

JEFATURA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

Título del Proyecto

Caracterización Hidrológica-Hidráulica de la Cuenca del Río Paute.
ETAPA I: Gestión de Información y Modelación Numérica

Carrera(s): INGENIERÍA AMBIENTAL, INGENIERÍA CIVIL,

Director del Proyecto:

SANTIAGO AURELIO OCHOA GARCÍA; 0104158142; INGENIERÍA CIVIL; UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN; MATRIZ

Colaboradores del Proyecto

Carlos Marcelo Matovelle Bustos; 0302013578; Ingeniería Ambiental; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Sandra Lucía Cobos Mora; 0104682067; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Ruth Mariela Coronel Alvarado; 0301165007; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Daniel Fabian Campos Vivar; 0102256302; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Paola Verónica Delgado Garzón; 0103801973; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Código de Proyecto: PICVII19-75

Cuenca, mayo de 2021

Versión 2.0

TABLA DE CONTENIDOS

A. DATOS GENERALES DEL PROYECTO	3
1. TÍTULO.....	3
2. CARRERAS	3
3. MATRIZ, SEDE O EXTENSIÓN	3
B. INVESTIGADORES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO	3
4. PERSONAL DEL PROYECTO – DIRECTOR DE L PROYECYO	3
4.1. <i>Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:</i>	3
4.2. <i>Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.</i>	3
4.3. <i>Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:</i>	3
5. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA.....	4
5.1. <i>Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:</i>	4
5.2. <i>Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.</i>	5
5.3. <i>Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:</i>	5
6. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES EXTERNOS	6
6.1. <i>Publicaciones con ISSN en los últimos 5 años de más alto nivel y cuartil de la revista:</i>	6
6.2. <i>Libros y capítulos de libro en los últimos 5 años.</i>	6
6.3. <i>Proyectos de Investigación desarrolladas en los últimos cinco años de mayor relevancia:</i>	6
C. ESTUDIANTES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO.....	6
7. PERSONAL DEL PROYECTO – ESTUDIANTES.....	6
D. CENTRO DE INVESTIGACIÓN INVOLUCRADOS Y BENEFICIARIOS.....	7
8. CENTRO Y GRUPO DE INVESTIGACIÓN	7
9. LÍNEA Y ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL.....	7
10. CAMPO, DISCIPLINA Y SUBDISCIPLINA UNESCO	8
11. PROGRAMA:	8
12. TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	8
13. FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO	8
14. REQUIERE AVAL Y/O PERMISO DEL COMITÉ DE BIOÉTICA Y EL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA.....	8
15. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	8
E. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....	9
16. RESUMEN DEL PROYECTO	9
17. PALBARAS CLAVES	9
18. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	9
19. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	10
20. OBJETIVOS	11
21. ESPECÍFICOS.....	12
22. MARCO METODOLÓGICO.....	12
F. IMPACTO DEL PROYECTO	12
23. CONSIDERACIONES ÉTICAS DE LA PROPUESTA.....	13
24. RESULTADOS ESPERADOS DEL PROYECTO	13
25. TRANSFERENCIA Y DIFUSIÓN DE RESULTADOS	13
26. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13
G. ANEXOS.....	15

A. DATOS GENERALES DEL PROYECTO

1. TÍTULO	
Caracterización Hidrológica-Hidráulica de la Cuenca del Río Paute. ETAPA I: Gestión de Información y Modelación Numérica	
2. CARRERAS	
INGENIERÍA AMBIENTAL, INGENIERÍA CIVIL,	
3. MATRIZ, SEDE O EXTENSIÓN	
MATRIZ CUENCA	

B. INVESTIGADORES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

4. PERSONAL DEL PROYECTO – DIRECTOR DE L PROYECYO	
Función en el proyecto	DIRECTOR DEL PROYECTO
Nombre, Cédula; Carrera; Unidad Académica; Sede o Extensión	
SANTIAGO AURELIO OCHOA GARCÍA; 0104158142; INGENIERÍA CIVIL; UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN; MATRIZ	
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	
Evolución temporal de las sequías hidrológicas en Argentina y su relación con indicadores macroclimáticos; Tecnología y Ciencias del Agua; 2007-2422; Vol. 9; Núm. 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; Ingeniería del Agua; 1886-4996; Vol. 21; Núm. 2; 2017; https://doi.org/10.4995/ia.2017.6885 ; 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)	
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.

Simulación Hidrodinámica Tridimensional con Procesos de Transporte de Sedimentos en un Cauce Natural; Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba; USD \$ 24000; Agosto 2013; Agosto 2018.

5. PERSONAL DEL PROYECTO – COLABORADORES UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Función en el proyecto	COLABORADORES UCACUE
------------------------	----------------------

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

Carlos Marcelo Matovelle Bustos; 0302013578; Ingeniería Ambiental; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Sandra Lucía Cobos Mora; 0104682067; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Ruth Mariela Coronel Alvarado; 0301165007; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Daniel Fabian Campos Vivar; 0102256302; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Paola Verónica Delgado Garzón; 0103801973; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Diego Fernando Coronel Sacoto; 010215430; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

Diego Aquiles Heras Benavides; 0103557518; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

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

Carlos Marcelo Matovelle Bustos; DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR WATER RESOURCE MANAGEMENT APPLIED TO ANDEAN SUPPLY MICRO-BASINS; WIT Transactions on Ecology and the Environment; 1743-3541; Vol 239; 2019; doi:10.2495/WS190061; S/Q.

Carlos Marcelo Matovelle Bustos; Support Vector Regression to Downscaling Climate Big Data: An Application for Precipitation and Temperature Future Projection Assessment; TICEC 2019; 978-3-030-35740-5; Vol 239; 2019; https://doi.org/10.1007/978-3-030-35740-5_13; S/Q.

Sandra Lucía Cobos Mora; Urban areas change detection using DEMs generated automatically from high spatial resolution stereo satellite images; Killkana Técnica; 2588-0888; Vol. 1; Núm 1; 2017; DOI: https://doi.org/10.26871/killkana_tecnica.v1i1.14; S/Q.

Sandra Lucía Cobos Mora; Sanitary landfill site selection using multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process: A case study in Azuay province, Ecuador; Waste Management & Research; 1096-3669; Vol 38; Núm 10; 2020; Q2.

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)

Sandra Lucía Cobos Mora; Basura Cero; Kaicro; 978-84-949044-4-8; 2019; SI.

Sandra Lucía Cobos Mora; Análisis multicriterio basado en GIS para identificar potenciales áreas de emplazamiento de un relleno sanitario mancomunado en la provincia del Azuay; 978-9978-325-87-2; 2017; Si.

Sandra Lucía Cobos Mora; Análisis multicriterio para la creación de un área ecológica de conservación municipal; 978-959-261-5854; 2018; SI.

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.

Carlos Marcelo Matovelle Bustos; Evaluación de los efectos de las actividades socioeconómicas en el cambio del uso del suelo y del cambio climático en las amenazas a inundaciones y sequías en la cuenca del río Tomebamba; UCACUE/UDA/U de Cuenca; 115,00.00 USD; Septiembre 2018; Septiembre 2019.

Carlos Marcelo Matovelle Bustos; Caracterización hidrológica de las quebradas que forman la microcuenca del río Tabacay. Azogues – Ecuador; UCACUE/EMAPAL; 85,200.00 USD; Marzo 2018; Marzo 2020.

Carlos Marcelo Matovelle Bustos; Estudio morfométrico e hidroquímico de las cuencas hidrográficas pertenecientes a la vertiente del Pacífico. Ecuador; UCACUE/CEHIUMA; 93,050.00 USD; Marzo 2018; Marzo 2020.

Sandra Lucía Cobos Mora; Deslizamientos: caracterización de sus factores morfológicos y ambientales; Universidad Católica de Cuenca; 16700,80 USD; 2020; 2021.

Sandra Lucía Cobos Mora; Sistema Mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay; Universidad Católica de Cuenca; 65000 USD; Marzo 2018; Diciembre 2020.

Sandra Lucía Cobos Mora; Urbamed; Senescyt; 40410 USD; Junio 2015; Junio 2017.

6. PERSONAL DEL PROYECTO - COLABORADORES EXTERNOS

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

Nombre, Institución

6.1. 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

6.2. 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)

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

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

C. ESTUDIANTES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

7. PERSONAL DEL PROYECTO - ESTUDIANTES

Función en el proyecto	ESTUDIANTES COLABORADORES EN EL PROYECTO
------------------------	--

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

JUAN GABRIEL CONTRERAS GARCÍA; 1400538391; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

PABLO ESTEBAN RAMOS CORONEL; 0104800164; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

JUAN DIEGO GONZÁLEZ AGUIRRE; 0105951735; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

DANIEL ALEJANDRO CABRERA ANDRADE; 0105904270; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

EDWIN ISMAEL PAUTE NOVILLO; 0106558059; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

TEODORO NATANAEL PATIÑO TENESACA; 0302656202; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

EVELYN NARCISA FREIRE CABRERA; 0930555966; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

DEIBY JAVIER TENEZACA GONZALEZ; 1900782242; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

LUIS FELIPE ORMAZA CHIRIBOGA; 0105565477; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

CHRISTIAN STUARD FERNÁNDEZ QUILCA; 0302062690; Ingeniería Civil; Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción; Matriz.

D. CENTRO DE INVESTIGACIÓN INVOLUCRADOS Y BENEFICIARIOS

8. CENTRO Y GRUPO DE INVESTIGACIÓN

Centro de Investigación Ingeniería, Industria, Construcción y TICs

Grupo de Investigación INGENIERÍA AMBIENTAL, INGENIERÍA CIVIL,

9. LÍNEA Y ÁMBITO DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL

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

Línea de Investigación: Territorios, Naturalezas y Tecnología

Ámbito de Investigación: Gestión de los recursos naturales

10. CAMPO, DISCIPLINA Y SUBDISCIPLINA UNESCO

Código del campo y de la disciplina según UNESCO en el enlace [SKOS](#)

Campo	25	Disciplina	2508	Sub disciplina	250814
-------	----	------------	------	----------------	--------

11. PROGRAMA:

En caso de que el proyecto sea parte de un programa.

VII Convocatoria de Proyectos de Investigación Científica Vicerrectorado de Investigación e Innovación, Vinculación con la Sociedad y Posgrado

12. TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Duración del proyecto en meses

12

13. FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO

Monto total del financiamiento proyecto

\$ 5000

14. REQUIERE AVAL Y/O PERMISO DEL COMITÉ DE BIOÉTICA Y EL MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA

NO

Justificación:

15. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC E.P. y la Sociedad Ecuatoriana (Suponiendo que los Resultados de la Investigación Contribuyan para Optimizar un 2% la Producción Energética de la Unidad de Negocio HIDROPAUTE y tomando en cuenta que el Proyecto Paute Integral genera el 30% de la demanda de todo el país).

Se podría estimar que se beneficia al 30% de la población del Ecuador (aproximadamente cinco millones de habitantes)

E. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

16. RESUMEN DEL PROYECTO

El presente proyecto de investigación tiene como propósito implementar herramientas computacionales entorno a la temática de gestión del recurso hídrico, en este sentido se ha escogido el modelo HEC-ResSim (Desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos) para caracterizar la distribución del recurso hídrico en una cuenca regulada por embalses. El software HEC-ResSim es un sistema de apoyo a la decisión y esto permitirá obtener una herramienta técnica de gestión del recurso hídrico en cuencas reguladas por embalses.

Complementariamente, se abordarán metodologías de simulación hidrodinámica multidimensional (1D, 2D y 3D), análisis hidrológico de subcuencas, caracterización experimental y estadística de datos hidrometeorológicos; como herramientas necesarias para la caracterización de la distribución del recurso hídrico.

El dominio de estudio se centra en la cuenca del río Paute, en donde se genera alrededor del 30% de la energía hidroeléctrica que consume el Ecuador con el proyecto Paute Integral y cuenta en su territorio con la ciudad de Cuenca (tercera en importancia a nivel país). En base a los resultados obtenidos de la modelación de las variables hidrológicas e hidráulicas en distintos niveles espacio-temporales de la cuenca del río Paute, se delinearán recomendaciones técnicas para la operación de los embalses considerados, en busca de optimizar el aprovechamiento de los recursos hídricos para la generación eléctrica conforme al Plan Nacional de Desarrollo Toda Una Vida 2017-2021.

17. PALBARAS CLAVES

Modelo HEC-ResSim

Cuencas Reguladas

Cuencas de Montaña

18. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Planteamiento del Problema:

Una de las problemáticas específicas que gira en torno al control y el aprovechamiento del agua, es el manejo del recurso en cuencas reguladas. Las cuencas reguladas son aquellas en las cuales dentro de su área contienen proyectos de represamiento de agua (presas y embalses); estas estructuras se construyen para atender propósitos de control y aprovechamiento. Abordar la problemática del aprovechamiento eficiente de grandes volúmenes de agua de embalses ha motivado una infinidad de estudios e investigaciones en torno al manejo del recurso hídrico en cuencas reguladas.

Este proyecto propone implementar técnicas experimentales y numéricas para caracterizar la distribución del recurso hídrico en la cuenca del río Paute regulada por los embalses Mazar y Amaluza. Entre las metodologías para el estudio de cuencas hídricas, la simulación numérica de flujos, se presenta como una potente herramienta para caracterizar y obtener resultados innovadores aplicados a una variedad de

dominios y escenarios, que brindarán criterios técnicos en la toma de decisiones en torno a la distribución del recurso hídrico.

Justificación:

Las actividades de operación y mantenimiento de las centrales hidroeléctricas demandan de información hidrológica-hidráulica confiable, oportuna y actualizada. Dentro de ese contexto, se considera necesario implementar metodologías que permitan efectuar una adecuada gestión del aprovechamiento del recurso hídrico de los proyectos y centrales hidroeléctricas.

Entre las metodologías para el estudio de cuencas hídricas, se encuentra la simulación numérica de flujos, que se presenta como una potente herramienta para caracterizar y obtener resultados innovadores aplicados a una variedad de dominios que brindarán criterios en la toma de decisiones entorno a la distribución del recurso hídrico.

La investigación se centra en la cuenca del río Paute, dominio en donde se genera alrededor del 30% de la energía hidroeléctrica que consume el Ecuador con el proyecto Paute Integral y cuenta en su territorio con la ciudad de Cuenca (tercera en importancia a nivel país). Se plantea la simulación numérica de los embalses Mazar y Amaluza del proyecto Paute integral mediante el modelo HEC-ResSim [11] con miras a optimizar el uso del recurso hídrico para la generación hidroeléctrica.

19. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Gracias a los rápidos avances de la tecnología se han desarrollado innovadoras herramientas entorno a la hidrología e hidráulica computacional; implementando estas herramientas es posible una completa descripción del comportamiento del agua en entornos naturales y artificiales.

La hidrología es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre; es la ciencia esencial para el aprovechamiento de los recursos hídricos y el diseño de obras de defensa que toma en cuenta métodos analíticos, matemáticos y estadísticos para su aplicación en las ciencias de la tierra (Aparicio, 1989).

Según Cadavid (2006), la hidráulica comprende los métodos para efectuar cálculos y llegar a resultados cuantitativos indispensables para solucionar problemas relacionados a los fluidos en entornos naturales y artificiales. La hidráulica se basa en la ciencia de la mecánica de los fluidos, y al igual que la hidrología, utiliza métodos estadísticos y numéricos para resolver los problemas asociados con el recurso hídrico.

Las variables hidráulicas de ríos, lagos y embalses se usan directamente para la predicción de crecidas, para la delimitación de zonas con riesgo de inundación y para el diseño de estructuras en cursos o masas de agua o cerca de ellas. Cuando se relaciona con los caudales de las corrientes o con el volumen de almacenamiento de embalses y lagos, el nivel de agua se utiliza como base para determinar el caudal o el volumen de agua almacenada para el aprovechamiento del recurso para mejorar la calidad de vida de la sociedad (Organización Meteorológica Mundial, 1994).

La caracterización experimental y numérica de las variables de flujo y transporte de sedimentos en canales, ríos y áreas costeras son todavía un desafío para las ramas de investigación relacionadas a la ingeniería hidráulica; esto debido a la complicada interacción física de los procesos del flujo líquido, transporte de partículas y contaminantes que ocurren en los escurrimientos naturales. Por ejemplo, la erosión de las riberas de inundación y la deposición de sedimentos en el fondo de un cauce, pueden llevar al desarrollo de zonas de desborde y, por lo tanto, a problemas de inundación en zonas vulnerables. Así mismo, la construcción de obras y operaciones hidráulicas pueden cambiar el régimen y equilibrio en ríos, procesos que, si no son cuidadosamente analizados, pueden resultar en problemas de erosión o deposición a lo largo del cauce que afectarán a las zonas pobladas cerca de las riberas y a los aprovechamientos proyectados (Ochoa, 2018).

El presente proyecto de investigación se centra en la optimización del aprovechamiento en cuencas reguladas, que son aquellas en las cuales dentro de su área contienen proyectos de represamiento de agua (presas y embalses); estas estructuras se construyen para atender propósitos de control y aprovechamiento. Una metodología de solución para abordar la caracterización de la distribución y aprovechamiento del recurso hídrico en una cuenca regulada es el modelo HEC-ResSim desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos para la gestión operativa de las obras hidráulicas para el manejo de grandes cuerpos de agua (Sanabria, 2019).

Entre los antecedentes entorno a la implementación de un modelo computacional enfocado a la gestión del recurso hídrico a embalses y cuencas reguladas, en el Ecuador se encontró la aplicación a los embalses Macul (Celi y Vélez, 2013) y Mocache (Cordero, 2015) del proyecto PACALORI que se centran en el aprovechamiento del recurso para riego y se aplican a cuencas de llanura.

Estudios realizados por Stella y Gordon (2019), destacan el uso de la herramienta HEC-ResSim para generar escenarios alternativos entorno al manejo del recurso hídrico del embalse El Cuchillo, ubicado en Nuevo León, México; donde se presenta una gran fuente de pérdida de agua debido a la evaporación debido a las altas temperaturas de la región.

Otra aplicación en la región, que aborda la modelación con la herramienta computacional HEC-ResSim en un embalse construido para aprovechamiento hidroeléctrico, fue el estudio aplicado a la presa Tucuruí en la región amazónica de la república de Brasil (Lara et al., 2014); documento que destaca al HEC-ResSim como una herramienta poderosa, que apoya a la toma de decisiones para la operación en la presa de Tucuruí, en busca de actualizar los criterios entorno a las advertencias de inundación para reducir los costos de seguridad de la presa y aumentar la producción de energía en base a los resultados obtenidos.

En Rumanía se documentó el testeó de la herramienta HEC-ResSim para la optimización del uso de los volúmenes de generación del complejo hidroeléctrico Vidraru, obteniendo resultados para el plan de operación de los niveles mínimos de generación anual, donde los autores destacan que HEC-ResSim es muy apropiado para resolver este tipo de problemas de optimización (Tica et al., 2020).

En la región no se encontraron aplicaciones documentadas de la implementación del HEC-ResSim, o de herramientas similares, en embalses de cuencas reguladas con topografía de montaña. Por esta razón, este proyecto se muestra como un estudio innovador en esta temática y con el agregado que busca optimizar la producción energética, cuestión que va alineada con el Plan Nacional de Desarrollo Toda Una Vida 2017-2021.

El modelo HEC-ResSim se emplea para la caracterización de la distribución de grandes volúmenes de agua y la optimización en la operación de embalses, lo cual se basa en una variedad de criterios y restricciones. El modelo es capaz de simular las operaciones de las obras hidráulicas para el manejo de inundaciones, regulación de flujos en épocas de estiaje y optimización del recurso para la producción de energía hidroeléctrica. Con la implementación de este modelo se puede alcanzar resultados innovadores para el plan de regulación de embalses y soporte de decisiones, inclusive en tiempo real (Lara et al., 2014).

El dominio de estudio se centra en la cuenca del río Paute, donde se genera alrededor del 30% de la energía hidroeléctrica del Ecuador con el proyecto Paute Integral. El complejo hidroeléctrico Paute Integral se ubica en las provincias del Azuay, Cañar y Morona Santiago en las estribaciones de la cordillera de los Andes, el complejo aprovecha las aguas del río Paute, se desarrolla entre las cotas 2163 msnm y 525 msnm; involucra 4 centrales hidroeléctricas dispuestas en un sistema tipo cascada: Paute – Mazar (170 MW), Paute – Molino (1100 MW), Paute – Sopladora (487 MW) y Paute – Cardenillo (596 MW). En la actualidad, el proyecto cuenta con tres centrales (Mazar, Molino y Sopladora) y dos embalses (Mazar y Amaluza), mientras que la central y embalse Cardenillo es la cuarta y última etapa del complejo, obras que ya cuentan con estudios y diseños definitivos para su licitación y construcción (CELEC E.P. Unidad de Negocio HIDROPAUTE, 2020).

20. OBJETIVOS

Implementar modelos numéricos entorno a los procesos hidrológicos-hidráulicos de los embalses Mazar y Amaluza estableciendo políticas en los procedimientos de operación con miras a optimizar el uso del recurso hídrico para la generación eléctrica de las centrales Mazar, Molino y Sopladora del complejo Paute Integral.

21. ESPECÍFICOS

- 1) Procesar la información disponible en torno a las condiciones hidrológico-hidráulicas de la cuenca del río Paute.
- 2) Caracterizar experimentalmente el comportamiento de los cuerpos de agua en la cuenca del río Paute.
- 3) Implementar modelos numericos para optimizar el manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Paute.

22. MARCO METODOLÓGICO

La investigación se centra en la cuenca del río Paute, la misma que tiene 3 regiones definidas (cuenca alta, media y baja); que es el dominio espacial de estudio, que se justifica por la influencia de los escurrimientos de agua de todas las subcuencas en relación con los volúmenes de almacenamiento de los embalses Mazar y Amaluza.

El paso inicial para cualquier estudio o investigación en torno a la temática de hidrología e hidráulica es revisar la disponibilidad de la información de hidrometeorológica, morfológica y de las estructuras hidráulicas de control (canales, embalses, etc.). Entre las metodologías para recolectar información necesaria para llevar a cabo el proyecto de investigación de la modelación hidrológico-hidráulica de la cuenca del río Paute se destacan: 1) Consulta de la información disponible a las entidades públicas o privadas relacionadas al dominio y a la temática del proyecto (INAMHI, CELEC E.P.- Unidad de Negocio HIDROPAUTE, ETAPA) (Técnicas Documentales), 2) Revisión de estudios previos con temas relacionados a la temática y área de la investigación (Técnicas Documentales) 3) Monitoreo y medición directa (batimetrías, levantamientos topográficos, aforos líquidos o sólidos de ríos) en el caso que se necesiten ciertos datos que no están disponibles y son fundamentales para la caracterización de la distribución del recurso hídrico (Técnicas de Campo); técnicas con las que se obtendrán los datos necesarios para realizar el estudio (la morfología de la cuenca, curvas de capacidad de los embalses, curvas de gasto de los principales tributarios y de las estructuras hidráulicas para la operación de los embalses).

A continuación, se realizará el procesamiento y análisis de datos (Método Analítico Sintético) con el software RStudio, para controlar la calidad y contar con una caracterización previa de los procesos de la cuenca hidrológica; se realizará el análisis de series de tiempo tomando en cuenta estadística descriptiva, inferencial y estocástica; análisis de imágenes con Sistemas de Información Geográfica e identificación de escalas espacio-temporales dominantes con el uso de análisis espectral.

El siguiente paso es la implementación, calibración y validación de los modelos hidrológicos-hidráulicos de acuerdo a los resultados que son objeto de la investigación (Técnica de Simulación). De manera preliminar, se realizarán simulaciones hidrológicas por subcuenca e implementarán modelos hidrodinámicos para caracterizar los flujos con superficie libre en el dominio de estudio. Con esta caracterización previa de la distribución del recurso hídrico en la cuenca del río Paute, se implementará el modelo HEC-ResSim con el objeto principal de simular los procesos hidrológicos-hidráulicos de los embalses Mazar y Amaluza para delinear políticas en los procedimientos de operación con miras a optimizar el uso del recurso hídrico para la generación eléctrica de las centrales Mazar, Molino y Sopladora del complejo Paute Integral.

F. IMPACTO DEL PROYECTO

23. CONSIDERACIONES ÉTICAS DE LA PROPUESTA

El estado ecuatoriano promueve la construcción de centrales hidroeléctricas y los ha definido como proyectos emblemáticos, las cuales incentivan la sustitución de los combustibles derivados del petróleo para la generación eléctrica, por fuentes de energía limpia y renovable (CELEC E.P. Unidad de Negocio HIDROPAUTE, 2020).

En base a los resultados obtenidos de la modelación numérica de las variables hidrológicas e hidráulicas en distintos niveles espacio-temporales de la cuenca del río Paute, se delinearán recomendaciones técnicas para la operación de los embalses considerados, en busca de optimizar el aprovechamiento de los recursos hídricos para la generación eléctrica conforme a la Intervención Emblemática 5 “Agua segura para todos” del Eje 1 del Plan Nacional de Desarrollo Toda Una Vida 2017-2021, donde se menciona: “el derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable; en este sentido, esta intervención busca manejar y aprovechar de manera integral el recurso hídrico con una visión que supere las inequidades territoriales en exceso, calidad y cantidad, además de comprometer a todos los actores sociales involucrados en su cuidado y uso responsable”.

24. RESULTADOS ESPERADOS DEL PROYECTO

Obtener una base sólida, actualizada y validada de la información disponible en torno a las condiciones hidrológico-hidráulicas de la cuenca del río Paute para plantear trabajos futuros con objetivos de tener una mejor comprensión de la distribución del recurso hídrico en distintos niveles espacio-temporales de la cuenca.

Implementar metodologías de caracterización numérica y experimental para obtener resultados del comportamiento hidrológico-hidráulico de los cuerpos de agua en la cuenca del río Paute, en busca de brindar información técnico-científica, que podrá ser utilizada por los tomadores de decisiones para la optimización del aprovechamiento de los recursos hídricos.

25. TRANSFERENCIA Y DIFUSIÓN DE RESULTADOS

El principal medio de transferencia de la investigación será en base a una publicación de impacto para la comunidad científica, se espera alcanzar mínimo dos verificables como productos de la investigación: en la Revista Tecnología y Ciencias del Agua (Q3), que es editada por el Instituto Mexicano de Ciencias del Agua y en la Revista de Teledetección (Q2), que es editada por la Universitat Politècnica de València. Adicionalmente se podrán desarrollar otros documentos para la difusión de resultados; como lo son informes técnicos, trabajos de grado y presentaciones a congresos de investigación.

26. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Aparicio Mijares F. J. 1992. “Fundamentos de Hidrología de Superficie”. Editorial LIMUSA – Grupo Noriega Editores. México D.F.

CELEC E.P. 2021. Link: <https://www.celec.gob.ec/>

[2] Celi M. V., Vélez M. A. 2015. “Análisis de Escenarios y Estudio de un Balance Hídrico con Aplicación al Embalse Macul 1 Empleando el programa Hec-ResSim”. Tesis de Grado. Carrera de Ingeniería Civil. Universidad de Cuenca.

[3] Cadavid J. H. 2006. “Hidráulica de Canales: Fundamentos”. Fondo Editorial Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.

[4] Cordero P. J. 2015. “Innovación de Estrategias para Operación de Embalses para Riego”. Tesis de Grado. Carrera de Ingeniería Civil. Universidad de Cuenca.

- [5] Lara P. G., Lopes J. D., Luz G. M., Bonumá N. B. 2014. "Reservoir Operation Employing Hec-ResSim: Case Study of Tucuruí Dam, Brazil". Conference Paper. 6th International Conference on Flood Management.
- [6] Ochoa, S. A. 2018. Simulación Hidrodinámica Tridimensional con Procesos de Transporte de Sedimentos en un Cauce Natural. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- [7] 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
- [8] Organización Meteorológica Mundial. 1994. "Guía de Prácticas Hidrológicas: Adquisición y Procesos de Datos, Análisis, Predicción y Otras Aplicaciones". Quinta Edición, OMM - #168.
- [9] Sanabria J. A. 2019. "Guía Metodológica para el Análisis de la Gestión de Embalses. Caso de Estudio Embalse La Copa". Tesis de Maestría. Programa de Maestría en Ingeniería Civil. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- [10] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. 2017. "Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida." Concejo Nacional de Planificación. República del Ecuador.
- [11] Stella J.M., Gordon P. L. 2019. "Water management alternatives to reservoirs with a high rate of evaporation in Nuevo León, Mexico". *Atmósfera* 32(4), 273-285. doi: 10.20937/ATM.2019.32.04.02
- [12] Tica E., Ahmad-Rashid K., Sima O., Pisau D., Coma A., Popa B. (2020). HEC-ResSim Optimization Model on Vidraru Hydropower Development. Conference Article. *Journal of Engineering Science and Technology Review. Special Issue on Telecommunications, Informatics, Energy and Management* 2019.
- [13] US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. 2020. Link: <https://www.hec.usace.army.mil/>

G. ANEXOS

Planilla de anexos del Proyecto

```
[[  
"title": "ANEXOS", "comment": "", "size": "90.585", "name": "Proyecto%20Paute%20I.xlsx", "filename": "fu_2vxhq93  
pdrndufp", "ext": "xlsx" ]]
```

Número de Archivos: 1

Documentación adicional

```
[[ "title": "Proyecto de Investigaci00f3n", "comment": "Formulaci00f3n del  
Proyecto", "size": "2573.568", "name": "Proyecto_Paute_ETAPA_I.pdf", "filename": "fu_pv4stdw8t5hs83w", "ext": "p  
df" ]]
```

Número de archivos: 1



DIRECTOR DEL PROYECTO:
PICVII19-75



Ing. Javier Cabrera Mejía, PhD.
JEFE DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN