MODELACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA y uso de sig: Educación para la sostenibilidad en la ingeniería civil

Karla Karina Romero Valdez1, Víctor Manuel Martínez García 2, Rosa Edilma Garzón González1, Rogelio Estrada Lizárraga3

1Facultad de Ingeniería y Tecnología de Mazatlán. Universidad Autónoma de Sinaloa

2Facultad de Arquitectura y Diseño. Universidad Autónoma de Sinaloa

3Facultad de Informática Mazatlán. Universidad Autónoma de Sinaloa

Resumen

El artículo destaca la importancia de la modelación hidráulica e hidrológica y el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como recursos tecnológicos orientados hacia el aprendizaje significativo y la gestión sostenible del agua. A partir de una investigación cualitativa con enfoque descriptivo basado en un estudio de caso, se presentan los alcances de la implementación del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) como una estrategia educativa incorporada dentro del escenario académico en la Facultad de Ingeniería y Tecnología de Mazatlán. Los resultados indican que la integración de herramientas de modelación mediante la utilización de softwares especializados como EPANET y HEC-HMS conjuntamente con entornos SIG favorecen el desarrollo de competencias profesionales en los estudiantes a través de la participación activa en el diseño de propuestas técnicas para la atención de los sistemas hidrológicos e hidráulicos en el marco de la sostenibilidad. En este sentido, se concluye que la educación superior constituye un eje fundamental para la construcción de capacidades tecnológicas que contribuyen a la sostenibilidad hídrica.

Palabras clave: Modelación Hidrológica e Hidráulica, Sistemas de Información Geográfica, Educación e Ingeniería Sostenible

Abstract

This article highlights the relevance of hydraulic and hydrologic modeling, together with the use of Geographic Information Systems (GIS), as technological tools aimed at fostering meaningful learning and promoting sustainable water management. Through a qualitative research approach with a descriptive focus based on a case study, the article analyzes the scope of implementing Project-Based Learning (PBL) as an educational strategy applied within the academic context of the Faculty of Engineering and Technology in Mazatlán. The findings reveal that the integration of specialized modeling software, such as EPANET and HEC-HMS, in combination with GIS environments, enhances the development of professional competencies among students by engaging them in active participation in the design of applied technical solutions for hydrologic and hydraulic systems under sustainability principles. In conclusion, higher education is identified as a key driver in building technological capacities that contribute to water sustainability.

Keywords: Hydrologic and Hydraulic Modeling; Geographic Information Systems, Education and Sustainable Engineering

# INTRODUCción

El agua es un recurso esencial para el desarrollo de los seres vivos. Es también un pilar fundamental de aporte a las dimensiones socioeconómicas y medioambientales de la sostenibilidad [1].

El acelerado crecimiento de la población urbana aunado a las actividades antropogénicas asociadas a este proceso son factores de notable influencia en la variabilidad climática global que impacta sobre el medio ambiente y propicia uno de los apremiantes desafíos del presente siglo, la sostenibilidad hídrica, al generarse alteraciones en los ecosistemas y modificar los patrones hidrológicos [2]. Como consecuencia, se deriva la presencia de fenómenos extremos tales como periodos prolongados de sequías e inundaciones, eventos que provocan severas afectaciones socioeconómicas en las comunidades y en las superficies territoriales [3].

Este escenario que enmarca la corresponsabilidad social, demanda la participación activa de los diferentes sectores de la sociedad (gubernamental, educativo, empresarial y ciudadanía) para la gestión eficiente de los recursos hídricos y la creación de un entorno resiliente [4]. La integración de tecnología innovadora en el proceso de desarrollo territorial sustentable representa un elemento clave para optimizar los sistemas hidráulicos, garantizar el uso racional del agua y fortalecer la infraestructura adaptativa, como un instrumento que tienda a consolidar estrategias orientadas hacia la mitigación y gestión de riesgos ante el cambio climático [5].

En este sentido, la educación superior en su función formativa aporta sustancialmente al cumplimiento de los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) previstos en la Agenda 2030, al formar profesionales con competencias técnicas y compromiso social [6]. En el campo de la ingeniería civil, fortalecer desde el espacio educativo el uso de las herramientas tecnológicas y de modelación digital contribuye significativamente en la mejora de los procesos constructivos y de gestión, así como en la proyección de escenarios críticos para optimizar soluciones que permitan construir entornos urbanos más sostenibles.

## Modelación hidrológica e hidráulica en la gestión hídrica

La modelación digital como representación de un sistema dinámico en estudio permite, a través de una reproducción virtual e integración de datos a modelos matemáticos y computacionales, llevar a cabo el análisis del comportamiento de las variables inmersas en un suceso o fenómeno mediante mecanismos experimentales controlados a fin de comprender, simular y predecir escenarios complejos con un instrumento que se torna viable para la toma de decisiones [7].

### Modelación hidrológica: fundamento, parámetros y aplicaciones

La hidrología es la disciplina encargada de estudiar la ocurrencia, distribución, almacenamiento y propiedades del agua en el planeta [8]. Es también en gran medida responsable de cuantificar el impacto de las actividades humanas sobre la naturaleza a través del estudio de cuencas hidrográficas y fluviales [9].

Es importante destacar que los sistemas hidrológicos han sufrido alteraciones derivadas de la interacción de fuerzas naturales y de la intervención humana, dando origen al fenómeno de variabilidad climática que conlleva a cambios en los usos y disponibilidad de agua, afectaciones y adaptaciones de la infraestructura hídrica, así como modificaciones en la cobertura terrestre [10].

Los estudios hidrológicos requieren de la aplicación de los conocimientos científicos y los principios matemáticos para resolver problemas relacionados con la calidad, cantidad y disponibilidad de agua a escala local, regional y global [11]. En este sentido, la modelación y simulación digital aplicada a la hidrología en el estudio de cuencas permite describir el comportamiento del flujo de agua [12], información necesaria para el diseño de infraestructura, la predicción de avenidas y la determinación de áreas vulnerables a inundaciones.

A través de la determinación de parámetros físicos y morfológicos de la cuenca, tales como: área, perímetro, pendiente, longitudes de corrientes, entre otros, conjuntamente con información climatológica de altura de precipitaciones e intensidad de lluvia, además de las características del uso y cobertura del suelo y vegetación [13], la modelación hidrológica permite realizar estimaciones de caudales de diseño necesarias para el dimensionamiento de la infraestructura hidráulica como obras de toma, canalizaciones, estructuras de defensa ribereña, obras de excedencia, etcétera. Asimismo, el uso de estos programas de modelación sienta las bases informativas para la realización de la modelación hidráulica.

Actualmente, los modelos hidrológicos se sitúan entre las herramientas disponibles para estimar los parámetros necesarios en la planificación y gestión eficiente de los recursos hídricos [14]. Entre los softwares más utilizados a nivel internacional en el área de ingeniería civil para la elaboración de estos modelos destacan:

* **HEC-HMS** (*Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System),* un programa desarrollado por la U.S. Army Corps of Engineers. HEC – HMS es un modelo numérico que integra un conjunto de métodos para simular el comportamiento del flujo en cuencas hidrográficas, canales y estructuras de control del agua, permitiendo así predecir el caudal, el nivel y el tiempo de ocurrencia [15].
* **SWAT** (*Soil and Water Assessment Tool*). Modelo hidrológico conceptual, basado en la física y a escala de cuenca aplicado ampliamente en todo el mundo y desarrollado por USDA – Agricultural Research Service & Texas A&M University [16].
* **MIKE SHE** (*Integrated Hydrological Modeling System*). Programa flexible desarrollado por DHI (Danish Hydraulic Institute) que toma en consideración los principales procesos del ciclo hidrológico incorporando aspectos como la evapotranspiración, la escorrentía superficial, el flujo en la zona no saturada, el flujo subterráneo y el flujo en cauces, así como sus interacciones [17].

### Herramientas de simulación hidráulica para la gestión y optimización de sistemas de agua

La modelación hidráulica es un instrumento técnico que a través de la aplicación de los principios de mecánica de fluidos desarrolla representaciones sobre la dinámica del agua en los diferentes sistemas tanto naturales como artificiales, realizando proyecciones del comportamiento del flujo bajo diversas condiciones, siendo una herramienta valiosa para la optimización, diseño y evaluación de proyectos de ingeniería hidráulica [18].

Para el diseño de redes de distribución de agua, los modelos hidráulicos se convierten en herramientas importantes para la gestión eficiente de los nuevos sistemas y los ya existentes. A través de la aplicación de las ecuaciones fundamentales de la hidráulica se puede calcular los principales parámetros tales como caudal, la velocidad del flujo y la presión del agua en diversos puntos de la red [19]. Entre los softwares de modelado hidráulico mayormente aceptados para simulación de cauces y sistemas de distribución de agua se tiene:

* **EPANET.** Software de modelado de sistemas de distribución de agua desarrollado por US Environmental Protection Agency diseñado como una herramienta útil para la comprensión del movimiento y destino de los componentes del agua potable dentro de los sistemas [20].
* **HEC – RAS** (*Hydrologic Engineering Center-River Analysis System*). Programa usado para modelación hidrológica e hidráulica. HEC-RAS se basa en las ecuaciones hidráulicas de Saint-Venant, que pueden predecir la superficie de inundación, identificar la profundidad de la superficie del agua y distribuir la velocidad de la inundación; los modelos matemáticos son necesarios y significativos en estos tipos de modelado hidrológico [21].

## Integración de SIG para el análisis geoespacial

La integración de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la modelación hidrológica e hidráulica son recursos tecnológicos eficientes para almacenar, gestionar y visualizar datos espaciales georreferenciados relacionados con la gestión de los recursos hídricos [22]. Los SIG aportan información procedente de bases de datos situadas en plataformas digitales qué, a través del manejo de softwares especializados, coadyuvan al análisis espacial de las variables implicadas en la modelación de cuencas hidrográficas y el diseño de sistemas de distribución de agua.

En términos de evaluación de territorios con susceptibilidad a inundaciones, utilizar metodologías avanzadas como la conjugación de SIG y mecanismos de modelación hidrológica y simulación hidráulica contribuyen significativamente en la evaluación y gestión eficaz de riesgos [23].

## Uso de los SIG y la modelación hídrica en el aprendizaje aplicado

En el contexto de la educación superior, el fortalecimiento de competencias tecnológicas a través del manejo de herramientas aplicables en proyectos reales resulta apremiante en la formación integral de los estudiantes como un acto de vinculación estrecha hacia el entorno profesional.

Dentro del espacio educativo universitario, la simulación de escenarios reales a través del uso de los SIG y la modelación hidrológica e hidráulica brinda la oportunidad al futuro ingeniero civil de desarrollar habilidades digitales que fortalezcan el pensamiento analítico a través de la acción participativa en proyectos que le permitan comprender la complejidad de los sistemas hídricos en entornos urbanos y naturales. Esta experiencia formativa entrelaza los fundamentos teóricos con la práctica profesional al interpretar datos espaciales y proyectar el comportamiento del agua en los diversos sistemas con el fin de aportar a la propuesta de soluciones técnicas en el marco de la sustentabilidad.

Desde esta perspectiva, surge el presente proyecto de investigación que tiene como propósito describir la aplicación del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) como una estrategia llevada a cabo en el contexto universitario y que enfatiza en la incorporación de los SIG y la modelación hídrica vinculada con los contenidos programáticos de diversas unidades de aprendizaje relacionadas con la atención de problemáticas afines al sector hídrico en el escenario de la Facultad de Ingeniería y Tecnología de Mazatlán.

# METODOLOGÍA

El proyecto de investigación denominado *Modelación hidráulica e hidrológica y uso de SIG: Educación para la sostenibilidad en la ingeniería civil* esta regido bajo el enfoque cualitativo de la investigación. Un trabajo de corte descriptivo basado en un estudio de caso llevado a cabo en la Facultad de Ingeniería y Tecnología de Mazatlán que tiene como propósito poner en evidencia la aplicación del Aprendizaje Basado en Proyectos, una estrategia que promueve la participación activa de los estudiantes de ingeniería civil en la atención de problemas ligados con el sector hídrico desde el espacio áulico a partir de la implementación de herramientas tecnológicas de vanguardia. Las fases de la labor investigativa son mostradas en el siguiente esquema metodológico (Figura 1):

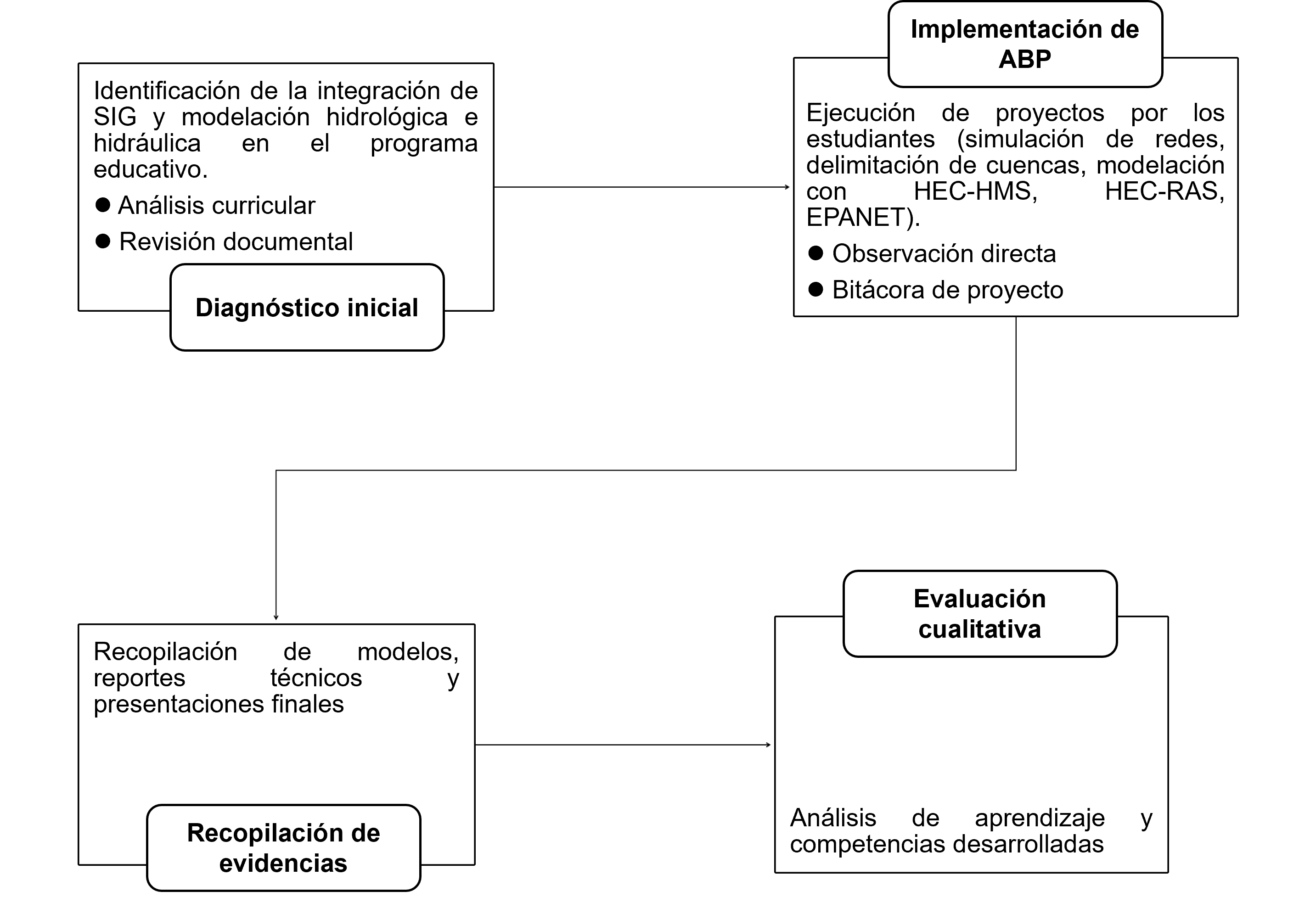


Figura 1. Etapas metodológicas del proyecto

La etapa de diagnóstico inicial consistió en realizar un análisis curricular y una revisión de los contenidos programáticos de tres unidades de aprendizaje vinculadas con el sector hídrico con el propósito llevar a cabo una planeación didáctica que establezca el diseño de proyectos que incorporen el manejo de los SIG y la modelación digital abordando temáticas que aporten a la elaboración de propuesta de solución de problemáticas ligadas estrechamente con el entorno ingenieril.

Las unidades de aprendizaje designadas para aplicar la metodología ABP fueron Hidráulica General la cual pertenece al eje curricular Básico Disciplinar, Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado e Hidrología, ambas pertenecientes al eje profesionalizante.

En función de las unidades de aprendizaje se definieron los contenidos curriculares que dieron estructura a los proyectos académicos, enfatizando en que su implementación favoreciera el desarrollo de competencias coherentes con el perfil de egreso de los estudiantes. Adicionalmente durante esta fase se establecieron las herramientas de modelación hidráulica e hidrológica pertinentes para asegurar el logro de los aprendizajes esperados.

Finalmente, con fundamento en la planeación didáctica, las estrategias de aprendizaje y las estrategias de evaluación, se dio inicio con las actividades de seguimiento al proceso formativo, orientando el avance de los proyectos y revisión de la construcción del portafolio de evidencias que demuestra los resultados alcanzados con la metodología ABP y de la comprensión de los procesos hidráulicos e hidrológicos desde una visión sostenible.

# RESULTADOS

El presente apartado expone los resultados derivados del desarrollo de la investigación cualitativa enfocada en la aplicación del Aprendizaje Basado en Proyectos en unidades de aprendizaje asociadas con el sector hídrico en la Facultad de Ingeniería y Tecnología de Mazatlán.

Los principales hallazgos se sustentan en el análisis del aprendizaje y competencias desarrolladas a partir de los proyectos generados con la integración de la modelación digital y el uso de los Sistemas de Información Geográfica como herramientas tecnológicas de aporte a la formación integral de los estudiantes de ingeniería civil.

Con base en la primera fase del esquema metodológico propuesto para la realización del trabajo investigativo se definió el diagnóstico inicial. En la Figura 2, se muestran las unidades de aprendizaje seleccionadas donde se utilizaron las herramientas tecnológicas para la implementación de la estrategia ABP. Tal como se indicó con anterioridad estas unidades fueron Hidráulica General, Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado e Hidrología. También se puntualiza el eje curricular correspondiente dentro del plan de estudio y el propósito formativo al que contribuye cada asignatura.

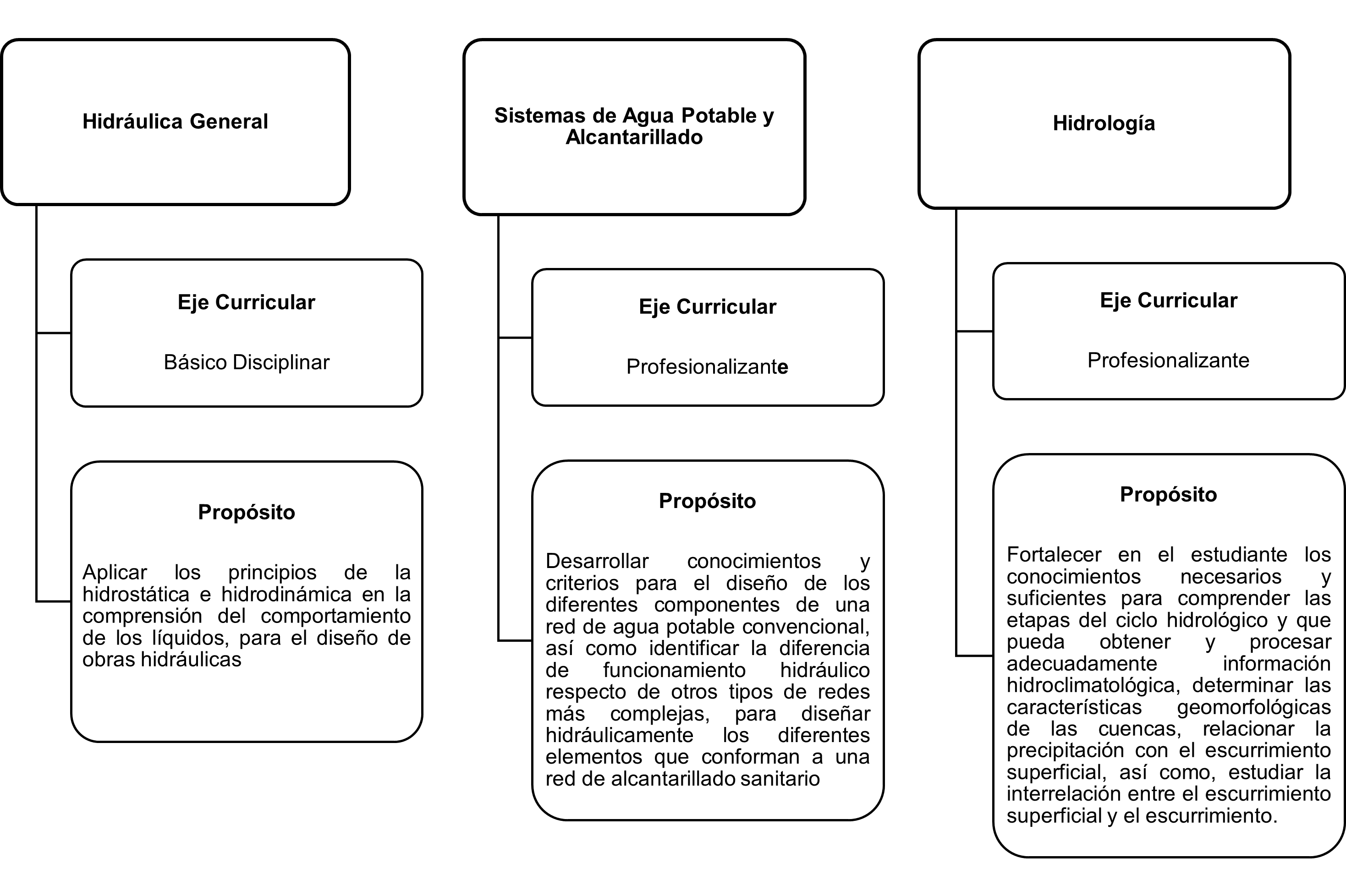


Figura 2. Unidades de aprendizaje relacionadas con el ABP

Una vez culminada la fase introductoria, se abre paso a la implementación de los proyectos vinculados con el sector hídrico, dando seguimiento a las líneas de acción plasmadas dentro de su estructura, aplicando así la metodología ABP para el desarrollo de contenidos específicos orientados al manejo de SIG y la modelación digital.

## Modelación hidráulica en líneas de conducción

La modelación hidráulica de una línea de conducción de agua se seleccionó como eje temático para la aplicación de la estrategia ABP correspondiente a la *Unidad V: Flujo en conductos a presión* que forma parte de la unidad de aprendizaje de Hidráulica General situada en el tercer semestre del mapa curricular de la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Una línea de conducción es un elemento del sistema de agua potable cuya función radica en transportar el flujo de agua a partir de un punto que puede ser una obra de captación o reservorio hacia una zona de almacenamiento o sitio de tratamiento. Para el diseño de este elemento es necesario evaluar una serie de parámetros hidráulicos tales como diámetro de la sección de los conductos propuestos a partir del gasto de diseño, velocidad del flujo, pérdidas de carga, niveles topográficos, presencia de fenómenos transitorios, entre otros.

Para llevar a cabo el proyecto de modelación hidráulica fue seleccionado el programa EPANET. Como se ha citado en los párrafos introductorios de esta narrativa, EPANET es un programa que cuenta con una interfaz visual que simplifica la elaboración de redes de conducción y la modificación de sus características hidráulicas. Para el análisis geoespacial preliminar del proyecto, los estudiantes utilizaron la plataforma Google Earth Pro, la cual les facilitó el pre trazado de la línea de conducción, la obtención de alturas geográficas y la exportación de datos al programa EPANET para la realización del modelado hidráulico tal como se observa en la Figura 3.



Figura 3. Trazo preliminar de la línea de conducción a través de Google Earth Pro

A partir del trazo preliminar del sistema, los alumnos lograron exportar la información al programa EPANET para llevar a cabo la modelación hidráulica de la línea de conducción que conecta el reservorio al punto de entrega, ingresando datos sobre las elevaciones topográficas, caudal de flujo, propuesta de sección de tubería, longitud del tramo, coeficientes de pérdidas, etcétera, obteniendo así, información de alturas de presión en los puntos, velocidad del flujo, entre otros aspectos (Figura 4). A través de la simulación hidráulica, los estudiantes pudieron realizar las modificaciones pertinentes en el diseño a partir del análisis del comportamiento del flujo y la evaluación de su funcionamiento.

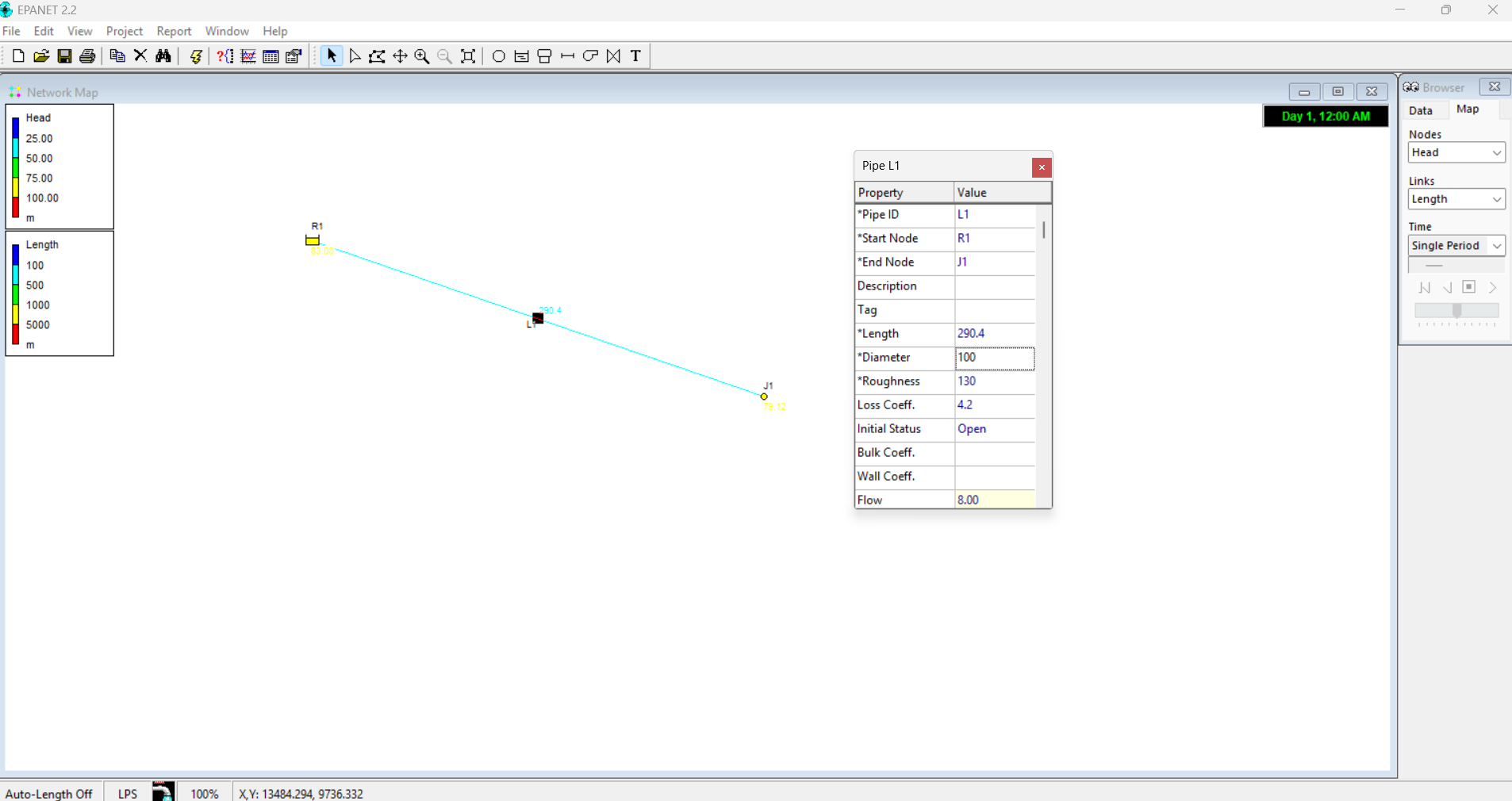


Figura 4. Modelación hidráulica de una línea de conducción a través de EPANET

## Modelación hidráulica en una red de distribución

Una red de distribución es un conjunto de tuberías situadas en las vialidades de una comunidad responsables de interconectar una línea de alimentación de agua potable hacia las tomas domiciliarias. Para la realización del modelo de comportamiento hidráulico se tomó en consideración la unidad de aprendizaje de Sistemas de agua potable y alcantarillado que se imparte en el quinto semestre de la Licenciatura de Ingeniería Civil.

La aplicación de la estrategia ABP tomó como referencia la propuesta de un proyecto de red de distribución abierta para una población rural, a partir de un gasto de diseño previamente calculado en función de las dotaciones poblacionales, el cual fue distribuido por una serie de tuberías ramificadas de secciones variables. La base del trazo de tubería sobre la comunidad se realizó mediante el programa AUTOCAD, mientras que el software de modelación hidráulica considerado fue EPANET.

El proceso de modelación hidráulica a través de la interfaz gráfica de EPANET permitió el análisis del comportamiento del flujo en el sistema de tuberías, facilitando al estudiante usuario realizar adaptaciones pertinentes aplicando diversos criterios de diseño para la obtención de información como las presiones en los nodos, con la finalidad de verificar el cumplimiento de los requerimientos de una red de distribución para población rural establecidos en la normatividad vigente en materia de agua en nuestro país definida por CONAGUA. En la Figura 5 se muestra el proceso de modelación hidráulica de una red abierta cuyo suministro de agua fluye por un conjunto de tuberías ramificadas que provienen de un tanque elevado. El uso del programa EPANET hizo posible ejecutar la simulación del comportamiento del flujo mediante el cálculo de algunos parámetros hidráulicos como la carga piezométrica y las presiones disponibles en los nodos, permitiendo de esta manera validar el apego de esta información al marco normativo y verificar su idoneidad a partir de la manipulación de diámetros de los conductos.

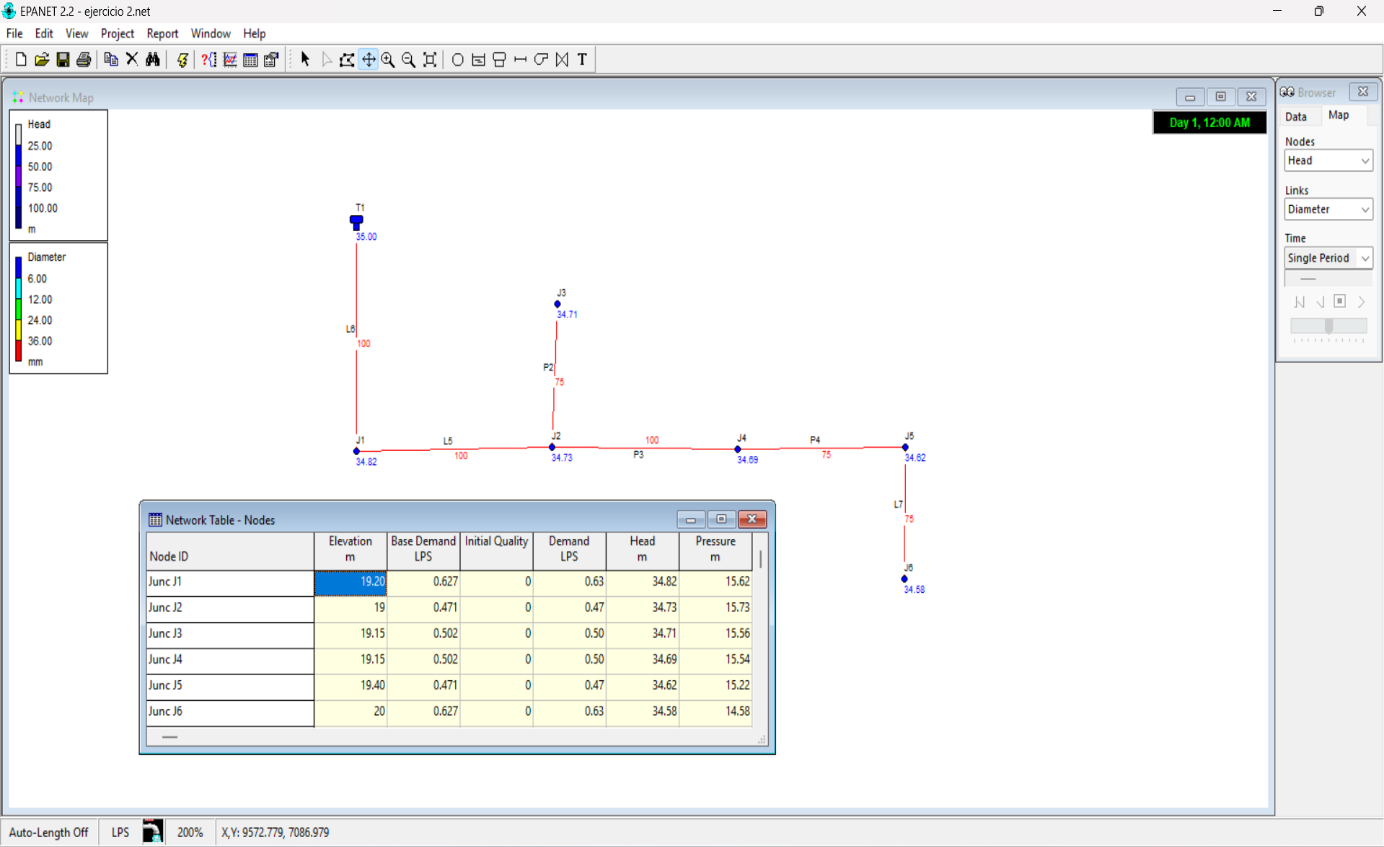


Figura 5. Análisis del comportamiento del flujo de una red de distribución a través de la modelación hidráulica realizada por EPANET

## Modelación hidrológica e hidráulica del cauce en una cuenca

En hidrología, la cuenca representa la unidad territorial para el análisis del ciclo hidrológico. La identificación de sus límites facilita la evaluación del comportamiento hidrológico y la estimación cuantitativa de los escurrimientos para el estudio, análisis y gestión del agua. Con base en lo anterior, se ha seleccionado la unidad de aprendizaje de Hidrología impartida en el sexto semestre de la Licenciatura en Ingeniería Civil para la propuesta de realización de un proyecto enfocado en la estimación de caudales máximos en una cuenca hidrográfica.

Previo al inicio de la realización del proyecto, para fines explicativos y de obtención de información relacionada con las cuencas y subcuencas hidrográficas en México, los estudiantes se familiarizaron con la utilización de la Plataforma SIATL, un Simulador de Flujo de Agua de Cuencas Hidrográficas. Este recurso administrado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) ofrece la posibilidad de consulta y obtención de una diversidad de información incluida en capas temáticas tales como: datos climáticos e hidrológicos, características del suelo y vegetación en el territorio, perfiles de elevaciones, entre otros.

En la Figura 6, se presentan evidencias del trabajo realizado por medio de la utilización del SIATL a través de la presentación general del simulador que muestra la forma en cómo están administradas las regiones hidrológicas en México, así como los limites de cuencas y subcuencas. Asimismo, en la imagen se observa la delimitación de una cuenca hidrográfica, las líneas de escurrimientos y línea de corriente del cauce principal, así como el cálculo de algunos parámetros fisiográficos como el área y perímetro territorial mediante las herramientas incluidas en el SIG.

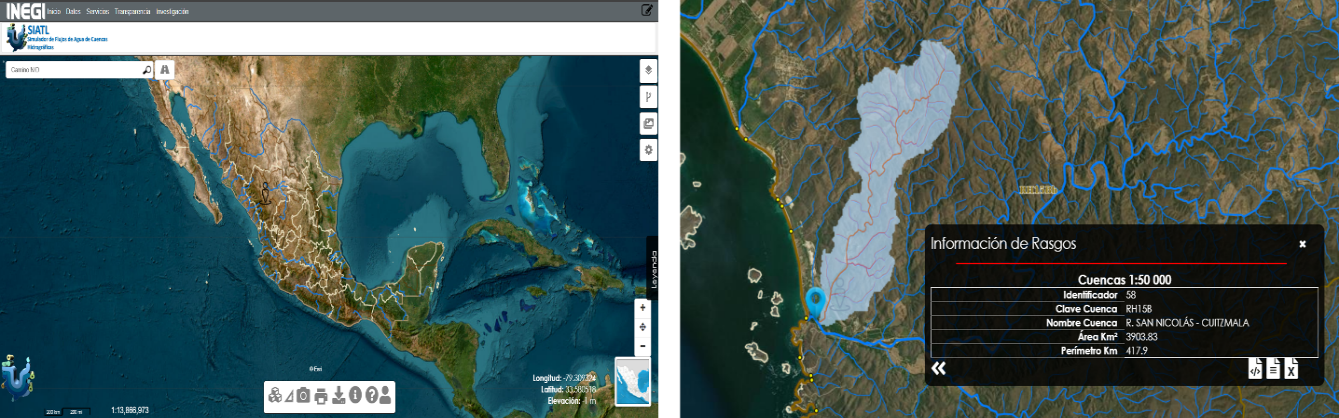


Figura 6. Delimitación de cuenca hidrográfica por medio del simulador SIATL

En el marco de la estrategia ABP, se diseñó un proyecto de análisis hidrológico e hidráulico a nivel cuenca, estructurado en diferentes etapas de desarrollo. Cabe destacar que, para sustentar la primera etapa de este proceso, en las secuencias didácticas se describieron las bases para la consulta de diferentes Sistemas de Información Geográfica, entre los cuales sobresalen los siguientes:

* **Biblioteca digital de mapas de INEGI.** Plataforma cuyo objetivo es proporcionar un producto con representación continua que permita aportar datos consistentes y actualizados del relieve continental mexicano al Subsistema Nacional de Información Geográfica y del Medio Ambiente. Mediante el uso de tecnología LIDAR (*Light Detection and Ranging*) para obtener Modelos Digitales de Elevaciones (DEM) es posible caracterizar y extraer con mayor precisión parámetros morfológicos de la cuenca como: área, perímetro, longitud del cauce principal, elevación máxima y mínima, al integrarse en programas como QGIS, un software libre que maneja información geográfica.
* **Portal de Geoinformación 2025 del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB).** Plataforma que integra información sobre la cobertura del suelo y vegetación a través de datos de vegetación, agricultura, pastizales, etc., con los cuales es posible evaluar el grado de permeabilidad del suelo y determinar el coeficiente de escurrimiento para el análisis de la cuenca.
* **Estaciones meteorológicas automatizadas (EMAs) del Sistema Meteorológico Nacional SMN).** Portal de registro de las principales variables atmosféricas, siendo una fuente fundamental para la información climática e hidrológica. Los datos recopilados mediante este mecanismo permiten construir las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF), básicas para el diseño hidráulico.

Una vez recopilada la información geoespacial del área de estudio se procedió a pasar a la siguiente etapa de la estructura metodológica del proyecto. Esta consistió en que los estudiantes trasladaran hacia el programa QGIS, la información de las bases de datos consultadas con el objetivo de procesar los DEM, definir el polígono de la cuenca, calcular los parámetros físicos que influyen en el comportamiento hidrológico, realizar la integración de la información sobre la cobertura del suelo y vegetación, y demás actividades que permitieron la preparación de los datos para generar los modelos hidráulicos y simulación del flujo a través de herramientas tecnológicas como HEC-HMS y HEC – RAS. En la Figura 7, se visualiza parte del portafolio de evidencia que ejemplifica el proceso de la delimitación de la cuenca a partir de los DEM y el cálculo de los parámetros físicos por medio del manejo del programa QGIS.

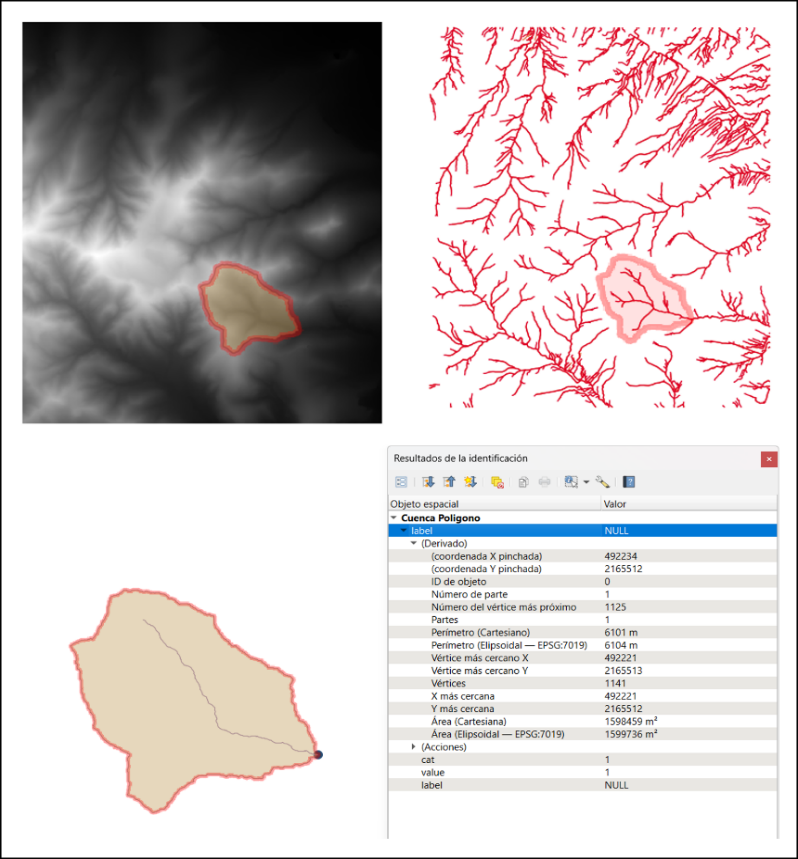


Figura 7. Cálculo de parámetros morfológicos de la cuenca con QGIS

Finalmente, de acuerdo a la estructura de diseño del proyecto, en la siguiente etapa los estudiantes procedieron a determinar los caudales máximos de diseño para diferentes periodos de retorno tomando como referencia los datos climatológicos de las curvas IDF definidas con anterioridad, a través del programa de modelado HEC-HMS. En una última etapa, la información de estas descargas de agua es ingresada a un software de modelado hidráulico como HEC-RAS e IBER, lo que permitió a los alumnos definir los niveles de agua alcanzados y la extensión de superficie afectada ante un posible evento extraordinario.

Cabe resaltar que el proyecto de hidrología que se ha propuesto para la implementación de la estrategia ABP representa un trabajo arduo y continuo que implica una participación activa del estudiante en su proceso de aprendizaje con el acompañamiento del docente facilitador. El producto que se genera a través de la ejecución del proyecto permite la construcción de un portafolio de evidencia, un instrumento evaluativo que deja al descubierto la relación del proyecto con la vida práctica del ingeniero civil en términos de gestión de agua, y que además demuestra el compromiso de la educación superior universitaria con el fortalecimiento de las habilidades estudiantiles para el manejo de la tecnología de vanguardia.

# CONCLUSIONes

Con base en el objetivo general, la estructura metodológica y las diversas técnicas definidas para el presente trabajo de investigación se exponen las siguientes conclusiones.

El desarrollo de investigación evidencia que la conjugación de la modelación hidráulica e hidrológica complementada con los Sistemas de Información Geográfica constituyen herramientas tecnológicas esenciales para potenciar las competencias profesionales de los ingenieros civiles en formación.

El engranaje del enfoque ABP con la modelación digital dentro de las unidades de aprendizaje relacionadas con el sector hídrico demostraron ser una estrategia pedagógica innovadora que permite conectar los fundamentos teóricos con el campo de desarrollo profesional en una atmósfera de aprendizaje. El uso de softwares especializados para el proceso de modelación como EPANET, QGIS y HEC-HMS desarrollaron en los estudiantes universitarios capacidades técnicas para el análisis y gestión eficiente de los recursos hídricos.

El manejo de entornos digitales como Google Earth Pro y el Simulador SIATL, así como las diversas bases de datos disponibles en INEGI, se convirtieron en herramientas importantes para los estudiantes que posibilitaron la integración de la información geoespacial en el análisis y modelado de los sistemas hidráulicos. Esta práctica pedagógica incluida en el desarrollo de proyectos educativos vinculados con la realidad social, enfatizaron que la utilización de SIG son un mecanismo moderno de consulta, obtención, visualización y validación de información indispensable para una formación académica con enfoque sostenible.

Finalmente se concluye que, en la actualidad, la educación superior tiene un papel clave en el desarrollo de competencias integradoras orientadas hacia la seguridad hídrica, por lo que la implementación de estrategias de participación activa como la metodología ABP articuladas con el manejo de tecnología de vanguardia contribuyen en la preparación de profesionales comprometidos con el entorno y aporte a las dimensiones de la sostenibilidad.

referencias

1. K. Sharma y R. Sharma, “Comparative Analysis of Water Sustainability Indices,” *Water*, vol. 16, no. 7, p. 961, 2024, <https://doi.org/10.3390/w16070961>
2. L. Wang, X. Zhang y Y. Zhang, “Various Natural and Anthropogenic Factors Responsible for Water Quality Degradation,” *Water*, vol. 13, no. 19, p. 2660, 2021, <https://doi.org/10.3390/w13192660>
3. M. H. Berrocal y J. S. Castillo, “The Impact of Extreme Precipitation Events and Their Changes,” *Weather, Climate, and Society,* vol. 15, no. 4, pp. 1-15, 2023, <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-23-0014.1>
4. A. R. Huerta-Vergara y O. Escolero J. Smith, A. Brown y L. Garcia, “The role of citizen participation in advancing sustainable water solutions: The Mexico City case study” *Sustainable Cities and Society*, vol. 101, p. 105104, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105104>
5. A. López-Sánchez, J. Martínez-Ruiz y M. Fernández-Monroy, “Smart water management: governance innovation for sustainable water use,” *Zenodo Preprints*, 2023. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15153008>
6. K. K. Romero Valdez, V. M. Martínez García, R. E. Garzón González y Y. Díaz Romero, “Desarrollo de innovación tecnológica aplicada en la enseñanza de la hidráulica y la construcción sustentable a través de la implementación de la metodología STEAM,” *Ciencias de la Ingeniería*, núm. 1, pp. 30-36, 2025, <https://doi.org/10.26359/UACAMCI.0104>
7. M. Dodgson, D. M. Gann, and A. Salter, “The impact of modelling and simulation technology on engineering problem solving,” Technology Analysis & Strategic Management, vol. 19, no. 4, pp. 471–489, 2007, <https://doi.org/10.1080/09537320701403425>
8. J. D. Salas, R. S. Govindaraju, M. Anderson, M. Arabi, F. Francés, W. Suarez, W. S. Lavado-Casimiro, T. R. Green, “Introduction to Hydrology,” en Modern Water Resources Engineering, H. K. Versteeg, Ed. Springer, 2013, pp. 1-126, <https://doi.org/10.1007/978-1-62703-595-8_1>
9. X. Yu y C. J. Duffy, “Watershed Hydrology: Scientific Advances and Environmental Assessments,” Water, vol. 10, no. 3, p. 288, 2018, <https://doi.org/10.3390/w10030288>
10. J. J. McDonnell y H. Beven, “Hydrology: The interdisciplinary science of water,” *Water Resources Research*, vol. 52, no. 3, pp. 1613-1626, 2016, <https://doi.org/10.1002/2015WR017049>
11. A. Balasubramanian y D. Nagaraju, Hydrology and Its Branches, *Informe técnico,* University of Mysore, 2017. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12676.53123>
12. B. I. Guido, I. Popescu, V. Samadi, y B. Bhattacharya, “An integrated modeling approach to evaluate the impacts of nature-based solutions of flood mitigation across a small watershed in the southeast United States,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.,* vol. 23, pp. 2663-2681, 2023, <https://doi.org/10.5194/nhess-23-2663-2023>
13. F. Legarda Garzon, M. F. Johnson, N. Mount y H. Gómez, “Exploring the effects of catchment morphometry on overland flow response to extreme rainfall using a 2D hydraulic-hydrological model (IBER),” *Journal of Hydrology,* vol. 627, p. 130405, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130405>
14. P. Dutta y A. K. Sarma, “Hydrological modeling as a tool for water resources management of the data-scarce Brahmaputra basin,” Journal of Water and Climate Change, vol. 12, no. 1, pp. 152–165, 2021, <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.186>
15. “What is HEC-HMS and what is its Role?”, *HEC-HMS Applications Guide, U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Cente*r, 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsag/introduction/what-is-hec-hms-and-what-is-its-role>
16. L. Yuan y K. J. Forshay, “Enhanced streamflow prediction with SWAT using support vector regression for spatial calibration: A case study in the Illinois River watershed, U.S.,” *PLoS ONE*, vol. 16, no. 4, p. e0248489, 2021, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248489>
17. J. C. Refsgaard y B. Storm, “Flexible, integrated watershed modelling with MIKE SHE,” in *Mathematical Models of Large Watershed Hydrology, V. P. Singh and D. K. Frevert, Eds. Littleton, CO: Water Resources Publications,* 2002, pp. 245–272.
18. U. Kępa and I. Deska, “Using a Hydraulic Model for Conceptual Planning of Rural Water Supply Network Reconstruction—Case Study,” *Water*, vol. 17, no. 20, art. 2961, 2025. <https://doi.org/10.3390/w17202961>
19. S. Kara, I. E. Karadirek, A. Muhammetoglu y H. Muhammetoglu, “Hydraulic modeling of a water distribution network in a tourism area with highly varying characteristics,” *Procedia Engineering*, vol. 162, pp. 521-529, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.096>
20. C. Junaid y O. Izinyon, “Hydraulic and Water Quality Modelling of Water Distribution Networks Using EPANET Software,” *Nigerian Journal of Environmental Sciences and Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 172-179, Mar. 2022, <https://doi.org/10.36263/nijest.2022.01.0342>
21. N. N. Zainal and S. H. Abu Talib, “Review paper on applications of the HEC-RAS model for flooding, agriculture, and water quality simulation,” *Water Practice & Technology*, vol. 19, pp. 2883-2900, 2024, <https://doi.org/10.2166/wpt.2024.173>
22. V. A. Tsihrintzis, R. Hamid y H. R. Fuentes, “Use of Geographic Information Systems (GIS) in water resources: A review,” *Water Resources Management*, vol. 10, no. 4, pp. 251-277, 1996, <https://doi.org/10.1007/BF00508896>
23. S. Tsegaye, M. G. Kebedew, K. K. Albrecht, T. M. Missimer, S. Thomas y A. S. Elshall, “Integrated GIS-hydrologic-hydraulic modeling to assess combined flood drivers in coastal regions: a case study of Bonita Bay, Florida,” *Frontiers in Water,* vol. 6, p. 1468354, 2024, <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.146835>