cercanas. Por esto, se desarrolla un análisis de índole técnica en dónde se evalúen las condiciones del terreno y las causas de este. Además, se incluye la debida propuesta ingenieril que garantice de primera mano la mitigación de riesgos a través de la conservación de las riberas fluviales.

El desarrollo de este proyecto es un punto de partida para la orientación y modelación de futuros estudios en los que se vean envueltas características y condiciones similares a los taludes de las riberas del río Daule. Así se aporta información técnica de utilidad para aquellas entidades encargadas de la gestión de riesgo dentro del país desde un enfoque más sostenible y eficiente contribuyendo así en el manejo adecuado de recursos económicos. De tal manera, que los sectores productivos clave como la agricultura, transporte e inclusive construcción de futuros proyectos no se vean perjudicados a lo largo del tiempo.

La seguridad de los sectores productivos, así como de la población alrededor de la zona de estudio es de sumo interés para el cliente. El riesgo es considerado como la combinación de una amenaza y una vulnerabilidad, siendo en este caso la vulnerabilidad la inestabilidad de los márgenes de taludes. Es por esto, que para la Secretaría de Gestión de Riesgos es esencial contar con un análisis de sectores donde se presenten estos problemas. De igual manera, el análisis de alternativas geotécnicas, estructurales e hidráulicas para mitigar la vulnerabilidad de la zona de estudio permite prevenir el riesgo de deslizamientos e inundaciones en época invernal.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar soluciones ingenieriles a través de factores hidráulicos, ambientales y geotécnicos para la estabilización de taludes en los márgenes fluviales desde la presa Daule-Peripa hasta Balzar.

- ¿Cuáles son los aspectos principales para determinar los sectores del tramo de río Daule, comprendido entre el Embalse Daule-Peripa y el cantón Balzar, que presentan mayor inestabilidad de taludes a través de información georreferenciada?
- ¿Cómo identificar los factores geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos más influyentes bajo los cuales los taludes presentan mayor inestabilidad?

- ¿Qué soluciones integrales de ingeniería son más adecuadas para la estabilización de taludes del río Daule, tomando en cuenta no solo las condiciones físicas, sino también las sociales y económicas de cada localidad?
- ¿De qué manera se puede determinar la sostenibilidad y eficiencia de los criterios técnicos, sociales y económicos que estarán presentes en las soluciones de estabilizaciones propuestas?

1.4.2 Objetivos específicos

1. **Clasificar** los sectores en las franjas del río Daule de acuerdo con su grado de inestabilidad a través de puntos topográficos, imágenes satelitales y modelación hidrodinámica.
2. **Evaluar** la inestabilidad de los taludes identificados mediante ensayos de laboratorio y modelación por computadora.
3. **Proponer** diversas soluciones de estabilización y protección de taludes, de tal manera que sean adaptadas a las condiciones sociales y económicas de cada localidad presente.
4. **Diseñar** el conjunto más adecuado de soluciones de estabilización y protección de taludes a través de la evaluación del impacto ambiental, social y económico

CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Revisión de Literatura

La inestabilidad de taludes en áreas fluviales es un fenómeno crítico, especialmente en márgenes de ríos donde las fluctuaciones hidráulicas y la saturación del suelo pueden generar condiciones para el colapso. Kalita & Khaund (2020) destacan que la estabilidad de los taludes en zonas cercanas a cuerpos de agua depende de factores como la geometría del banco y las propiedades del material de la ribera, que en su mayoría son suelos aluviales de baja cohesión. En este contexto, se ha demostrado que las fluctuaciones del nivel de agua pueden agravar la inestabilidad, lo que requiere un análisis exhaustivo de los parámetros geotécnicos para prever deslizamientos (Kalita & Khaund, 2020).

Chávez-Moncayo et al. (2008) observan que en el río Portoviejo, Ecuador, una urbanización en márgenes del río ha aumentado la vulnerabilidad de los taludes al utilizar muros de gaviones. Esto se debe a la erosión continua de los mismos en las zonas afectadas, debilitando así su capacidad portante. Steiakakis et al. (2024) refuerzan esta perspectiva al señalar que la variabilidad en el nivel del agua, tanto en el proceso de llenado como en el de vaciado de embalses, genera inestabilidad en los taludes debido a las fluctuaciones de presión.

La inestabilidad de taludes está determinada por una combinación de factores naturales y antropogénicos que alteran el equilibrio geotécnico y las condiciones del terreno. Entre los factores antropogénicos se encuentran según Jean Louis et al. (2024) la urbanización descontrolada y la deforestación, intensificando de esta manera los procesos erosivos y reduciendo como consecuencia la capacidad hidráulica de los ríos. De manera complementaria, Wang & Wang (2025) mencionan a la influencia humana como uno de los tres índices de evaluación de susceptibilidad de deslizamientos hidrodinámicos junto con las condiciones geográficas e hidrológicas de la zona.

Asimismo, Soeters & Van Westen (1996) destacan que la variabilidad de factores geomorfológicos, hidrológicos y de uso de suelo condiciona la ocurrencia y magnitud de los deslizamientos, así como la gravedad de posibles inundaciones consecuentes. En consecuencia, la combinación de cambios en el uso del suelo, factores antropogénicos y las mismas condiciones del terreno constituyen algunas de las principales causas de la degradación y el colapso de los taludes fluviales.

A pesar de la relevancia de los factores antropogénicos y geográficos, en el caso de taludes fluviales las condiciones hidrológicas e hidráulicas de la zona son fundamentales para comprender la estabilidad del terreno. La presencia considerable de agua, producto de precipitaciones o inundaciones, puede generar erosión debido a un incremento en la presión de poros, así como también la variación excesiva en los niveles de agua (Angarita & Muñoz, 2023). Por ello, diversos autores han propuesto (o revisado) métodos para estabilidad de taludes que tengan en consideración la influencia de las condiciones hidráulicas en el cálculo.

El método de Sarma, introducido en 1973, basa sus principios en los métodos generales de estados límites o equilibrio. Las condiciones de equilibrio y las fuerzas dentro del suelo consideran que existe una subdivisión dentro de la capa de suelo antes de un deslizamiento potencial total con variaciones en las inclinaciones de este. Entonces, al dividirse en secciones o bloques, la representación del comportamiento del talud comienza a aproximarse más a la realidad, identificándose resistencias al corte tanto para la base como para cada lado del bloque (Sarfaraz, 2020). Métodos geotécnicos para la estabilización de taludes incluyen la reconfiguración del talud a una inclinación aceptable ya sea en una pendiente o mediante el uso de banquetas (Asociación de Carreteras del Japón, 1984).

Como opción de solución arraigadas al ámbito sostenible se tienen las zonas de amortiguamiento con vegetación. Los resultados de estudios de la implementación de esta bioingeniería para la protección de los taludes son satisfactorios, por lo que se lo toma en

consideración como alternativa sostenible. En principio, el objetivo de estas zonas de amortiguamiento es disipar la energía del flujo a través de la vegetación y así evitar erosiones excesivas en puntos críticos. En cuanto a lo antes mencionado se tienen diversas investigaciones que avalan la influencia de la densidad y espesor de esta cobertura de índole vegetal en la erosión y sedimentación de las riberas de un efluente.

Song et al. (2024) en sus estudios con variaciones de espesor y densidad de vegetación, evidencian como la variación de estas características presentadas influyen en la manera en el que el flujo de un afluente se distribuye. Se menciona que la densidad y el espesor al encontrarse en un punto óptimo de implementación reducen la velocidad del flujo sin llegar a crear erosiones locales por la presencia de esta misma vegetación dentro del río. Por su lado, Cheng et al. (2024) mencionan la importancia de las raíces de la vegetación en la mejora de la estabilización de laderas.

Estas raíces pueden proporcionar cohesión adicional en el suelo a través de la reducción de retención de agua de los suelos y por lo consiguiente su permeabilidad. Adicional a esto, se menciona como factor importante la resistencia a la tracción de las raíces y su influencia en la mejora de efectos mecánicos sobre aquellos taludes que se encuentren con presencia de vegetación. Kumar & Kumari (2023) en su revisión sistemática del uso de *Vetiver* para la estabilización de taludes mencionan un aumento de hasta 90% a 1.6 m de profundidad en ciertas zonas.

Gray & Sotir (1997) por su parte, resaltan el rol ecológico que pueden cumplir estas zonas de amortiguamiento, al servir como corredores biológicos y hábitats para especies nativas, contribuyendo al restablecimiento del equilibrio natural del ecosistema fluvial. Adicional, señalan la facilidad y la no perturbación de las riberas del río durante su implementación, lo que puede resultar en un gran punto inflexión dentro de zonas ambientales protegidas. Además, mencionan que para la protección de taludes se puede tener

contención al pie de la ladera y estabilización en el terreno superior. Es decir, que aquellas estructuras al pie del talud permiten, a través de la contención, nivelar dicha pendiente. De esta manera se cuenta con estabilidad suficiente para la revegetación sin existir pérdidas de terreno en la parte de la cima del talud.

De acuerdo con Das (2011) y Budhu (2015), las medidas estructurales pueden clasificarse según su función en obras de contención, refuerzo del terreno, drenaje y protección superficial. Para su diseño, es necesario un análisis de estabilidad mediante métodos como Bishop, Janbu o Sarma en conjunto con modelación numérica en software. En el caso de los ríos con taludes inestables, las medidas estructurales se podrían clasificar como obras de contención y protección (Das, 2011). La idea de protección y estabilización de los taludes a lo largo del cauce del río Daule está estrechamente relacionada con la no modificación extrema de la capacidad del río Daule y así mismo su geometría. A raíz de esto, las medidas estructurales buscan en un ámbito global mejorar la estabilidad del talud, a la vez que se evitan procesos de socavación y erosión en los márgenes del efluente.

Dentro de las obras de contención para estas laderas se tienen los muros de gaviones que, de acuerdo con Bagherzadeh y Mohammadi (2025), se han consolidado a lo largo de los años como una opción sostenible y sobre todo rentable. La consolidación de los muros de gaviones alternativa que rivaliza métodos tradicionales se debe a la porosidad de sus umbrales, la cual ayuda a disipar la energía del flujo y por lo consiguiente la erosión que se pueda causar. Así mismo, su flexibilidad permite colocarse de tal manera que no se vea afectada su estabilidad y función, ajustándose adecuadamente a la geometría del cauce.

A pesar de sus numerosas ventajas, los muros de gaviones no están exentos de una planificación adecuada. Cuando no se realizan estudios geotécnicos adecuados, como análisis de la resistencia del suelo, el tipo de material y las condiciones hidrológicas, el muro puede no ser lo suficientemente fuerte o estable, lo que aumenta el riesgo de volcarse o fallar. No se

puede aplicar un muro de contención sin considerar estos factores, ya que cada terreno y situación requieren soluciones personalizadas. La falta de un análisis riguroso puede llevar a errores costosos y peligrosos, comprometiendo la seguridad y la estabilidad del proyecto. Es crucial realizar estudios previos para asegurar que el diseño del muro sea el adecuado para cada caso específico. Otras soluciones estructurales incluyen el uso de enrocado o *riprap* de acuerdo con las recomendaciones del reporte HEC-23 Vol.2 (FHWA, 2009).

2.2 Área de estudio

El proyecto corresponde al sector norte del río Daule en la cuenca del Guayas, en la costa ecuatoriana, atravesando las provincias de Manabí y el Guayas. La longitud del tramo a analizar es de aproximadamente 70 km (en línea recta), desde el nacimiento del río en el embalse Daule-Peripa hasta Balzar. El entorno inmediato de la sección de estudio combina zonas rurales dispersas, pequeños caminos y claros de vegetación, con dos poblados principales.

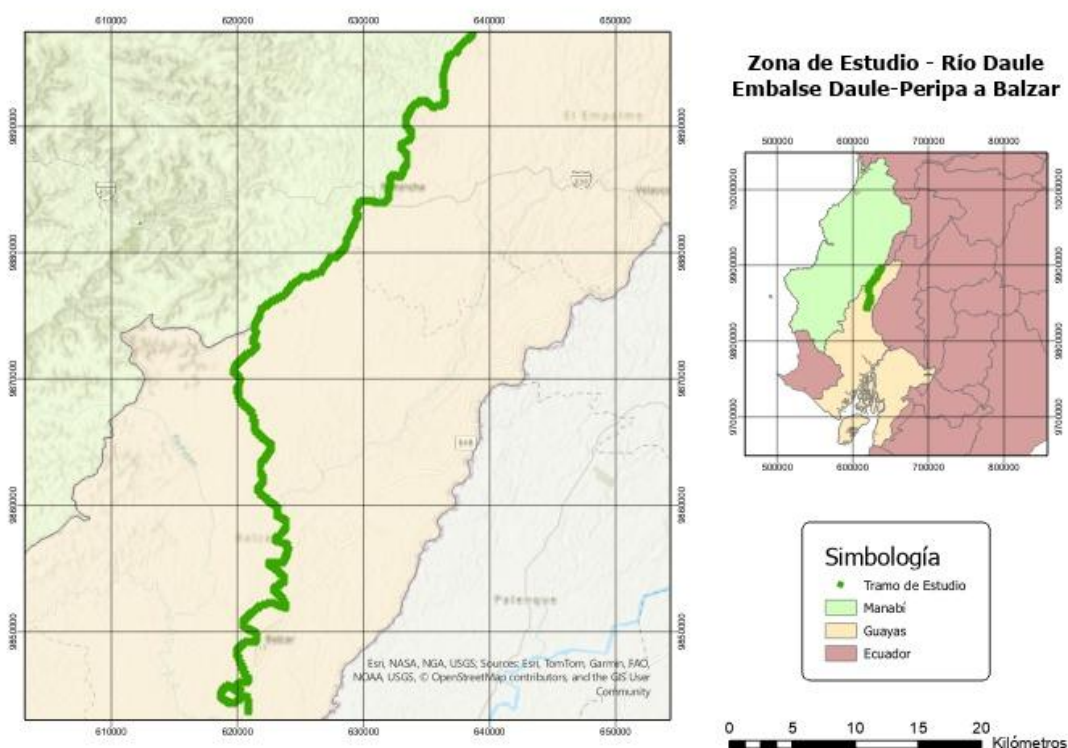


Figura 1. Mapa de la zona de estudio del Río Daule.

Entre Daule-Peripa y Balzar el río transita desde una zona de colinas bajas hacia una llanura aluvial. En el primer sector predominan pendientes moderadas y un cauce más encajado; conforme se avanza hacia Balzar, la pendiente disminuye y el río gana espacio lateral, con mayor desarrollo de meandros y planicies de inundación. El sustrato dominante son principalmente depósitos aluviales finos (limos y arcillas) con ligera presencia de arenas.

El clima es tropical estacional, concentrándose la estación lluviosa entre enero y mayo, cuando aumentan los caudales y se activan desbordes sobre la planicie; de junio a diciembre predomina la estación seca con caudales reducidos. Por otro lado, la vegetación potencial corresponde al bosque seco tropical, actualmente fragmentado por agricultura y ganadería (GADM Balzar, 2023).. A lo largo del cauce subsisten franjas de vegetación ribereña que contribuyen a estabilizar taludes, retener sedimentos finos y mejorar la calidad del agua. La pérdida de estas franjas por actividad humana incrementa la exposición de las márgenes a la erosión durante crecidas. Además, la presencia de vegetación, escombros y desechos dentro del cauce del río aumentan el riesgo de inundaciones.



Figura 2. Inundación en Río Daule (Primicias, 2025).

Desde el punto de vista hidráulico y morfológico, el tramo es aluvional, de baja pendiente y alta sinuosidad. La presa Daule-Peripa introduce regulación de caudales, atenuando picos en estiaje y ordenando descargas en época lluviosa. Estos factores influyen a su vez en velocidades, niveles y transporte de sedimentos aguas abajo. Adicionalmente, las condiciones propias de la zona generan inundaciones a lo largo del tramo de estudio como se puede evidenciar en la Figura 2.

2.3 Trabajo de campo y laboratorio

El trabajo realizado se centró en el análisis de datos proporcionados por el cliente, los cuales incluían información sobre las condiciones del suelo en áreas cercanas a la zona de estudio y puntos georreferenciados del tramo de estudio del río Daule. Debido a la disponibilidad de estos datos, no fue necesario realizar mediciones o muestreo *in situ* en el área de estudio, además de las limitaciones que esto conllevaría debido a la extensión del tramo. En su lugar, el trabajo se centró en la construcción de una Red Triangulada Irregular (TIN, por sus siglas en inglés) utilizando los datos suministrados. Para identificar los sectores con mayor necesidad de intervención se utilizó el modelo de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés) construido a partir del TIN, asimismo aquel facilitado por el cliente.

2.4 Análisis de datos

Los puntos tomados del río Daule, en el tramo embalse Daule-Peripa hasta Balzar, incluyen datos de elevación dentro del río y en su margen. La elevación dentro del cauce del río varía desde los 2 m.s.n.m hasta los 19 m.s.n.m, evidenciando la existencia de sectores propensos a inundaciones o taludes susceptibles al fallo. Estos puntos fueron convertidos a un TIN utilizando ArcGIS Pro, software SIG especializado. La herramienta *Create TIN* triangula los puntos independientemente de su origen, generando líneas de quiebre (*breaklines*) como se evidencian en la figura adjunta.

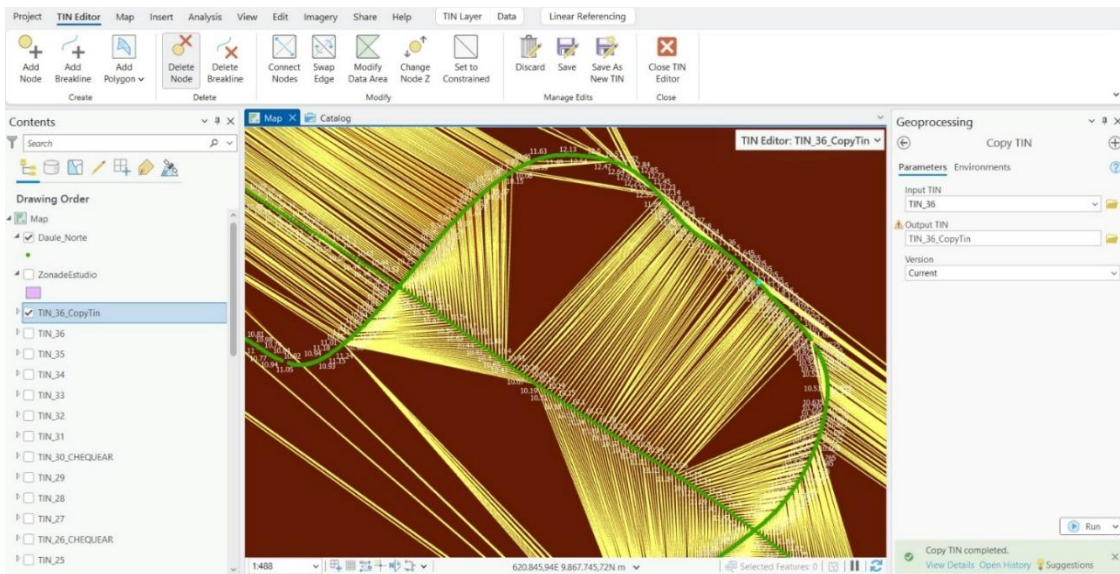


Figura 3. Sección del TIN sin corregir.

Debido a la interpretación de los puntos del programa, el TIN tuvo que ser corregido para que la triangulación se diera a lo largo de las secciones transversales. La posterior corrección del modelo consta de dos pasos de solución, los cuales fueron aplicados según fuera el caso. El primer paso se trata de la eliminación de los puntos (o nodos) que generasen una triangulación innecesaria o excesiva. Este fue aplicado utilizando la herramienta borrar nodos (*Delete Node*) de manera general a los puntos que cumplieran dicha condición. Tal es el caso de las rectas paralelas al cauce del río, las cuales ocasionan conflictos de interpolación entre las secciones transversales como se evidenció en el ejemplo presentado.

Una vez realizados estos pasos, se duplicó el TIN para contar con una copia de seguridad en caso de ser necesario. Se repitió este procedimiento en cada sección, guardando una copia de seguridad cada 4 secciones aproximadamente. En la figura adjunta, se evidencia la sección ya corregida. Cabe destacar la importancia de la selección de la simbología adecuada de los nodos y *breaklines*, ya que el contraste adecuado es clave para identificar inconsistencias.

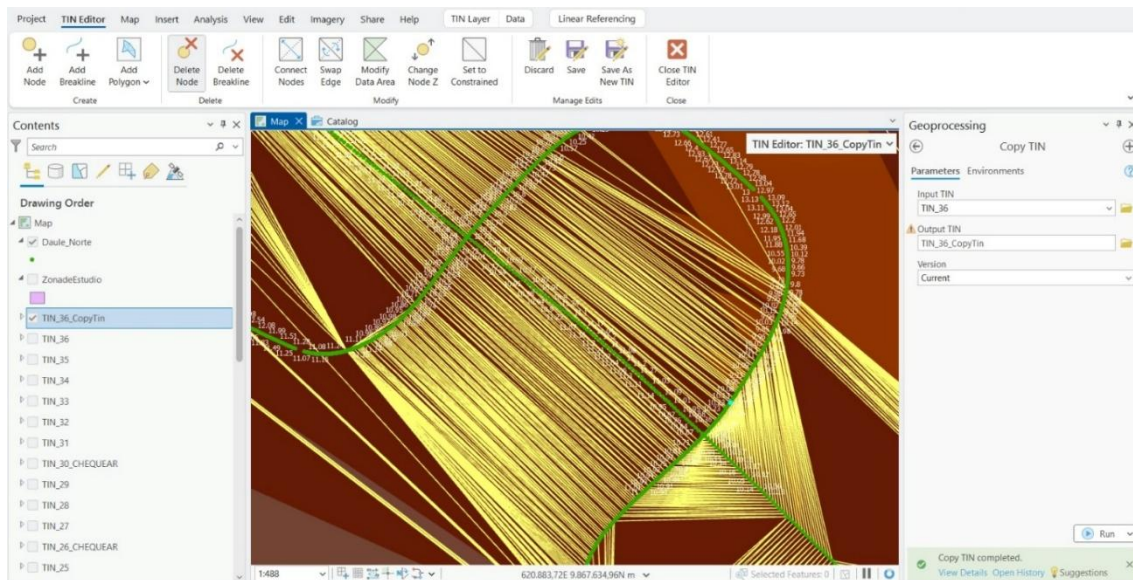


Figura 4. Sección del TIN corregida.

Debido a la presencia del embalse Daule Peripa, el nacimiento del río es controlado mediante la liberación de caudales más no por el comportamiento hidrológico de la cuenca. El periodo de retorno considerado para la modelación fue de 100 años. Los datos de liberación de caudal con los que se trabajó en el modelo hidráulico fueron proporcionados por el cliente. Estos fueron utilizados, junto con el TIN corregido y datos de rugosidad estimados vía satelital, para elaborar un modelo hidrodinámico del río Daule en HEC-RAS.

HEC-RAS es un software desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos que permite realizar modelaciones hidráulicas unidimensionales y bidimensionales para analizar el comportamiento del flujo en ríos y cauces naturales. Su principal función es simular niveles, velocidades y distribución del flujo bajo diferentes condiciones hidrodinámicas. Para el presente estudio se utilizó el módulo 2D de HEC-RAS, el cual requiere la generación de una malla computacional compuesta por celdas o elementos donde se resuelven las ecuaciones de flujo.

En este caso, se empleó una resolución de celda de 5 metros debido al ancho del río (aproximadamente 70 m), lo que significa que cada elemento de la malla representa un cuadrado de 5 m × 5 m. En las zonas donde no se requiera mayor detalle computacional, se

eligió un tamaño de 20 m x 20 m. Esta dimensión permite obtener un modelo con suficiente detalle espacial para representar la geometría del cauce y sus márgenes sin incurrir en tiempos de cálculo excesivos, logrando así una simulación estable y precisa.

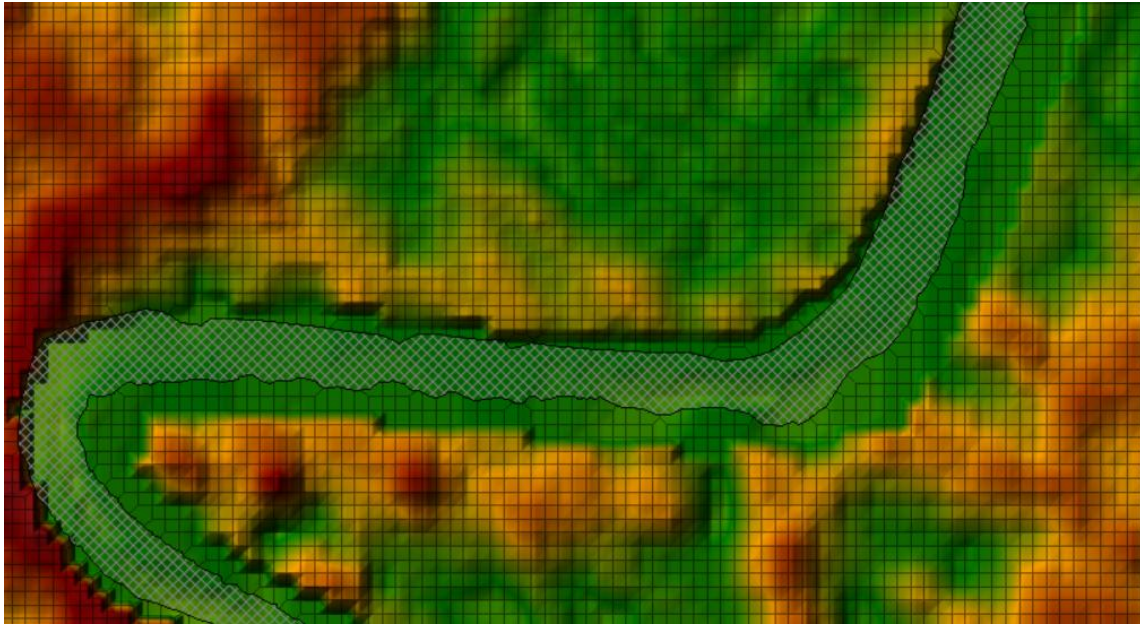


Figura 5. Tamaños de celda en el río y terreno cercano.

2.5 Análisis de alternativas

Los sitios que requieren de intervención se identificaron mediante la comparación entre la cota del talud y el nivel del río a lo largo del tramo modelado. Un total de 10 zonas donde se evidenció una diferencia significativa, abrupta y no progresiva entre ambas cotas fueron catalogadas como sectores críticos. Estas variaciones suelen indicar procesos erosivos activos, pérdida de material en la margen o un desequilibrio en la geometría del talud. Al no presentarse un cambio gradual, sino saltos pronunciados en la elevación, se infiere que el talud está experimentando (o podría hacerlo a futuro) inestabilidad o socavación localizada, por lo que dichos puntos fueron priorizados para el análisis de alternativas de estabilización.

Con base en las condiciones hidráulicas, geotécnicas y ambientales del tramo de estudio se planteó tres alternativas de solución. La primera consiste en la implementación de una medida estructural mediante la construcción de muros de gaviones, los cuales permiten brindar contención y disipación de energía en las zonas afectadas. La segunda alternativa

corresponde a una solución geotécnica que considera la modificación de la geometría del talud mediante su extensión o tendido, permitiendo reducir su pendiente y aumentar la estabilidad. Finalmente, se evaluó una alternativa integral que combina, dependiendo del lugar, elementos estructurales, geotécnicos, hidráulicos y ambientales, incorporando, por ejemplo, muros de contención en la base, tendido ligero del talud e implementación de vegetación como medida para mejorar la estabilidad y sostenibilidad de la zona.

La selección de la alternativa a aplicar se realizó mediante una evaluación detallada de cada una de las propuestas según criterios ambientales, sociales, económicos, logístico y técnicos. Estos criterios son evaluados según la escala de Likert, calificando así del 1 al 5 el desempeño de cada alternativa, siendo 1 equivalente a la nota más baja y 5 la calificación más alta. Cabe destacar que los criterios utilizados no tendrán el mismo peso dentro de la evaluación de alternativas. Por ejemplo, criterios técnicos hidráulicos, estructurales y geotécnicos serán más influyentes en la calificación final que criterios logísticos.

Los criterios sociales, ambientales y económicos se orientan a valorar el impacto global de cada alternativa dentro de la zona de estudio. Desde el enfoque social se analiza el grado de beneficio o afectación a las comunidades cercanas, priorizando soluciones que reduzcan el riesgo, mantengan accesos y actividades productivas. En el ámbito ambiental se evalúa la compatibilidad de cada alternativa con el ecosistema local, considerando tanto la conservación de la vegetación existente como la posible generación de impactos en el cauce. Por otra parte, el criterio económico analiza los costos asociados a cada solución, tanto en su construcción como en su implementación.

Los criterios logísticos incluyen el mantenimiento y la facilidad de construcción. El criterio de mantenimiento se enfoca en la frecuencia, complejidad y costo de las actividades necesarias para garantizar el funcionamiento de cada alternativa a lo largo del tiempo.

Algunas soluciones pueden requerir intervenciones periódicas o inspecciones constantes,

mientras que otras pueden operar con un mantenimiento mínimo. Por otro lado, la facilidad de construcción evalúa la logística requerida para su implementación, la necesidad de equipos especializados, la accesibilidad del sitio y la duración estimada de las obras. Este criterio permite identificar opciones que podrían resultar complicadas en zonas de acceso limitado.

Finalmente, se tiene el criterio técnico, el cual se subdivide en las disciplinas ingenieriles más relevantes para el proyecto, siendo estas: geotecnia, estructural e hidráulica. El criterio técnico-geotécnico analiza la interacción de la alternativa con el tipo de suelo presente en la margen, considerando parámetros como cohesión, ángulo de fricción y permeabilidad. En el criterio técnico-hidráulico se evalúa el desempeño de la solución frente a las fuerzas ejercidas por el flujo, incluyendo socavación, variaciones de nivel y velocidades. Finalmente, el criterio técnico-estructural determina la estabilidad, durabilidad y resistencia de los elementos constructivos involucrados.

Tabla 1.

Evaluación de alternativas planteada

Criterios	Peso	Alternativa Geotécnica	Alternativa Estructural	Alternativa Integral
Social	10%	2	2	4
Ambiental	10%	3	1	5
Económico	10%	1	4	1
Sostenibilidad	5%	4	2	4
Facilidad constructiva	5%	3	3	2
Técnico - geotécnico	20%	5	2	3
Técnico - hidráulico	20%	2	2	4
Técnico - estructural	20%	2	5	4
Total	100%	2.75	2.75	3.50

En el criterio social, la solución integral obtuvo un puntaje de 4 debido a que no solo mejora la estabilidad del talud, sino que también favorece la recuperación ambiental, lo que contribuye a una mayor seguridad y calidad de vida para las comunidades cercanas. En contraste, tanto las alternativas geotécnicas como estructural recibieron un puntaje de 2, dado que presentan impactos principalmente negativos en la comunidad. El tendido del talud, por ejemplo, implica la pérdida de espacios destinados a cultivos y viviendas, afectando directamente a la población local. Por otro lado, la solución estructural basada en gaviones requiere de áreas adicionales (reducción de área hidráulica) y podría generar problemas como la contaminación visual, lo que afecta la estética del entorno y la vida cotidiana de los habitantes cercanos.

En el criterio ambiental, la alternativa integral alcanzó la calificación más alta (5) al incorporar medidas de bioingeniería que favorecen la recuperación de la ribera y contribuyen a la estabilidad ecológica. La alternativa geotécnica obtuvo un puntaje intermedio (3) debido a que modifica la geometría del talud sin generar impactos significativos, aunque tampoco aporta beneficios ambientales adicionales. En contraste, la solución estructural basada en muros de contención obtuvo el puntaje más bajo (1), ya que su intervención es totalmente constructiva y puede alterar el paisaje natural y la dinámica inmediata del cauce.

En el criterio económico, el puntaje más alto (4) lo recibió la medida estructural, debido a su menor costo relativo, la disponibilidad de materiales y mano de obra para su construcción. La alternativa geotécnica fue calificada con el puntaje más bajo (1) debido a que requiere de volúmenes considerables de movimiento de tierra. Además, se debe de considerar la compensación económica para los propietarios del terreno afectado por la recomposición del talud. De la misma manera, la alternativa integral también obtuvo el puntaje más bajo debido a la combinación de obras estructurales, modificaciones del terreno e implementación de vegetación, incrementando así los costos totales.

En cuanto a la sostenibilidad de las alternativas, la solución integral obtuvo un puntaje alto debido a que la vegetación y el talud extendido reducen la necesidad de intervenciones frecuentes. Seguido a esta se encuentra la alternativa geotécnica, la cual también recibió un puntaje favorable pues su mantenimiento se basa principalmente en inspecciones periódicas. En cambio, aplicar una solución estructural puede requerir reposición, reforzamiento o limpieza ante procesos erosivos o de acumulación de sedimentos, siendo por ello la alternativa con la calificación más baja.

Referente a la facilidad de construcción, la alternativa geotécnica obtuvo un puntaje intermedio (3) por requerir únicamente maquinaria convencional. Sin embargo, en ciertas zonas el acceso podría dificultarse. La solución estructural cuenta con la misma calificación ya que, aunque se trate de una ejecución directa, demanda transporte de materiales, armado de muros, cimentaciones y un mayor tiempo de obra. Por otro lado, la alternativa integral recibió el puntaje más bajo (2) debido a la combinación de varios tipos de intervención, lo que aumenta la complejidad logística y la duración total de la obra.

En el criterio técnico-geotécnico, la alternativa geotécnica obtuvo la calificación más alta (5) al mejorar directamente la estabilidad global del talud mediante la reducción de su pendiente. La alternativa integral recibió un puntaje ligeramente menor (3), pues esta depende también del desempeño de elementos estructurales y la vegetación para alcanzar el mismo desempeño. La solución estructural alcanzó el puntaje más bajo (2), ya que su actuación se concentra principalmente en la base del talud. Esta solución no modifica el estado geotécnico del terreno por encima del muro, actuando más como un método de contención y dejando expuesto el talud a fallas en caso de eventos extremos (deslizamientos o sismos).

En el criterio técnico-hidráulico, la solución integral recibió un puntaje de 4, ya que combina una evaluación detallada de las condiciones hidrodinámicas del río con un diseño

que busca mitigar efectos erosivos. La inclusión de vegetación permite controlar mejor el flujo del agua, reduciendo la velocidad de este y protegiendo así los márgenes del río. La alternativa geotécnica obtuvo un puntaje de 2, dado que, aunque soluciona la estabilidad del talud, lo hace sin abordar de manera tan eficaz los efectos de las fluctuaciones hidráulicas en el cauce. Por último, la solución estructural también recibió una calificación de 2, ya que, si bien es efectiva para estabilizar el talud, no previene la erosión en los márgenes adyacentes al muro ni contribuye a regular el flujo del agua.

En el criterio técnico-estructural, la solución estructural con muros de contención o gaviones obtuvo el puntaje más alto, debido a la robustez y resistencia de los materiales, garantizando su eficacia a largo plazo. Además, alternativas como los muros de gaviones presentan flexibilidad, es decir, se pueden adaptar a los cambios en el terreno sin comprometer su funcionalidad. La alternativa integral, alcanzó un puntaje de 4, ya que depende en parte de la implementación de vegetación, lo que la deja expuesta frente a eventos extremos. La alternativa geotécnica, por su parte, obtuvo un puntaje de 2, pues no posee la misma capacidad estructural frente a fluctuaciones en el nivel del río ni eventos extremos como sí podrían hacerlo las demás propuestas.

La alternativa integral se posiciona como la opción más viable para el proyecto al obtener el mayor puntaje ponderado dentro de la evaluación multicriterio. Esta solución combina medidas estructurales, geotécnicas y ambientales que actúan de manera complementaria, ofreciendo una respuesta más robusta y sostenible frente a los procesos erosivos e inestabilidad presentes en los taludes del río Daule. Su enfoque integral permite no solo incrementar la estabilidad física del terreno, sino también mejorar la dinámica hidráulica y promover la recuperación ecológica de la ribera, aspectos fundamentales en un entorno fluvial altamente vulnerable. Aunque presenta mayores costos iniciales y una logística más compleja en su implementación, los beneficios a largo plazo en términos de reducción de

riesgos, menor necesidad de mantenimiento y mayor resiliencia del sistema justifican su selección como la alternativa más adecuada para garantizar la estabilidad y sostenibilidad del tramo evaluado.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES

3.1 Análisis y estudios preliminares

La caracterización del medio físico es un insumo fundamental para el desarrollo de la propuesta de ingeniería destinada a la estabilización de los márgenes del río Daule. El análisis hidrológico se basa en el estudio estadístico de series históricas de caudales y precipitaciones, lo que permite identificar condiciones representativas y eventos críticos para el diseño. El análisis topográfico y geoespacial proporciona la base para la interpretación de la batimetría del río y la delimitación precisa de las zonas de estudio, parámetros fundamentales a utilizar en el software de modelación hidrodinámica.

Por otra parte, el análisis geotécnico considera los parámetros del suelo obtenidos en el área de estudio y en zonas aledañas, diferenciando sus características mecánicas y de resistencia. Esta información permite que las soluciones de estabilización propuestas respondan a las condiciones reales de amenaza y comportamiento del terreno. Cabe destacar que el análisis realizado para ambas partes se debe de verificar bajo distintos escenarios de carga e interacción con el cauce del río.

3.1.1 Definición de parámetros hidráulicos

Como se ha mencionado, la presa Daule-Peripa situada al norte de la zona de estudio cuenta con una influencia directa en los caudales proporcionados hacia el río Daule. Adicional a este fenómeno característico de la zona de estudio, se suma la influencia directa de los factores meteorológicos, sobre todo la lluvia directa sobre el cauce, aumentando así de forma significativa el caudal de este en distintas zonas. Es por esto por lo que se realiza un análisis hidrológico de carácter dual en el cual se consideran los caudales liberados, así como también la aportación pluvial de la cuenca inmediata.

Para los caudales liberados por la presa Daule–Peripa se identificó al caudal circulante como la variable crítica para el diseño hidráulico y la evaluación de la estabilidad de los taludes, debido a su influencia directa en la variación de los niveles de agua. Con base en ello, se priorizó el análisis de las series históricas de descargas del embalse, con el objetivo de evaluar cómo las liberaciones afectan la estabilidad de los márgenes del río. Este análisis permitió identificar tanto los caudales máximos asociados a eventos de crecida como la variabilidad estacional de las descargas. Dicha variabilidad somete a los taludes a ciclos repetitivos de carga y descarga hidráulica, particularmente durante procesos de descenso rápido del nivel del agua, los cuales constituyen un factor relevante en la generación de daño e inestabilidad de los taludes.

En base a lo establecido con anterioridad, para el diseño definitivo se usa un caudal de diseño correspondiente a un periodo de retorno de 50, 100 y 200 años, garantizando así de manera certera la seguridad de la solución integral propuesta ante eventos extremos que se puedan suscitar. Cabe destacar que se descarta el periodo de retorno de 2 años de la selección de la desviación máxima debido a que podría convertirse en un valor aberrante y afectar el ajuste estadístico.

Tabla 2

Selección del mejor ajuste estadístico para caudales liberados

Distribución	Desviación máxima
Gumbel	1.7%
Log-Normal	4.8%
Pearson Tipo III	1.5%
Log-Pearson Tipo III	86.2%

La desviación máxima de cada distribución permite seleccionar aquella con menor alejamiento respecto a los datos observados, por lo que se seleccionó para el presente proyecto trabajar con Pearson Tipo III, al tener un valor de desviación de 1.5% entre la

probabilidad empírica y el ajuste de la curva generada. Estos son los caudales de diseño con los que se trabajó en la construcción del modelo en HEC-RAS. En tal contexto, su ingreso fue mediante un hidrograma de diseño donde que incluya periodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 75 y 100 años. Este último con un valor de $1708.7 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondiendo a un valor cercano al máximo histórico liberado por la presa Daule-Peripa de acuerdo con los registros propiciados por el cliente.

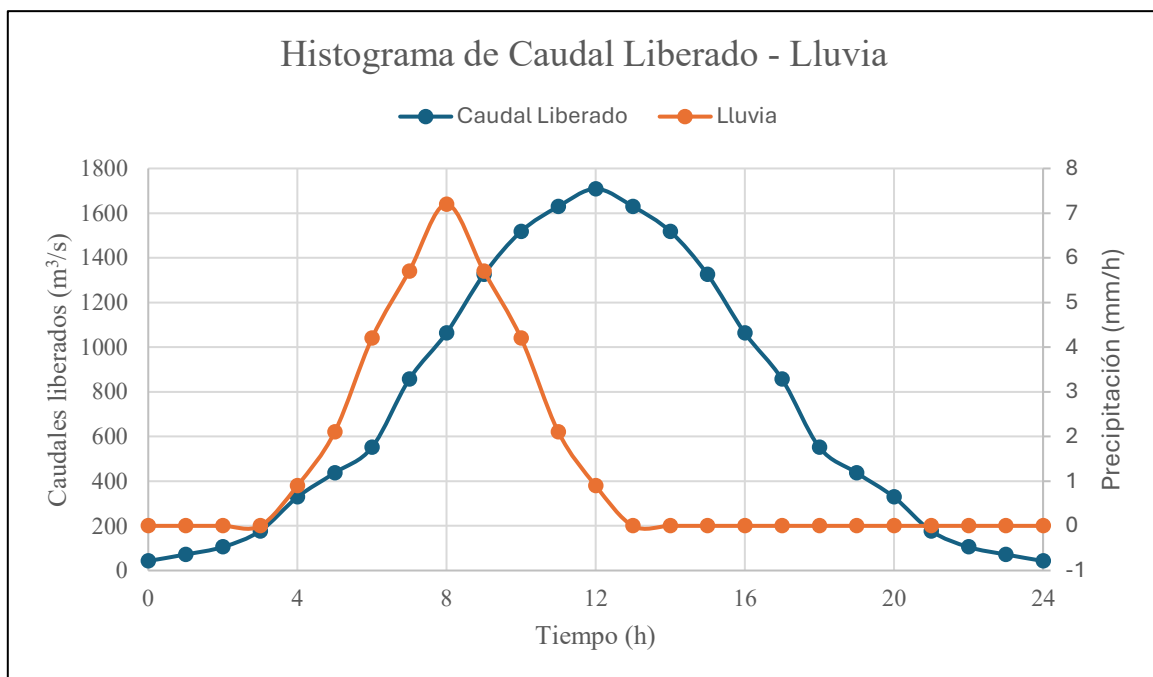


Figura 6. Histograma de Caudales liberados y Precipitación ingresado a HECRAS

Respecto al análisis de precipitaciones, se recopilaron y procesaron los registros históricos de precipitación diaria de dos estaciones meteorológicas clave, las cuales fueron seleccionadas por su ubicación estratégica específica (al norte y al sur del tramo de estudio respectivamente). En la parte norte (aguas arriba), se encuentra la estación meteorológica de la presa la cual es usada por ser representativa para el régimen pluvial en la zona de embalse y por consiguiente su influencia en la descarga de caudales. Por otro lado, en la parte sur (aguas abajo), se tomó datos de la estación Balzar, la cual muestra condiciones locales correctamente relacionadas con el cauce en la parte final del tramo de estudio.

Tomando en consideración las dos estaciones presentadas, se aplicó un análisis de frecuencia. En este contexto, se ajustó los máximos anuales a funciones de distribución de probabilidad conocidas (Gumbel, Log-Pearson Tipo III, Log-Normal, Pearson Tipo III). Posteriormente, se determinó el mejor ajuste a través del test de Kolmogorov-Smirnov (K-S). La prueba K-S es una prueba de bondad de ajuste utilizada para verificar que una muestra tiene una distribución especificada o supuesta. Esta se usa modelos de probabilidad con variables aleatorias continuas, especialmente útil en muestras pequeñas (Rodríguez, 2014).

El análisis resultante de las estaciones en la zona norte y sur mencionadas se detalla a continuación. Cabe destacar que este análisis considera la obtención de una intensidad máxima de lluvia, en unidades de mm/h.

Tabla 3

Selección del mejor ajuste estadístico para estaciones meteorológicas

Distribución	Estación Norte	Estación Sur
Gumbel	1.2%	1.2%
Log-Normal	1.6%	1.6%
Pearson Tipo III	1.1%	0.8%
Log-Pearson Tipo III	9.1%	10.0%
GEV-1	1.1%	1.1%

El periodo de retorno para el modelo de la lluvia fue de 25 años, con magnitud similar a lluvias intensas en el año 2023 registradas en los datos dados por el cliente. Estos datos se encuentran en mm/día, por lo que se convirtió este valor a mm/h para poder ejecutar 24h como tiempo de modelación dentro del programa. Se obtuvo finalmente un valor de 7.2 mm/h de acuerdo con la distribución de Pearson Tipo III a lo largo del río debido a la uniformidad de los datos en ambas estaciones. Como se puede observar en la Figura 6, el histograma de lluvia fue desplazado ligeramente a la izquierda para simular condiciones extremas.

3.1.2 Caracterización de la rugosidad

Dada la heterogeneidad de la cobertura vegetal a lo largo del sector de estudio, el uso de un coeficiente de rugosidad de Manning base único o estimado visualmente resultaba insuficiente y técnicamente inadecuado. Para obtener una distribución espacial detallada de este parámetro, se implementó un algoritmo de clasificación supervisada utilizando software GIS, así como una serie de datos históricos de uso de suelo de Sentinel-2.

La metodología consistió en la creación de categorías para el terreno, las cuales fueron principalmente: agua, árboles, cultivo, edificaciones y pastizales. Posteriormente, se asignó un valor de coeficiente de rugosidad de Manning base (n), así como las correcciones pertinentes de acuerdo con el manual del USGS, para cada una de las categorías. Esta segmentación automatizada permitió asignar valores de rugosidad específicos para cada subárea, basándose en la literatura técnica de hidráulica de canales abiertos (Chow, 1959; USGS, 1989).

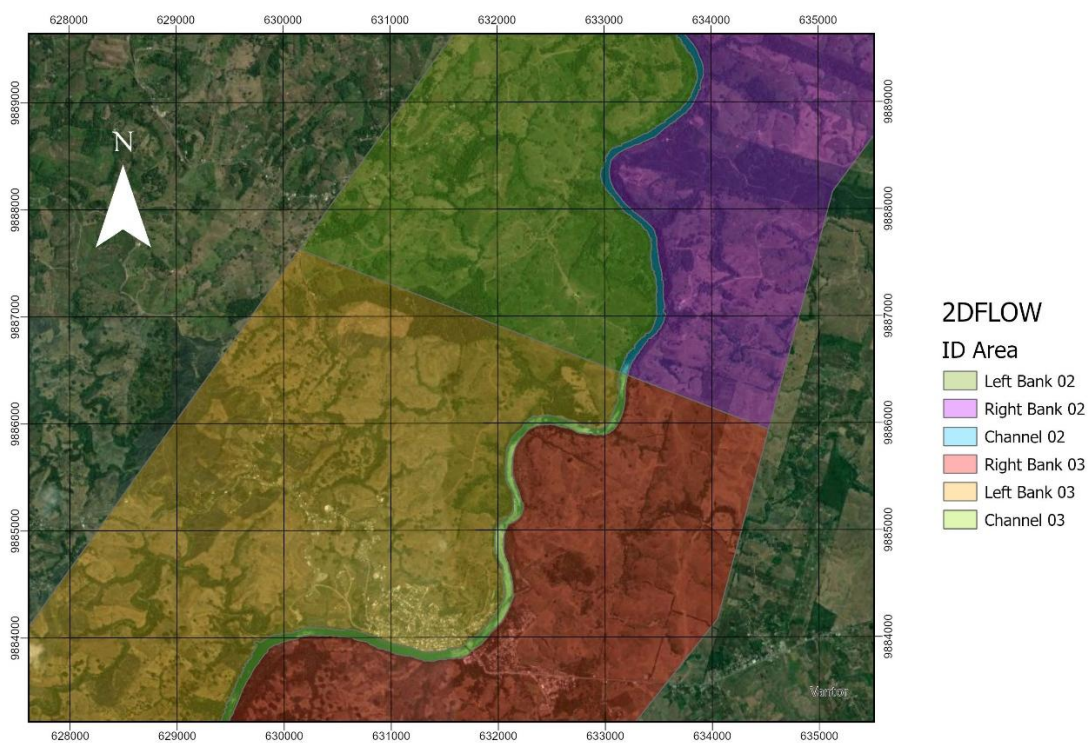


Figura 7. Polígonos de Manning para la caracterización de la rugosidad en modelación 2D.

Los 30 polígonos generales resultantes fueron generados mediante un promedio ponderado de las celdas previamente mencionadas. Estas celdas fueron de 20x20m para lograr homogeneidad con las celdas más grandes del ráster geométrico. Cabe destacar que el polígono de Manning se separó en: banco izquierdo, derecho y centro del canal como se puede observar en la figura adjunta. Para facilidad de cálculo, se manejó la misma separación en el modelo de elevación de la zona de estudio, es decir, las líneas de quiebre (breaklines) sirvieron de guía para el corte de las secciones.

3.1.3 Modelación hidrodinámica 2D

El módulo 2D de HEC-RAS fue seleccionado debido a su capacidad para simular con alta resolución los flujos transversales y longitudinales en el cauce del río. La malla computacional utilizada en el modelo consistió en celdas de 5x5m para el río (zona central) y celdas de 20x20m para el terreno aledaño (bancos izquierdo y derecho). Esto permitió representar adecuadamente la geometría del río y sus márgenes sin incurrir en tiempos excesivos de cálculo. La selección de la resolución de malla se basó en la extensión y ancho del río, y la necesidad de un detalle suficiente para evitar la pérdida de eficiencia computacional.

La geometría del modelo se definió utilizando *RAS Mapper* para generar secciones transversales, *flowpaths*, y *banklines* previamente definidas en el software GIS. Sobre las secciones transversales de control, estas fueron generadas cada 500 metros para posterior facilidad de análisis de las zonas de estudio seleccionadas. De este modo, se puede observar un corte transversal en las zonas de interés, lo que facilita la selección de las 10 zonas de estudio y el posterior análisis geotécnico requerido.



Figura 8. Secciones transversales generadas en el modelo hidrodinámico para identificación de taludes inestables.

Las condiciones de frontera utilizadas en las estaciones de inicio y fin fueron el histograma de caudales liberados presentado en la sección 3.1.1 y la pendiente longitudinal de fondo respectivamente. La pendiente longitudinal identificada en el final de la zona de estudio fue de 8 por mil. Sin embargo, al considerar una longitud de análisis mayor y la necesidad de calibrar el modelo, se identificó 1% como un valor más representativo de las condiciones reales del terreno.

Se aplicó periodos de retorno de hasta 100 años para garantizar que el modelo pudiera simular escenarios extremos. En Estados Unidos, se utiliza un periodo de retorno de 100 años como el evento de inundación base, siendo el estándar fundamental para la gestión de llanuras aluviales y seguros contra inundaciones (FEMA, 2020) . Adicional al criterio de estudios similares, se seleccionó dicho periodo de retorno al poseer un caudal cercano al máximo histórico liberado por el embalse Daule-Peripa. Finalmente, se añadió condiciones meteorológicas para mejorar la fidelidad del modelo en los meses donde las precipitaciones alcanzan valores máximos (INHAMI, 2019).

El intervalo de cómputo para asegurar un número de Courant adecuado se definió como 4 segundos. Este valor se adopta para acercar el valor del número de Courant a 1.0 en

la ecuación 3.1 (Aguise, 2017). Al utilizar un tamaño de celda de 5 m (Δx) y una velocidad promedio de 1.10 m/s (V), el intervalo de 4 segundos (Δt) da como resultado un valor de 0.88, asegurando eficiencia computacional y la estabilidad del modelo.

$$C = \frac{V \cdot \Delta t}{\Delta x} \quad (3.1)$$



Figura 9. Simulación de elevación de agua generada por el modelo hidrodinámico.

El modelo 2D de HEC-RAS proporcionó resultados preliminares que incluyó niveles de agua, velocidades de flujo y patrones de inundación a lo largo del tramo del río. Estos resultados fueron fundamentales para identificar las zonas críticas donde la acción erosiva del flujo podría superar la resistencia de los taludes, lo que permitió priorizar las áreas de intervención para la estabilización de las márgenes del río. De esta forma, previo al análisis geotécnico, se seleccionó las 10 zonas de interés detalladas en la Tabla 4.

Sobre la selección de zonas cabe destacar que uno de los criterios principales de selección para las mismas fue la cercanía a las poblaciones en el área de estudio como lo son Pichincha y Balzar (Zonas 3, 4, 9 y 10). Adicionalmente, se seleccionó sectores como la Zona 8, donde existen cultivos propensos a inundaciones según inspección satelital e imágenes históricas. Otros criterios de selección incluyeron la presencia de meandros (Zona 7) y

sectores donde la batimetría permitiera identificar claramente inestabilidad en el margen del río. La distancia recorrida por el cauce abarca un total de 88.2 Km, por lo que el criterio final de selección fue la representación adecuada de la longitud de estudio.

Tabla 4

Coordenadas de las zonas de estudio en el centroide de la sección transversal

Zona	Distancia de la presa [Km]	Longitud	Latitud
1	2.2	637269	9895712
2	14.2	633274	9887946
3	19.2	632101	9884376
4	21.8	629949	9883936
5	30.2	625839	9878082
6	38.7	621555	9872481
7	63.7	622695	9855125
8	72.2	620945	9851161
9	76.2	620517	9849024
10	83.7	618864	9845270

En la figura adjunta se evidencia la sección transversal de la Zona 1 con sus llanuras derecha e izquierda. El análisis en HEC-RAS se realizó en dirección del flujo del agua (Norte a Sur), sin embargo, las gráficas obtenidas, así como el diseño de soluciones para cada zona respetó la orientación Norte de las coordenadas. Para claridad del lector, se puede tomar como referencia los poblados de Balzar (llanura derecha en orientación Norte) y Pichincha (llanura izquierda en orientación Norte).

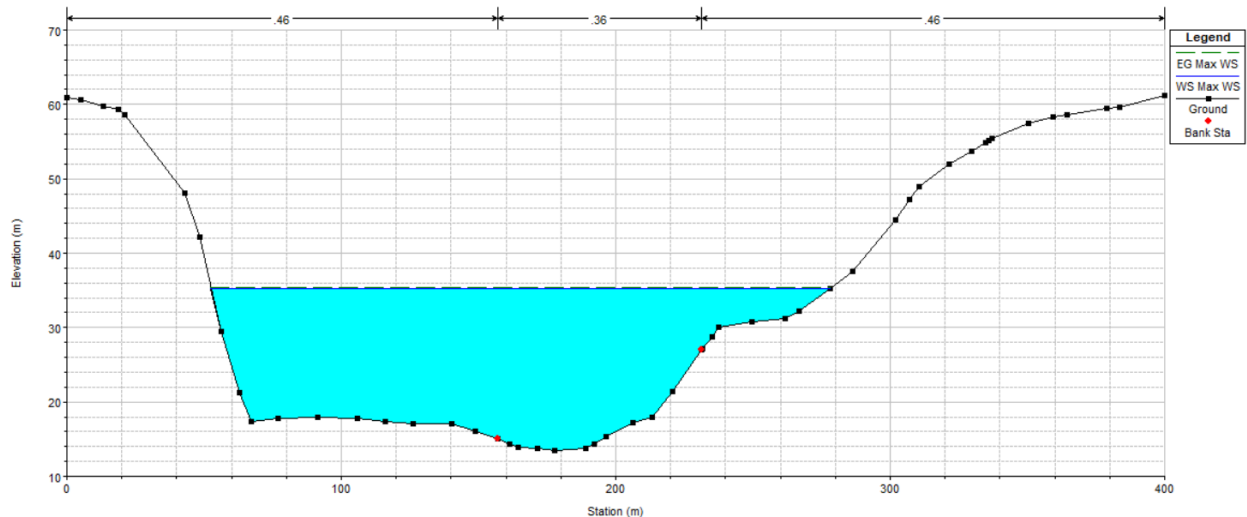


Figura 10. Sección transversal con agua de la Zona 1 seleccionada.

La calibración del modelo HEC-RAS 2D se ejecutó mediante la comparación directa entre el mapa de inundación simulado y la extensión de inundación observada en imágenes en el satélite de radar de apertura sintética Sentinel-1 (ESA, 2025). Se escogió este tipo de recurso espacial, aprovechando su capacidad de sensor activo para identificar superficies cubiertas por agua sin interferencia de las condiciones climáticas, limitantes que presentan satélites ópticos como Landsat o Sentinel-2. Tal contraste permitió evaluar la coherencia espacial del modelo, verificando que las zonas anegadas, las conexiones hidráulicas y los patrones de flujo coincidieran razonablemente con la evidencia satelital, especialmente durante eventos de crecida significativa.

Para lograr un mejor ajuste, se efectuó una variación progresiva de los coeficientes de rugosidad de Manning, diferenciando entre el cauce principal y la planicie de inundación. Los valores iniciales fueron asignados con base en referencias técnicas y características de cobertura del suelo, y posteriormente fueron adoptados dentro de rangos físicamente aceptables. Incrementos en el coeficiente de Manning en la planicie permitió reducir una propagación excesiva del flujo, mientras que ajustes en el cauce influyeron en los niveles de agua y en la extensión lateral de la inundación, mejorando la similitud con la huella observada en Sentinel-1.

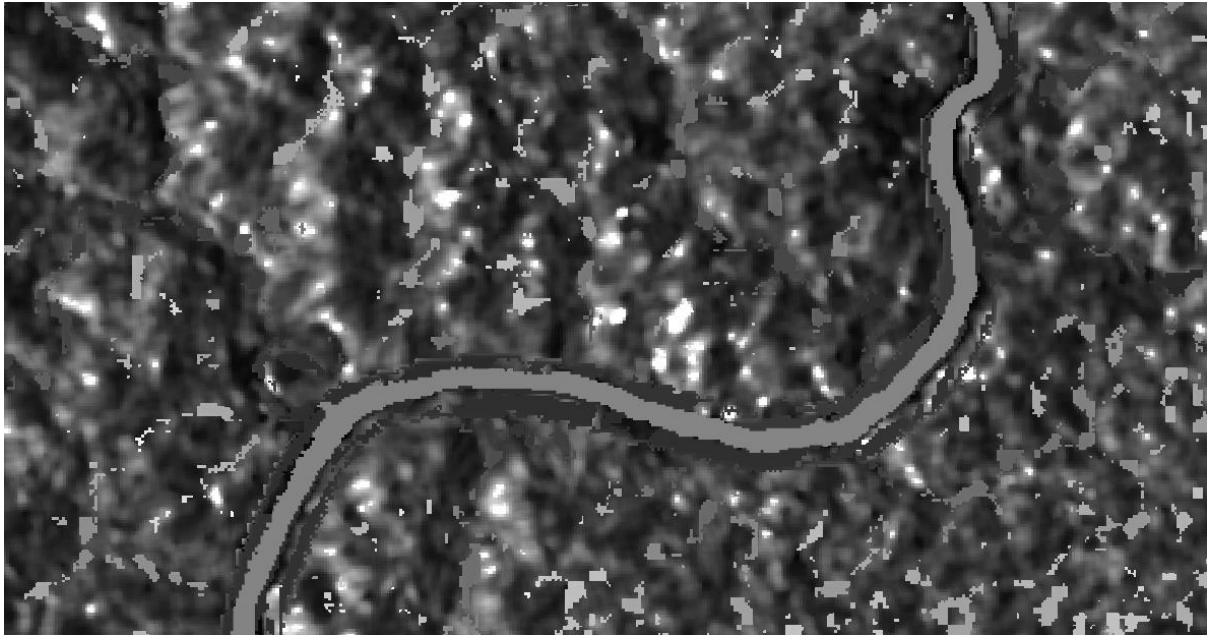


Figura 11. Superposición del área de inundación obtenida con Sentinel-1.

Tras la calibración se demuestra una adecuada capacidad para reproducir la extensión y el comportamiento espacial de la inundación en el área de estudio, mostrando una concordancia satisfactoria con la huella observada en las imágenes Sentinel-1. El ajuste de los coeficientes de rugosidad de Manning y la definición de condiciones de frontera adecuadas fue clave para representar de forma realista el tramo de estudio. En consecuencia, el modelo puede considerarse una herramienta confiable para el diseño de una solución hidráulica adecuada y el posterior análisis geotécnico.

Además de una confirmación visual, se construyó un modelo de clasificación supervisada sobre una imagen de Sentinel-1 para identificar las áreas mojadas producto de lluvias y descarga de caudal en el año 2023 (Ver Figura 9). La hora del modelo en HECRAS con mejor ajuste fue equivalente al periodo de retorno de 50 años para el caudal liberado por la presa y 25 años para la lluvia respectivamente. El porcentaje de similitud entre la imagen satelital y el ráster de inundación en el periodo de retorno mencionado fue del 83%, valor dentro del rango aceptable para considerar representativo y calibrado al modelo. El detalle de las áreas de inundación en cada ráster se encuentra detallado en la tabla adjunta.

Tabla 5

Comparación de área inundada en Sentinel-1 con resultados de HEC-RAS

<u>Área Sentinel-1 (Km²)</u>	<u>Área HEC-RAS (Km²)</u>	<u>Porcentaje de similitud</u>
31.788	38.299	83%

Otro de los factores del modelo hidrodinámico es la estimación de la socavación mediante los tirantes y velocidades del modelo, esto se realiza utilizando el método de Lischtván-Lebediev. El método de Lischtván-Lebediev para el cálculo de la erosión general se basa en una formulación empírica que busca estimar la profundidad de socavación en secciones de ríos o cauces de agua debido a la acción del flujo. Este modelo se fundamenta en la relación entre la velocidad del flujo y la velocidad de equilibrio del lecho, un concepto que está relacionado con la velocidad mínima necesaria para iniciar la erosión (Schreider et al., 2001). Algunas de las principales causas de erosión en ríos es el aumento de caudal y el estrechamiento del cauce, factores recurrentes en el área de estudio.

El proceso se basa en la ecuación de Manning para calcular la velocidad media de la corriente en función de la profundidad y el caudal. La metodología también incorpora un factor empírico que ajusta la velocidad de acuerdo con el diámetro de las partículas del fondo y el tiempo de retorno del evento. Para la aplicación del método Lischtván-Lebediev se utilizó código en lenguaje Python de autoría propia que permitieran obtener la altura de socavación en cada punto. El cálculo se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$H_s = \left(\frac{\alpha H_o^{\frac{5}{3}}}{0.6 \gamma_d^{1.18} \varphi \lambda} \right)^{\frac{1}{1+x}} \quad (3.2)$$

Donde:

H_s Profundidad luego de la erosión vertical [m]

H_o Profundidad antes de la erosión vertical [m]

α	Factor de crecientes o coeficiente de sección
γ_d	Peso volumétrico del material seco [Ton/m ³]
φ	Coeficiente que considera la influencia del sedimento en suspensión
λ	Coeficiente función de la probabilidad de excedencia del caudal de diseño
x	Parámetro de la ecuación de arrastre crítico

Se calculó la profundidad de socavación, representada por la variable H_s , a partir de una relación empírica que considera la velocidad del flujo, la resistencia del material y otros factores. En cada iteración del modelo, se calcula la profundidad de socavación en diferentes puntos del perfil de la estructura. Este proceso se repite para cada iteración especificada, y los resultados obtenidos se comparan con el perfil inicial para evaluar el impacto del flujo.

Entre los parámetros de diseño para el cálculo de la socavación se encuentran el periodo de retorno, el valor del polígono de Manning, el promedio de la pendiente longitudinal en dicha sección, entre otros. Estos valores fueron obtenidos del modelo calibrado en HECRAS, así como los puntos de interés en donde se obtuvo la socavación, teniendo en cuenta el tirante de cada perfil, así como la velocidad el flujo en los márgenes. El diseño de una solución para estabilización de taludes debe considerar las tasas de erosión y socavación para garantizar que esta sea efectiva a largo plazo. A continuación, se presenta el perfil de socavación para una de las zonas más afectadas, así como la profundidad de socavación (Tabla 6).

Tabla 6

Profundidad de socavación en la extensión del cauce

Estación [m]	H_o [m]	H_s [m]	Profundidad de socavación [m]
99.40	15.05	17.49	2.44
124.40	15.05	17.49	2.44
138.40	14.49	16.65	2.16

144.70	14.33	16.41	2.08
149.40	14.38	16.49	2.10
159.00	15.43	18.07	2.64
163.00	16.44	19.62	3.18
171.60	18.59	23.04	4.45
173.30	18.95	23.62	4.67
174.50	19.05	23.79	4.73
183.30	18.87	23.49	4.62
187.50	18.81	23.40	4.58
199.50	18.21	22.43	4.22
201.80	18.00	22.09	4.09
204.80	17.41	21.15	3.74
215.70	15.63	18.37	2.74
216.10	15.56	18.27	2.71
224.60	15.05	17.49	2.44
230.40	15.17	17.68	2.50
238.10	15.59	18.32	2.72
249.60	16.05	19.02	2.97
271.30	16.05	19.02	2.97
273.20	16.02	18.98	2.96
274.70	15.95	18.87	2.92

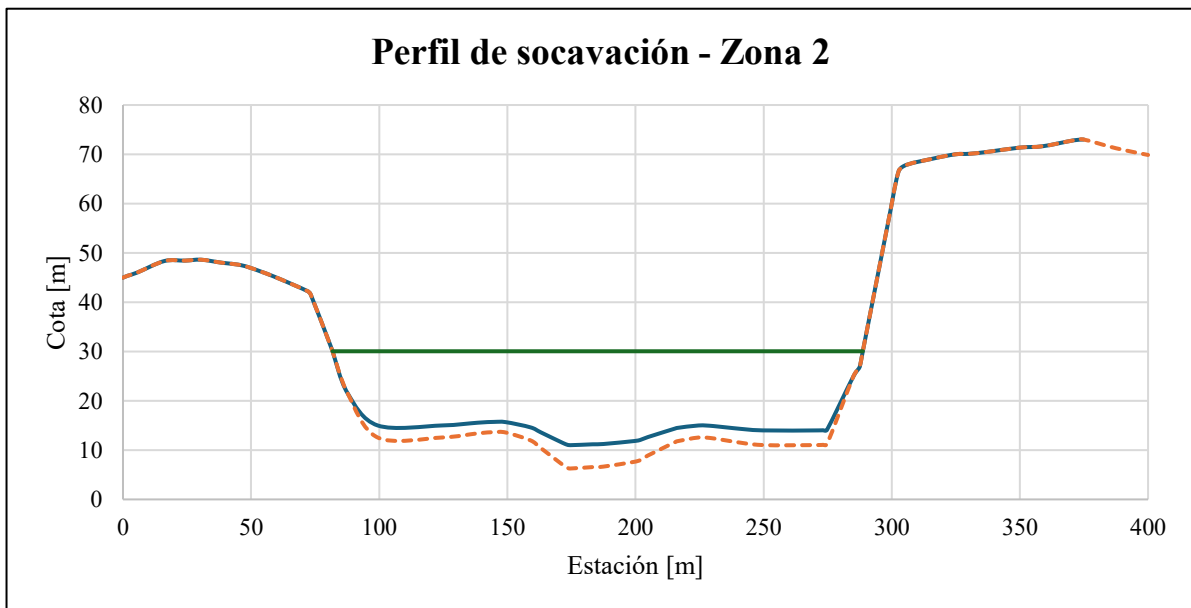


Figura 12. Perfil de socavación de la Zona 2 de estudio con el método Lischtvan-Lebediev.

3.1.4 Análisis preliminar geotécnico

Al tomar como referencia los puntos obtenidos en HECRAS para la representación de las secciones transversales, se puede modelar en software de análisis geotécnico la geometría del talud. Posteriormente, se tomó como referencia el nivel del agua proporcionado por HECRAS para identificar el nivel freático de cada sección transversal. Cabe destacar que, al ser este variable debido a que se simuló para diferentes periodos de retorno, se está considerando el caso más adverso para los márgenes del río. Del modelo en HECRAS se obtuvo parámetros como velocidades y tirantes correspondientes al caso más adverso mencionado como se puede apreciar en la imagen adjunta.

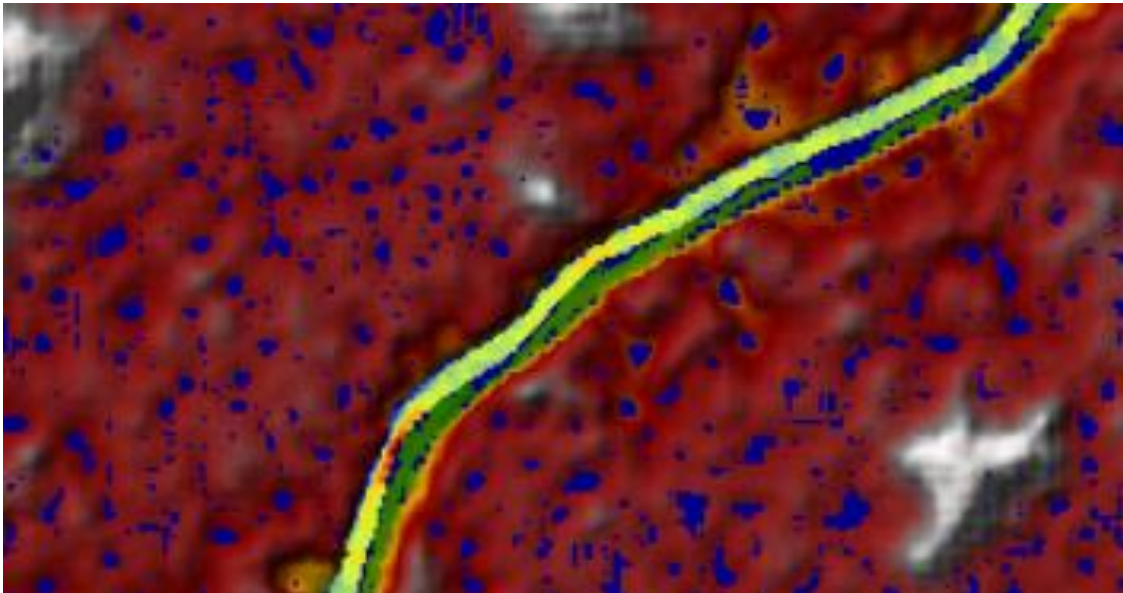


Figura 13. Mapa de velocidad de flujo obtenido de HECRAS.

La caracterización mecánica del subsuelo se basó en la información técnica facilitada directamente por el cliente, la cual incluye informes de campañas geotécnicas previas realizadas en zonas cercanas al proyecto. El análisis de esta información permitió definir un perfil de suelo representativo para el tramo, donde se determinó que este está compuesto predominantemente por depósitos aluviales. Con esta información, se identificó parámetros para el estrato de suelo limo-arcillosos predominante, los cuales fueron adoptados para los modelos de cálculo geotécnicos.

Ante la variabilidad natural del suelo a lo largo de los 88.2 Km de estudio, se optó por utilizar los valores del percentil conservador de los datos suministrados. Adicionalmente, se consideró parámetros correspondientes a una roca blanda en su comportamiento como suelo para las zonas con cercanía inmediata a la presa para una mejor representación. En las demás zonas, los parámetros se detallan en la tabla adjunta.

Tabla 7

Parámetros de diseño geotécnico para las zonas de estudio

Zona	Distancia de la presa [Km]	Parámetros de diseño	
		Cohesión [kN/m ²]	Ángulo de fricción [°]
1	2.2	86	29
2	14.2	86	29
3	19.2	31	21
4	21.8	67	24
5	30.2	62	24
6	38.7	27	20
7	63.7	37	20
8	72.2	13	14
9	76.2	21	20
10	83.7	25	20

Se definió el método (o criterio de falla) Mohr-Coulomb para el cálculo de los esfuerzos del suelo, mientras que para el cálculo del factor de seguridad se utilizó dos métodos: Bishop y Janbú. El método de Bishop simplificado es ampliamente utilizado para superficies de falla circulares, ya que mejora la precisión de otros métodos al incluir las fuerzas normales entre rebanadas o dovelas (Bishop, 1955). Este método asume que las fuerzas cortantes entre dovelas son nulas, pero satisface el equilibrio de momentos global (Zheng & Tham, 2009). El Factor de Seguridad en este método se calcula de forma iterativa mediante las siguientes expresiones:

$$FS = \frac{\sum \left[\frac{c' \cdot b + (W - u \cdot b) \cdot \tan(\phi')}{m_\alpha} \right]}{\sum W \cdot \text{sen}(\alpha)} \quad (3.3)$$

$$m_\alpha = \text{sen}(\alpha) + \frac{\text{sen}(\alpha) \cdot \tan(\phi')}{FS} \quad (3.4)$$

Donde:

FS Factor de seguridad

c' Cohesión del suelo [kN/m²]

b Ancho de la dovela [m]

W Peso total de la dovela [kN/m]

u Presión de poros en la base de la dovela [kN/m²]

ϕ' Ángulo de fricción efectiva del suelo [°]

α Ángulo de inclinación de la base de la dovela [°]

A diferencia de Bishop, el método de Janbu simplificado es aplicable a superficies de falla no circulares o de cualquier forma general. Se basa en el equilibrio de fuerzas horizontales y, al igual que el de Bishop, ignora las fuerzas cortantes entre rebanadas (Janbú, 1954). Considerar dichas fuerzas suele resultar en un Factor de Seguridad conservador (ligeramente menor a la realidad). Para corregir esto, Janbú introdujo un factor de corrección basado en la geometría del talud (Abramson et al., 2002). La ecuación utilizada en el método de Janbú se detalla a continuación:

$$FS = f_0 \cdot \frac{\sum \left[\frac{c' \cdot b + (W - u \cdot b) \cdot \tan(\phi')}{n_\alpha} \right]}{\sum W \cdot \tan(\alpha)} \quad (3.5)$$

$$n_\alpha = \cos^2(\alpha) \left(1 + \tan(\alpha) \cdot \frac{\tan(\phi')}{FS} \right) \quad (3.6)$$

Donde:

FS	Factor de seguridad
f_0	Factor de corrección basado en la geometría del talud
c'	Cohesión del suelo [kN/m^2]
b	Ancho de la dovela [m]
W	Peso total de la dovela [kN/m]
u	Presión de poros en la base de la dovela [kN/m^2]
ϕ'	Ángulo de fricción efectiva del suelo [$^\circ$]
α	Ángulo de inclinación de la base de la dovela [$^\circ$]

En la tabla a continuación se presentan los resultados del factor de seguridad para cada una de las zonas de interés seleccionadas en el apartado anterior. Si el factor de seguridad (FS) es mayor a 1, implica que las fuerzas resistentes del suelo son mayores las desestabilizadores y se considera estable. El factor de seguridad de 1.5 es el límite establecido como mínimo para diseño por la normativa NEC-SE-GC (2014). Las soluciones propuestas deberán de orientarse hacia zonas donde $FS < 1.5$ al presentarse por debajo del mínimo.

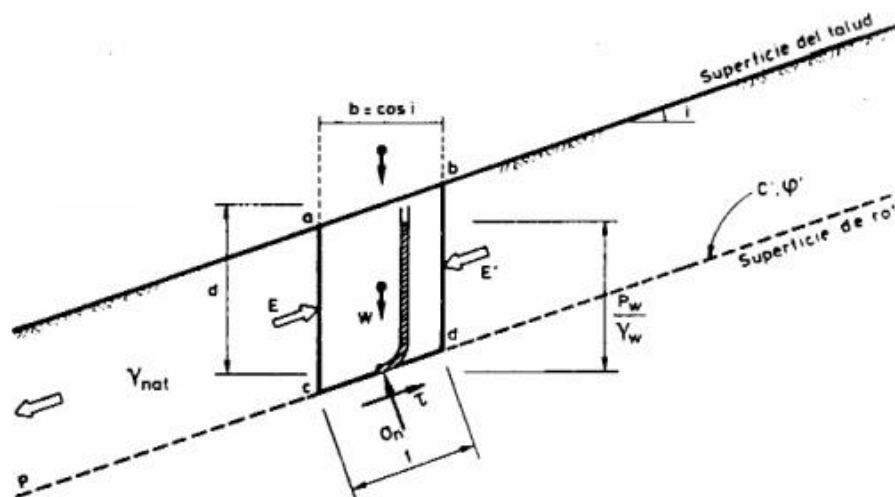


Figura 14. Esquema para el análisis de estabilidad de un talud indefinido, diagrama de cuerpo libre (Alonso, 1989).

Tabla 8

Factor de seguridad de taludes en análisis geotécnico preliminar

Zona	Distancia de la presa [Km]	Método de Bishop		Método de Janbú	
		FS Margen Derecho	FS Margen Izquierdo	FS Margen Derecho	FS Margen Izquierdo
1	2.2	1.29	2.69	1.24	2.45
2	14.2	1.76	1.00	1.73	1.03
3	19.2	1.43	1.44	1.30	1.36
4	21.8	2.82	1.04	2.47	1.05
5	30.2	1.11	1.81	1.12	1.65
6	38.7	1.25	1.06	1.18	1.01
7	63.7	3.10	1.03	2.88	1.00
8	72.2	1.34	1.82	1.21	1.62
9	76.2	2.01	1.40	1.88	1.37
10	83.7	3.74	1.28	3.42	1.21

Los resultados preliminares de los factores de seguridad indicados evidencian la necesidad de intervención en los márgenes del río Daule, especialmente en zonas donde este presenta valores muy cercanos a 1. Adicionalmente, la variabilidad de los valores evidenció la importancia de aplicar soluciones dirigidas a las necesidades de cada sector de interés. El diseño integral propuesto a partir de los resultados obtenidos se detalla a continuación.

3.2 Diseño definitivo

La solución integral contemplada varía de acuerdo con las necesidades especiales de cada zona de estudio. Sin embargo, se puede generalizar en 4 soluciones principales que se detallan en la tabla a continuación. Cabe destacar que el diseño de cada una de estas alternativas responde a la necesidad y condiciones únicas de la zona de estudio, tales que serán explicadas en el apartado correspondiente. El factor de seguridad, así como las condiciones únicas de cada zona de interés fueron aspectos clave al momento de identificar la

solución a ejecutar. Cabe destacar que las soluciones por aplicar tendrán una extensión de 100 m a partir del corte transversal aguas arriba y aguas abajo.

Tabla 9

Solución propuesta para cada zona de estudio

Zona	Distancia de la presa [Km]	Solución propuesta
1	2.2	Reconformación de taludes
2	14.2	Reconformación de taludes + Vegetación
3	19.2	Uso de vegetación
4	21.8	Reconformación de taludes + Vegetación
5	30.2	Reconformación de taludes + Vegetación
6	38.7	Reconformación de taludes
7	63.7	Reconformación de taludes + Vegetación
8	72.2	Reconformación de taludes
9	76.2	Uso de vegetación
10	83.7	Enrocado

3.2.1 Reconformación de taludes

La reconformación de taludes constituye una de las medidas más efectivas para incrementar la estabilidad global de los márgenes del río Daule, particularmente en zonas donde el análisis geotécnico preliminar evidenció factores de seguridad inferiores al valor objetivo de 1.5. Esta técnica consiste en la modificación geométrica del perfil original del talud mediante la reducción de su pendiente general y la redistribución del material, con el fin de disminuir las fuerzas desestabilizadoras asociadas al peso propio del suelo y a la acción hidráulica del cauce.

En el presente proyecto, la reconformación se plantea mediante la implementación de un sistema de terrazas o banquetas, el cual resulta especialmente adecuado para taludes de gran altura desarrollados en suelos cohesivos. Este método permite dividir el talud continuo en varios tramos de menor altura efectiva, interrumpiendo la superficie potencial de falla y

reduciendo la longitud del recorrido de escorrentía superficial. Esto contribuye de forma significativa a la disminución de procesos erosivos y de inestabilidad progresiva.

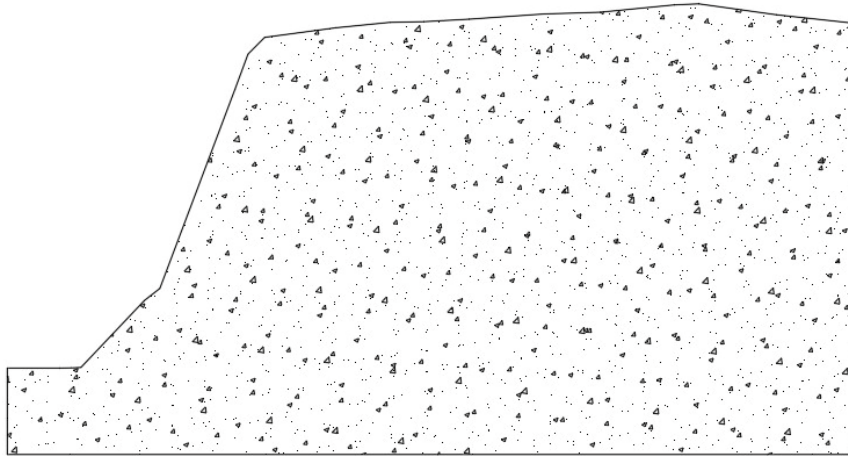


Figura 15. Talud de la Zona 2 de estudio sin propuesta de reconfiguración.

El diseño geométrico de las terrazas se realizó considerando los criterios recomendados en manuales técnicos de estabilización de taludes, los cuales sugieren la disposición de bermas de entre 1 y 2 m de ancho, espaciadas verticalmente cada 5 a 10 m de altura del talud, dependiendo de la litología (ACJ, 1984). En ciertas zonas se utilizaron banquetas como “descansos” de hasta 5 m de ancho para evitar requerir relleno excesivo, asimismo fue ajustada la altura para mantener una proporción adecuada. Esta configuración permite reducir la altura efectiva de los taludes continuos, interrumpiendo potenciales superficies de falla y disminuyendo los esfuerzos cortantes actuantes sobre el suelo, lo cual resulta particularmente beneficioso en taludes desarrollados en suelos cohesivos.

El método utilizado consiste en el uso de coordenadas originales de inicio y fin del talud, con el fin de calcular la pendiente y el ángulo de talud original. La altura total entre ambas cotas es dividida para la altura deseada de la banqueta, obteniendo así el número de bermas que conformarán la nueva geometría. Finalmente, se debe de revisar el ángulo de las bermas resultantes, el cual deberá ser menor que el del margen original y cumpliendo un rango recomendado de 0.8H:1.0V hasta 1.2H:1.0V establecidos en la Figura 25 adaptada del

Manual de Protección de Taludes, incluida en la sección de anexos (ACJ, 1984). Otras normativas como el MTOP (2003) detallan rangos de 1.0H:1.0V hasta 1.0H:1.5V, por lo que se optó por el intervalo conservador de 1.0H:1.0V hasta 1.2H:1.0V.

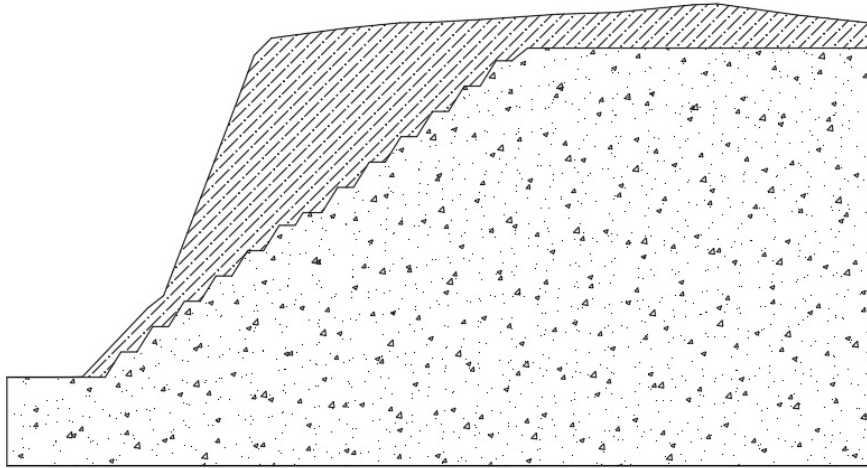


Figura 16. Talud de la Zona 2 de estudio con propuesta de reconfiguración.

Desde el punto de vista funcional y operativo, el sistema de terrazas ofrece ventajas adicionales al actuar como plataformas intermedias para inspección, mantenimiento y ejecución de trabajos correctivos a lo largo del talud. El manual establece que las bermas pueden ser utilizadas como accesos temporales y galerías de inspección, facilitando la implementación de medidas complementarias en las zonas donde se propone una solución conjunta con vegetación, además de permitir tolerancias constructivas durante la ejecución de obras.

La geometría final del talud reconfigurado fue verificada mediante un nuevo análisis de estabilidad, considerando las mismas condiciones hidráulicas y geotécnicas utilizadas en el análisis preliminar. Los resultados evidenciaron un incremento significativo del factor de seguridad, alcanzando valores iguales o superiores a 1.5 en las zonas intervenidas exclusivamente con reconfiguración de taludes, lo que confirma la efectividad del método de banquetas como solución factible dentro del río Daule. La tabla con los valores calculados de

FS posterior a la aplicación de la solución se encuentra en la sección 3.3 del presente documento.

3.2.2 Uso de vegetación

La estabilización de taludes mediante vegetación se ha convertido en una estrategia efectiva y sostenible para la mitigación de deslizamientos de tierra. Este método se basa en las propiedades que las plantas proporcionan al suelo, como la reducción de la erosión superficial y la mejora de la cohesión del terreno. Las raíces de las plantas tienen la capacidad de penetrar profundamente en el suelo, lo que refuerza su estructura y aumenta la resistencia al deslizamiento. Además, las plantas contribuyen a la absorción de agua de lluvia, reduciendo el riesgo durante el periodo invernal.

El tipo de vegetación elegido para la estabilización de taludes debe ser adecuado a las condiciones específicas del sitio, incluyendo el tipo de suelo, el clima y las características hidrológicas. En suelos cohesivos, como aquellos de las zonas de interés donde se aplicará vegetación, las plantas que tienen raíces profundas como el pasto *Vetiver* son particularmente útiles, ya que pueden anclar eficazmente el suelo y prevenir su desplazamiento. Esta solución se propone como exclusiva en zonas donde la reconfiguración del talud es inviable por presencia de asentamientos antropogénicos y no se requiera intervención mayor para alcanzar un FS de 1.5 o superior. Adicionalmente, puede ser utilizada en conjunto con la reconfiguración de taludes ya que las raíces de algunas plantas pueden actuar como anclaje en suelos cohesivos.



Figura 17. Zona 3 de estudio donde se adoptará un sistema *Vetiver* de vegetación.

El sistema *Vetiver* puede ser aplicado para el control de erosión y estabilización de taludes a la vez que se reduce el impacto ambiental del proyecto (Truong et al., 2009). A pesar de ser considerado un césped, las raíces del sistema *Vetiver* pueden llegar hasta los 3 m de profundidad el primer año y desarrollar una resistencia a la tracción media probada de aproximadamente 75 MPa (Kumar & Kamari, 2023). Además, las características de esta especie le permiten crecer rápidamente después de condiciones adversas para el suelo como sequías e inundaciones.

Entre las limitaciones del sistema se encuentra la pendiente, la cual no debe de exceder los 45-50°, requisito que todas las zonas planificadas para ser intervenidas sin el uso de terrazas cumplen. Las inclinaciones tratadas corresponden al talud derecho e izquierdo de la Zona 3, con inclinación de 23° y 19° respectivamente, así como el talud derecho de la Zona 9 con 30°. Otra limitación es el factor climático, siendo esta especie adecuada para la temperatura promedio en la zona de estudio.

El diseño propuesto varía en función de la inclinación de la pendiente, parámetros del suelo y características biológicas en la zona de estudio que se encuentran por fuera del presente proyecto. Sin embargo, Truong et al., (2009) recomiendan que debe sembrarse en

sentido paralelo a la dirección del flujo (horizontal), con una separación de 1 m donde la primera y última línea corresponden a la cresta y el nivel del agua más bajo en el cauce.



Figura 18. Uso de vetiver en el edificio de postgrados STEM, ESPOL.

Para la revisión del aumento del factor de seguridad, se utilizó software gratuito de Prati Armati (2006). Se verificó que la resistencia al corte del suelo con esta solución aplicada aumentó en un 35%, valor que permite alcanzar un FS superior a 1.5 para todas las zonas intervenidas exclusivamente con vegetación y asimismo aquellas en combinación con la reconformación de taludes. Sin embargo, Truong et al. (2009) así como Prati Armati (2006) mencionan que, al ser una metodología principalmente empírica que depende de factores hidrológicos, hidráulicos, biológicos y geotécnicos, el porcentaje dado por el software podría variar.

3.2.3 Enrocado / Riprap

En zonas donde la reconformación de taludes no es una alternativa ejecutable debido a la presencia de infraestructura existente u otro factor que dificulte su ejecución, se propone una alternativa estructural de acuerdo con el reporte HEC-23 Vol.2 (FHWA, 2009).

Adicionalmente, el uso de vegetación se descarta como posible alternativa en dichas zonas debido a que su contribución al factor de seguridad será insuficiente para alcanzar un valor de estabilidad establecido.

La única zona donde se aplica esta solución es la zona 10, ubicada a 83.7 Km de la presa Daule-Peripa. En la misma se pudo identificar la presencia de una explanada dedicada a actividades antropogénicas y la presencia de una vía cerca del margen derecho, por lo que no resultaba factible la reconfiguración de taludes. Adicionalmente, el factor de seguridad en el talud derecho es insuficiente para ser considerado estable solamente con intervención de cobertura vegetal, por lo que se opta por el diseño de enrocado o *riprap*.



Figura 19. Vía cerca de la Zona 10 de estudio que limita la reconfiguración de talud como alternativa.

El método de Maynard (1990) detalla la siguiente ecuación para determinar el tamaño de partícula para el cual el 30 % es más fino en peso:

$$d_{30} = \gamma(S_f C_S C_V C_T) \left(\frac{V_{des}}{\sqrt{K_1(S_g - 1)g\gamma}} \right)^{2.5} \quad (3.3)$$

Donde:

d_{30}	Tamaño de partícula para el cual el 30% es más fino por peso [m]
y	Profundidad local del flujo [m]
S_f	Factor de seguridad
C_S	Coefficiente de estabilidad
C_V	Coefficiente de distribución de velocidad
C_T	Coefficiente de grosor de manta, se recomienda un valor de 1
V_{des}	Velocidad de diseño, a un punto 20% aguas arriba del pie de la protección [m/s]
K_1	Factor de corrección por pendiente lateral
S_g	Gravedad específica del enrocado, se recomienda un valor de 2.65
g	Aceleración debida a la gravedad [m/s ²]
R_c	Radio central de curvatura del canal en una curva [m]
W	Ancho de la superficie de agua aguas arriba del canal [m]

El diámetro seleccionado (d_{50}) se considerará como 1.2 veces el diámetro obtenido en la ecuación 3.3. Adicionalmente, esta ecuación presenta una restricción en canales cuya pendiente longitudinal sea superior a 2%. En el caso de la zona de estudio, la pendiente longitudinal es cercana a un valor de 0.8%, por lo que se puede determinar el diámetro medio de la piedra a utilizar. Utilizando tamaños estándar, se puede lograr la gradación adecuada seleccionando la clase de tamaño inmediatamente superior.

Los parámetros principales de ingreso en la ecuación son el tirante y la velocidad promedio, ambos obtenidos a través del modelo hidrodinámico realizado en HECRAS. El tirante al pie del talud es de 5.042 m, mientras que la velocidad promedio es 1.46 m/s en las condiciones más desfavorables observadas en el modelo. La pendiente del talud actualmente supera ligeramente el límite 1V:1.5H, por lo que será reconvertida a 1.5V:2.5H (31°) valor utilizado para el cálculo del factor de corrección por pendiente natural. La excavación

requerida para dicha reconfiguración no es igual de extensa que aquella necesaria para la implementación de terrazas para estabilizar taludes, siendo de apenas 3.2 m, por lo que no interviene con el área de la vía.

Posterior al cálculo de los coeficientes de estabilidad y distribución de velocidades se obtuvo una velocidad de diseño de aproximadamente 2.4 m/s. Con esta velocidad y demás parámetros de cálculo, se obtuvo el diámetro d_{30} , siendo este 6.59 in (0.17 m). El inmediato superior obtenido de la Figura 26, incluida en la sección de anexos, indica que se deberá de seleccionar una Clase II, es decir, 9 in (0.23 m) para el d_{50} y 18 in (0.46 m) para el d_{100} . Dado que se espera que la erosión del pie sea de 1.762 m, la pendiente 1.5V:2.5H debe extenderse por debajo del nivel del lecho 2.937 m (redondeado a 3 m para facilidad de ejecución en obra) horizontalmente desde el pie para acomodar esta erosión.

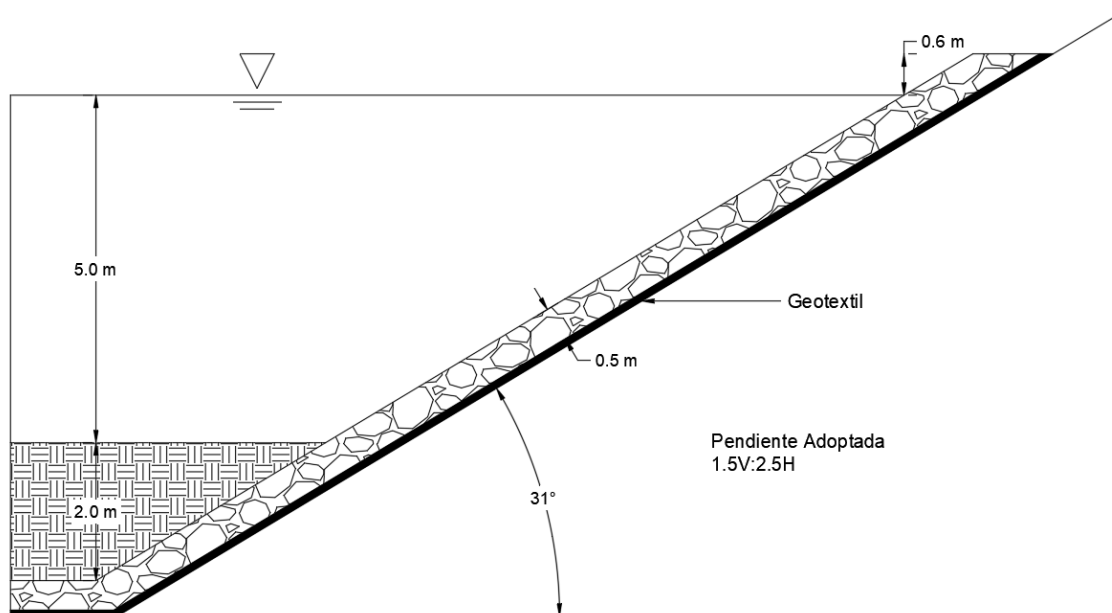


Figura 20. Bosquejo del diseño propuesto para el enrocado.

Otras consideraciones de diseño incluyen un borde libre mínimo de 0.6 m que se cumple para el talud propuesto, teniendo un borde libre de hasta 1.3 m en la condición más desfavorable analizada en el modelo hidrodinámico. Adicionalmente, se deberá de tener un espesor de la capa de enrocado como el valor mayor entre 1.5 veces el d_{50} o d_{100} , siendo el valor mayor entre las alternativas de 0.46 m (redondeado a 0.50 m para ejecución en obra).

Finalmente, se deberá de colocar un geotextil o un filtro granular de acuerdo con los requerimientos posteriores del cliente. El diseño del filtro (ya sea este geotextil o granular) no se detalla en el presente trabajo. Sin embargo, se resalta la necesidad de su aplicación para el correcto funcionamiento del enrocado.

3.3 Comprobación de diseño

El diseño de soluciones fue orientado al aumento del factor de seguridad hasta un valor de 1.5 para garantizar la estabilidad de los márgenes del río Daule. Las intervenciones propuestas deberán ser capaces de garantizar seguridad en condiciones sin presencia de agua (estación seca junto con poca descarga de la presa) y con agua en condiciones originales y de socavación. A través del uso de software de análisis geotécnico se pudo verificar que las soluciones ofrecen un mayor factor de seguridad al modelar la interacción del agua con el talud, ya sea considerando o no la presencia de socavación.

Tabla 10

Factor de seguridad de taludes con solución propuesta sin presencia de agua

Zona	Distancia de la presa [Km]	Método de Bishop		Método de Janbú	
		FS Margen Izquierdo	FS Margen Derecho	FS Margen Izquierdo	FS Margen Derecho
1	2.2	1.56	-	1.53	-
2	14.2	-	1.55	-	1.56
3	19.2	1.52	1.53	1.50	1.51
4	21.8	-	1.53	-	1.51
5	30.2	1.61	-	1.58	-
6	38.7	1.61	1.59	1.59	1.50
7	63.7	-	1.53	-	1.50
8	72.2	1.58	-	1.50	-
9	76.2	-	1.53	-	1.50
10	83.7	-	1.54	-	1.52

Las soluciones propuestas mostraron un incremento significativo en el factor de seguridad de las zonas que fueron intervenidas, evidenciando el cumplimiento del mínimo por normativa en la NEC-SE-GC (2014). Este valor de factor de seguridad refleja no solo la correcta selección de las medidas de estabilización, sino también la efectividad de la combinación de técnicas naturales e ingenieriles. La vegetación juega un papel crucial al mejorar la cohesión del suelo, reduciendo la erosión superficial y actuando como una barrera natural frente a la escorrentía superficial, lo cual ha sido fundamental para asegurar la durabilidad y eficacia del sistema a largo plazo.

Con un factor de seguridad superior a 1.5, la solución propuesta no solo cumple con los estándares de estabilidad y seguridad requeridos para proteger la infraestructura, sino que también ofrece una solución ambientalmente amigable. El sistema de vegetación, al ser sostenible y de bajo costo de mantenimiento, permite que la obra de estabilización se integre con el entorno, reduciendo el impacto ecológico. En términos operativos, la solución proporciona acceso para inspección y mantenimiento sin necesidad de intervenciones estructurales costosas, lo que garantiza la continuidad de su efectividad durante muchos años.

Los factores de seguridad calculados considerando la presencia del río no se incluyeron en la tabla anterior debido al efecto estabilizador del agua sobre el cauce. El peso del agua incrementaba considerablemente el factor de seguridad para todas las zonas, aún en los casos donde se consideraba el efecto de socavación. Variaciones en el nivel del agua por efecto sísmico, hidrológico o de liberación de caudales por la presa pueden resultar desestabilizadores para el río. El aumento del nivel del agua genera mayor presión de poros dentro del suelo. Esto reduce los esfuerzos efectivos, disminuyendo asimismo la resistencia al corte del terreno.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL

4.1 Descripción del proyecto

El presente estudio de impacto ambiental se centra en el diseño e implementación de soluciones de estabilización y protección de taludes en los márgenes del río Daule, en el tramo comprendido entre la presa Daule–Peripa y el cantón Balzar, en la provincia del Guayas (Ver Figura 1). El proyecto tiene como propósito reducir el riesgo de deslizamientos e inundaciones que afectan a comunidades rurales, suelos agrícolas e infraestructura vial, mediante la intervención de diez zonas críticas previamente identificadas y la aplicación de alternativas de protección hidráulica y geotécnica adecuadas a las condiciones locales.

Realizar una evaluación de impacto ambiental es crucial para entender los efectos que un proyecto puede tener sobre el medio ambiente y las comunidades cercanas. Este proceso permite identificar posibles impactos negativos, como la alteración del suelo, la pérdida de vegetación o la contaminación del agua, y desarrollar medidas para mitigarlos. Además, la EIA ayuda a maximizar los beneficios del proyecto, como la protección de ecosistemas, la mejora de la infraestructura y la seguridad de las comunidades. En proyectos como la estabilización de taludes en el río Daule, una EIA asegura que las actividades realizadas respeten las normativas ambientales, promoviendo el desarrollo sostenible y contribuyendo al bienestar a largo plazo de las personas y el entorno natural.

El proyecto contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por las Naciones Unidas (2016), específicamente al ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico, al proteger la base productiva agrícola de la zona, ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura, al diseñar e implementar infraestructura hidráulica y geotécnica resiliente, basada en soluciones integrales de ingeniería y ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles, al disminuir la vulnerabilidad de los asentamientos humanos y de sus vías de acceso.

4.2 Línea base ambiental

El área de estudio para la estabilización de las márgenes del río Daule se localiza en el tramo comprendido entre la presa Daule–Peripa y el cantón Balzar, en la provincia del Guayas, abarcando zonas rurales caracterizadas por actividades agrícolas, comunidades dispersas y franjas de vegetación. El territorio presenta un paisaje donde conviven cultivos permanentes y de ciclo corto, áreas con vegetación secundaria y zonas propensas a inundaciones o riesgos de deslizamientos, configurando un entorno con sensibilidad ambiental moderada y de alta dependencia social del río. Se han subdividido los diferentes medios que pueden verse impactados en físico – químico, biótico y socioeconómico.

Medio físico – químico

El clima corresponde a un régimen tropical húmedo, con una precipitación anual concentrada mayoritariamente entre diciembre y mayo (INHAMI, 2019). Los suelos predominantes corresponden a depósitos aluviales y arcillosos de baja cohesión, con elevada susceptibilidad a procesos erosivos y a la saturación durante la época lluviosa, datos que fueron provistos por el cliente. La topografía del tramo de estudio es predominantemente llana a suavemente ondulada, aunque en varios puntos se observan pendientes localizadas asociadas a cortes naturales del río. La dinámica hídrica está influenciada tanto por los caudales liberados desde la presa como por los pulsos de crecida estacional.

Medio biótico

La cobertura vegetal ribereña se compone de especies propias de zonas húmedas tropicales, aunque fragmentadas por la expansión agrícola y la intervención de las márgenes. Estos remanentes cumplen un rol relevante en la protección del suelo, la regulación hídrica y la provisión de hábitat para aves, reptiles y pequeños mamíferos comunes de entornos agrícolas. No se registran, en las zonas críticas identificadas, presencias confirmadas de especies endémicas o catalogadas en peligro dentro del área de influencia directa, aunque

existe una presión continua sobre los ecosistemas ribereños causada por el uso agrícola intensivo (GADM Balzar, 2023).

Medio socioeconómico

En la zona de estudio predominan comunidades rurales dispersas cuya economía se basa principalmente en cultivos de banano, cacao, maíz y pastizales para ganadería. La infraestructura vial incluye caminos agrícolas y accesos secundarios que, en varios sectores, se ven afectados por deslizamientos o inundaciones asociadas al retroceso de las márgenes del río. En ciertos casos, las zonas de estudio colindan con propiedades privadas, por lo que cualquier intervención requerirá procesos de coordinación con los propietarios y juntas parroquiales. La vulnerabilidad social aumenta durante la época lluviosa, cuando los desbordamientos e inundaciones interrumpen la movilidad y comprometen la seguridad de las viviendas cercanas.

La delimitación del área de estudio comprende un radio de 500 m márgenes del río Daule a lo largo de los diez puntos críticos identificados, lo cual permite incluir tanto los elementos naturales del río como los poblados o cultivos susceptibles de ser afectados por los procesos de erosión y las medidas de intervención propuesta. Esta caracterización constituye la referencia base para evaluar los posibles cambios derivados de la ejecución de soluciones de estabilización y protección fluvial.

4.3 Actividades del proyecto

La ejecución del proyecto incluye una serie de actividades que, debido a sus características y magnitud, pueden generar impactos ambientales en el área de influencia directa (Río Daule) e indirecta. Estas actividades se desarrollarán en varias fases: preparación del terreno, construcción, operación y mantenimiento, y cierre o abandono.

En la fase de preparación del terreno, se procederá con la limpieza y desbroce de la vegetación existente en las áreas de intervención, así como con la apertura de accesos

temporales para permitir el tránsito de maquinaria pesada. Esta fase incluirá también la delimitación precisa de las zonas a intervenir y la remoción de elementos que puedan obstaculizar el desarrollo de las actividades, como estructuras o vegetación invasiva. La preparación del terreno asegurará que las condiciones sean adecuadas para la implementación de las soluciones de estabilización.

Durante la fase de construcción, se llevará a cabo la estabilización de los taludes mediante un enfoque integral que combinará medidas estructurales, geotécnicas y ambientales. Se instalarán enrocados en los tramos donde se requiera protección estructural, complementados con técnicas de reconfiguración de taludes y revegetación para garantizar la estabilidad a largo plazo de las márgenes. Estas actividades estarán orientadas a minimizar el impacto ambiental negativo y a garantizar la efectividad de las soluciones de protección a lo largo del tiempo.

En la fase de operación y mantenimiento, el proyecto implicará la supervisión periódica de las estructuras de protección y la vegetación plantada, realizando actividades de monitoreo continuo para asegurar la estabilidad de los taludes y el buen funcionamiento de los drenajes. Se llevarán a cabo labores de conservación para mantener la capacidad hidráulica de las obras de contención y se realizarán reparaciones en caso de ser necesario.

Finalmente, en la fase de cierre o abandono, se retirarán las instalaciones temporales utilizadas durante la ejecución del proyecto, y se procederá con la estabilización de los taludes restantes y la restauración de las áreas intervenidas. La recuperación del entorno se llevará a cabo mediante la siembra de vegetación, contribuyendo a la regeneración ecológica de las márgenes del río Daule. Esta fase asegurará que las soluciones implementadas permanezcan funcionales a largo plazo y que el entorno natural recupere su equilibrio tras la intervención.

Tabla 11*Descripción de actividades del proyecto*

Fase	Actividad	Descripción
Preparación del terreno	Limpieza y desbroce	Retiro de la vegetación y residuos existentes en las áreas de intervención para permitir el acceso y la movilización.
	Movimiento de tierras	Excavación y preparación de la base para la estabilización de taludes, asegurando la adecuación del terreno para las soluciones.
	Habilitación de accesos temporales	Apertura y mejora de caminos secundarios para permitir el acceso de maquinaria y personal al área de intervención.
Construcción	Estabilización de taludes	Instalación de enrocado o reconformación de taludes mediante banquetas.
	Revegetación de taludes	Siembra de especies nativas en los taludes estabilizados para consolidar el suelo y restaurar los ecosistemas ribereños.
Operación y mantenimiento	Monitoreo de las estructuras y vegetación	Inspección periódica de la estabilidad de los taludes, enrocado, banquetas y vegetación plantada.
	Mantenimiento de estructuras de protección y estabilidad	Corrección de las estructuras de protección para asegurar que continúen funcionando correctamente a lo largo del tiempo.
Abandono o cierre	Retiro de instalaciones temporales	Desmantelamiento y retiro de accesos provisionales, campamentos y demás infraestructuras temporales usadas.
	Restauración ambiental	Recuperación de las áreas intervenidas.

4.4 Identificación de impactos ambientales

El proyecto de estabilización y protección de márgenes del río Daule tiene el potencial de generar tanto impactos ambientales negativos como positivos, derivados de las actividades realizadas en las distintas fases del proyecto: preparación del terreno, construcción, operación/mantenimiento y abandono o cierre.

Dado que el proyecto se enfoca en la estabilización de taludes y la implementación de medidas de protección estructural (enrocado) y biológica (revegetación), los impactos negativos son más relevantes durante las fases de preparación y construcción. En cambio, los impactos positivos se asocian principalmente con la mejora de la estabilidad de los taludes y la restauración ambiental prevista durante la fase de cierre.

4.4.1 Impactos negativos

Las principales acciones con potencial de generar impactos adversos incluyen:

- Limpieza y desbroce de vegetación: Pérdida temporal de cobertura vegetal en las márgenes del río, alterando el hábitat de fauna menor y la biodiversidad local.
- Movimiento de tierras y excavación de taludes: Remoción de la capa superficial del suelo, con un aumento en el riesgo de erosión y la posibilidad de aportar sedimentos a las aguas del río durante la ejecución del proyecto.
- Apertura de accesos temporales: Compactación de suelos y pérdida de vegetación en franjas de terreno que no forman parte de la zona intervenida permanentemente.
- Instalación de enrocado: Alteración del paisaje, modificación de la geomorfología de los taludes y ocupación temporal de áreas productivas en las márgenes.
- Revegetación de taludes: Posibles impactos a corto plazo debido a la competencia de especies invasoras con el vetiver plantado, que podrían interferir en la estabilización de los suelos.

Estos impactos negativos, aunque mayormente temporales y mitigables, requieren la implementación de medidas preventivas para minimizar la alteración de la vegetación, el arrastre de sedimentos y las modificaciones permanentes de la morfología de las márgenes del río.

4.4.2 Impactos positivos

Los impactos beneficiosos se derivan principalmente de las siguientes acciones:

- Reducción del riesgo de deslizamientos e inundaciones: La estabilización de los taludes y la instalación de medidas de protección estructural y biológica reducirán la vulnerabilidad de las comunidades cercanas y las infraestructuras agrícolas y viales a eventos hidrometeorológicos extremos.
- Mejora de la seguridad y estabilidad de las comunidades rurales: La protección de las márgenes del río permitirá que las comunidades ribereñas puedan vivir de manera más segura, sin el riesgo constante de deslizamientos e inundaciones que afectan su calidad de vida.
- Recuperación y conservación de la vegetación ribereña: La revegetación de las márgenes con especies nativas promoverá la restauración de los ecosistemas ribereños, mejorando la biodiversidad y contribuyendo a la estabilidad del suelo.
- Mejora en la gestión de los recursos hídricos: La intervención permitirá un control adecuado de los niveles de caudal del río, reduciendo el riesgo de desbordamientos y optimizando la gestión hídrica de la zona.
- Generación de empleo local temporal: Durante las fases de construcción y mantenimiento, el proyecto generará empleo directo para la población local, contribuyendo al desarrollo económico de la zona.
- Cumplimiento de los ODS: El proyecto contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente al ODS 8 (Trabajo decente y crecimiento

económico), ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura) y ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), promoviendo la infraestructura resiliente y mejorando la seguridad de las comunidades frente a eventos climáticos extremos.

Estos impactos positivos generarán beneficios tanto ambientales como socioeconómicos, promoviendo la sostenibilidad de los ecosistemas y el bienestar de las comunidades cercanas a la zona de influencia.

4.4.3 Matriz de Leopold

Para jerarquizar los impactos ambientales se utilizó la Matriz de Leopold adaptada a las condiciones y características del proyecto. Esta matriz cuantifica los impactos ambientales mediante el cruce entre las actividades realizadas y los factores ambientales identificados en el presente capítulo (Leopold et al., 1971). Para cuantificar los impactos ambientales se califica cada cruce con un valor de magnitud e importancia.

La magnitud (M) se relaciona con la intensidad del cambio producto de la actividad realizada, ya sea que este tenga un impacto positivo/beneficioso (+) o negativo/adverso (-), calificándose del 1 (Muy bajo) a 5 (Muy alto). La importancia (I) se relaciona con la relevancia del impacto, calificándose así mismo del 1 al 5 con el mismo criterio dependiendo de factores como su extensión, duración y reversibilidad. De esta forma se suman las interacciones positivas y negativas dentro de la matriz para identificar los componentes ambientales más afectados.

Tabla 12*Matriz de Leopold*

Actividades / Factores	Suelo	Agua Superficial	Agua subterránea	Fauna	Flora	Paisaje	Industria
Preparación del terreno							
Limpieza y desbroce	-4 / 4	-3 / 4	-2 / 3	-5 / 5	-5 / 5	-3 / 4	-2 / 3
Movimiento de tierras	-5 / 5	-5 / 5	-5 / 5	-5 / 5	-5 / 5	-3 / 4	-2 / 3
Accesos temporales	-3 / 4	-2 / 3	-2 / 3	-4 / 4	-3 / 4	-2 / 3	-1 / 2
Construcción							
Estabilización de taludes	-1 / 2	-2 / 4	-1 / 3	-3 / 4	-2 / 4	-3 / 4	-1 / 3
Revegetación de taludes	4 / 5	3 / 5	3 / 4	5 / 5	5 / 5	4 / 5	3 / 5
Operación y mantenimiento							
Monitoreo de vegetación	1 / 3	1 / 3	1 / 2	1 / 3	1 / 3	1 / 3	1 / 3
Mantenimiento de soluciones	1 / 4	1 / 4	1 / 3	1 / 4	1 / 4	1 / 3	1 / 4
Abandono o cierre							
Retiro de obras temporales	1 / 3	1 / 2	1 / 2	2 / 3	2 / 3	2 / 3	1 / 2
Restauración ambiental	5 / 5	5 / 5	4 / 5	5 / 5	5 / 5	5 / 5	4 / 5

El análisis de la matriz muestra que, en la preparación del terreno, actividades como la limpieza y desbroce, así como el movimiento de tierras, generan impactos negativos en el suelo, agua y fauna. La habilitación de accesos tiene efectos menores. Durante la construcción, la estabilización de taludes y la revegetación tienen impactos positivos, especialmente en flora y paisaje, aunque la estabilización afecta moderadamente al agua. En operación y mantenimiento, los impactos son mínimos, y en el cierre, el retiro de instalaciones y la restauración ambiental son altamente beneficiosos, equilibrando las acciones negativas y positivas del proyecto.

4.5 Valoración de impactos ambientales

De acuerdo con la evaluación realizada mediante la Matriz de Leopold presentada en la Tabla 12, se procedió a la jerarquización de los impactos basándose en la interacción de Magnitud e Importancia. El análisis de los resultados permite categorizar los impactos de forma cuantitativa utilizando una escala de calificación mostrada en la tabla adjunta. Esta escala fue seleccionada a criterio de los autores, e incluye los aspectos considerados más relevantes durante la evaluación de la importancia de los impactos ambientales.

Tabla 13

Escala de valores cuantitativos

Criterio de Evaluación	1	2.5	5	7.5	10
Extensión	Puntual	Local	Parcial	Ampliada	Regional
Duración	Muy corto	Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo	Permanente
Reversibilidad	Totalmente reversible	Parcialmente reversible	Medianamente reversible	Parcialmente irreversible	Totalmente irreversible

Cabe destacar que, para la cuantificación de la importancia (I), se utilizó coeficientes seleccionados a criterio de los autores de 0.40, 0.30 y 0.30 para la extensión, duración y

reversibilidad respectivamente. La magnitud (M) se la considera como un promedio del valor de cada actividad dentro de la matriz de Leopold, conservando su signo para diferenciar un impacto beneficioso de uno adverso (Leopold et al., 1971). La valoración del Impacto Ambiental (IA) se realiza mediante la siguiente ecuación, en donde la magnitud se considera como valor absoluto por efectos de cálculo, sin embargo, para el análisis el valor de IA conservará el signo original de la magnitud.

$$IA = \pm\sqrt{I + |M|} \quad (4.1)$$

Tabla 14

Valoración de actividades realizadas

Impacto Ambiental	Extensión	Duración	Reversibilidad	Importancia	Magnitud	Índice IA
Pérdida de vegetación por limpieza y desbroce	5	2.5	7.5	5.00	- 5	- 5.00
Alteración del suelo por movimiento de tierras	7.5	7.5	10	8.25	- 5	- 6.42
Aplicación de solución integral	5	10	7.5	7.25	+ 3	+ 4.66
Revegetación de taludes	2.5	7.5	1	3.55	+ 5	+ 4.21
Alteración del paisaje por enrocado	5	10	10	8.00	- 5	- 6.32
Restauración ambiental	5	10	1	5.30	+ 5	+ 5.15

La escala de valor del Impacto Ambiental se encuentra adjunta en la Tabla 15 a continuación, la cual sirve como un marco de referencia para identificar qué tan significativo es el impacto descrito en la tabla anterior

Tabla 15*Escala de valoración del índice de Impacto Ambiental (IA)*

Calificación	Puntaje del IA
Significancia alta	$ IA \geq 6.5$
Significancia media	$4.5 \geq IA > 6.5$
Despreciable	$0 > IA > 4.5$

A partir de esta escala de valoración, podemos interpretar que aquellas actividades relacionadas a la preparación del terreno como la limpieza, desbroce y el movimiento de tierras presentan los impactos más adversos para el ambiente. Estos están relacionados a la alteración de las condiciones actuales de la zona de estudio, por lo que requieren medidas de prevención / mitigación para aminorar su impacto.

Sobre los impactos beneficiosos, se evidencia que la estabilización de taludes con soluciones integrales presenta beneficios para el entorno, así como la revegetación con especies adecuadas y posterior restauración ambiental. Estos impactos, al presentar una amplia duración en el tiempo y cubrir una zona considerable del proyecto, resultan en un aporte significativo en la gestión adecuada del recurso hídrico para las comunidades cercanas al río Daule.

4.6 Propuestas de medidas de prevención / mitigación

Tras la identificación de los impactos tanto positivos como negativos a través de la matriz de Leopold, junto con su respectiva valoración en la sección anterior, se establece de manera general un Plan Piloto de Manejo Ambiental. Estas medidas de prevención y mitigación buscan que las actividades realizadas para la protección y estabilización de los taludes dentro del río Daule respeten las características locales de la zona garantizando su integridad a través de la neutralización de posibles consecuencias ambientales.

4.6.1 Medidas para la pérdida de vegetación por limpieza y desbroce

Flora, Fauna y Paisaje

- **Intervención para Fauna (menor):** Reubicación de fauna (previamente inspeccionada) fuera de los márgenes de actividades para una correcta preservación de la diversidad biológica local.
- **Desbroce selectivo:** Marcar un perímetro de control en el que sólo se pueda hacer el retiro de vegetación dentro de este, de tal manera que se conserven las riberas más allá de la zona de intervención.

4.6.2 Medidas para la alteración del suelo por movimiento de tierras

Suelo, Agua y Aire

- **Control de Sedimentos:** Colocación de trampas de sedimentos en partes bajas del talud para evitar arrastre de material excavado en épocas de lluvia o variaciones de nivel y escorrentía.
- **Manejo de material excavado:** Evitar acumulación de tierra expuesta junto con excavaciones en épocas lluviosas para minimizar posible sedimentación.
- **Humedad en superficie:** Hacer uso de aglutinantes y/o riego periódico en zonas de trabajo expuestas para humedecer el suelo de tal manera que se evite la resuspensión de polvo.

4.6.3 Medidas para la aplicación de solución integral para estabilidad de taludes

Suelo y Agua

- **Calidad de materiales en uso:** En el caso de las piedras para la enrocado, verificar que esta sea no disgregable con contaminantes, para evitar alteraciones al contacto con el agua. Adicionalmente, se deberá de verificar el contenido químico de las piedras.

- **Drenaje adecuado:** Permitir el paso del agua subterránea a través del uso de geotextiles para aliviar presiones hidrostáticas a la vez que se retienen partículas de suelo y se evita posible erosión y socavación interna.

4.6.4 Medidas para la revegetación de taludes con vetiver

Flora y Paisaje

- **Selección de Flora:** Evitar uso de especies que puedan resultar invasoras. Uso de especies adaptadas a características locales que ayuden a fortalecer la cohesión del suelo.
- **Control Post-siembra:** Establecimiento de un cronograma de riego durante las primeras semanas y reposición de vegetación para garantizar una adecuada cobertura vegetal en las riberas.

4.6.5 Medidas para la alteración del paisaje solución estructural

Paisaje, suelo y agua

- **Integración de la estructura:** Procurar el uso de canteras locales para la piedra del enrocado cumpliendo con los parámetros especificado en el diseño para mantener un entorno homogéneo con el geológico local.
- **Revegetación:** Insertar especies nativas una vez finalizada la extensión del enrocado en la zona de intervención. Así mismo se potencializa el control de erosión y sedimentación por presencia de la estructura.

4.7 Resultados de medidas

Las conclusiones del análisis de impacto ambiental destacan la importancia de las medidas preventivas y de mitigación en cada fase del proyecto. Durante la preparación del terreno, actividades como la limpieza y desbroce, junto con el movimiento de tierras, generan impactos adversos significativos sobre el suelo, el agua y la fauna, lo que subraya la necesidad de implementar estrategias de conservación. En la fase de construcción, la

estabilización de taludes y la revegetación presentan impactos positivos, sobre todo en la flora y el paisaje, contribuyendo a la restauración ecológica y a la protección de los recursos naturales. En las fases de operación y mantenimiento, los impactos son mínimos, debido al monitoreo y conservación continuos. Por otro lado, durante el cierre del proyecto, el retiro de instalaciones temporales y la restauración ambiental genera beneficios a largo plazo y asegura la regeneración del entorno.

CAPÍTULO 5

5. PRESUPUESTO

5.1 Estructura Desglosada de Trabajo

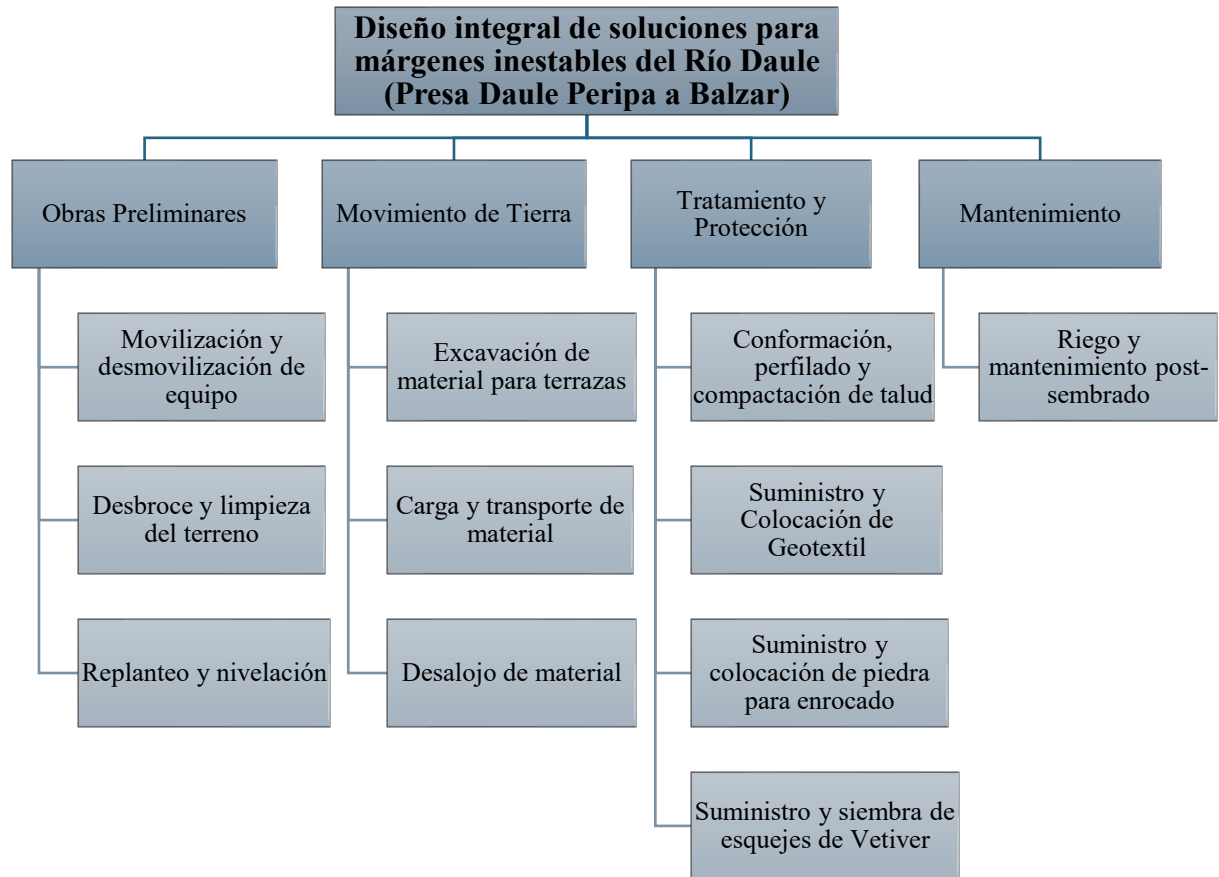


Figura 21. Estructura desglosada de trabajo para el proyecto.

5.2 Especificaciones Técnicas

Las especificaciones técnicas detalladas a continuación cuentan con información detallada necesaria para el cálculo de presupuesto de la obra. Estas especificaciones son un conjunto de adaptaciones en base a información proporcionada por organizaciones oficiales como la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON), así como también el Portal Único de Trámites Ciudadanos y proyectos privados que se asemejan a la obra que se presenta. Todo esto con la finalidad de que se garantice precios oficiales y actualizados dentro de los rubros y con esto la coherencia con la normativa que corresponda.

Rubro 1.1. Movilización y desmovilización de equipo pesado

Descripción:

Comprende el traslado de aquella maquinaria y equipos pesados auxiliares necesarios para la correcta ejecución de las tareas hasta el sitio donde se realiza la obra, y así mismo su regreso una vez esta ha sido finalizada. Adicional corresponde al traslado entre las distintas zonas de solución debido al trabajo simultáneo que conllevan estas.

Materiales: No aplica.

Equipo mínimo:

- Camión plataforma (Cama baja)
- Camión grúa (si el equipo es estático)
- Herramientas menores (5% M.O)

Procedimiento de trabajo:

Aquel contratista seleccionado realizará el transporte desde su patio de maquinarias hasta el lugar de la obra de tal manera que las rutas y horarios hayan sido autorizadas y a su vez supervisadas por fiscalización pertinente, de tal manera que no existan afectaciones a las vías ni posibles interrupciones al tráfico vehicular.

Mano de Obra:

- Operador de maquinaria pesada
- Chofer profesional
- Ayudante de Maquinaria

Medición: Unidad Global (Glb)

Rubro 1.2. Desbroce y limpieza del terreno (Incluye desalojo)**Descripción:**

Consiste en la eliminación de vegetación, material suelto, maleza, residuos orgánicos en aquellas áreas donde vaya a existir una intervención para el diseño y desarrollo de las respectivas soluciones presentadas.

Materiales: No aplica.

Equipo mínimo:

- Herramientas menores (5% M.O)
- Excavadora
- Volqueta

Procedimiento de trabajo:

En principio se delimita el área de trabajo para evitar intervención en zonas no planificadas en la obra. Se cortará y retirará el material de vegetación a un sitio autorizado evitando acumulación.

Mano de Obra:

- Peón
- Técnico de Obras Civiles (Residente de Obra)
- Operadores de equipo pesado

Medición: Metro cuadrado (m^2)

Rubro 1.3. Replanteo y nivelación con equipo de precisión**Descripción:**

Comprende aquellos trabajos topográficos en donde se necesitan datos de localización, marcado de ejes, cotas y niveles respecto a los taludes definidos previamente en los planos aprobados.

Materiales: No aplica.

Equipo mínimo:

- Herramientas menores (5% M.O)
- Equipo Topográfico
- Camioneta

Procedimiento de trabajo:

Se realizará el respectivo levantamiento topográfico de tal manera que se marquen los puntos, se tracen líneas de corte con su respectiva verificación de pendientes para la reconformación de los taludes y ubicación de enrocados con sus cotas de diseño.

Mano de Obra:

- Peón
- Topógrafo
- Cadenero

Medición: Metro cuadrado (m^2)

Rubro 2.1. Excavación y desalojo manual

Descripción:

Consiste en excavar de manera manual aquellas zonas de difícil acceso de maquinarias o que no requieran intervención de acuerdo con la magnitud de la excavación. Las excavaciones pueden comprender aquellas líneas de contorno en la corona (zanjas) para drenaje y/o surcos de siembra para alojar en principio la vegetación que se llegue a colocar.

Materiales: No aplica.

Equipo mínimo:

- Herramientas menores (5% M.O)
- Camioneta

Procedimiento de trabajo:

El material que llegue a ser excavado será cargado de manera manual hacia el transporte y llevado así a un sitio autorizado. De acuerdo con la zona de uso, si así lo aplicara, se excavará una zanja de aproximadamente 20 cm de profundidad. Esta zanja puede ser colocada en la parte superior del talud y al pie de cada terraza usada, para evitar el “lavado” de partes inferiores del talud.

Mano de Obra:

- Peón
- Chofer

Medición: Metro cúbico (m^3)

Rubro 2.2. Excavación a máquina para conformación de terrazas**Descripción:**

Corresponde a la excavación de manera mecanizada, de tal manera que se remueva el suelo para obtener la geometría de la conformación de los taludes a manera de terrazas. Con esto se busca reducir pendientes y aumentar factores de seguridad.

Materiales: No aplica.

Equipo mínimo:

- Excavadora
- Herramientas menores (5% M.O)

Procedimiento de trabajo:

Se ejecutará la excavación por etapas, respetando aquellas dimensiones y relaciones de pendientes H:V presentadas en los planos. Adicional, se debe evitar sobre excavación para garantizar la resistencia natural y temporal del suelo (talud). En caso de ser necesario se hará uso de bombas de achique por la cercanía al río Daule y por ende alto nivel freático.

Mano de Obra:

- Peón
- Operador de equipo pesado (excavadora)

Medición: Metro cúbico (m^3)

Rubro 2.3. Carga y transporte para desalojo de material**Descripción:**

Comprende la carga, transporte y disposición final de aquel material proveniente excedente de las excavaciones y cortes realizados hacia sitios autorizados por las autoridades.

Materiales: No aplica.

Equipo mínimo:

- Herramientas menores (5% M.O)
- Volqueta

Procedimiento de trabajo:

Aquel material dispuesto para desalojo será cargado de ser posible de manera directa desde la excavación hacia la volqueta para mejorar la eficiencia dentro de la obra. Caso contrario se hará uso de un tercer equipo denominado cargadora frontal para que este sea el encargado de recoger el material de desalojo y cargarlo en la volqueta. La volqueta transportará dicho material a través de las rutas previamente establecidas hacia sitios autorizados de tal manera que no afecten al entorno y no puedan ser arrastrados nuevamente al río.

Mano de Obra:

- Chofer de Volqueta

Medición: Metro cúbico (m^3)

Rubro 3.1. Conformación, perfilado y compactación de taludes

Descripción:

En este rubro ya se contempla el proceso final de la conformación de aquellos taludes que fueron intervenidos (excavaciones y elementos estructurales correspondientes). Se busca alcanzar la geometría previamente definida en los planos de diseño. De esta manera se garantiza la mejora de las propiedades a través de un debido proceso de compactación del suelo previo a la instalación ya sea de la geomalla, del enrocado o de la cobertura vegetal que vaya a ser usada. Pues se reduce porosidades y con esto infiltraciones, a la vez que se incrementa la resistencia del suelo y se asegura estabilidad.

Materiales:

- Agua para correcto control de humedad
- Suelo excavado (cuando se lo necesite)

Equipo mínimo:

- Herramientas menores (5% M.O)
- Excavadora
- Rodillo pata de cabra vibratorio

Procedimiento de trabajo:

Cuando ya se ha concluido con la geometría final realizada con la excavadora conforme a los planos se procede con el perfilado de aquellas zonas en donde puedan existir algún tipo de irregularidades.

Para realizar la compactación, en base a la humedad que tiene el suelo por compactar se evalúa si está en condiciones para poder ser compactado de manera más rápida y sobre todo adecuada. Si este suelo aún no llega al punto de humedad óptimo para compactación, se procede a esparcir agua por todo el suelo hasta que este cumpla con las características. Esta compactación, debe realizarse en capas o franjas, empezando por la parte más baja del talud

hacia arriba con el debido material para evitar sobrecargas en el suelo. Si llegase a existir ausencia de espacio para hacer uso del rodillo compactador se deberá realizar la compactación manualmente a través de pisones.

Una vez finalizado este proceso, se debe garantizar la ausencia de erosión superficial y/o formación de grietas que puedan llegar aparecer. La densificación de manera pareja brindará la posibilidad de colocar los geotextiles junto con el enrocado o la vegetación si así lo requiere el diseño.

Mano de Obra:

- Operador de equipo pesado (excavadora)
- Técnico de obras civiles (Residente de obra)
- Peón

Medición: Metros cuadrados (m^2)

Rubro 3.2. Suministro y colocación de geotextil

Descripción:

Este rubro corresponde al suministro e instalación de un geotextil no tejido que actúa como un elemento de filtración y así mismo de separador del suelo por debajo de este. Es colocado entre el suelo natural y la capa o medio de protección para ese talud, de tal manera que se garantice el flujo del agua para evitar presiones hidrostáticas desfavorables y así mismo este actúe como un retenedor de finos. Este geotextil, evita el arrastre de finos y por lo consiguiente la erosión y socavación interna que este conllevaría.

Materiales:

- Geotextil no tejido (Clase 2 según AASHTO M288)

Equipo mínimo:

- Herramientas menores (5% M.O)

Procedimiento de trabajo:

El geotextil por usar deberá de ser tendido sobre la superficie ya preparada, de tal manera que no se pierda el contacto continuo con la superficie nivelada. Este geotextil será colocado a lo largo de la pendiente de talud con traslapes de una distancia mínima de 30 cm. Este debe ser anclado para evitar movimientos y desplazamientos al momento de colocar sobre este las piedras para el enrocado o la vegetación de ser aplicable.

Mano de Obra:

- Peón
- Técnico de Obras Civiles (Residente de obra)

Medición: Metro cuadrado (m^2)

Rubro 3.3. Suministro y colocación de piedra para enrocado de 9" y 18"**Descripción:**

Dentro de este rubro se incluye suministro, transporte y colocación de la piedra para enrocado de distintos tamaños. El transporte se realizará desde una cantera previamente autorizada dado los parámetros y diseño según la HEC-23. Este enrocado ayudará a la protección del talud debido a la disipación de energía y reducción en la velocidad del flujo del río.

Materiales:

- Piedra de cantera de 9"
- Piedra de cantera de 18"

Equipo mínimo:

- Herramientas menores (5% M.O)
- Excavadora
- Volqueta

Procedimiento de trabajo:

La piedra para el enrocado obtenida de la cantera será transportada desde esta hasta el sitio donde se está realizando la obra. La colocación tendrá que ser sobre una superficie de geotextil previamente diseñada y verificada. Esta piedra debe ser colocada de manera cautelosa y ordenada. En principio para no dañar el geotextil y también para que haya un correcto encaje entre las piedras. Con esto se reduce de manera importante aquellos vacíos que puedan llegar a presentarse, así como también asegurar la estabilidad frente a las condiciones hidráulicas que se presenten.

Mano de Obra:

- Operadores de equipo pesado (excavadora y volqueta)
- Técnico de obras civiles (Residente de obra)
- Peón

Medición: Metro cúbico (m^3)

Rubro 3.4. Suministro y siembra de esquejes de Vetiver**Descripción:**

Este rubro contempla el suministro y siembra de vegetación (esquejes de Vetiver) de manera técnica, como uso de la bioingeniería para la estabilización de taludes. Las raíces de este pasto al tener un sistema radicular bastante profundo permiten el refuerzo del suelo cohesivo y también la filtración de sedimentos. Adicional, favorece la integración de las distintas soluciones con el carácter ambiental de la zona.

Materiales:

- Material vegetativo de esquejes de Vetiver

Equipo mínimo:

- Herramientas menores (5% M.O)

Procedimiento de trabajo:

Al ser un trazado técnico, se tiene que seguir el orden y dirección estipulada en los planos (paralelo al cauce del río). Hay que tener en cuenta que la siembra debe ser realizada con la constancia de que habrá agua para el correcto riego de esta vegetación.

Mano de Obra:

- Peón
- Técnico de Obras Civiles (Residente de obra)

Medición: Metro cuadrado (m^2)

Rubro 4.1. Riego y mantenimiento**Descripción:**

Este apartado corresponde a las actividades posterior a la siembra de los esquejes de Vetiver. Se realiza esto para garantizar el correcto establecimiento y supervivencia del sistema de vegetación en su fase inicial. Se incluye rutinas de riego y control de malezas, así como también la revegetación nativa de la zona durante 3 meses.

Materiales:

- Agua para riego
- Fertilizante (si se requiere)

Equipo mínimo:

- Herramientas menores (5% M.O)
- Tanque de agua móvil con mangueras o bombas de mochila manual

Procedimiento de trabajo:

En base a un cronograma se realizará riego periódico de la vegetación durante las primeras semanas posteriores a la colocación del Vetiver, sobre todo en épocas de clima seco.

Se hará una inspección del estado de cada cultivo y reemplazo de aquellos especímenes que no hayan prendido.

Mano de Obra:

- Peón
- Chofer Tanquero

Medición: Metro cuadrado (m^2)

5.3 Rubros y análisis de precios unitarios

Tabla 16

Análisis de precios unitarios

Ítem	Rubro	Unidad	Precio unitario
1	Preliminares		
1.1	Movilización y desmovilización de equipo pesado	Glb	\$ 647.90
1.2	Desbroce y limpieza del terreno	m^2	\$ 2.38
1.3	Replanteo y nivelación con equipo de precisión	m^2	\$ 8.40
2	Movimientos de tierra		
2.1	Excavación y desalojo manual	m^3	\$ 12.61
2.2	Excavación a máquina para conformación de terrazas	m^3	\$ 0.94
2.3	Carga y transporte para desalojo de material	m^3	\$ 2.59
3	Tratamiento		
3.1	Conformación, perfilado y compactación de taludes	m^2	\$ 6.67
3.2	Suministro y colocación de geotextil	m^2	\$ 5.06
3.3	Suministro y colocación de piedra de 9" y 18"	m^3	\$ 28.72
3.4	Suministro y siembra de esquejes de Vetiver	m^2	\$ 6.46
4	Mantenimiento		
4.1	Riego y mantenimiento	m^2	\$ 2.85

5.4 Cantidades en obra

Tabla 17

Cantidades en obra para la Zona 1

ZONA 1

ITEM	RUBRO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD [u]
1	PRELIMINARES			
1.1	Movilización y desmovilización de equipo pesado	Glb	\$ 647.90	6.00
1.2	Desbroce y limpieza del terreno	m ²	\$ 2.38	9800.00
1.3	Replanteo y nivelación con equipo de precisión	m ²	\$ 8.40	9800.00
2	MOVIMIENTOS DE TIERRA			
2.2	Excavación a máquina para conformación de terrazas	m ³	\$ 0.94	102509.80
2.3	Carga y transporte para desalojo de material	m ³	\$ 2.59	102509.80
3	TRATAMIENTO			
3.1	Conformación, perfilado y compactación de taludes	m ²	\$ 6.67	9800.00

Tabla 18

Cantidades en obra para la Zona 2

ZONA 2

ITEM	RUBRO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD [u]
1	PRELIMINARES			
1.1	Movilización y desmovilización de equipo pesado	Glb	\$ 647.90	6.00
1.2	Desbroce y limpieza del terreno	m ²	\$ 2.38	13800.00
1.3	Replanteo y nivelación con equipo de precisión	m ²	\$ 8.40	13800.00
2	MOVIMIENTOS DE TIERRA			
2.2	Excavación a máquina para conformación de terrazas	m ³	\$ 0.94	290148.64
2.3	Carga y transporte para desalojo de material	m ³	\$ 2.59	290148.64
3	TRATAMIENTO			
3.1	Conformación, perfilado y compactación de taludes	m ²	\$ 6.67	13800.00
3.4	Suministro y siembra de esquejes de Vetiver	m ²	\$ 6.46	13800.00
4	MANTENIMIENTO			
4.1	Riego y mantenimiento	m ²	\$ 2.85	13800.00

Tabla 19*Cantidades en obra para la Zona 3***ZONA 3**

ITEM	RUBRO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD [u]
1	PRELIMINARES			
1.1	Movilización y desmovilización de equipo pesado	Glb	\$ 647.90	1.00
1.2	Desbroce y limpieza del terreno	m ²	\$ 2.38	8000.00
1.3	Replanteo y nivelación con equipo de precisión	m ²	\$ 8.40	8000.00
3	TRATAMIENTO			
3.4	Suministro y siembra de esquejes de Vetiver	m ²	\$ 6.46	8000.00
4	MANTENIMIENTO			
4.1	Riego y mantenimiento	m ²	\$ 2.85	8000.00

Tabla 20*Cantidades en obra para la Zona 4***ZONA 4**

ITEM	RUBRO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD [u]
1	PRELIMINARES			
1.1	Movilización y desmovilización de equipo pesado	Glb	\$ 647.90	6.00
1.2	Desbroce y limpieza del terreno	m ²	\$ 2.38	17600.00
1.3	Replanteo y nivelación con equipo de precisión	m ²	\$ 8.40	17600.00
2	MOVIMIENTOS DE TIERRA			
2.2	Excavación a máquina para conformación de terrazas	m ³	\$ 0.94	122439.26
2.3	Carga y transporte para desalojo de material	m ³	\$ 2.59	122439.26
3	TRATAMIENTO			
3.1	Conformación, perfilado y compactación de taludes	m ²	\$ 6.67	17600.00
3.4	Suministro y siembra de esquejes de Vetiver	m ²	\$ 6.46	17600.00
4	MANTENIMIENTO			
4.1	Riego y mantenimiento	m ²	\$ 2.85	17600.00

Tabla 21

Cantidades en obra para la Zona 5

ZONA 5

ITEM	RUBRO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD [u]
1	PRELIMINARES			
1.1	Movilización y desmovilización de equipo pesado	Glb	\$ 647.90	6.00
1.2	Desbroce y limpieza del terreno	m ²	\$ 2.38	11800.00
1.3	Replanteo y nivelación con equipo de precisión	m ²	\$ 8.40	11800.00
2	MOVIMIENTOS DE TIERRA			
2.2	Excavación a máquina para conformación de terrazas	m ³	\$ 0.94	89972.40
2.3	Carga y transporte para desalojo de material	m ³	\$ 2.59	89972.40
3	TRATAMIENTO			
3.1	Conformación, perfilado y compactación de taludes	m ²	\$ 6.67	11800.00
3.4	Suministro y siembra de esquejes de Vetiver	m ²	\$ 6.46	11800.00
4	MANTENIMIENTO			
4.1	Riego y mantenimiento	m ²	\$ 2.85	11800.00

Tabla 22

Cantidades en obra para la Zona 6

ZONA 6

ITEM	RUBRO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD [u]
1	PRELIMINARES			
1.1	Movilización y desmovilización de equipo pesado	Glb	\$ 647.90	6.00
1.2	Desbroce y limpieza del terreno	m ²	\$ 2.38	31000.00
1.3	Replanteo y nivelación con equipo de precisión	m ²	\$ 8.40	31000.00
2	MOVIMIENTOS DE TIERRA			
2.2	Excavación a máquina para conformación de terrazas	m ³	\$ 0.94	260266.54
2.3	Carga y transporte para desalojo de material	m ³	\$ 2.59	260266.54
3	TRATAMIENTO			
3.1	Conformación, perfilado y compactación de taludes	m ²	\$ 6.67	31000.00

Tabla 23

Cantidades en obra para la Zona 7

ZONA 7

ITEM	RUBRO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD [u]
1	PRELIMINARES			
1.1	Movilización y desmovilización de equipo pesado	Glb	\$ 647.90	6.00
1.2	Desbroce y limpieza del terreno	m ²	\$ 2.38	10200.00
1.3	Replanteo y nivelación con equipo de precisión	m ²	\$ 8.40	10200.00
2	MOVIMIENTOS DE TIERRA			
2.2	Excavación a máquina para conformación de terrazas	m ³	\$ 0.94	71034.16
2.3	Carga y transporte para desalojo de material	m ³	\$ 2.59	71034.16
3	TRATAMIENTO			
3.1	Conformación, perfilado y compactación de taludes	m ²	\$ 6.67	10200.00
3.4	Suministro y siembra de esquejes de Vetiver	m ²	\$ 6.46	10200.00
4	MANTENIMIENTO			
4.1	Riego y mantenimiento	m ²	\$ 2.85	10200.00

Tabla 24

Cantidades en obra para la Zona 8

ZONA 8

ITEM	RUBRO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD [u]
1	PRELIMINARES			
1.1	Movilización y desmovilización de equipo pesado	Glb	\$ 647.90	6.00
1.2	Desbroce y limpieza del terreno	m ²	\$ 2.38	9800.00
1.3	Replanteo y nivelación con equipo de precisión	m ²	\$ 8.40	9800.00
2	MOVIMIENTOS DE TIERRA			
2.2	Excavación a máquina para conformación de terrazas	m ³	\$ 0.94	14103.94
2.3	Carga y transporte para desalojo de material	m ³	\$ 2.59	14103.94
3	TRATAMIENTO			
3.1	Conformación, perfilado y compactación de taludes	m ²	\$ 6.67	9800.00

Tabla 25*Cantidades en obra para la Zona 9***ZONA 9**

ITEM	RUBRO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD [u]
1	PRELIMINARES			
1.1	Movilización y desmovilización de equipo pesado	Glb	\$ 647.90	1.00
1.2	Desbroce y limpieza del terreno	m ²	\$ 2.38	3000.00
1.3	Replanteo y nivelación con equipo de precisión	m ²	\$ 8.40	3000.00
3	TRATAMIENTO			
3.4	Suministro y siembra de esquejes de Vetiver	m ²	\$ 6.46	3000.00
4	MANTENIMIENTO			
4.1	Riego y mantenimiento	m ²	\$ 2.85	3000.00

Tabla 26*Cantidades en obra para la Zona 10***ZONA 10**

ITEM	RUBRO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD [u]
1	PRELIMINARES			
1.1	Movilización y desmovilización de equipo pesado	Glb	\$ 647.90	1.00
1.2	Desbroce y limpieza del terreno	m ²	\$ 2.38	3200.00
1.3	Replanteo y nivelación con equipo de precisión	m ²	\$ 8.40	3200.00
2	MOVIMIENTOS DE TIERRA			
2.3	Excavación y desalojo manual	m ³	\$ 12.61	10240.00
3	TRATAMIENTO			
3.1	Conformación, perfilado y compactación de taludes	m ²	\$ 6.67	3200.00
3.2	Suministro y colocación de geotextil	m ²	\$ 3.44	3200.00
3.3	Suministro y colocación de piedra de 9" y 18"	m ³	\$ 24.39	1600.00
3.4	Suministro y siembra de esquejes de Vetiver	m ²	\$ 6.46	3200.00
4	MANTENIMIENTO			
4.1	Riego y mantenimiento	m ²	\$ 2.85	3200.00

5.5 Costo del proyecto

Tabla 27

Costo total del proyecto

ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO
ZONA 1	Reconformación de taludes (Terrazas)	\$ 536,075.26
ZONA 2	Reconformación de taludes (Terrazas) + Uso de Vegetación	\$ 1,395,544.55
ZONA 3	Uso de Vegetación	\$ 161,357.52
ZONA 4	Reconformación de taludes (Terrazas) + Uso de Vegetación	\$ 906,221.85
ZONA 5	Reconformación de taludes (Terrazas) + Uso de Vegetación	\$ 636,638.43
ZONA 6	Reconformación de taludes (Terrazas)	\$ 1,461,813.24
ZONA 7	Reconformación de taludes (Terrazas) + Uso de Vegetación	\$ 527,095.66
ZONA 8	Reconformación de taludes (Terrazas)	\$ 224,543.26
ZONA 9	Uso de Vegetación	\$ 60,914.01
ZONA 10	Enrocado	\$ 162,796.10
TOTAL		\$ 6,072,999.86

5.6 Cronograma de obra

El cronograma de obra proporciona una visión clara del progreso del proyecto, destacando las tareas críticas en color morado. Las líneas negras representan las tareas programadas según el plan original, marcando el tiempo estimado para cada actividad a lo largo del proyecto. Estas líneas sirven para mostrar la planificación general y el flujo de las actividades. Por otro lado, las líneas rojas indican las tareas que están fuera de su programación o que han sufrido retrasos, alertando sobre las actividades que no se están cumpliendo dentro de los plazos previstos.

Esto permite tomar medidas correctivas rápidamente para evitar un impacto negativo en el avance del proyecto. Además, el cronograma facilita la asignación de recursos y la gestión de tiempos, asegurando que cada fase se cumpla según lo planeado. Con hitos claramente definidos, el cronograma permite un monitoreo continuo, garantizando una ejecución eficiente y la entrega puntual del proyecto.

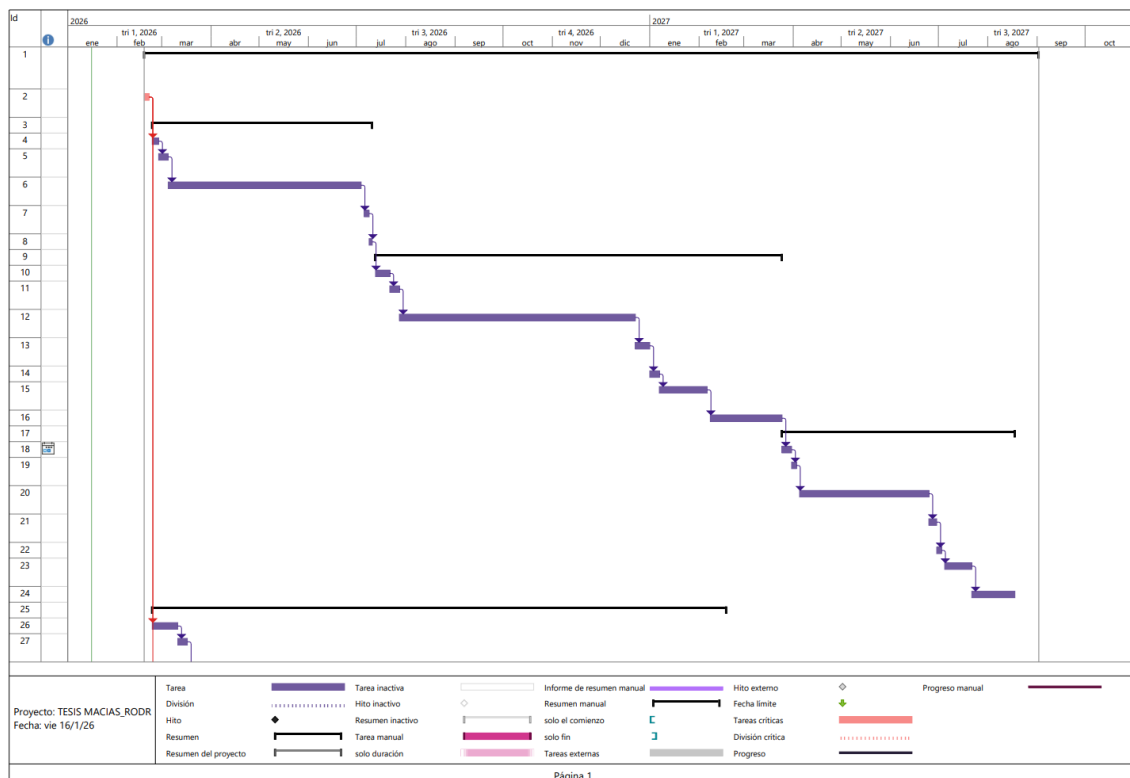


Figura 22. Cronograma de obra (1/3).

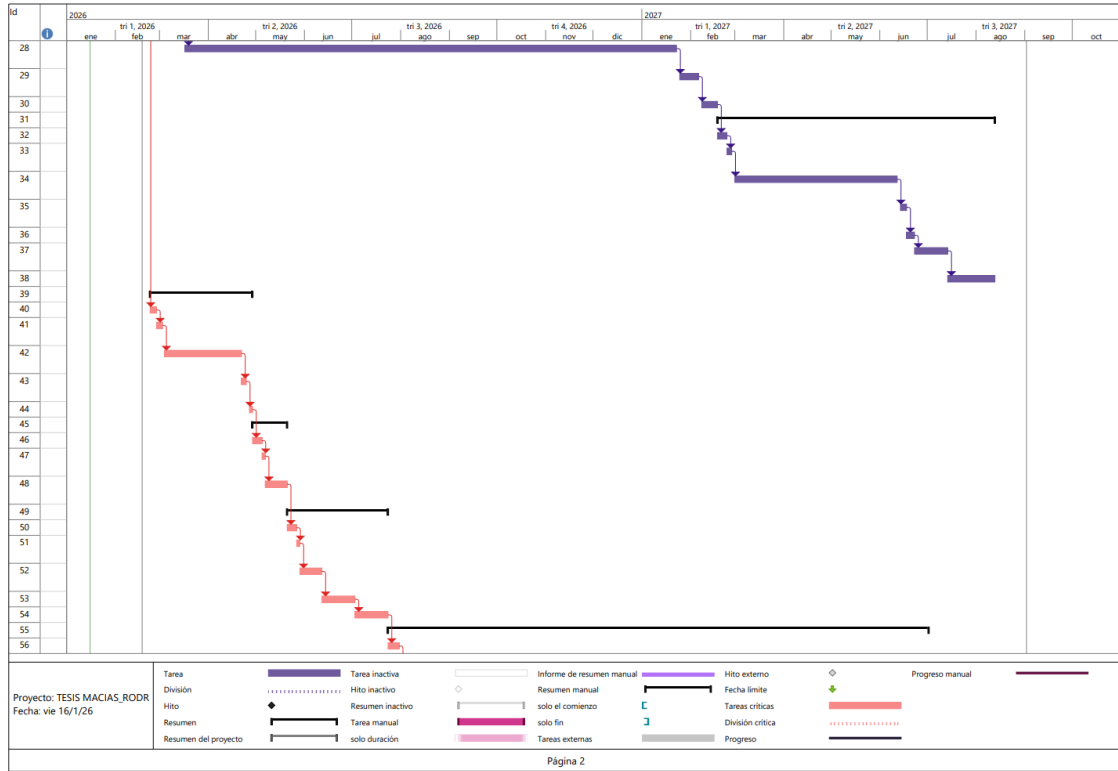


Figura 23. Cronograma de obra (2/3)

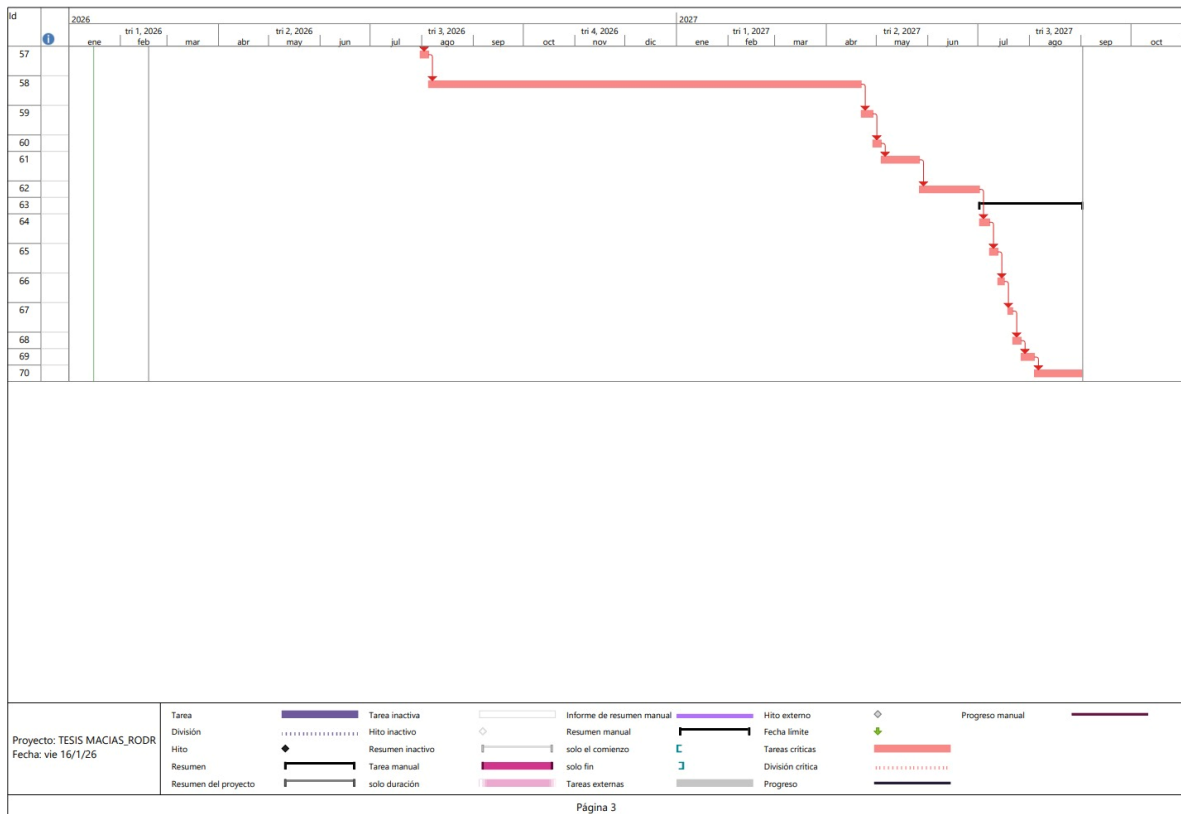


Figura 24. Cronograma de obra (3/3).

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- La clasificación de los sectores del río Daule, ejecutada mediante puntos topográficos y los resultados obtenidos del modelo hidrodinámico, fue esencial para identificar las zonas con mayor riesgo de inestabilidad. Este proceso permitió priorizar las áreas más vulnerables y definir las intervenciones necesarias para estabilizar los taludes, considerando su ubicación geográfica y las condiciones ambientales específicas del área. El uso de un modelo hidrodinámico 2D permitió determinar parámetros como tirante y velocidad, necesarios para el diseño propuesto.
- La evaluación del Factor de Seguridad de los taludes en las zonas identificadas, utilizando software especializado en análisis geotécnicos, permitió confirmar la existencia de un riesgo real de falla. Este análisis detallado proporcionó datos clave sobre la estabilidad de los taludes, lo que permitió determinar con mayor precisión las intervenciones más adecuadas para reducir el riesgo de deslizamientos y socavaciones en áreas críticas. El uso de dos métodos para la evaluación de estabilidad fue clave para validar los resultados mediante la convergencia de estos.
- Se propuso soluciones de estabilización teniendo en cuenta no solo las condiciones ambientales, sino también las necesidades socioeconómicas de las comunidades cercanas al río. La integración de vegetación como parte de las soluciones de estabilización no solo contribuye a la protección del suelo, sino que también promueve la recuperación ecológica y la sostenibilidad a largo plazo, mejorando la calidad de vida de los habitantes y protegiendo los recursos naturales del área.
- El diseño del conjunto de soluciones para la estabilización de los taludes se orientó a un enfoque flexible y adaptado a las necesidades específicas de cada zona del río

Daule. A partir de la evaluación de factores geotécnicos, hidráulicos, sociales y económicos, se diseñó intervenciones que no solo buscan estabilizar los taludes, sino también mejorar la infraestructura existente y promover la sostenibilidad.

6.2 Recomendaciones

- Uno de los puntos que mayor conflicto generó durante la elaboración del proyecto fue el pretratamiento de los datos tomados en campo. La variabilidad y abundancia de datos innecesarios para el estudio ocasionó una inversión considerable de tiempo para su preparación previo a la ejecución del modelo hidrodinámico. Para futuros trabajos en extensiones de similares, se recomienda la toma de datos por secciones constantes, con un punto divisorio de la sección definido por coordenadas para evitar redundancia de mediciones.
- Se recomienda investigar a escala real el uso de vegetación para la estabilización de taludes fluviales, ya que la literatura existente se basa principalmente en estudios empíricos y en escenarios controlados de laboratorio. Aunque estos estudios han demostrado la efectividad de ciertos sistemas vegetales, como el uso de plantas con raíces profundas para mejorar la cohesión del suelo, es necesario evaluar su desempeño en condiciones reales y variables del entorno. Los estudios de campo, que consideren factores como las fluctuaciones hidráulicas, las condiciones climáticas y la interacción entre las especies vegetales y el sustrato, permitirán comprender mejor los límites y las oportunidades de la bioingeniería en la estabilización de taludes. Además, es fundamental evaluar la sostenibilidad de estos sistemas a largo plazo, considerando el mantenimiento y la adaptabilidad de las especies frente a cambios ambientales.

REFERENCIAS

- Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S., & Boyce, G. M. (2002). *Slope Stability and Stabilization Methods*. John Wiley & Sons.
- Angarita, L., & Muñoz, C. (2023). El agua como agente principal de la inestabilidad de taludes. Universidad Cooperativa de Colombia, Villavicencio, Facultad de Ingenierías, Ingeniería civil. Recuperado de:
<https://hdl.handle.net/20.500.12494/54339>
- Aquise, V. (2017). *APLICACIÓN DE LAS ECUACIONES DE SAINT VENANT AL MODELAMIENTO BIDIMENSIONAL DE CUENCAS Y RÍOS* [Tesis de grado, Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga]. https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/1969/1/TESIS%20CI V475_Aqu.pdf
- Arcement, G. J., Jr., & Schneider, V. R. (1989). *Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains* (U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2339). U.S. Geological Survey
- Asociación de Carreteras del Japón. (1984). *Serie de trabajos de tierra en carreteras: Manual de protección de taludes*. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres; Universidad Nacional de Ingeniería.
- Bagherzadeh, M., & Mohammadi, M. (2025). Impact of gabion sill on scouring depth downstream grade control structures. *Results in Engineering*, 27, 105717. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105717>.
- Bishop, A. W. (1955). The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique*, 5(1), 7-17. <https://doi.org/10.1680/geot.1955.5.1.7>
- Budhu, M. (2015). *Soil mechanics and foundations* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Chávez Moncayo, M. Á., Blanco Torrens, R., & Watson Quesada, R. (2008). Estabilización de taludes en el río Portoviejo, Ecuador. *Minería y Geología*, 24(3), 1-9.

- Cheng, P., Wu, L., Zhang, H., & Zhou, J. (2024). Inclusion of root water absorption and reinforcement in upper bound limit stability analysis of vegetated slopes. *Computers & Geotechnics*, 169, 106227. Recuperado de:
<https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2024.106227>
- Chow, V. T. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill. ISBN: 958-600-228-4
- Das, B. M. (2011). *Principles of geotechnical engineering* (7th ed.). Cengage Learning.
- Federal Highway Administration. (2009). *HEC-23: Bridge scour and stream instability countermeasures* (2nd ed., Vol. 2). U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- European Space Agency. (2025). *Sentinel-1 - Copernicus Data Space Ecosystem*. Recuperado el 28 de diciembre de 2025, de <https://dataspace.copernicus.eu/data-collections/sentinel-data/sentinel-1>
- GADM Balzar. (2023). *Nuestro Cantón*. Recuperado de: <https://gadmbalzar.gob.ec>
- Gray, D. H., & Sotir, R. B. (1997). Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control. *Choice Reviews Online*, 34(06), 34-3327. Recuperado de: <https://doi.org/10.5860/choice.34-3327>
- INAMHI. (2019). *Atlas de Precipitación del Ecuador: Curvas IDF*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
- Jean Louis, M., Crosato, A., Mosselman, E., & Maskey, S. (2024). Effects of urbanization and deforestation on flooding: Case study of Cap-Haïtien City, Haiti. *Journal of Flood Risk Management*, 17. Recuperado de:
<https://doi.org/10.1111/jfr3.13020>Digital Object Identifier (DOI)
- Kalita, S., & Khaund, P. K. (2020). Riverbank Slope Stability Analysis. *Proceedings of Indian Geotechnical Conference 2020*.

- Kumar, A., & Kumari, S. (2023). The Efficiency of Vetiver Grass for Slope Stabilization and Erosion Control: A Comprehensive Review. *Journal of Chemical Health Risks*, 13(6), 3755-3767.
- Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanshaw, B. B., & Balsley, J. R. (1971). *A procedure for evaluating environmental impact* (Geological Survey Circular 645). U.S. Geological Survey.
- Maynard, S.T. (1990) Riprap Stability Results from Large Test Channel. *Hydraulic Engineering, Proceedings of the 1990 ASCE National Conference*, Volume 1, Chang, H.H. and Hill, J.C. (eds), San Diego, CA.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-GC: Geotecnia y cimentaciones*. MIDUVI.
- Naciones Unidas. (2016). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2016*. Naciones Unidas.
- Rodríguez, L. (2014). Probabilidad y Estadística Básica para Ingenieros. Escuela Superior Politécnica del Litoral. ISBN: 978-9942-922-02-1
- Prati Amati, Srl (2006). Shear strength model. Recuperado de: <https://www.pratiarmati.it>
- Sarfaraz, H. (2020). Stability Analysis of Flexural Toppling Failure Using the Sarma's Method. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38(4), 3667-3682.
- Schreider, M., Scacchi, G., Franco, F., Fuentes, R., & Moreno, C. (2001). Aplicación del método de Lischvan y Lebediev al cálculo de la erosión general. *Ingeniería Hidráulica en México*, 16(1), 15-26.
- Soeters, R. & Van Westen, C.J. (1996). *Slope instability Recognition, analysis and zonation*. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), *Landslide: Investigations and Mitigation*. Special Report, vol. 247. Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C. 129–17.

Song, Y., Liu, R., Yan, Q., Li, J., Cai, C., Feng, Y., Huang, G., Hao, R., Li, H., Zhan, C., et al. (2024). Effects of Patch Properties of Submerged Vegetation on Sediment

Scouring and Deposition. *Water*, 16, 2144. Recuperado de: [https://](https://doi.org/10.3390/w16152144)

doi.org/10.3390/w16152144

Steiakakis, E., Syllignakis, G., Galetakis, M., Vavadakis, D., Renaud, V., et al. (2024). Pit

Lake Slope Stability under Water Level Variations. *Geosciences*, 2024, 14(6), pp.142.

Recuperado de: [10.3390/geosciences14060142](https://doi.org/10.3390/geosciences14060142)

Truong, P., Van, T. T., & Pinners, E. (2009). *Vetiver system applications: Technical*

reference manual. The Vetiver Network International.

Wang, LiYing, & Wang, LinFeng. (2025). A Method for Evaluating the Susceptibility of

Hydrodynamic Landslides Based on Subcomponent Combination Prediction.

International Journal of High-Speed Electronics and Systems, 34(4). Recuperado de:

<https://doi.org/10.1142/S0129156425402517>

Zheng, H., & Tham, L. (2009). Improved Bell's method for the stability analysis of slopes.

International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics. 33.

1673 - 1689.

PLANOS Y ANEXOS

Anexo 1.

Código de Python elaborado para Socavación General.

```
# IMPORTS

import math

import matplotlib.pyplot as plt

import pandas as pd

# FUNCIONES

def generalcohesivos(ydry,yagua,T,S,n,itera,lHo,cotas,c=0.3):

    lambdaux = 0.0973*math.log10(T)+0.7929

    ymezcla = (yagua*ydry)/(ydry-c*(ydry-yagua))

    phi = 1.51*ymezcla-0.54

    x = 0.136275*ydry**2-0.5807*ydry+0.892619

    alpha = (S**(1/2))/n

    lHs = []

    for i in range(itera):

        Ho = lHo[i]

        Hs = ((alpha*Ho**(5/3))/(0.6*ydry**1.18*phi*lambdaux))**(1/(1+x))

        lHs.append(Hs)

    graficarPerfil(lHo,lHs,cotas)

    return cotas, lHo, lHs
```

```
def graficarPerfil(lHo,lHs,cotas,BL=1.1):
```

```
    Hofinal = []
```

```
    Hsfinal = []
```

```
    cotasfinal = []
```

```
    for i in range(len(cotas)):
```

```
        HOAUX = lHo[i]*-1
```

```
        HSAUX = lHs[i]*-1
```

```
        Hofinal.append(HOAUX)
```

```
        Hsfinal.append(HSAUX)
```

```
        cotasfinal.append(cotas[i])
```

```
    plt.plot(cotasfinal,Hofinal,label="Ho")
```

```
    plt.plot(cotas,Hsfinal,label="Hs")
```

```
    plt.legend()
```

```
    plt.grid(True, color='gray', linestyle='--', linewidth=0.5)
```

```
    plt.xlabel('x')
```

```
    plt.ylabel('H')
```

```
    plt.title('Perfil del agua')
```

```
    plt.axis('equal')
```

```
    plt.show()
```

```
# PROGRAMA
```

```
Tretorno = 50 # años
```

```
gammadry = float(input("Ingrese gamma dry: ")) # T/m3
```

```
V = float(input("Velocidad de flujo en m/s: ")) # m/s
```

$S = 0.008$

$Q = 1518.2 \text{ #m}^3/\text{s}$

$n = 0.048$

$lHo = []$

$cotas = []$

$cotas, lHo, lHs = \text{generalcohesivos}(\text{gammadry}, 1, \text{Tretorno}, S, n, \text{len}(cotas), lHo, cotas)$

$ys = [hs - ho \text{ for } hs, ho \text{ in } \text{zip}(lHs, lHo)]$

$df = \text{pd.DataFrame}(\{"Cotas": cotas, "Ho": lHo, "Hs": lHs, "ys": ys\})$

$df = df.\text{round}(4)$

$\text{print}(df)$

Tabla 3.1 Inclinaciones Normales de Taludes de Corte

Clasificación del suelo		Prof. de corte	Inclinación
			V:H
Roca dura			1:0.3 a 1:0.8
Roca Blanda			1:0.5 a 1:1.2
Arena	No densa y pobremente graduada		1:1.5 a
Suelo arenoso	Denso	Menos de 5 m	1:0.8 a 1:1.0
		5 a 10 m	1:1.0 a 1:1.2
	No denso	Menos de 5 m	1:1.0 a 1:1.2
		5 a 10 m	1:1.2 a 1:1.5
Suelo arenoso mezclado con grava	Denso o bien graduado	Menos de 10 m	1:0.8 a 1:1.0
		10 a 15 m	1:1.0 a 1:1.2
	No denso o pobremente graduado	Menos de 10 m	1:1.0 a 1:1.2
		10 a 15 m	1:1.2 a 1:1.5
Suelo cohesivo		0 a 10 m	1:0.8 a 1:1.2
Suelo cohesivo mezclado con masas de roca o bolonería		Menos de 5 m	1:1.0 a 1:1.2
		5 a 10 m	1:1.2 a 1:1.5

- Notas: 1. El limo se clasifica como suelo cohesivo.
 2. La tabla no se aplica a suelos no incluidos
 3. El concepto de la inclinación en el talud de corte se ilustra en la Fig. 3.1

Figura 25. Inclinaciones Normales de Taludes de Corte (ACJ, 1984).

Nominal Riprap Class by Median Particle Diameter		d ₁₅		d ₅₀		d ₈₅		d ₁₀₀
Class	Size	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Max
I	6 in	3.7	5.2	5.7	6.9	7.8	9.2	12.0
II	9 in	5.5	7.8	8.5	10.5	11.5	14.0	18.0
III	12 in	7.3	10.5	11.5	14.0	15.5	18.5	24.0
IV	15 in	9.2	13.0	14.5	17.5	19.5	23.0	30.0
V	18 in	11.0	15.5	17.0	20.5	23.5	27.5	36.0
VI	21 in	13.0	18.5	20.0	24.0	27.5	32.5	42.0
VII	24 in	14.5	21.0	23.0	27.5	31.0	37.0	48.0
VIII	30 in	18.5	26.0	28.5	34.5	39.0	46.0	60.0
IX	36 in	22.0	31.5	34.0	41.5	47.0	55.5	72.0
X	42 in	25.5	36.5	40.0	48.5	54.5	64.5	84.0

Note: Particle size d corresponds to the intermediate ("B") axis of the particle.

Figura 26. Tamaño de partículas máximo y mínimo en pulgadas (FHWA, 2009).

RUBRO: 1.1
 DETALLE: Movilización y desmovilización de equipo pesado

UNIDAD: Gib

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herr. Menor 5% M.O.	1.0000	\$57.0600	\$57.0600	0.0500	\$2.8530
Camión Plataforma	1.0000	\$50.0000	\$50.0000	8.0000	\$400.0000
Camión Grúa	1.0000	\$40.0000	\$40.0000	2.0000	\$80.0000
SUBTOTAL M					\$482.8530
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Operador de maquinaria pesada	1.0000	\$4.2300	\$6.2200	2.0000	\$12.4400
Chofer profesional	1.0000	\$4.5200	\$4.5200	8.0000	\$36.1600
Ayudante de Maquinaria	1.00000	\$4.2300	\$4.2300	2.0000	\$8.4600
SUBTOTAL N					\$57.0600
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL O					\$0.0000
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
	A	B	C	C=A*B*C	
SUBTOTAL P					\$0.0000
TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					\$539.9130
INDIRECTOS Y UTILIDADES				20.00%	\$107.9826
OTROS INDIRECTOS				0.00%	\$ 0.0000
VALOR OFERTADO					\$647.90

RUBRO: 1.2
 DETALLE: Desbroce y limpieza del terreno

UNIDAD: m2

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herr. Menor 5% M.O.	1.0000	\$1.7568	\$1.7568	0.0500	\$0.0878
Excavadora	1.0000	\$45.0000	\$45.0000	0.0030	\$0.1350
volqueta	1.0000	\$20.0000	\$20.0000	0.0030	\$0.0600
SUBTOTAL M					\$0.2228
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Operador de equipo pesado	1.0000	\$4.7500	\$4.7500	0.0800	\$0.3800
Técnico de Obras civiles	1.0000	\$4.5200	\$4.5200	0.0800	\$0.3616
Peon	3.00000	\$4.2300	\$12.6900	0.0800	\$1.0152
SUBTOTAL N					\$1.7568
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL O					\$0.0000
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C	C=A*B*C
SUBTOTAL P					\$0.0000
TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					\$1.9796
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%					\$0.3959
OTROS INDIRECTOS 0.00%					\$ 0.0000
VALOR OFERTADO					\$2.38

RUBRO: 1.3
 DETALLE: Replanteo y nivelación con equipo de precisión

UNIDAD: m2

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herr. Menor 5% M.O.	1.0000	\$0.0265	\$0.0265	0.0500	\$0.0013
Equipo topografico	1.0000	\$50.0000	\$50.0000	0.0020	\$0.1000
SUBTOTAL M					\$0.1013
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peón	1.0000	\$4.2300	\$4.2300	0.0020	\$0.0085
Topografo	1.0000	\$4.7500	\$4.7500	0.0020	\$0.0095
Cadenero	1.00000	\$4.2800	\$4.2800	0.0020	\$0.0086
SUBTOTAL N					\$0.0265
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL O					\$0.0000
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
	A	B	C	C=A*B*C	
Camioneta	un	1.0000	\$6.8750	\$6.8750	
SUBTOTAL P					\$6.8750
TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					\$7.0028
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%					\$1.4006
OTROS INDIRECTOS 0.00%					\$ 0.0000
VALOR OFERTADO					\$8.40

RUBRO: 2.1
 DETALLE: Excavación y desalojo manual

UNIDAD: m3

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
Herr. Menor 5% M.O.	A 1.0000	B \$0.4809	C=A*B \$0.4809 \$0.0000	R 0.0500 0.0800	D=C*R \$0.0240 \$0.0000
SUBTOTAL M					\$0.0240
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Peón	A 1.0000	B \$4.2300	C=A*B \$4.2300	R 0.0800	D=C*R \$0.3384
Chofer	1.0000	\$4.7500	\$4.7500	0.0300	\$0.1425
SUBTOTAL N					\$0.4809
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL O					\$0.0000
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
Camioneta	A un	B 1.0000	C \$10.0000	C=A*B*C \$10.0000	
SUBTOTAL P					\$10.0000
TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					\$10.5049
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%					\$2.1010
OTROS INDIRECTOS 0.00%					\$ 0.0000
VALOR OFERTADO					\$12.61

RUBRO: 2.2
 DETALLE: Excavación a máquina para conformación de terrazas

UNIDAD: m3

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herr. Menor 5% M.O.	1.0000	\$0.3488	\$0.3488	0.0500	\$0.0174
Excavadora	1.0000	\$20.7200	\$20.7200	0.0200	\$0.4144
SUBTOTAL M					\$0.4318
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peón	3.0000	\$4.2300	\$12.6900	0.0200	\$0.2538
Operador de equipo pesado	1.0000	\$4.7500	\$4.7500	0.0200	\$0.0950
SUBTOTAL N					\$0.3488
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL O					\$0.0000
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
	A	B	C	C=A*B*C	
SUBTOTAL P					\$0.0000
TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					\$0.7806
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%					\$0.1561
OTROS INDIRECTOS 0.00%					\$ 0.0000
VALOR OFERTADO					\$0.94

RUBRO: 2.3
 DETALLE: Carga y transporte para desalojo de material

UNIDAD: m3

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herr. Menor 5% M.O.	1.0000	\$0.1866	\$0.1866	0.0500	\$0.0093
Volqueta	1.0000	\$20.0000	\$20.0000	0.0980	\$1.9600
SUBTOTAL M					\$1.9693
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Chofer de Volqueta	1.00000	\$6.2200	\$6.2200	0.0300	\$0.1866
SUBTOTAL N					\$0.1866
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL O					\$0.0000
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
	A	B	C	C=A*B*C	
SUBTOTAL P					\$0.0000
TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					\$2.1559
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%					\$0.4312
OTROS INDIRECTOS 0.00%					\$ 0.0000
VALOR OFERTADO					\$2.59

RUBRO: 3.1
 DETALLE: Conformación, perfilado y compactación de taludes

UNIDAD: m2

EQUIPOS						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
Herr. Menor 5% M.O.	1.0000	\$5.1796	\$5.1796	0.0500	\$0.2590	
Excavadora	1.0000	\$20.7200	\$20.7200	0.0027	\$0.0559	
Rodillo parta de cabra vibratorio	1.0000	\$30.0000	\$30.0000	0.0020	\$0.0600	
SUBTOTAL M					\$0.3749	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
	A	B	C=A*B	R	D=C*R	
Peón	1.0000	\$4.2300	\$4.2300	0.3200	\$1.3536	
Operador de maquinaria pesada	2.0000	\$4.7500	\$9.5000	0.2600	\$2.4700	
Técnico de obras civiles	1.00000	\$4.5200	\$4.5200	0.3000	\$1.3560	
SUBTOTAL N					\$5.1796	
MATERIALES						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		
		A	B	C=A*B		
SUBTOTAL O					\$0.0000	
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO		
	A	B	C	C=A*B*C		
SUBTOTAL P					\$0.0000	
TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					\$5.5545	
INDIRECTOS Y UTILIDADES					20.00%	\$1.1109
OTROS INDIRECTOS					0.00%	\$ 0.0000
VALOR OFERTADO					\$6.67	

RUBRO: 3.2
 DETALLE: Suministro y colocación de geotextil

UNIDAD: m2

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herr. Menor 5% M.O.	1.0000	\$1.3027	\$1.3027	0.0500	\$0.0651
SUBTOTAL M					\$0.0651
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peón	1.0000	\$4.2300	\$4.2300	0.0160	\$0.0677
Técnico de obras civiles	1.0000	\$4.7500	\$4.7500	0.2600	\$1.2350
SUBTOTAL N					\$1.3027
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Geotextil no tejido	m2	1.00000	\$1.5000	\$ 1.50	
SUBTOTAL O					\$1.5000
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
	A	B	C	C=A*B*C	
SUBTOTAL P					\$0.0000
TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					\$2.8678
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%					\$0.5736
OTROS INDIRECTOS 0.00%					\$ 0.0000
VALOR OFERTADO					\$3.44

RUBRO: 3.3
 DETALLE: Suministro y colocación de piedra para enrocado de 9" y 18"

UNIDAD: m3

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herr. Menor 5% M.O.	1.0000	\$3.1128	\$3.1128	0.0500	\$0.1556
Volqueta	1.0000	\$20.0000	\$20.0000	0.0530	\$1.0600
excavadora	1.00000	20.72000	\$20.7200	0.0250	\$0.5180
SUBTOTAL M					\$1.2156
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Chofer Volqueta	1.0000	\$6.2200	\$6.2200	0.0500	\$0.3110
Operador de equipo pesado	1.0000	\$4.7500	\$4.7500	0.0250	\$0.1188
Tecnico de Obras Civiles	1.0000	\$4.5200	\$4.5200	0.5000	\$2.2600
Peon	2.00000	\$4.2300	\$8.4600	0.0500	\$0.4230
SUBTOTAL N					\$3.1128
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Piedra de 18"	m3	1.00000	8.50000	\$	8.50
Piedra de 9"	m3	1.00000	7.50000	\$	7.50
SUBTOTAL O					\$16.0000
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
	A	B	C	C=A*B*C	
SUBTOTAL P					\$0.0000
TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					\$20.3284
INDIRECTOS Y UTILIDADES					20.00%
					\$4.0657
OTROS INDIRECTOS					0.00%
					\$ 0.0000
VALOR OFERTADO					\$24.39

RUBRO: 3.4
 DETALLE: Suministro y siembra de esquejes de Vetiver

UNIDAD: m2

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herr. Menor 5% M.O.	1.0000	\$1.3196	\$1.3196	0.0500	\$0.0660
SUBTOTAL M					\$0.0660
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peón	2.0000	\$4.2300	\$8.4600	0.0100	\$0.0846
Técnico de obras civiles	1.0000	\$4.7500	\$4.7500	0.2600	\$1.2350
SUBTOTAL N					\$1.3196
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Material vegetativo de esquejes de Vetiver	m2	1.00000	4.00000	\$ 4.00	
SUBTOTAL O					\$ 4.00
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
	A	B	C	C=A*B*C	
SUBTOTAL P					\$0.0000
TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					\$5.3856
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%					\$1.0771
OTROS INDIRECTOS 0.00%					\$ 0.0000
VALOR OFERTADO					\$6.46

RUBRO: 4.1
 DETALLE: Riego y mantenimiento

UNIDAD: m2

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herr. Menor 5% M.O.	1.0000	\$1.6024	\$1.6024	0.0500	\$0.0801
Tanque de agua movil con mangueras	1.0000	\$14.0000	\$14.0000	0.0150	\$0.2100
SUBTOTAL M					\$0.2901
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peón	1.0000	\$4.2300	\$4.2300	0.3200	\$1.3536
Tanquero	1.0000	\$6.2200	\$6.2200	0.0400	\$0.2488
SUBTOTAL N					\$1.6024
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Agua para riego	m3	1.00000	0.48000	\$ 0.48	
SUBTOTAL O					\$0.4800
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
	A	B	C	C=A*B*C	
SUBTOTAL P					\$0.0000
TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					\$2.3725
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%					\$0.4745
OTROS INDIRECTOS 0.00%					\$ 0.0000
VALOR OFERTADO					\$2.85

RUBRO: 5.1
 DETALLE: Rescate y reubicación de fauna silvestre

UNIDAD: Gib

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herr. Menor 5% M.O.	1.0000	\$66.7680	\$66.7680	0.0500	\$3.3384
SUBTOTAL M					\$3.3384
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peón	2.0000	\$4.2300	\$8.4600	0.8000	\$6.7680
Ambiental	1.0000	\$7.5000	\$7.5000	8.0000	\$60.0000
SUBTOTAL N					\$66.7680
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Insumos de captura	u	2.00000	35.00000	\$ 70.00	
SUBTOTAL O					\$70.0000
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
	A	B	C	C=A*B*C	
Camioneta	u	1.0000	\$6.8750	\$6.8750	
SUBTOTAL P					\$6.8750
TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					\$146.9814
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%					\$29.3963
OTROS INDIRECTOS 0.00%					\$ 0.0000
VALOR OFERTADO					\$176.38

RUBRO: 5.2

UNIDAD: m

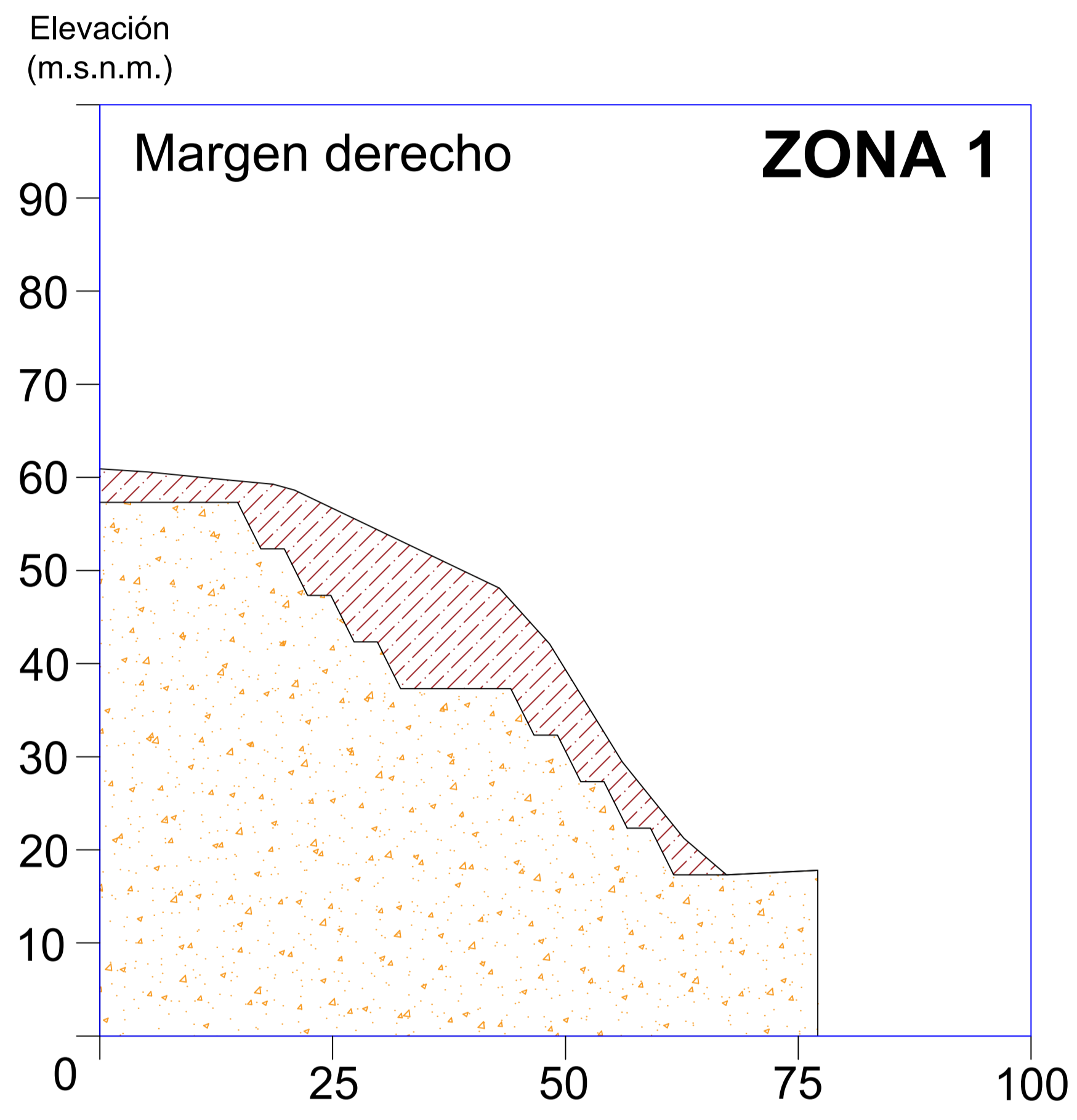
DETALLE: Colocación de barreras de sedimentos

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herr. Menor 5% M.O.	1.0000	\$1.6920	\$1.6920	0.0500	\$0.0846
SUBTOTAL M					\$0.0846
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peón	2.0000	\$4.2300	\$8.4600	0.2000	\$1.6920
SUBTOTAL N					\$1.6920
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
Geotextil	m2	1.20000	1.50000	\$ 1.80	
SUBTOTAL O					\$1.8000
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
	A	B	C	C=A*B*C	
SUBTOTAL P					\$0.0000
TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					\$3.5766
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%					\$0.7153
OTROS INDIRECTOS 0.00%					\$ 0.0000
VALOR OFERTADO					\$4.29

RUBRO: 5.3
 DETALLE: Humectación para control de polvo

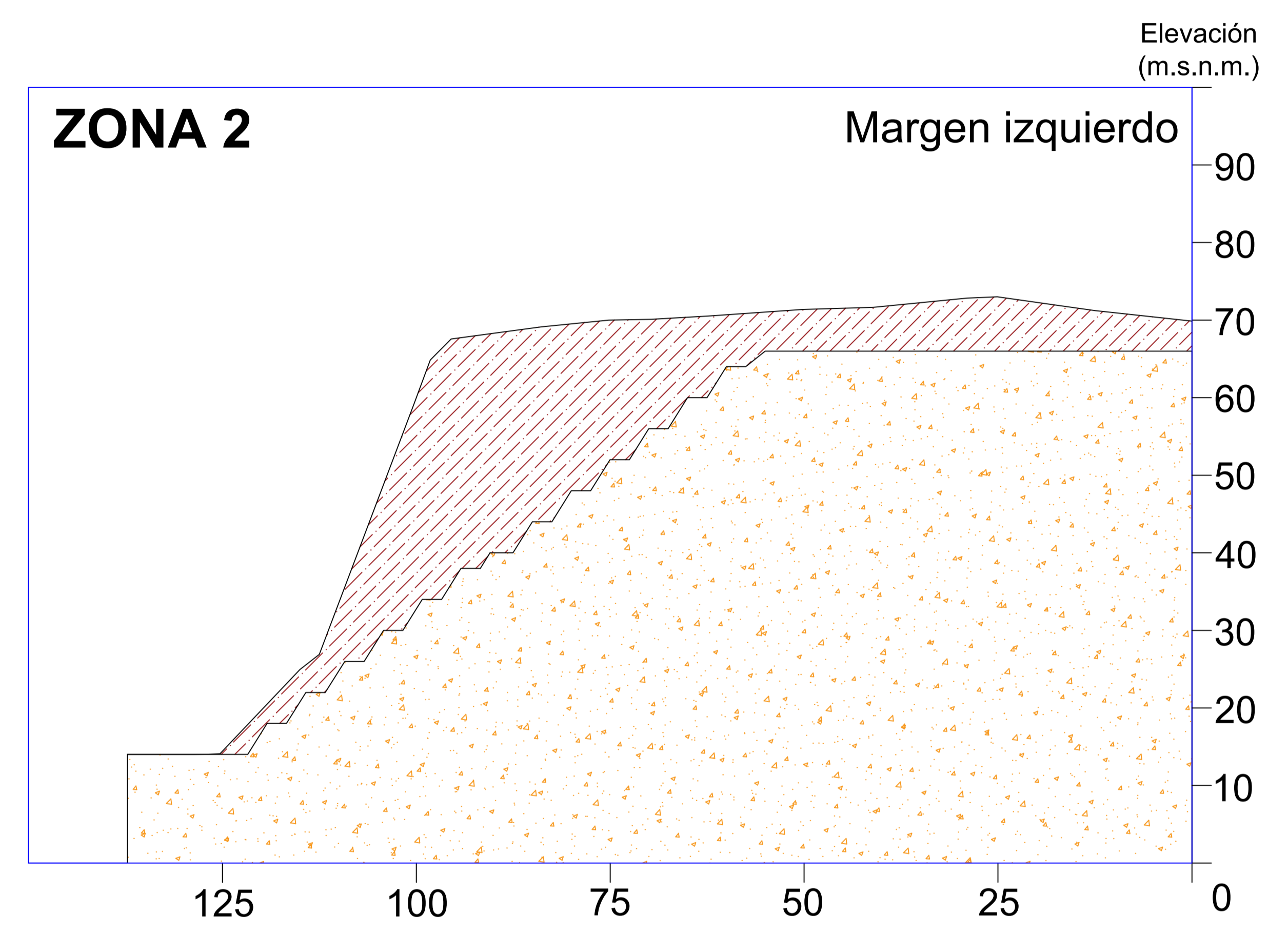
UNIDAD: m2

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herr. Menor 5% M.O.	1.0000	\$1.3536	\$1.3536	0.0500	\$0.0677
Tanque de agua movil con mangueras	1.0000	\$14.0000	\$14.0000	0.0150	\$0.2100
SUBTOTAL M					\$0.2777
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Peón	1.0000	\$4.2300	\$4.2300	0.3200	\$1.3536
SUBTOTAL N					\$1.3536
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO	
		A	B	C=A*B	
SUBTOTAL O					\$0.0000
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
	A	B	C	C=A*B*C	
SUBTOTAL P					\$0.0000
TOTAL DE COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					\$1.6313
INDIRECTOS Y UTILIDADES 20.00%					\$0.3263
OTROS INDIRECTOS 0.00%					\$ 0.0000
VALOR OFERTADO					\$1.96



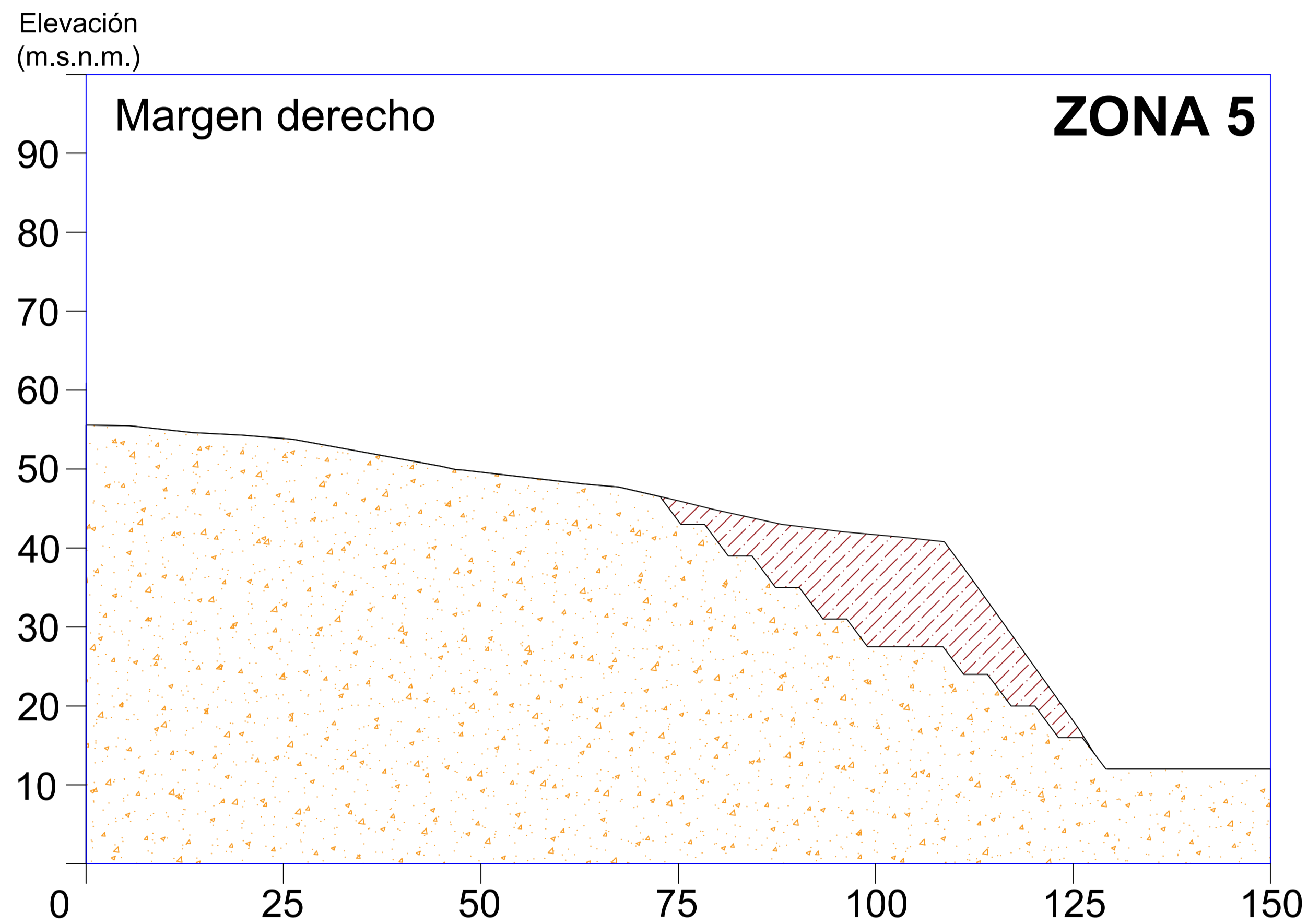
Area = 512.55 m²
Volume = 102509.80 m³

Distancia transversal (m)



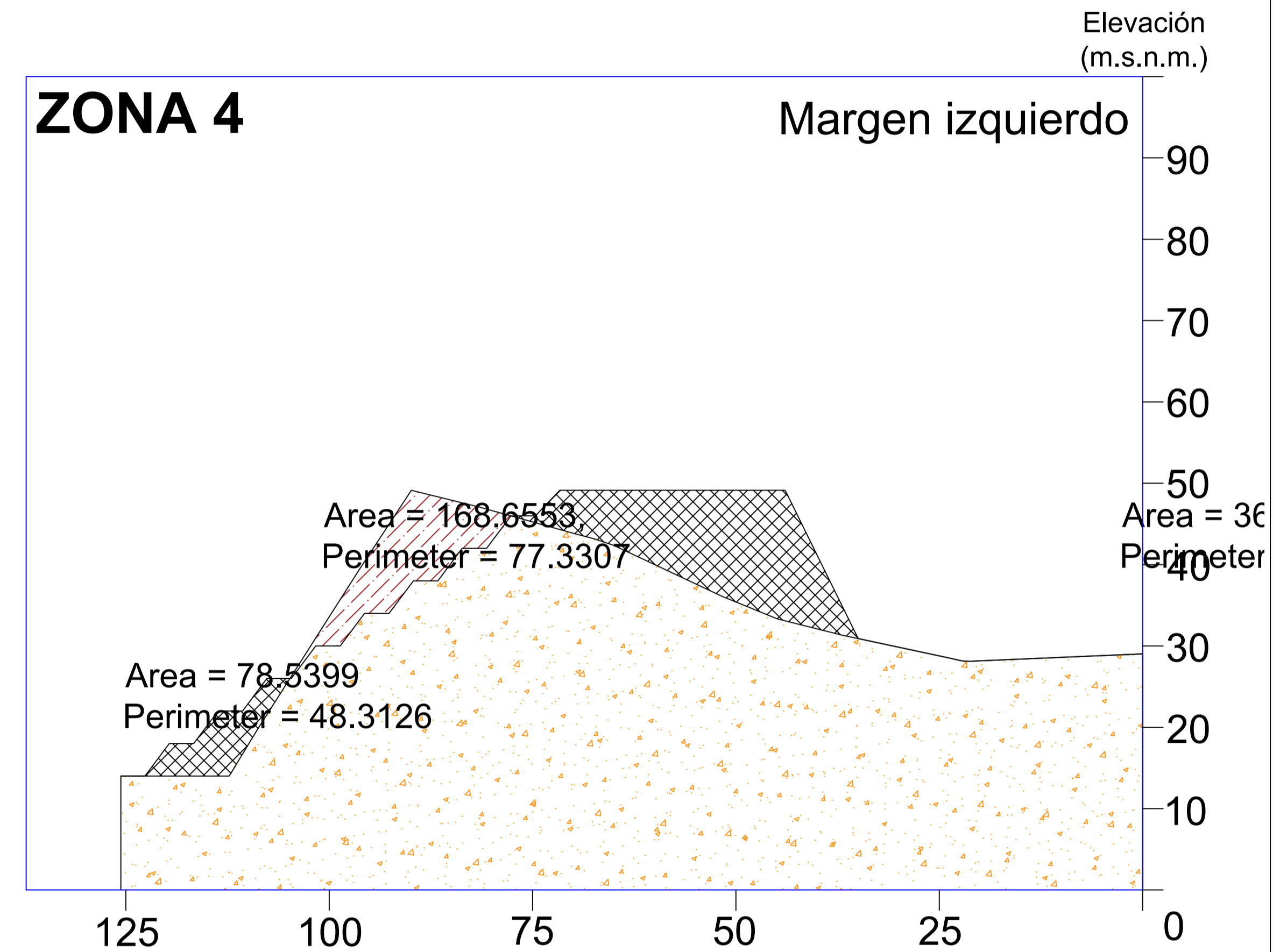
Area = 1450.74 m²
Volume = 290148.64 m³

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
<small>PROYECTO:</small>			
DISEÑO INTEGRAL DE SOLUCIONES PARA MÁRGENES INESTABLES DEL RÍO DAULE (PRESA DAULE PERIPA A BALZAR)			
<small>CONTENIDO:</small>			
PERFILES TRANSVERSALES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS PARA TERRAZAS			
<small>Coordinador de Materia Integradora:</small>	<small>Estudiantes:</small>	<small>Fecha de entrega:</small>	
MSc. Ingrid Orta	Carlos Alejandro Macias Loor	23 de enero, 2026	
<small>Tutor de Área de conocimiento:</small>	Daniel Rodríguez Berrezueta	<small>Lamina:</small>	<small>Escala:</small>
P.h.D. Mijail Arias		1/4	2:1



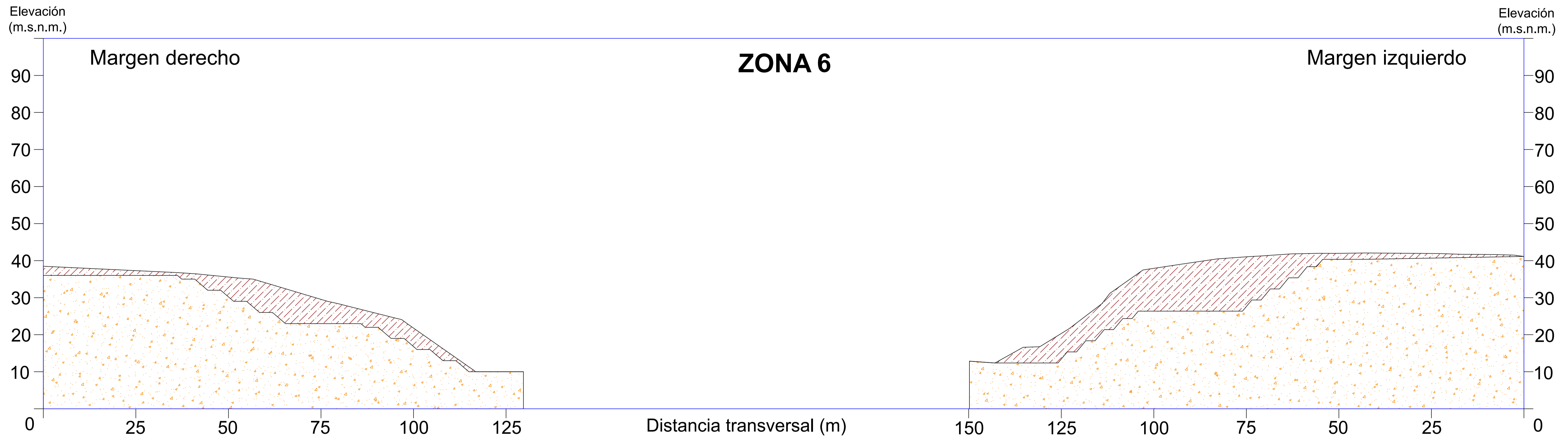
Area = 449.86 m²
Volume = 89972.40 m³

Distancia transversal (m)



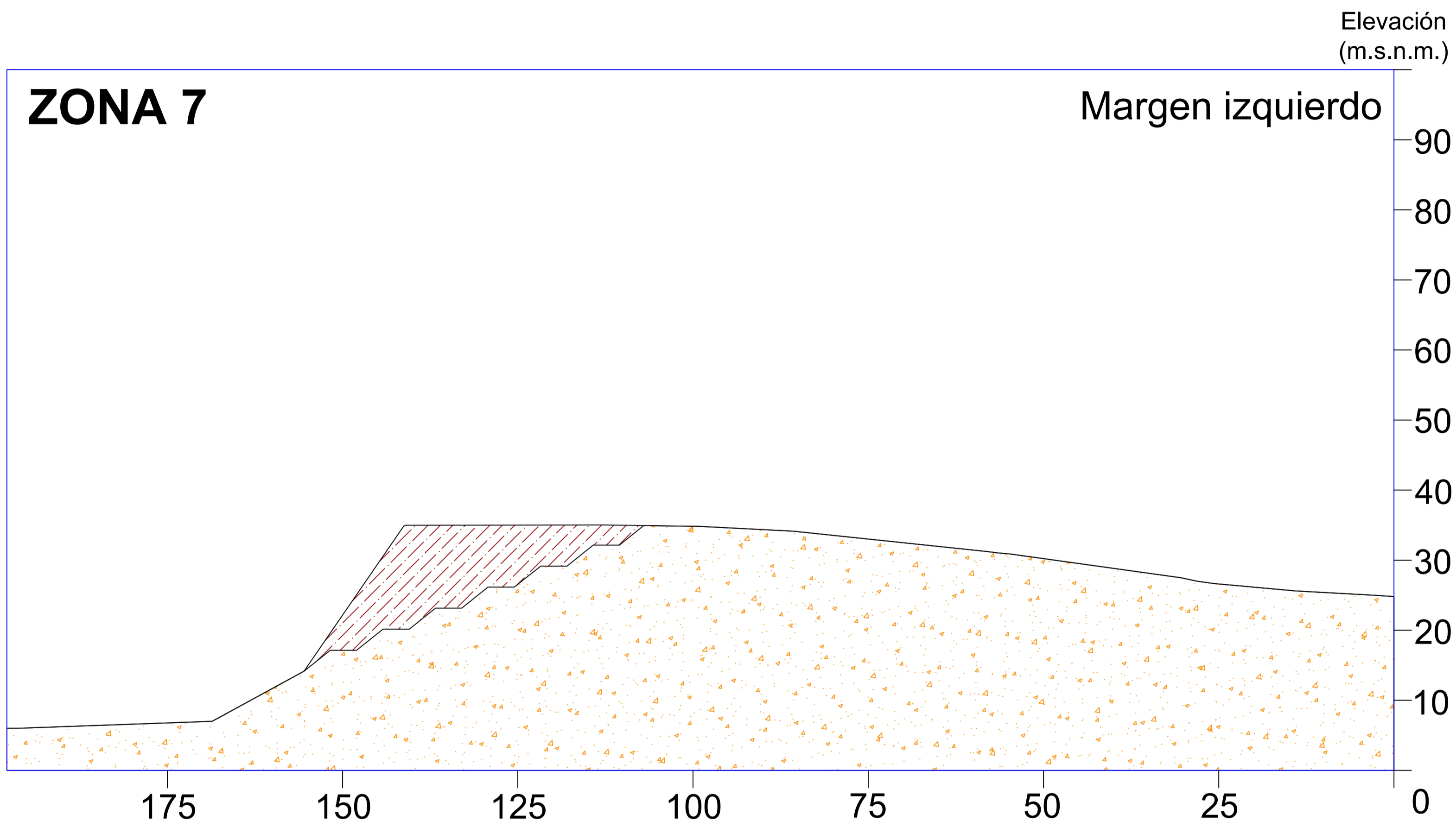
Area = 612.20 m²
Volume = 122439.26 m³

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
PROYECTO:			
DISEÑO INTEGRAL DE SOLUCIONES PARA MÁRGENES INESTABLES DEL RÍO DAULE (PRESA DAULE PERIPA A BALZAR)			
CONTENIDO:			
PERFILES TRANSVERSALES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS PARA TERRAZAS			
Coordinador de Materia Integradora:	Estudiantes:	Fecha de entrega:	
MSc. Ingrid Orta	Carlos Alejandro Macias Loor	23 de enero, 2026	
Tutor de Área de conocimiento:	Daniel Rodríguez Berrezueta	Lamina:	Escala:
P.h.D. Mijail Arias		2/4	2:1



Area = 1301.33 m²
Volume = 260266.54 m³

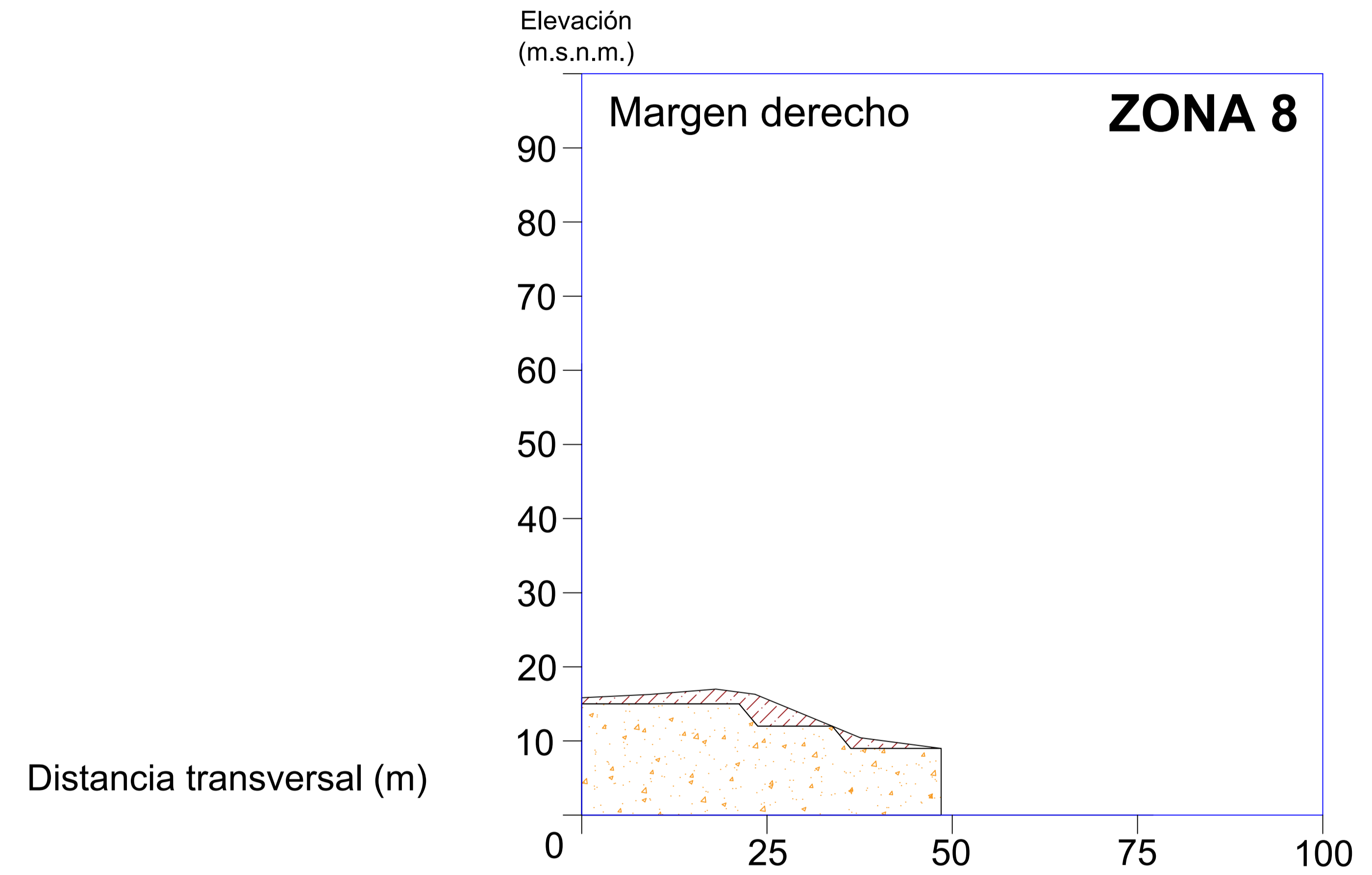
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
<small>PROYECTO:</small>			
DISEÑO INTEGRAL DE SOLUCIONES PARA MÁRGENES INESTABLES DEL RÍO DAULE (PRESA DAULE PERIPA A BALZAR)			
<small>CONTENIDO:</small>			
PERFILES TRANSVERSALES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS PARA TERRAZAS			
<small>Coordinador de Materia Integradora:</small>	<small>Estudiantes:</small>	<small>Fecha de entrega:</small>	
MSc. Ingrid Orta	Carlos Alejandro Macias Loor	23 de enero, 2026	
<small>Tutor de Área de conocimiento:</small>	Daniel Rodríguez Berrezueta	<small>Lamina:</small>	<small>Escala:</small>
P.h.D. Mijail Arias		3/4	2 : 1



ZONA 7

Margen izquierdo

Area = 355.17 m²
Volume = 71034.16 m³



Margen derecho

ZONA 8

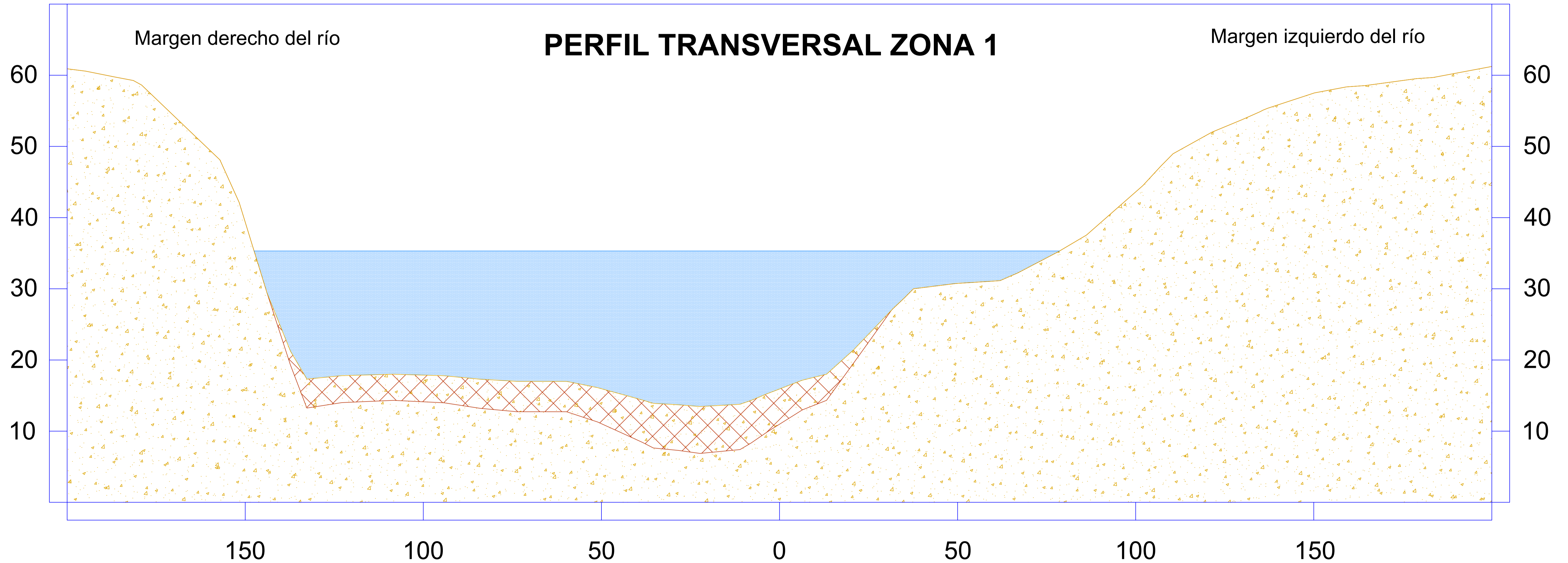
Area = 70.52 m²
Volume = 14103.94 m³

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
<small>PROYECTO:</small>			
DISEÑO INTEGRAL DE SOLUCIONES PARA MÁRGENES INESTABLES DEL RÍO DAULE (PRESA DAULE PERIPA A BALZAR)			
<small>CONTENIDO:</small>			
PERFILES TRANSVERSALES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS PARA TERRAZAS			
<small>Coordinador de Materia Integradora:</small>	<small>Estudiantes:</small>	<small>Fecha de entrega:</small>	
MSc. Ingrid Orta	Carlos Alejandro Macias Loor	23 de enero, 2026	
<small>Tutor de Área de conocimiento:</small>	Daniel Rodríguez Berrezueta	<small>Lamina:</small>	<small>Escala:</small>
P.h.D. Mijail Arias		4/4	2 : 1

PERFIL TRANSVERSAL ZONA 1

Margen derecho del río

Margen izquierdo del río



 Agua

 Perfil Original

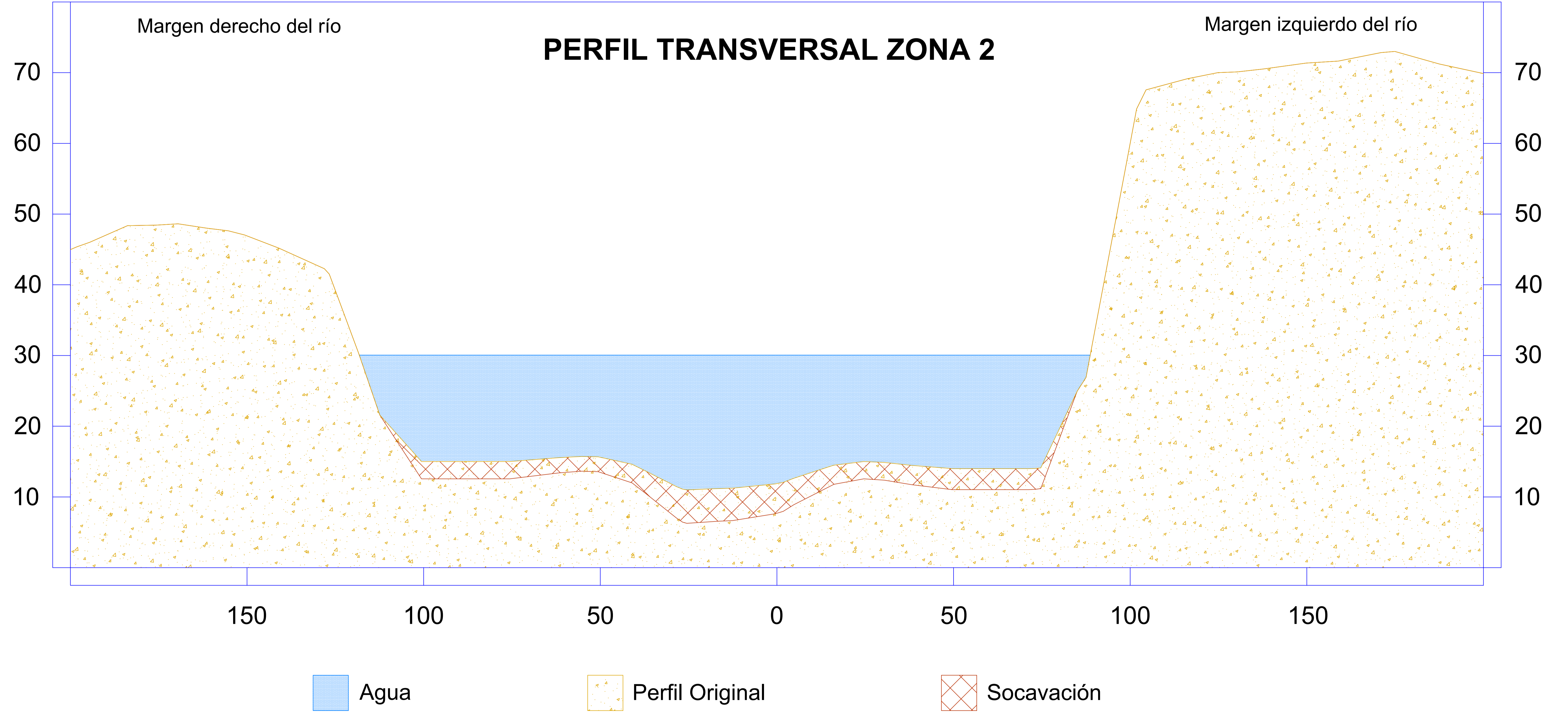
 Socavación

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
PROYECTO:			
DISEÑO INTEGRAL DE SOLUCIONES PARA MÁRGENES INESTABLES DEL RÍO DAULE (PRESA DAULE PERIPA A BALZAR)			
CONTENIDO:			
PERFILES TRANSVERSALES DE SOCAVACIÓN			
Coordinador de Materia Integradora:	Estudiantes:	Fecha de entrega:	
MSc. Ingrid Orta	Carlos Alejandro Macias Loor	23 de enero, 2026	
Tutor de Área de conocimiento:	Daniel Rodríguez Berrezueta	Lamina:	Escala:
P.h.D. Mijail Arias		1/10	1.8 : 1

PERFIL TRANSVERSAL ZONA 2

Margen derecho del río

Margen izquierdo del río



 Agua

 Perfil Original

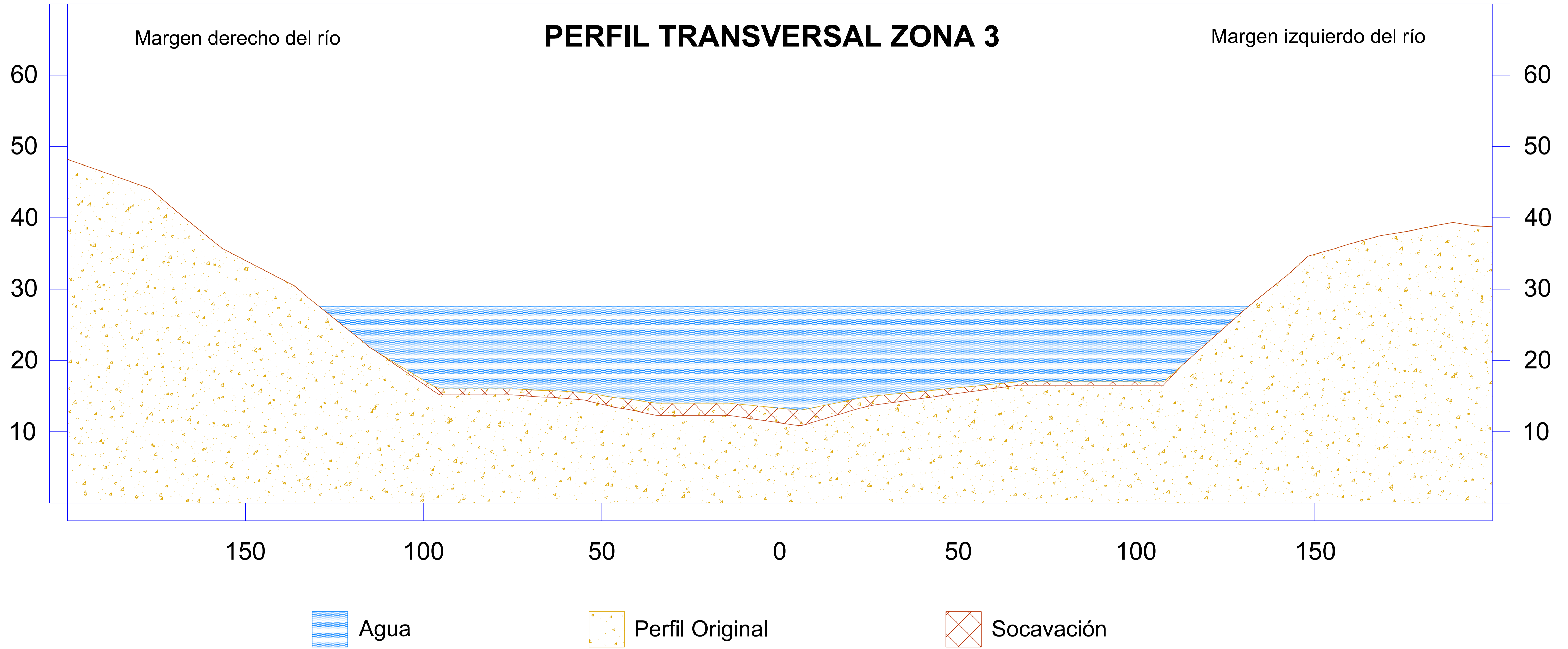
 Socavación

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
PROYECTO: DISEÑO INTEGRAL DE SOLUCIONES PARA MÁRGENES INESTABLES DEL RÍO DAULE (PRESA DAULE PERIPA A BALZAR)			
CONTENIDO: PERFILES TRANSVERSALES DE SOCAVACIÓN			
Coordinador de Materia Integradora: MSc. Ingrid Orta	Estudiantes: Carlos Alejandro Macias Loor	Fecha de entrega: 23 de enero, 2026	
Tutor de Área de conocimiento: P.h.D. Mijail Arias	Daniel Rodríguez Berrezueta	Lamina: 2/10	Escala: 1.8 : 1

PERFIL TRANSVERSAL ZONA 3

Margen derecho del río

Margen izquierdo del río

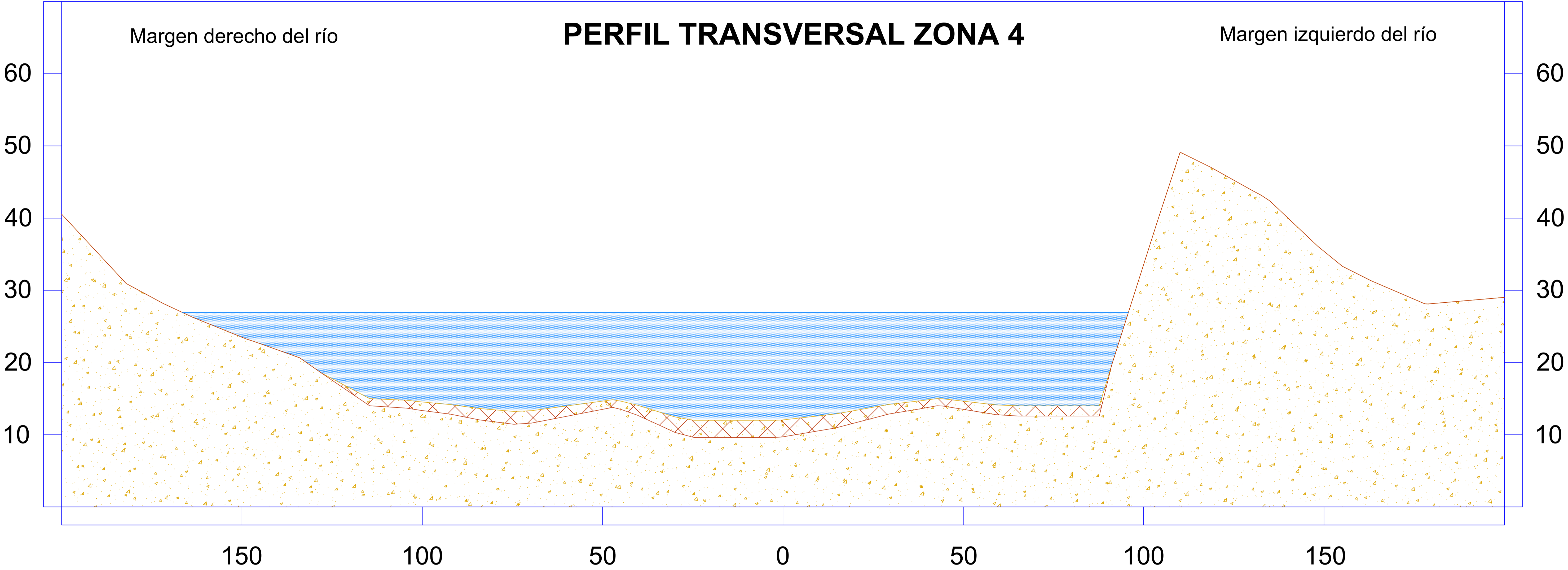


ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
<small>PROYECTO:</small>			
DISEÑO INTEGRAL DE SOLUCIONES PARA MÁRGENES INESTABLES DEL RÍO DAULE (PRESA DAULE PERIPA A BALZAR)			
<small>CONTENIDO:</small>			
PERFILES TRANSVERSALES DE SOCAVACIÓN			
<small>Coordinador de Materia Integradora:</small>	<small>Estudiantes:</small>	<small>Fecha de entrega:</small>	
MSc. Ingrid Orta	Carlos Alejandro Macias Loor	23 de enero, 2026	
<small>Tutor de Área de conocimiento:</small>	Daniel Rodríguez Berrezueta	<small>Lamina:</small>	<small>Escala:</small>
P.h.D. Mijail Arias		3/10	1.8 : 1

PERFIL TRANSVERSAL ZONA 4

Margen derecho del río

Margen izquierdo del río



Agua

Perfil Original

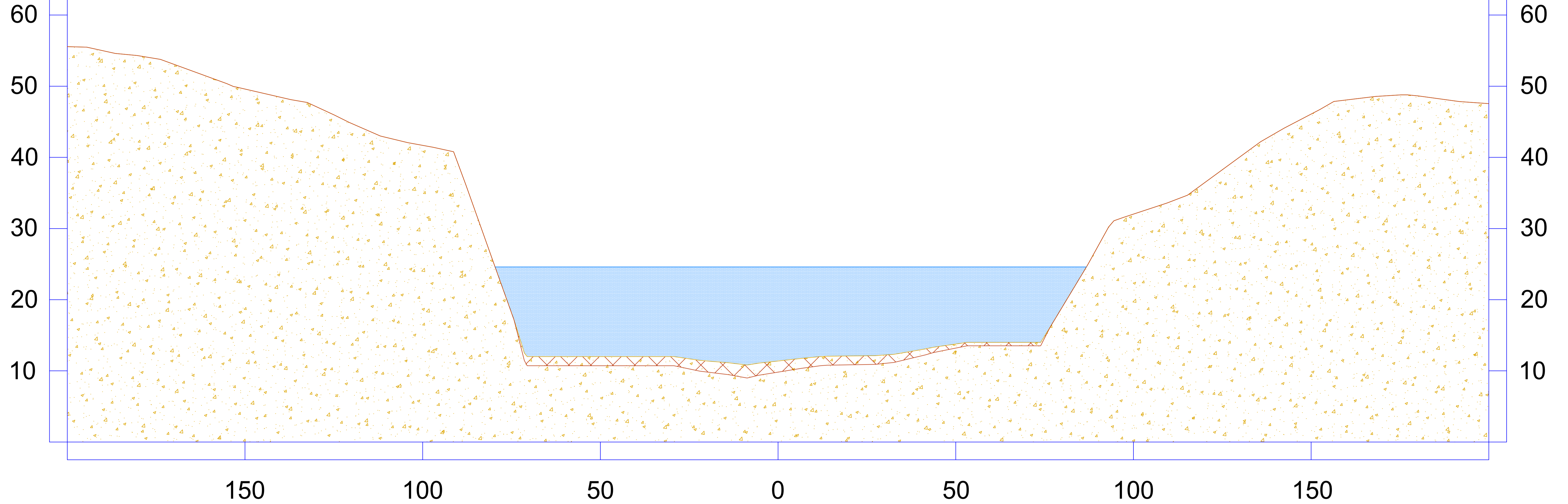
Socavación

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
PROYECTO:			
DISEÑO INTEGRAL DE SOLUCIONES PARA MÁRGENES INESTABLES DEL RÍO DAULE (PRESA DAULE PERIPA A BALZAR)			
CONTENIDO:			
PERFILES TRANSVERSALES DE SOCACACIÓN			
Coordinador de Materia Integradora:	Estudiantes:	Fecha de entrega:	
MSc. Ingrid Orta	Carlos Alejandro Macias Loor	23 de enero, 2026	
Tutor de Área de conocimiento:	Daniel Rodríguez Berrezueta	Lamina:	Escala:
P.h.D. Mijail Arias		4/10	1.8 : 1

PERFIL TRANSVERSAL ZONA 5

Margen derecho del río

Margen izquierdo del río

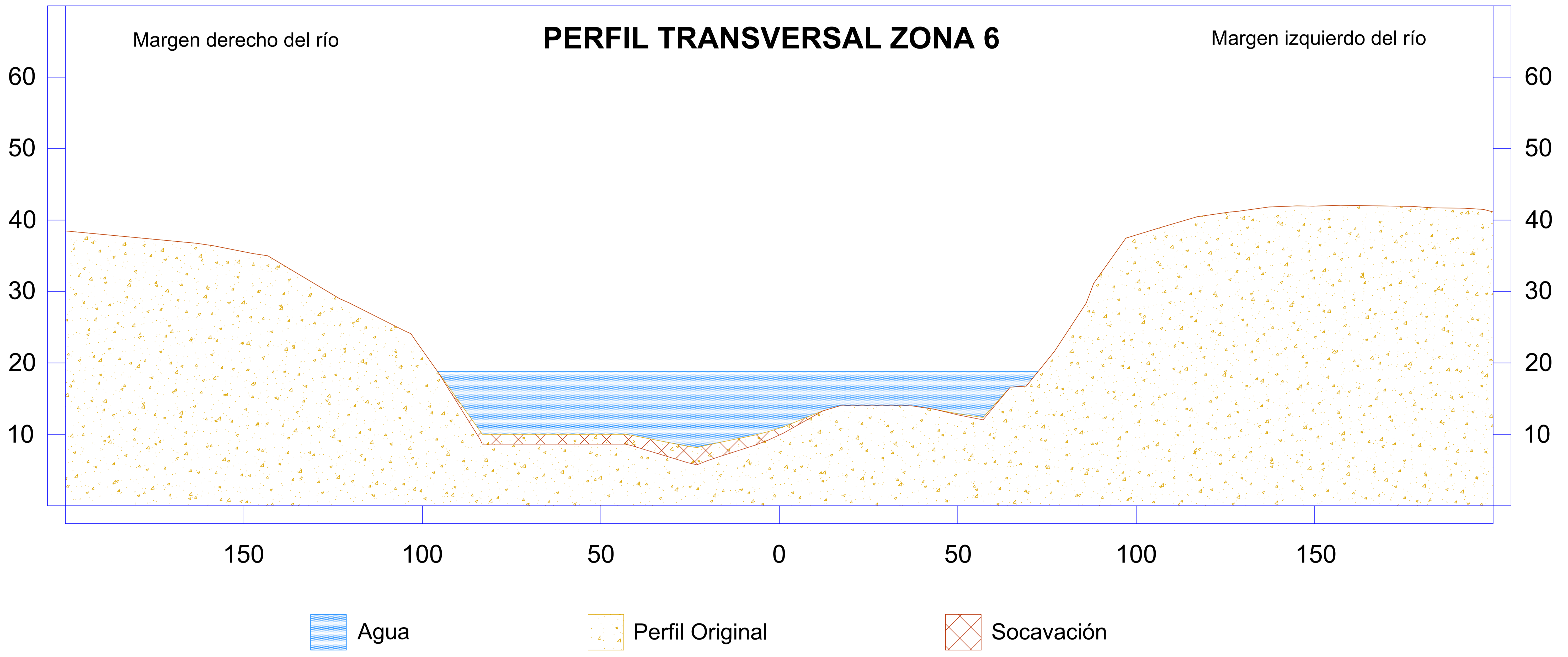


Agua

Perfil Original

Socavación

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
PROYECTO: DISEÑO INTEGRAL DE SOLUCIONES PARA MÁRGENES INESTABLES DEL RÍO DAULE (PRESA DAULE PERIPA A BALZAR)			
CONTENIDO: PERFILES TRANSVERSALES DE SOCAVACIÓN			
Coordinador de Materia Integradora: MSc. Ingrid Orta	Estudiantes: Carlos Alejandro Macias Loor	Fecha de entrega: 23 de enero, 2026	
Tutor de Área de conocimiento: P.h.D. Mijail Arias	Daniel Rodríguez Berrezueta	Lamina: 5/10	Escala: 1.8 : 1

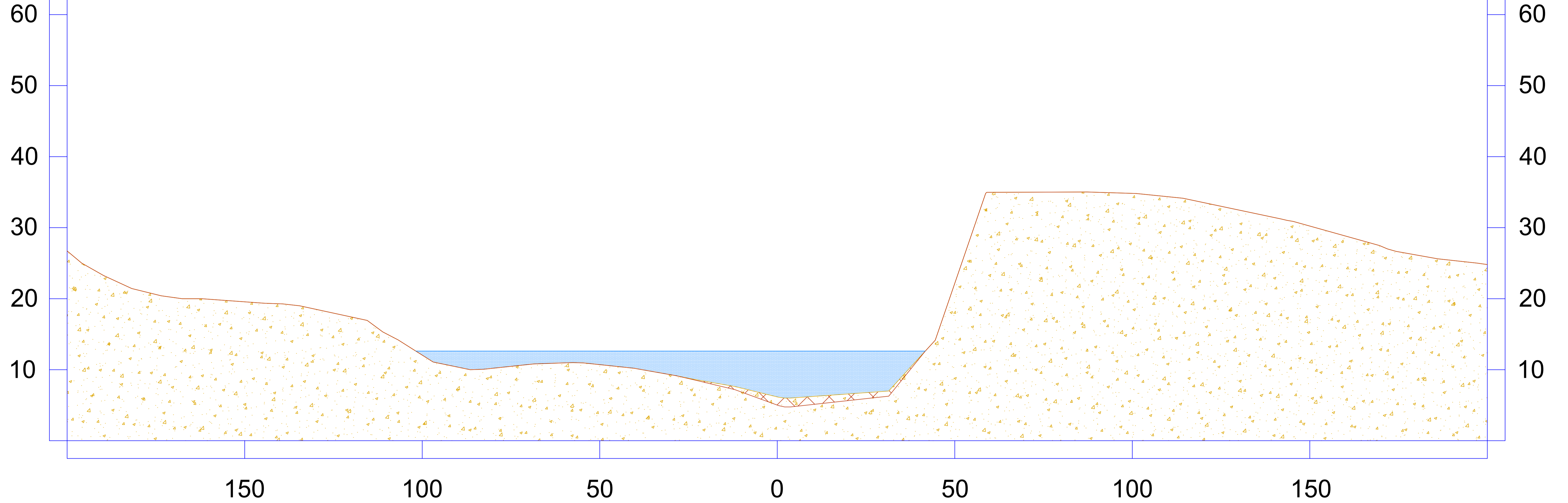


ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
<small>PROYECTO:</small>			
DISEÑO INTEGRAL DE SOLUCIONES PARA MÁRGENES INESTABLES DEL RÍO DAULE (PRESA DAULE PERIPA A BALZAR)			
<small>CONTENIDO:</small>			
PERFILES TRANSVERSALES DE SOCAVACIÓN			
<small>Coordinador de Materia Integradora:</small>	<small>Estudiantes:</small>	<small>Fecha de entrega:</small>	
MSc. Ingrid Orta	Carlos Alejandro Macias Loor	23 de enero, 2026	
<small>Tutor de Área de conocimiento:</small>	Daniel Rodríguez Berrezueta	<small>Lamina:</small>	<small>Escala:</small>
P.h.D. Mijail Arias		6/10	1.8 : 1

PERFIL TRANSVERSAL ZONA 7

Margen derecho del río

Margen izquierdo del río



Agua

Perfil Original

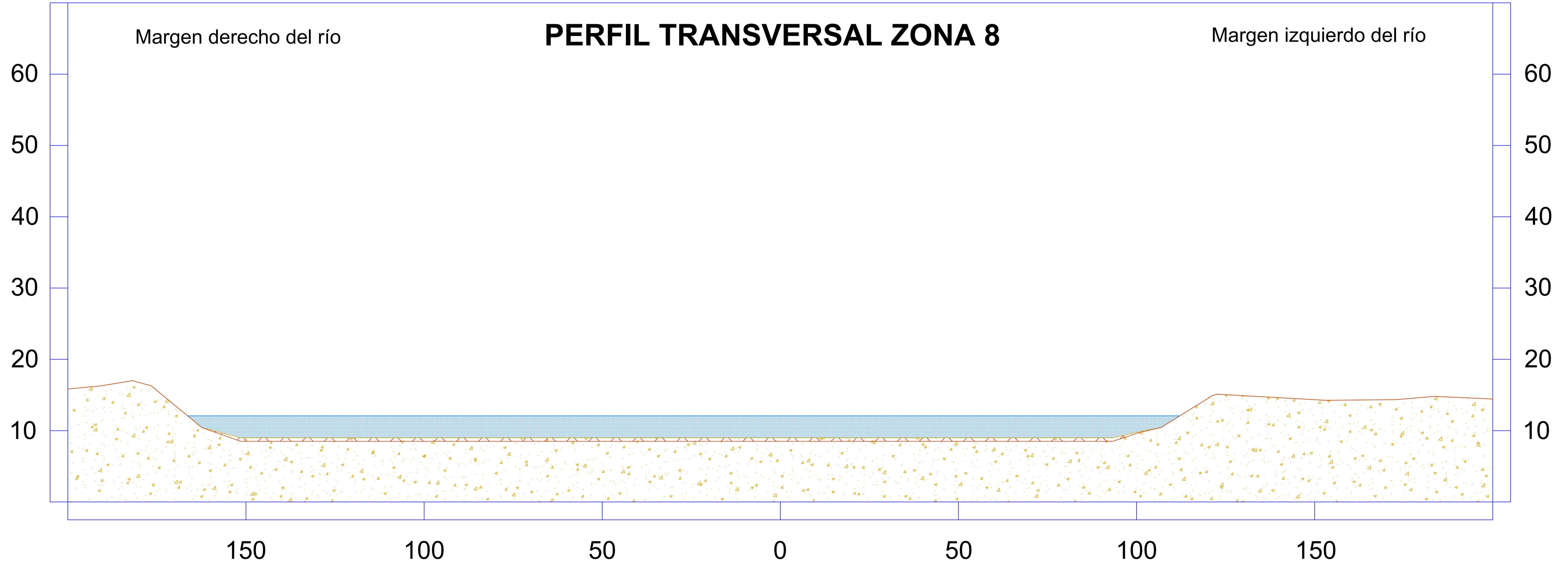
Socavación

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
PROYECTO:			
DISEÑO INTEGRAL DE SOLUCIONES PARA MÁRGENES INESTABLES DEL RÍO DAULE (PRESA DAULE PERIPA A BALZAR)			
CONTENIDO:			
PERFILES TRANSVERSALES DE SOCACACIÓN			
Coordinador de Materia Integradora:	Estudiantes:	Fecha de entrega:	
MSc. Ingrid Orta	Carlos Alejandro Macias Loor	23 de enero, 2026	
Tutor de Área de conocimiento:	Daniel Rodríguez Berrezueta	Lamina:	Escala:
P.h.D. Mijail Arias		7/10	1.8 : 1

PERFIL TRANSVERSAL ZONA 8

Margen derecho del río

Margen izquierdo del río

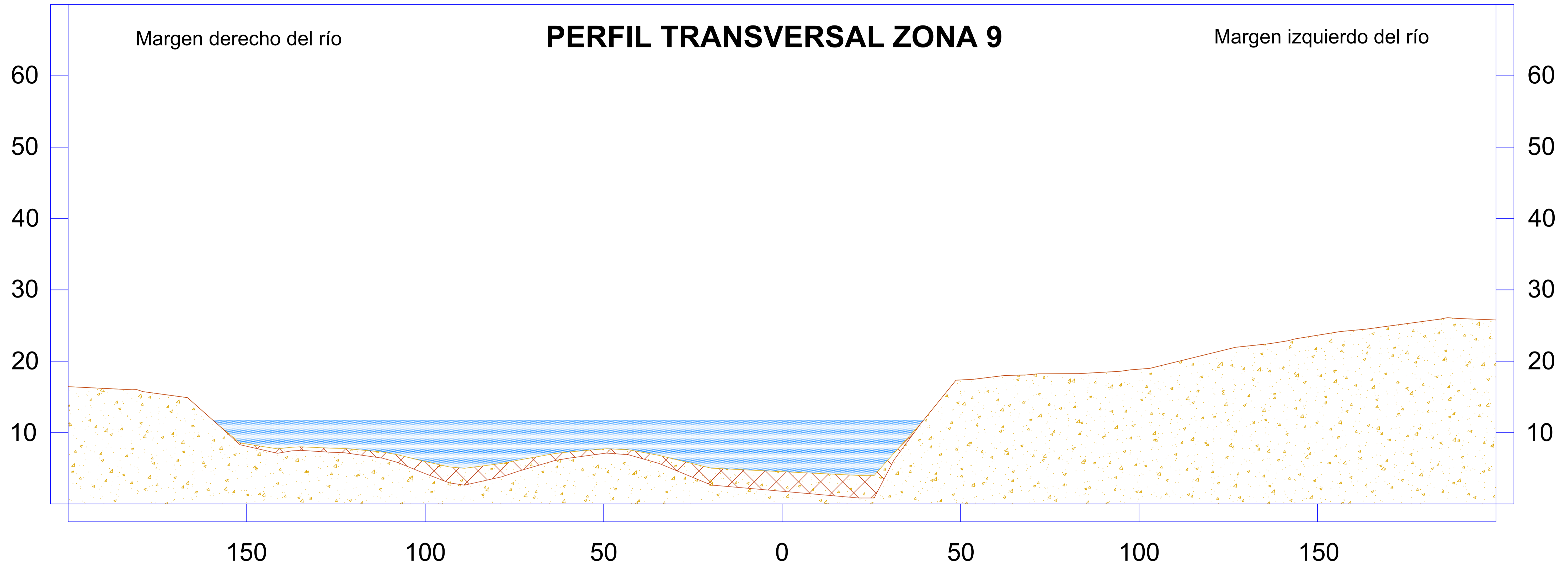


Agua

Perfil Original

Socavación

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
PROYECTO:			
DISEÑO INTEGRAL DE SOLUCIONES PARA MÁRGENES INESTABLES DEL RÍO DAULE (PRESA DAULE PERIPA A BALZAR)			
CONTENIDO:			
PERFILES TRANSVERSALES DE SOCAVACIÓN			
Coordinador de Materia Integradora:	Estudiantes:	Fecha de entrega:	
MSc. Ingrid Orta	Carlos Alejandro Macias Loor	23 de enero, 2026	
Tutor de Área de conocimiento:	Daniel Rodríguez Berrezueta	Lamina:	Escala:
P.h.D. Mijail Arias		8/10	1.8 : 1



Agua

Perfil Original

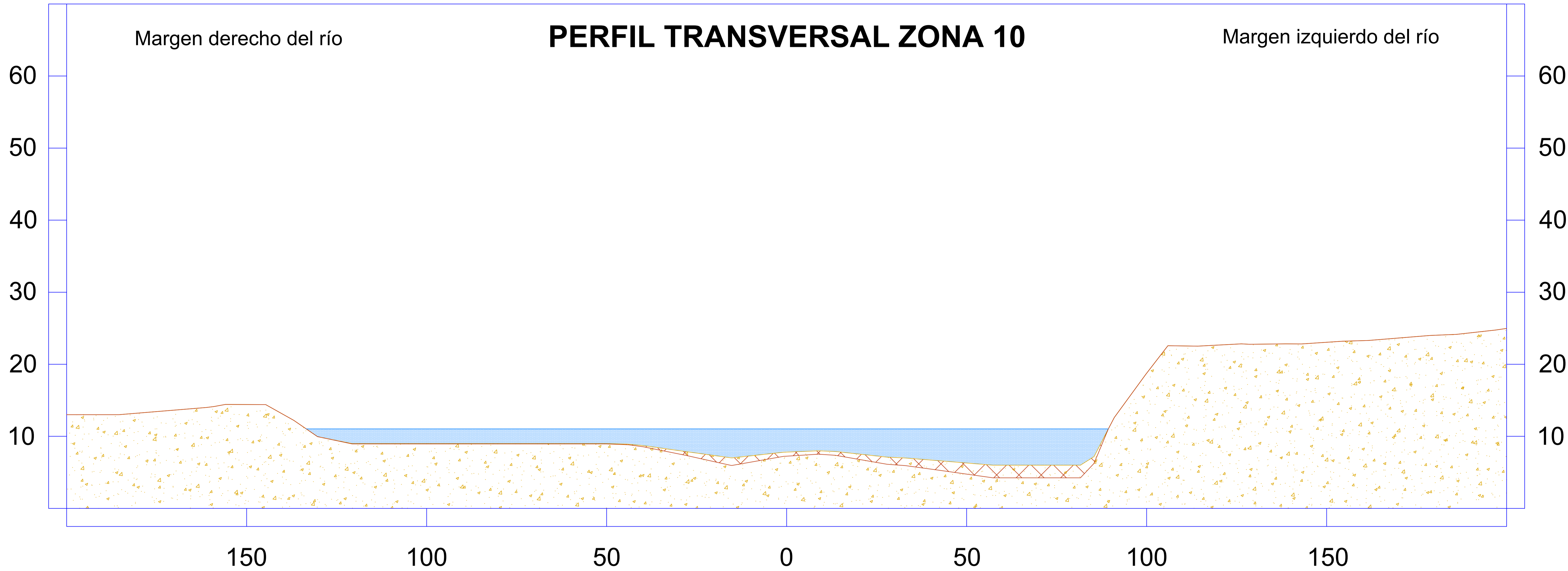
Socavación

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
<small>PROYECTO:</small>			
DISEÑO INTEGRAL DE SOLUCIONES PARA MÁRGENES INESTABLES DEL RÍO DAULE (PRESA DAULE PERIPA A BALZAR)			
<small>CONTENIDO:</small>			
PERFILES TRANSVERSALES DE SOCAVACIÓN			
<small>Coordinador de Materia Integradora:</small>	<small>Estudiantes:</small>	<small>Fecha de entrega:</small>	
MSc. Ingrid Orta	Carlos Alejandro Macias Loor	23 de enero, 2026	
<small>Tutor de Área de conocimiento:</small>	Daniel Rodríguez Berrezueta	<small>Lamina:</small>	<small>Escala:</small>
P.h.D. Mijail Arias		9/10	1.8 : 1

PERFIL TRANSVERSAL ZONA 10

Margen derecho del río

Margen izquierdo del río

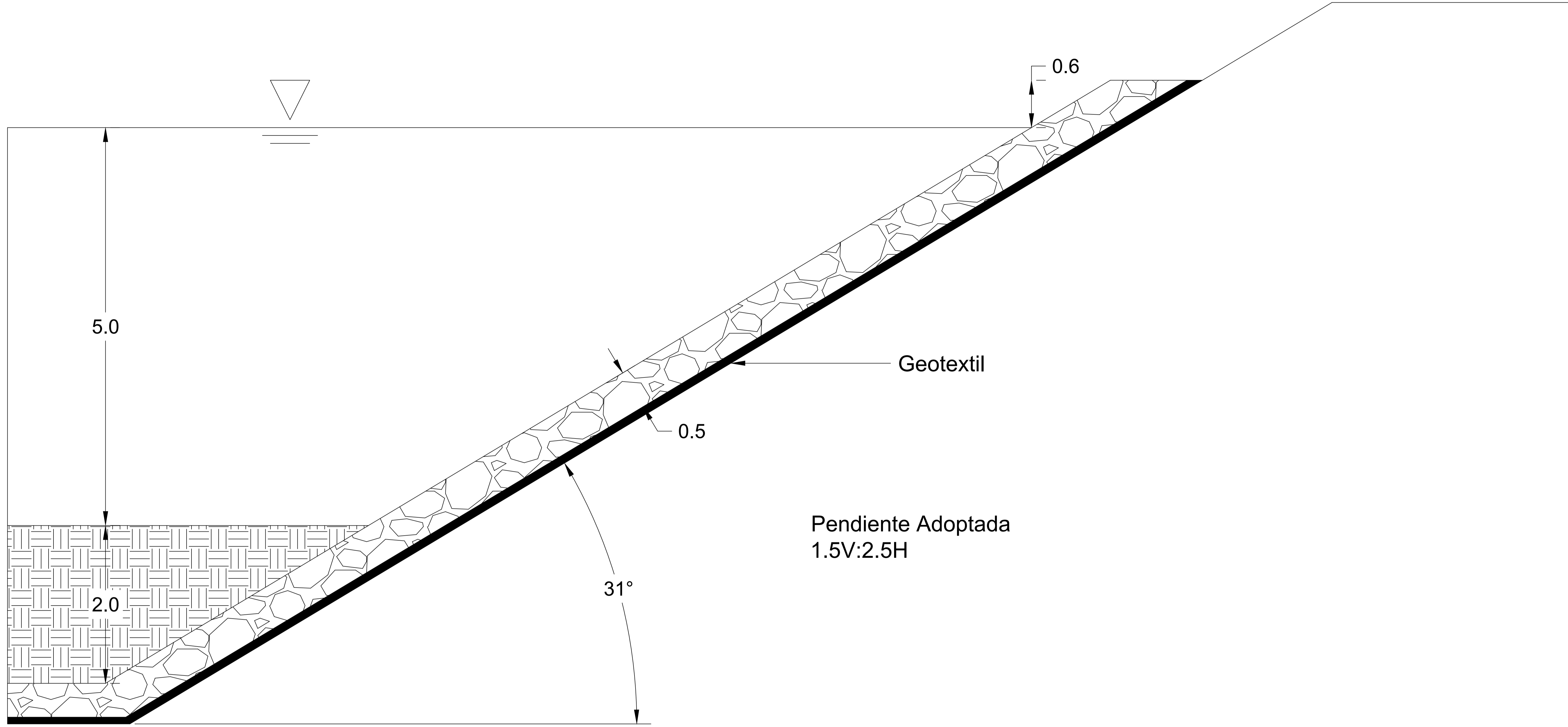


Agua

Perfil Original

Socavación

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
PROYECTO: DISEÑO INTEGRAL DE SOLUCIONES PARA MÁRGENES INESTABLES DEL RÍO DAULE (PRESA DAULE PERIPA A BALZAR)			
CONTENIDO: PERFILES TRANSVERSALES DE SOCAVACIÓN			
Coordinador de Materia Integradora: MSc. Ingrid Orta	Estudiantes: Carlos Alejandro Macias Loor	Fecha de entrega: 23 de enero, 2026	
Tutor de Área de conocimiento: P.h.D. Mijail Arias	Daniel Rodríguez Berrezueta	Lamina: 10/10	Escala: 1.8 : 1



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
PROYECTO:			
DISEÑO INTEGRAL DE SOLUCIONES PARA MÁRGENES INESTABLES DEL RÍO DAULE (PRESA DAULE PERIPA A BALZAR)			
CONTENIDO:			
PERFIL TRANSVERSAL DE ENROCADO			
Coordinador de Materia Integradora:	Estudiantes:	Fecha de entrega:	
MSc. Ingrid Orta	Carlos Alejandro Macias Loor	23 de enero, 2026	
Tutor de Área de conocimiento:	Daniel Rodríguez Berrezueta	Lamina:	Escala:
P.h.D. Mijail Arias		1/1	40 : 1