



Universidad
Católica
de Cuenca

JEFATURA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

Convocatoria: Fortalecimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Título del proyecto

CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA-HIDRÁULICA DE LA CUENCA DEL RÍO
PAUTE ETAPA II: APLICACIÓN DE MODELOS HIDRODINÁMICOS
TRIDIMENSIONALES

Carrera(s): INGENIERÍA AMBIENTAL, INGENIERÍA CIVIL,

Director del Proyecto:

SANTIAGO AURELIO OCHOA GARCIA; 0104158142; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA

Colaboradores del Proyecto

CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS; 0302013578; INGENIERIA AMBIENTAL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA.

RUTH MARIELA CORONEL ALVARADO; 0301165007; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA.

PAOLA VERONICA DELGADO GARZON; 0103801973; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA.

DIEGO FERNANDO CORONEL SACOTO; 0102715430; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA.

Código de Proyecto: PICODS21-33

Julio de 2022

TABLA DE CONTENIDOS

DATOS GENERALES DEL PROYECTO	3
1. TÍTULO	3
2. CARRERAS INVOLUCRADAS – PROGRAMAS DE POSGRADOS	3
INVESTIGADORES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO	3
3. PERSONAL DEL PROYECTO – DIRECTOR DEL PROYECTO	3
4. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA	4
5. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES EXTERNOS.....	6
ESTUDIANTES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO.....	7
6. PERSONAL DEL PROYECTO – ESTUDIANTES	7
CENTRO DE INVESTIGACIÓN INVOLUCRADOS Y BENEFICIARIOS.....	8
7. LABORATORIO DEL CIITT(CENTRO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA) QUE SE ANCLA EL PROYECTO	8
8. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL	8
9. SUB LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL	8
10. CAMPO, DISCIPLINA Y SUBDISCIPLINA UNESCO	9
11. PROGRAMA:.....	9
12. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS) QUE IMPULSA EL PROYECTO.....	9
13. TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	9
FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO.....	9
16. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	9
DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA	11
17. RESUMEN DEL PROYECTO	11
18. PALARAS CLAVES	11
19. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	11
20. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	12
21. OBJETIVOS	13
22. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
23. MARCO METODOLÓGICO	14
IMPACTO DEL PROYECTO	14
24. RESULTADOS ESPERADOS DEL PROYECTO.....	14
25. TRANSFERENCIA Y DIFUSIÓN DE RESULTADOS	15
26. REQUIERE ALGÚN AVAL ESPECIAL, PERMISO DEL COMITÉ DE BIOÉTICA O DEL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA, DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE U OTRO.	15
27. CONSIDERACIONES ÉTICAS DE LA PROPUESTA.....	15
28. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
FIRMA DE RESPONSABILIDAD.....	18
ANEXOS	19

DATOS GENERALES DEL PROYECTO

1. TÍTULO
CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA-HIDRÁULICA DE LA CUENCA DEL RÍO PAUTE ETAPA II: APLICACIÓN DE MODELOS HIDRODINÁMICOS TRIDIMENSIONALES
2. CARRERAS INVOLUCRADAS – PROGRAMAS DE POSGRADOS
INGENIERÍA AMBIENTAL, INGENIERÍA CIVIL,

INVESTIGADORES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

3. PERSONAL DEL PROYECTO – DIRECTOR DEL PROYECTO	
Función en el proyecto	DIRECTOR DEL PROYECTO
Nombre, Cédula; Carrera; Unidad Académica; Sede o Extensión	
SANTIAGO AURELIO OCHOA GARCIA; 0104158142; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA	
3.1. Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:	
Título del artículo,; revista; ISSN; volumen; número; año; DOI; cuartil	
APPLICATION OF A SIMPLIFIED METHODOLOGY TO ESTIMATE RESERVOIR CAPACITY CURVES; REVISTA DE TELEDETECCION; 1133-0953; 58; S/N; 2021; https://doi.org/10.4995/raet.2021.15303 ; Q2.	
TEMPORAL EVOLUTION OF HYDROLOGICAL DROUGHT IN ARGENTINA AND ITS RELATIONSHIP WITH MACROCLIMATIC INDICATORS; TECNOLOGIA Y CIENCIAS DEL AGUA; 2007-2422; 9; 5; 2018; https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-05-01 ; Q3.	
ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO HIDRODINÁMICO TRIDIMENSIONAL AL FLUJO DE UN CAUCE NATURAL; INGENIERIA DEL AGUA; 1134-2196; 21; 2; 2017; https://doi.org/10.4995/ia.2017.6885 ; S/Q.	
3.2. Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.	
Título del libro o capítulo de libro; editorial; ISBN; número; año; revisión de pares (SI-NO)	

3.3. Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:

Nombre del proyecto; Institución; Monto financiado; fecha de inicio; fecha de culminación.

CARACTERIZACION HIDROLOGICA-HIDRAULICA DE LA CUENCA DEL RIO PAUTE. ETAPA I: GESTION DE INFORMACION Y MODELACION NUMERICA; UCACUE; 5000; 01/03/2021; 01/09/2022.

SIMULACION HIDRODINAMICA TRIDIMENSIONAL CON PROCESOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN UN CAUCE NATURAL; SECRETARIA DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA; 24000; 01/08/2013; 01/08/2018.

4. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Función en el proyecto

COLABORADORES UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
(UCACUE)

Nombre, Cédula; Carrera; Unidad Académica; Sede o Extensión

CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS; 0302013578; INGENIERIA AMBIENTAL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA.

RUTH MARIELA CORONEL ALVARADO; 0301165007; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA.

PAOLA VERONICA DELGADO GARZON; 0103801973; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA.

DIEGO FERNANDO CORONEL SACOTO; 0102715430; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA.

4.1. Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:

Título del artículo,; revista; ISSN; volumen; número; año; DOI; cuartil

CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS; PARAMO TO PASTURE CONVERSION IN A MOUNTAIN WATERSHED: EFFECTS ON WATER QUALITY AND QUANTITY; MOUNTAIN RESEARCH AND DEVELOPMENT; 0276-4741; 41; 4; 2021; 10.1659/MRD-JOURNAL-D-21-00026.1; Q2.

CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS; ANALYSIS OF A HIGH ANDEAN RIVERS BEHAVIOR AT LOADS OF ORGANIC MATTER THROUGH THE USE OF MATHEMATICAL MODELS WITH EXPERIMENTALLY DETERMINED KINETIC RATES; INTERNATIONAL JOURNAL OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND PLANNING; 1743-7601; 16; 4; 2021; 10.18280/ijstdp.160407; Q3.

CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS; MACHINE-LEARNING METHODS FOR HYDROLOGICAL IMPUTATION DATA: ANALYSIS OF THE GOODNESS OF FIT OF THE MODEL IN HYDROGRAPHIC SYSTEMS OF THE PACIFIC - ECUADOR; REVISTA AMBIENTE E AGUA; 1980-993X; 16; 3; 2021; 10.4136/ambi-agua.2708; Q3.

CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS; ANALISIS DE LA INFLUENCIA DE LA ALTITUD EN LOS EVENTOS DE MÁXIMA PRECIPITACIÓN EN UNA CUENCA DEL PACÍFICO: SU TENDENCIA Y VARIABILIDAD; INFORMACION TECNOLOGICA; 0718-0764; 32; 6; 2021; 10.4067/S0718-07642021000600003; Q2.

RUTH MARIELA CORONEL ALVARADO; LA UVE DE GOWIN COMO ESTRATEGIA INSTRUCCIONAL PARA REALIZAR PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE FÍSICA EN LA UNIVERSIDAD DE CUENCA; PRO SCIENCES: REVISTA DE PRODUCCION, CIENCIAS E INVESTIGACION; 2588-1000; 4; 37; 2020; doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss37.2020pp85-96; S/Q.

RUTH MARIELA CORONEL ALVARADO; UNA EXPERIENCIA DIDACTICA DEL USO DE SMARTPHONES EN UNA PRACTICA DE LABORATORIO DE FISICA; REVISTA DE PRODUCCION, CIENCIAS E INVESTIGACION; 2588-1000; 4; 35; 2020; doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss35.2020pp16-23; S/Q.

DIEGO FERNANDO CORONEL SACOTO; APLICACION DE LA METODOLOGIA DE LA GESTION BIM EN EL CANAL DE CONDUCCION DE AGUA DEL SISTEMA DE RIEGO CHICTICAY - PAUTE; CONCIENCIA DIGITAL; 2600-5859; 4; 3; 2021; 10.33262/concienciadigital.v4i3.1761; S/Q.

DIEGO FERNANDO CORONEL SACOTO; ANALISIS DEL CICLO DE VIDA APLICADO PARA LA EVALUACION AMBIENTAL EN LA REUTILIZACION DEL PAVIMENTO RIGIDO. CASO DE ESTUDIO VIA CUENCA - GIRON - SANTA ISABEL; CONCIENCIA DIGITAL; 2600-5859; 4; 4; 2021; 10.33262/concienciadigital.v4i4.1.1930; S/Q.

4.2. Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.

Título del libro o capítulo de libro; editorial; ISBN; número; año; revisión de pares (SI-NO)

CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS; USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL CON MAQUINAS DE APRENDIZAJE EN LA CONSTRUCCION DE SISTEMAS EXPERTOS PREDICTIVOS APLICADOS AL AMBITO EDUCATIVO EN LA INGENIERIA; DYKINSON S.L; 978-84-1377-173-1; S/N; SI.

CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS; EN TORNO AL JULIAN MATADERO: INUNDACIONES Y PATRIMONIO CULTURAL; EDITORIAL UNIVERSITARIA CATÓLICA - EDUNICA; 978-9942-27-103-7; S/N; 2021; SI.

4.3. Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:

Nombre del proyecto; Institución; Monto financiado; fecha de inicio; fecha de culminación.

CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS; PLANTA PILOTO DE SANEAMIENTO AMBIENTAL Y RESTAURACION DE CUERPOS HIDRICOS EN LA CIUDAD DE CUENCA; UCACUE/CGA; 8500; 01/03/2021; 01/07/2022.

CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS; EVALUACION DE LOS EFECTOS DE LAS ACTIVIDADES SOCIOECONOMICAS EN EL CAMBIO DEL USO DEL SUELO Y DEL CAMBIO CLIMATICO EN LAS AMENAZAS A INUNDACIONES Y SEQUIAS EN LA CUENCA DEL RIO TOMBAMBA; UCACUE/UC/UDA/CEDIA; 115000; 01/11/2018; 01/11/2019.

CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS; ESTUDIO MORFOMETRICO E HIDROQUIMICO DE LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS PERTENECIENTES A LA VERTIENTE DEL PACIFICO. ECUADOR; UCACUE/CEHIUMA; 93050; 01/03/2018; 01/03/2020.

CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS; CARACTERIZACION HIDROLOGICA-HIDRAULICA DE LA CUENCA DEL RIO PAUTE. ETAPA I: GESTION DE INFORMACION Y MODELACION NUMERICA; UCACUE; 5000; 01/03/2021; 01/09/2022.

RUTH MARIELA CORONEL ALVARADO; CARACTERIZACION HIDROLOGICA-HIDRAULICA DE LA CUENCA DEL RIO PAUTE. ETAPA I: GESTION DE INFORMACION Y MODELACION NUMERICA; UCACUE; 5000; 01/03/2021; 01/09/2022.

PAOLA VERONICA DELGADO GARZON CARACTERIZACION HIDROLOGICA-HIDRAULICA DE LA CUENCA DEL RIO PAUTE. ETAPA I: GESTION DE INFORMACION Y MODELACION NUMERICA; UCACUE; 5000; 01/03/2021; 01/09/2022.

DIEGO FERNANDO CORONEL SACOTO; CARACTERIZACION HIDROLOGICA-HIDRAULICA DE LA CUENCA DEL RIO PAUTE. ETAPA I: GESTION DE INFORMACION Y MODELACION NUMERICA; UCACUE; 5000; 01/03/2021; 01/09/2022.

5. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES EXTERNOS

Función en el proyecto	COLABORADORES EXTERNOS
-------------------------------	------------------------

Nombre; Institución

5.1. Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:

Título del artículo; revista; ISSN; volumen; número; año; DOI; cuartil

5.2. Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.

Título del libro o capítulo de libro; editorial; ISBN; número; año; revisión de pares (SI-NO)

5.3. Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:

Nombre del proyecto; Institución; Monto financiado; fecha de inicio; fecha de culminación.

ESTUDIANTES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

6. PERSONAL DEL PROYECTO – ESTUDIANTES

Función en el proyecto

ESTUDIANTES COLABORADORES EN EL PROYECTO

Nombre; Cédula; Carrera; Unidad Académica; Sede o extensión; Práctica Pre profesional o Investigación Formativa.

CORONEL ALVARADO RUTH MARIELA; 0301165007; MAESTRIA EN MATEMATICA APLICADA; UNIVERSIDAD DEL AZUAY, TESIS DE GRADUACION.

MONTESINOS TOBAR BOLIVAR ANDRES; 0103313359; MAESTRIA EN HIDROSANITARIA; UNIVERSIDAD DEL AZUAY, TESIS DE GRADUACION.

AVECILLAS DIAZ ROLANDO XAVIER; 0605694843; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA; PRACTICA PREPROFECIONAL.

AVILA JARA JUAN MANUEL; 1401330772; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA; PRACTICA PREPROFECIONAL.

CABRERA ORDOÑEZ DARWIN ISRAEL; 1150329280; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA; PRACTICA PREPROFECIONAL.

CABRERA RODRIGUEZ JHONY JAVIER; 1400985337; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA; PRACTICA PREPROFECIONAL.

ESPINOZA MOLINA CRISTIAN MARCELO; 0302689880; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA; PRACTICA PREPROFECIONAL.

GONZALEZ ROJAS FELIPE EDUARDO; 0302900048; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA; PRACTICA PREPROFECIONAL.

GONZALEZ SILVA RICHARD ELIAN; 1150502654; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA; PRACTICA PREPROFECIONAL.

IÑIGUEZ ALVAREZ MICHELLE JANINA; 0107079360; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA; PRACTICA PREPROFECIONAL.

MONTENEGRO PALACIOS DAVID HERNAN; 0107138786; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA; PRACTICA PREPROFECIONAL.

MOROCHO MINCHALA ANGELO RAFAEL; 0106516735; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA; PRACTICA PREPROFECIONAL.

PAREDES PULLA DIEGO ESTEBAN; 0150507796; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA; PRACTICA PREPROFECIONAL.

QUITO PERALTA JENNIFER SAMANTHA; 0106328255; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA; PRACTICA PREPROFECIONAL.

RUIZ GARCIA DARWIN GEOVANNY; 0107625691; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA; PRACTICA PREPROFECIONAL.

SALINAS VARGAS PAUL ISRAEL; 0107370058; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA; PRACTICA PREPROFECIONAL.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN INVOLUCRADOS Y BENEFICIARIOS

7. LABORATORIO DEL CIITT(CENTRO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA) QUE SE ANCLA EL PROYECTO

LABORATORIO DE HYDROLAB - CIITT,

8. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL

Para información sobre las líneas de investigación dirigirse al enlace [Líneas y Ámbitos de Investigación Institucionales](#),

Energía eléctrica y tecnologías de la información para la innovación y el desarrollo sostenible

9. SUB LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL

Modelado, Automatización y Control

10. CAMPO, DISCIPLINA Y SUBDISCIPLINA UNESCO					
Código del campo y de la disciplina según UNESCO en el enlace SKOS					
10.1.	Campo	25	10.2.	Disciplina	2508
				10.3.	Sub disciplina
					250801
11. PROGRAMA:					
(En caso de que el proyecto sea parte de un programa)					
12. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS) QUE IMPULSA EL PROYECTO					
7. Energía asequible y no contaminante, 12. Producción y consumo responsable,					
13. TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO					
Duración del proyecto en meses				12	
FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO					
14. Monto total del financiamiento UCACUE				\$ 20.000,00	
15. Monto total del financiamiento EXTERNO					

16. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO
<p>En el desarrollo de aprovechamientos del recurso hídrico, normalmente proyectados con grandes obras hidráulicas (por ejemplo, grandes presas para regulación) se presenta una alteración al régimen de flujo, que normalmente se encontraba en estado de equilibrio, procesos que incrementarán la erosión sobre diferentes estructuras por el aumento en las velocidades turbulentas del flujo y por los cambios permanentes en las tasas de transporte de partículas. Tal es el caso de la presa Mazar, que sirve como obra reguladora de los caudales sólidos y líquidos provenientes de la cuenca del río Paute, donde se han observado procesos erosivos de gran magnitud en las obras ubicadas en los alrededores de la confluencia del vertedero de excesos de la presa con el río Mazar que incluye su cuenco amortiguador; evidenciándose deslizamientos en los taludes, erosión y sedimentación de materiales en el lecho fluvial.</p> <p>Para abordar la caracterización del comportamiento de estos flujos, se puede considerar la simulación numérica a través de modelos hidrodinámicos multidimensionales (1D, 2D y 3D) que han sido desarrollados e implementados para el cálculo de variables de flujo con transporte de sedimentos en diferentes obras civiles de importancia. La densidad espacial y temporal de los resultados simulados con un enfoque 3D que se plantea en este perfil de proyecto, permite analizar con detalle las zonas de flujo con esfuerzos cortantes significativos,</p>

resultados de utilidad para la toma de decisiones respecto a la estabilidad de los contornos laterales de cauces naturales y grandes obras hidráulicas.

DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

17. RESUMEN DEL PROYECTO

En el desarrollo de aprovechamientos del recurso hídrico, normalmente proyectados con grandes obras hidráulicas (por ejemplo, grandes presas para regulación) se presenta una alteración al régimen de flujo, que normalmente se encontraba en estado de equilibrio, procesos que incrementarán la erosión sobre diferentes estructuras por el aumento en las velocidades turbulentas del flujo y por los cambios permanentes en las tasas de transporte de partículas. Tal es el caso de la presa Mazar, que sirve como obra reguladora de los caudales sólidos y líquidos provenientes de la cuenca del río Paute, donde se han observado procesos erosivos de gran magnitud en las obras ubicadas en los alrededores de la confluencia del vertedero de excesos de la presa con el río Mazar que incluye su cuenco amortiguador; evidenciándose deslizamientos en los taludes, erosión y sedimentación de materiales en el lecho fluvial.

Para abordar la caracterización del comportamiento de estos flujos, se puede considerar la simulación numérica a través de modelos hidrodinámicos multidimensionales (1D, 2D y 3D) que han sido desarrollados e implementados para el cálculo de variables de flujo con transporte de sedimentos en diferentes obras civiles de importancia. La densidad espacial y temporal de los resultados simulados con un enfoque 3D que se plantea en este perfil de proyecto, permite analizar con detalle las zonas de flujo con esfuerzos cortantes significativos, resultados de utilidad para la toma de decisiones respecto a la estabilidad de los contornos laterales de cauces naturales y grandes obras hidráulicas.

18. PALARAS CLAVES

MODELOS TRIDIMENSIONALES, HIDRODINAMICA, MORFODINAMICA, SOFTWARE LIBRE.

19. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La erosión se presenta como uno de los principales procesos físicos que afectan la estabilidad de las laderas de un escurrimiento superficial. La causa de la erosión de un cauce se explica por la mayor capacidad de transporte de material sólido que adquiere la corriente al incrementarse el caudal y por consiguiente la “intensidad del flujo” expresada a través de la tensión de corte sobre el lecho (que es capaz de poner a las partículas en movimiento) y la velocidad del agua (que mantiene a las mismas en transporte). Este proceso se desarrolla en una escala de tiempo de corto plazo (asociada a una creciente) y su magnitud depende, tanto de las características hidrológicas de la cuenca (tamaño y función de respuesta), como de las características morfológicas y de transporte del flujo.

En el desarrollo de aprovechamientos del recurso hídrico proyectados con grandes obras hidráulicas, se presentan alteraciones al régimen natural del flujo que incrementarán los procesos erosivos sobre las estructuras de descarga debido al aumento en las velocidades turbulentas y a la variabilidad de las tasas de transporte de partículas. En el caso de la presa Mazar, que sirve como obra reguladora de los caudales sólidos y líquidos provenientes de la cuenca del río Paute, se han observado procesos erosivos de gran magnitud en las obras ubicadas en los alrededores de la confluencia del vertedero de excesos de la presa con el río Mazar que incluye su cuenco amortiguador; evidenciándose deslizamientos en los taludes, erosión y sedimentación de materiales en el lecho fluvial.

Por lo tanto, la principal pregunta de esta investigación es: ¿la solución del flujo con superficie libre y transporte de sedimentos puede ser resuelta numéricamente con un esquema de flujo tridimensional multifásico para verificar la estabilidad en estructuras hidráulicas? La fase líquida está formada por el agua, conducida en flujos con superficie libre y la fase sólida está compuesta por las partículas del sedimento transportado.

Establecer posibles medidas de protección ante la erosión regresiva ocasionada por el flujo de agua sobre las estructuras de disipación de la presa Mazar aportará a los ODS planteadas. Adicionalmente, se destaca la importancia de la aplicación de herramientas computacionales libres, de código abierto y de vanguardia, como lo son Delft3D y OPENFOAM, desarrollados para la simulación de flujos sobre estructuras hidráulicas que permitirán una mejor comprensión de la dinámica fluvial en el dominio considerado.

20. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Los modelos numéricos aplicados a canales, ríos y áreas costeras son herramientas de vanguardia para evaluar componentes de grandes obras hidráulicas y mejorar la comprensión de la interacción del flujo con las fronteras sólidas considerando el transporte de sedimentos. La construcción de obras y operaciones hidráulicas pueden cambiar el régimen y equilibrio en ríos, generando posibles problemas de erosión o deposición que puedan afectar el correcto desempeño de las obras implantadas a lo largo de la corriente, estos procesos hidrodinámicos pueden ser simulados con herramientas numéricas tridimensionales para obtener resultados realistas para la toma de decisiones.

En este sentido, la solución numérica de los procesos erosivos puede ser abordada con esquemas de flujo multifásico: la fase líquida representada por el agua y la fase sólida por las partículas del sedimento transportado. Por la alta complejidad de estos esquemas, la simulación numérica computacional es una herramienta que se presenta para una mejor comprensión de estos fenómenos físicos [8]. La solución de estas variables se alcanza con el uso de las leyes físicas de transporte de masa, momento y energía [4]; principios que se describen a continuación:

1. Ley de Conservación de la Masa o Ecuación de Continuidad:

$$D(m)/Dt = 0 \text{ (ec.1)}$$

En la ec.1, el término D/Dt representa la derivada material o substancial y m representa la masa del fluido.

2. Ley de conservación de la cantidad de movimiento (segunda ley de Newton):

$$D(mV)/Dt = F \text{ (ec.2)}$$

Donde en la ec.2, V es el vector de velocidad y F las fuerzas externas aplicadas sobre el fluido. V y F son vectores de tres componentes, que en el caso tridimensional coinciden con los ejes x , y y z .

3. Principio de Momento Angular:

$$D(r \times mV)/Dt = T \text{ (ec.3)}$$

Donde en la ec.3, r representa el vector de posición de una partícula del flujo y T el torque generado por las fuerzas dinámicas. La conservación del momento angular implica que la suma de los momentos de las fuerzas que actúan sobre un sistema es igual a la rapidez de cambio del momento angular. Esta relación es útil en algunos problemas que involucran rotación del fluido (vórtices).

4. Ley de conservación de la energía o primera ley de la termodinámica:

$$D(E)/Dt = D(J)/Dt + D(W)/Dt \text{ (ec.4)}$$

Donde en la ec.4, E es la energía de la masa m (tanto interna como mecánica), J es el calor (tanto el intercambiado con el medio como el producido por fricción o el asociado a la variación de volumen), y W es el trabajo desarrollado por las fuerzas externas.

5. Segunda ley de la termodinámica:

$$dS - dJ/T_{abs} \geq 0 \text{ (ec.5)}$$

Donde en la ec.5, dS es el cambio o diferencial de la entropía, dJ la variación del calor y T_{abs} la temperatura absoluta. La entropía S , indica el grado de desorden molecular de un sistema.

Teniendo en cuenta las propiedades del agua de un flujo Newtoniano incompresible en el que la masa no varía con respecto a la temperatura y tomando en cuenta que la variación del esfuerzo viscoso es linealmente proporcional a la tasa de deformación en la partícula de un fluido [16]; se pueden obtener las ecuaciones de Navier Stokes que gobiernan el movimiento de flujos de agua [9]:

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \text{ (ec.6)}$$

$$\partial \rho / \partial t + \nabla \cdot (\rho \mathbf{V} \mathbf{V}) = -\nabla p + \rho \mathbf{g} + \nabla \cdot (\mu \tau_{ij}) \text{ (ec.7)}$$

La ec.6 representa la conservación de la masa y de la ec.7, que es vectorial, se derivan las ecuaciones de cantidad de movimiento para los tres componentes de velocidad. En estas ecuaciones, t representa la escala de tiempo, p representa el campo de presiones, \mathbf{g} el vector de aceleraciones gravitatorias, τ_{ij} los esfuerzos cortantes correspondientes a los planos ij , ρ y μ representan la densidad y viscosidad dinámica del fluido.

Considerando las ec.6 y ec.7 de Navier-Stokes con un esquema de solución acorde al régimen turbulento de flujo, problemas prácticos de flujos con superficie libre pueden ser abordados a través de la mecánica de fluidos computacional (CFD). En la rama de la hidráulica fluvial, estos esquemas pueden ser considerados para la solución de flujos turbulentos con transporte de sedimentos y cambios morfológicos en el fondo del cauce.

En este sentido, un modelo de flujo con superficie libre puede ser resuelto con las ecuaciones de Navier Stokes promediadas por Reynolds con modelos de cierre de la turbulencia de dos ecuaciones ($K-\epsilon$) [5]. Los módulos de transporte de sedimentos están compuestos por modelos cuasi-empíricos de carga en suspensión y carga de fondo. El transporte de las partículas de sedimentos en suspensión puede ser simulado a través de la ecuación general de advección-difusión con expresiones empíricas que representan la velocidad vertical de caída de las partículas. La evolución de la morfología del cauce puede ser simulada a partir de la ecuación general del balance de masa. Metodologías empíricas para el cálculo de la carga de sedimento de fondo y la interacción con la carga en suspensión han sido implementadas en base a estudios realizados por Meyer-Peter y Müller [10], Einstein [1], Engelund y Fredsøe [2], van Rijn [18] o Wong y Parker [20]; por nombrar algunas metodologías.

Los esquemas de solución numérica tridimensional han sido validados para simular dominios experimentales, calculando las variables hidrodinámicas, de transporte de sedimentos y evolución de la morfología para diferentes condiciones en canales de laboratorio de flujo con superficie libre [12] [21] [22] [9] [3] [15] [17]. También, se reseña investigaciones de simulación hidrodinámica tridimensional con procesos de transporte de partículas y evolución de la morfología en dominios de prototipo, como lo son tramos de cauces naturales y estructuras hidráulicas [13] [11] [6] [7].

21. OBJETIVOS

Evaluar las condiciones de flujo en las estructuras de descarga de la presa Mazar en la cuenca del río Paute aplicando modelos hidrodinámicos tridimensionales de código libre y abierto.

22. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar las zonas vulnerables en el cuenco amortiguador de la presa Mazar por la interacción del flujo de los ríos Mazar y Paute en las estructuras de disipación.

2. Establecer medidas de protección en zonas y laderas que han sido identificadas como vulnerables de acuerdo a las simulaciones hidrodinámicas con transporte de sedimentos en el dominio del cuenco amortiguador de la presa Mazar.

3. Evaluar los resultados hidro morfológicos considerando los impactos causados por la adopción de medidas de protección y su variabilidad con respecto a las condiciones sin medidas de protección.

23. MARCO METODOLÓGICO

En base a la revisión de investigaciones previas en torno a la simulación numérica de la hidrodinámica fluvial con transporte de sedimentos en estructuras de regulación; a continuación, se describen los pasos metodológicos para alcanzar los principales resultados innovadores que se proponen en esta investigación:

- Se definirán las fronteras físicas del dominio de aplicación para el cálculo de las variables de flujo tridimensional con transporte de sedimentos. El dominio de estudio se encuentra ubicado al Sur-Este del Ecuador, en el límite de las provincias de Azuay y Cañar, en el punto de coordenadas referenciales UTM WGS 84 Z17S 764447E y 9712993N. La zona del cuenco amortiguador se encuentra ubicada al pie de la presa Mazar, en la confluencia del río Mazar con el río Paute. Como parte de la presa se encuentra un vertedero de evacuación ubicado en el estribo sur de la misma, el cual genera un salto hidráulico hacia el cuenco amortiguador.

- Se analizará y procesará la información hidrometeorológica, morfológica y de las estructuras hidráulicas de control (canales, embalses, etc.) en el dominio de estudio. En este sentido, será necesario consultar la disponibilidad de la información a las entidades públicas o privadas relacionadas al dominio y a la temática del proyecto (INAMHI, CELEC E.P.- Unidad de Negocio HIDROPAUTE, ETAPA); y una revisión de los estudios previos con temas relacionados a la temática y al área de influencia de la investigación.

- Se llevarán a cabo campañas de monitoreo y medición (batimetrías, levantamientos topográficos, aforos líquidos y sólidos de ríos), la información obtenida en las campañas de medición es fundamental para definir los modelos digitales del terreno en el proyecto, así como para los procesos de calibración y validación de los tramos considerados en los alrededores de la presa Mazar.

- Se discretizará el dominio espacial seleccionado para el cálculo de las variables de flujo tridimensional con transporte de sedimentos. El método de discretización debe reproducir con precisión el dominio espacial en mallas de cálculo tridimensionales, para implementar el esquema numérico que, en base a las ecuaciones de estado, deberá reproducir el comportamiento hidrodinámico y de transporte de sedimentos del dominio estudiado.

- Se validarán los resultados de la simulación numérica de las variables hidrodinámicas tridimensionales acopladas con procesos de transporte de sedimentos en el tramo seleccionado. Para validar los resultados será fundamental contar con los datos procesados de estudios previos y de las campañas de medición.

- Finalmente, se analizarán los resultados innovadores de las simulaciones tridimensionales de las estructuras hidráulicas de la presa Mazar, buscando evaluar las condiciones de estabilidad de las estructuras civiles e identificar posibles zonas de alto riesgo por potenciales inestabilidades/deslizamientos causados por la interacción del flujo con las fronteras sólidas de los modelos. Se plantea que los resultados obtenidos sean publicados en revistas de alto impacto internacionales.

IMPACTO DEL PROYECTO

24. RESULTADOS ESPERADOS DEL PROYECTO

En base a la aplicación de modelos hidrodinámicos tridimensionales de flujo con transporte de sedimentos se busca establecer un plan de acción que incluya medidas preventivas y correctivas para garantizar la estabilidad de taludes y laderas aleñadas a la presa del embalse Mazar.

Se plantea documentar los resultados innovadores de las simulaciones tridimensionales de las estructuras hidráulicas de la presa Mazar, buscando evaluar las condiciones de estabilidad de las estructuras civiles e identificar posibles zonas de alto riesgo por potenciales inestabilidades/deslizamientos causados por la interacción del flujo con las fronteras sólidas de los modelos. Se busca que los resultados obtenidos sean publicados en revistas de alto impacto internacionales.

25. TRANSFERENCIA Y DIFUSIÓN DE RESULTADOS

En la FASE I del proyecto, se alcanzó la difusión de resultados con las siguientes publicaciones en revistas con base de datos SCOPUS:

- 1) Ochoa-García S.A. 2021. Application of a simplified methodology to estimate reservoir capacity curves. Revista de Teledetección, 58, 105-118. <https://doi.org/10.4995/raet.2021.15303>
- 2) Ochoa-García S. A., Reyna T., García M., Heredia A., Días J. M. 2023. Analysis of the Bed Forms Simulated using the Three-dimensional Model SSIIM, Case of a Natural Shallow Water Channel, 14, 1 (Accepted). DOI: 10.24850/j-tyca-14-1-7

Adicionalmente, en el Fase I, se presentaron los siguientes trabajos en congresos nacionales e internacionales:

- 1) Ochoa-García S. A., Matovelle-Bustos C. M., Córdova-Gonzalez N. F. 2022. Evaluation of Operation and Climate Change Scenarios for Mazar and Amaluza Reservoirs. Proceedings of the 39th IAHR World Congress 19-24 June 2022 Granada, Spain.
- 2) Ochoa-García S. A., Matovelle-Bustos C. M., Guamán-Espejo B., Serpa-Torres S. 2022 (Accepted). Application of Two-Dimensional Hydrodynamic Models to Evaluate Flood Zones. Case of the Yanuncay River in the City of Cuenca, Ecuador. Ordenamiento territorial y gestión de riesgo, del Libro Tena, de la Colección Ciudades Ecuatorianas, que corresponde al IV Congreso Ecuatoriano de Estudios sobre la Ciudad Tena 2020.

Si bien, no se puede garantizar cuántos artículos (o capítulos de libro) se derivarán de los resultados obtenidos en el curso de un proyecto de investigación, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la Fase I del proyecto, la aspiración en la Fase II es poder publicar al menos dos artículos en revistas indexadas en Scopus o ISI Web of Science (que pertenezcan, como mínimo, al segundo cuartil, Q2), e incluso algún otro en el tercer cuartil (Q3).

Se consideran como revistas de interés las siguientes; 1) Hydrology and Earth System Sciences, 2) Journal of Hydrology: Regional Studies, 3) Alexandria Engineering Journal, 4) DYNA o 5) Tecnología y Ciencias del Agua (TyCA)

26. REQUIERE ALGÚN AVAL ESPECIAL, PERMISO DEL COMITÉ DE BIOÉTICA O DEL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA, DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE U OTRO.
NO
Justificación:

27. CONSIDERACIONES ÉTICAS DE LA PROPUESTA

La central hidroeléctrica Paute-Mazar se constituye como el primer elemento de aprovechamiento del complejo en cascada “Paute Integral”, que suministra energía eléctrica a todo el territorio ecuatoriano (aproximadamente el 30%

de la demanda en el país), con una capacidad instalada de 1757 MW. La presa Mazar está ubicada en las inmediaciones de la desembocadura del río Mazar, encontrándose en funcionamiento desde diciembre de 2010.

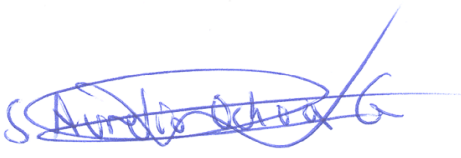

El tema de investigación planteado es de gran importancia para el Ecuador, debido a que la dinámica de sedimentación, arrastre de sedimentos y la influencia del flujo al pie de los taludes puede generar problemas en el cuenco amortiguador de la presa Mazar y en el río Paute en el trayecto de pie de presa hasta la cola del embalse Amaluza. A consecuencia de estos factores, se podrían producir cambios fluviomorfológicos considerables en el canal del río Paute, inestabilidades en las laderas adenañas al cauce e incremento de los sedimentos en el embalse de Amaluza que podrían afectar la producción eléctrica de este importante proyecto hidroeléctrico

28. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Einstein H. A. 1950. "The Bedload Function for Bedload Transportation in Open Channel Flows". U.S.D.A. Soil Conservation Service, 1026, pp. 1–71.
- [2] Engelund F., Fredsøe J. 1976. "A Sediment Transport Model for Straight Alluvial Channels". *Nordic Hydrology*, pp. 293–306.
- [3] Esmaili T. 2015. "Three-Dimensional Numerical Study on Free Flow Flushing for Enhancing the Efficiency of Sediment Management in Reservoirs". Thesis Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy. Kyoto University, Department of Urban Management, Graduate School of Engineering.
- [4] Fox R. W., McDonald A. T., Pritchard P. J. 2004. "Introductions to Fluid Mechanics". Sixth Edition. John Wiley & Sons, INC. United States of America.
- [5] García M. H., Niño Y. 2003. "Flow and Transport Equations in Surface Waters". CEE 498 Environmental Hydrodynamics. Spring Sem. United States of America.
- [6] Haun S., Dorfmann C., Harb. G. 2015. "3D Numerical Modelling of the Reservoir Flushing of the Bodendorf Reservoir, Austria". Proceedings of 2nd IAHR European Conference, Munich, Germany.
- [7] Hillebrand G., Klassen I., Olsen N. R. B. 2017. "3D CFD Modelling of Velocities and Sediment Transport in the Iffezheim Hydropower Reservoir". *Journal of Hydrology Research*, 48(1), pp. 147–159.
- [8] Ishii M., Hibiki T. 2006. "Thermo-fluid Dynamics of Two-Phase Flow". Springer. New York, USA.
- [9] Liu X., García M. H. 2008. "Numerical Simulation of Local Scour with Free Surface and Automatic Mesh Deformation". Vent Te Chow Hydrosystems Laboratory, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Illinois. United States of America.
- [10] Meyer-Peter E., Müller R. 1948. "Formulas for Bedload Transport". 2nd IAHR World Congress, Stockholm.
- [11] Nagata N., Hosoda T., Nakato T., Muramoto Y. 2005. "Three-Dimensional Numerical Model for Flow and Bed Deformation around River Hydraulic Structures". *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(12), pp. 1074–1087.
- [12] Odgaard J. A., Bergs M. 1988. "Flow Processes in a Curved Alluvial Channel". *Water Resources Research*, 24(1), pp. 45–56.
- [13] Olesen K. W. 1987. "Bed Topography in Shallow River Bends". Thesis Submitted for the Degree of Doctor of the Delft University of Technology. Department of Civil Engineering.
- [14] Organización de Naciones Unidas. 2015. "Decenio Internacional para la Acción 'El Agua Fuente de Vida' 2005-2015". Link: https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_and_energy.shtml
- [15] Ota K., Sato T., Nakagawa H. 2016. "3D Numerical Model of Sediment Transport Considering Transition from Bed-Load Motion to Suspension: Application to Local Scours Upstream of Cross-River Structure". *Journal of Japan Society of Civil Engineers (JSCE)*, pp. 173-180.
- [16] Pantón L. R. 2005. "Incompressible Flow". Third Edition. John Wiley & Sons, INC. United States of America.
- [17] Torok G. T., Baranya S., Ruther N. 2017. "3D CFD Modeling of Local Scouring, Bed Armoring and Sediment Deposition". MDPI: *Journal of Water*, 9(56), pp. 1–23.
- [18] Van Rijn L. 1984. "Sediment Transport Part i: Bed Load Transport". *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(10), pp.1431–1456.

- [19] Vanoni V. A. 1975. “Sedimentation Engineering”. Manuals and Reports on Engineering Practice-No. 54. American Society of Civil Engineers (ASCE).
- [20] Wong M., Parker G. 2006. “Flume Experiments with Tracer Stones under Bedload Transport”. River, Coastal, and Estuarine Morphodynamics. Taylor & Francis Group, London.
- [21] Wu W., Rodi W., Wenka T. 2000. “3D Numerical Modelling of Flow and Sediment Transport in Open Channels”. Journal of Hydraulic Engineering, 126(1), pp. 4–15.
- [22] Zeng J., Constantinescu G., Weber L. 2005. “A fully 3D Non-Hydrostatic Model for Prediction of Flow, Sediment Transport and Bed Morphology in Open Channels”. Civil & Environmental Engineering, IIHR – Hydrosience and Engineering, The University of Iowa, Stanley Hydraulics Laboratory, Iowa City, IA 52242.

FIRMA DE RESPONSABILIDAD

 <hr/> <p>DIRECTOR DEL PROYECTO: PICODS21-33 SANTIAGO AURELIO OCHOA GARCIA; 0104158142; INGENIERIA CIVIL; UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION; SEDE CUENCA</p>	 <hr/> <p>Ing. Javier Cabrera Mejía, PhD. JEFE DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN</p>
---	--

ANEXOS

Planilla de anexos del Proyecto

[[{"title": "Anexos", "comment": "Cronograma y Presupuesto", "size": "91.362", "name": "Anexos.xlsx", "filename": "fu_q4m2b39xfusycp7", "ext": ".xlsx"}]]
Número de Archivos: 1

Documento de contraparte firmado (Solo en caso de financiamiento externo)

Número de archivos:

Documentación adicional

Número de archivos: 0