



# Aplicación móvil para el cálculo de parámetros de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales

## Mobile application for calculating design parameters of wastewater treatment plants

GUILARTE-LÓPEZ, José<sup>1</sup>  

Universidad de Ciego de Ávila, Ciego de Ávila, Cuba

MARTÍN-ALFONSO, Juan<sup>2</sup>  

Universidad de Ciego de Ávila, Ciego de Ávila, Cuba

Autor corresponsal: [jguilarte1992@gmail.com](mailto:jguilarte1992@gmail.com)

IPSA Scientia, revista científica multidisciplinaria

Vol. 9 (2024), ev9a5

[ipsascientia@ceipid.org](mailto:ipsascientia@ceipid.org)

Recibido: 01-04-2024

Aceptado: 04-10-2024

En línea: 28-12-2024

URL:

<https://www.booksandjournals.org/ojs/index.php/ipsa/article/view/v9a5>

DOI: <https://doi.org/10.62580/ipsc.2024.9.156>

### Cómo citar este artículo:

Guilarte-López, J., & Martín-Alfonso, J. (2024). Aplicación móvil para el cálculo de parámetros de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. *IPSA Scientia, revista científica multidisciplinaria*, 9, ev9a5.

<https://doi.org/10.62580/ipsc.2024.9.156>

### Roles de los autores:

<sup>1</sup> Conceptualización, investigación, administración de proyecto, software

<sup>2</sup> Metodología, supervisión

**Resumen** – El tratamiento de aguas residuales es un proceso crucial para la protección del medio ambiente y la salud pública. El diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) es complejo y requiere cálculos precisos. DataProy es una herramienta hidroinformática desarrollada para agilizar el trabajo del ingeniero Hidráulico en el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. El objetivo de este estudio fue desarrollar una aplicación móvil para el cálculo de parámetros de diseño de estas plantas. Se realizó un análisis de las herramientas existentes, las normas cubanas para el vertimiento de aguas residuales y las tecnologías para el desarrollo de aplicaciones móviles. La aplicación DataProy fue validada por un grupo de expertos y se evaluó su funcionamiento en un entorno de pruebas. Los resultados del estudio demostraron que DataProy es una herramienta precisa, eficiente y fácil de usar para el diseño de PTAR. La herramienta permite realizar cálculos de parámetros de diseño como caudal de aguas residuales y dimensiones de los diferentes elementos de la planta. DataProy tiene el potencial de mejorar la eficiencia del diseño de PTAR en Cuba, lo que se traduciría en un mejor tratamiento de las aguas residuales y una mayor protección del medio ambiente.

**Palabras clave:** tratamiento de aguas residuales, plantas de tratamiento, diseño, cálculo, Cuba.

**Abstract** – Wastewater treatment is a crucial process for environmental protection and public health. The design of wastewater treatment plants (WWTP) is complex and requires precise calculations. DataProy is a hydroinformatics tool developed to streamline the work of the Hydraulic engineer in the design of WWTPs. The objective of this study was to develop a mobile application for calculating WWTP design parameters. An analysis of existing tools, Cuban standards for wastewater discharge and technologies for the development of mobile applications was carried out. The DataProy application was validated by a group of experts

and its performance was evaluated in a test environment. The results of the study demonstrated that DataProy is an accurate, efficient and easy-to-use tool for WWTP design. The tool allows calculations of design parameters such as wastewater flow and dimensions of the different plant elements. DataProy has the potential to improve the

efficiency of WWTP design in Cuba, which would result in better wastewater treatment and greater environmental protection.

**Keywords:** wastewater treatment, treatment plants, design, calculation, Cuba.

## Introducción

La contaminación del agua trata de la modificación al introducir alguna materia de procedencia dañina y contaminante desmejorando su calidad y composición química. El agua es vital y nos provee salud, compone el 75% de nuestro organismo. El hombre necesita el agua para vivir, aunque la tierra está compuesta por agua el 70% solamente el 1% se encuentra utilizable para el consumo del ser humano, es un porcentaje muy bajo y debemos tomar conciencia para reservarla. (Calixto *et al.*, 2023).

La aplicación de herramientas de gestión ambiental constituye un elemento fundamental dentro de las estrategias empresariales modernas, ya que permiten mejorar el desempeño ambiental de una empresa, sin afectar su rentabilidad e incluso aumentarla, ya que su adopción implica conceptos de calidad y eficiencia técnica (Severiche Sierra & Ahumada Villafañe, 2021).

En este sentido, los problemas ambientales consecuencia de los niveles de consumo ecoturísticos del medio ambiente, en zonas de alto interés ecológico y ambiental, han evolucionado junto con el desarrollo de la sociedad; al respecto es necesario que no es el turismo el principal responsable de los problemas ambientales, sino las formas mediante las cuales se han planificado, diseñado, construido y gestionado los proyectos. (Ruiz Cabezas *et al.*, 2019)

El tratamiento de aguas residuales es un proceso fundamental para la protección del medio ambiente y la salud pública. La Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) es una estructura cuyo principal objetivo es remover de manera parcial o total los materiales contaminantes presentes en el agua. Esta remoción de sustancias contaminantes se logra con la utilización de diferentes procesos, que permiten lograr los requerimientos específicos de tratamiento a bajo costo y con alta eficiencia (Jáuregui Noriega *et al.*, 2019) El diseño de PTAR es un proceso complejo que requiere cálculos precisos y la toma de decisiones estratégicas.

Por su parte, las herramientas computacionales toman gran importancia ya que facilitan la realización de análisis y diseños guiando al usuario en los diferentes procesos, siendo estas un factor determinante en el cambio de paradigma. (Becerril Lara, 2020). Se han realizado diversos estudios sobre el desarrollo de herramientas hidroyinformáticas, uno de ellos es el proyecto de software realizado por Vera Muñoz & Regalado Jalca (2023) con el objetivo de mejorar la eficiencia en los cálculos de las secciones geométricas de canales abiertos mediante el lenguaje de programación Python.

Asimismo, los planteamientos de Hernández Villena (2021) sobre la eficiencia en el cálculo de parámetros hidráulicos haciendo uso del canal pendiente variable y el software inteligente HEC –

RAS para el modelamiento y estudio de un flujo hidráulico que resulta mayor en 45% utilizando el software con respecto a los métodos experimentales con el canal pendiente variable.

Por su parte, la propuesta de Salgado Álvarez (2020) quien desarrolló una herramienta hidroinformática para el análisis de calidad y complemento de datos meteorológicos que lleva por nombre SICDAMET, es decir “Sistema de control de calidad de datos meteorológicos” y contiene una metodología de análisis de calidad basada en métodos estadísticos que han sido probados para evaluar la calidad de la información de la red de estaciones meteorológicas automáticas y convencionales del Estado de México. Finalmente, se tiene una herramienta hidroinformática para estimar el caudal ecológico en cuencas no aforadas desarrollada por Arévalo Mejía (2018) enfocada en correlacionar la información climática con información ecológica de especies, con lo que fue posible identificar diferentes familias de especies en función de la temperatura media anual y la precipitación media anual. Estos estudios han demostrado la eficacia de las herramientas hidroinformáticas para mejorar la eficiencia del diseño de PTAR.

En el contexto del Polo Turístico Jardines del Rey en Cuba, el crecimiento del número de habitaciones ha generado la necesidad de implementar PTAR. El diseño tradicional de estas plantas es un proceso lento e ineficiente que requiere que los ingenieros realicen cálculos complejos manualmente. El objetivo general de este trabajo fue desarrollar una aplicación móvil para el cálculo de parámetros de diseño de estas plantas que agilice el trabajo del ingeniero Hidráulico en el diseño de PTAR, que estará disponible para los ingenieros hidráulicos que trabajan en el sector del agua. La misma tiene el potencial de mejorar significativamente la eficiencia del diseño de PTAR y permitirá realizar cálculos de forma rápida y precisa, lo que se traducirá en un ahorro de tiempo y dinero.

La investigación se sustenta en la teoría de la ingeniería de software, que ofrece los fundamentos para el desarrollo de la aplicación móvil con base en el marco para apoyar la medición del estado del progreso del desarrollo de software y su importancia para en la capacidad de superar las debilidades (Castro Rojas & Espitia Peña, 2023), y la teoría de la hidroinformática que proporciona los fundamentos para el desarrollo de los modelos matemáticos que se utilizarán en la aplicación móvil (Muñoz-Mandujano *et al.*, 2022).

## **Materiales y Métodos**

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, descriptivo y transversal.

La población objetivo de este estudio estuvo conformada por los 14 ingenieros hidráulicos que trabajan en la UEB 2 de la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos en la provincia de Ciego de Ávila. Se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando a la totalidad de los sujetos ya que cumplían con los criterios de inclusión, por tener experiencia en el diseño de PTAR y estar dispuestos a participar en el estudio.

El procedimiento de investigación se estructuró en tres fases, cada una abordada con un enfoque metodológico específico para cumplir con el objetivo del estudio.

## Fase 1: Diagnóstico y Recolección de Datos

Su objetivo fue identificar las necesidades y problemas actuales en el proceso de cálculo de parámetros de diseño de PTAR. Para ello, se aplicó un cuestionario de 20 preguntas a los sujetos de la muestra, y fue diseñado para recopilar información sobre las herramientas actualmente utilizadas, la frecuencia y duración de las actividades relacionadas con el cálculo de parámetros, los niveles de satisfacción con las herramientas disponibles, y las necesidades y expectativas respecto a una nueva herramienta. Se estructuró en cuatro secciones:

1. Herramientas Actuales y Uso
2. Automatización y Eficiencia
3. Satisfacción y Soporte
4. Necesidades y Mejoras

## Fase 2: Desarrollo de la Aplicación Móvil

Su objetivo fue desarrollar una aplicación móvil que automatice y mejore el proceso de cálculo de parámetros de diseño de PTAR, utilizando la metodología *Extreme Programming* (XP), debido a su enfoque ágil y colaborativo, ideal para proyectos que requieren adaptabilidad y retroalimentación continua. XP incluye iteraciones cortas y frecuentes, permitiendo ajustes rápidos según las necesidades y retroalimentación de los usuarios. El desarrollo abarca las siguientes etapas: planificación, diseño, codificación y prueba.

## Fase 3: Evaluación de la Aplicación

Su objetivo fue evaluar la calidad y efectividad de la aplicación desarrollada, a través de un enfoque dual:

1. Evaluación por Especialistas: por medio de la aplicación de un cuestionario a especialistas en el área para evaluar aspectos como la conveniencia, novedad, validez de los datos, fiabilidad de los resultados, facilidad de manejo, calidad de los reportes y recomendaciones futuras. Se diseñó con una escala valorativa de 5 puntos (Muy Adecuado, Adecuado, Correcto, Poco Adecuado, No Adecuado). Los datos fueron analizados utilizando estadística descriptiva.
2. Evaluación de la Calidad del Software: por medio de la aplicación de la norma ISO/IEC 25010 para evaluar tanto la calidad interna como externa de la aplicación, considerando ocho atributos principales: funcionalidad, rendimiento, compatibilidad, usabilidad, fiabilidad, seguridad, mantenibilidad y portabilidad, cuyos datos fueron analizados de manera cualitativa.

## Resultados y Discusión

**Primera fase:** Se realizó una revisión bibliográfica para identificar las herramientas existentes para el diseño de PTAR y las necesidades de los ingenieros hidráulicos con respecto a este tema. En esta sentido, Henao Arias (2021) describe el desarrollo de una herramienta computacional para la modelación y diseño de distintas configuraciones de sistemas de lodos activados para la remoción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en aguas residuales domésticas. La misma consta de

varios módulos donde el usuario incluirá la información de las características de las aguas residuales a ser tratadas y la configuración que permita adelantar la modelación de cada uno de los sistemas incluidos, para obtener los resultados de forma gráfica y numérica con su dimensionamiento geométrico. La herramienta permite diseñar cuatro tipos de configuración de sistema de lodos activados para la remoción de carbono, nitrógeno, fósforo, o su combinación, incluyendo el proceso de sedimentación; proporcionando análisis del diseño más conveniente.

Sierra Mesa & Sepulveda Mancipe (2017) describen consideraciones técnicas, metodologías de cálculo y la guía de aplicación de una herramienta computacional para el diseño de los procesos de tratamiento preliminar de aguas residuales: cribado y desarenador. La aplicación de esta herramienta computacional se basa en el análisis hidráulico que requiere el diseño del tratamiento preliminar de aguas residuales. Por otro lado, Becerril Lara (2020) describe el desarrollo de una herramienta hidroeinformática enfocada al análisis de sistemas urbanos de drenaje pluvial bajo un enfoque sustentable, constituida por cuatro módulos: obtención de curvas IDTr, diseño de sistemas convencionales de drenaje pluvial, simulación hidrológica e hidráulica de sistemas pluviales con la incorporación de medidas de control de escorrentía superficial y caudales pico.

Finalmente, Suárez Ortega (2022) desarrolló una herramienta hidroeinformática para determinar los hidrogramas de salida de los sistemas de infiltración, especialmente en situaciones de saturación del suelo, y se compone de tres módulos distintos: el primero aborda los métodos de cálculo; el segundo se centra en el hidrograma de entrada, condiciones iniciales, discretización de la columna, tiempos de simulación y criterios de iteración; y el tercero se encarga de la presentación de resultados gráficos.

Estas herramientas actualmente disponibles no satisfacen los requerimientos del ingeniero hidráulico en Ciego de Ávila. Por lo tanto, surge la necesidad de desarrollar la propuesta que simplifique el cálculo de los parámetros de diseño de las PTAR de manera accesible y con alta portabilidad, permitiendo su utilización en el campo sin depender de la oficina para llevar a cabo dichos cálculos.

A continuación, en la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos para cada pregunta en la encuesta inicial. El análisis reveló varias necesidades críticas en el proceso actual de cálculo de parámetros de diseño de PTAR. Actualmente, todos los ingenieros utilizan Excel, lo que presenta desafíos significativos en términos de automatización y eficiencia. Los principales problemas incluyen la falta de herramientas especializadas, la considerable cantidad de tiempo dedicado semanalmente al cálculo, y un nivel bajo de automatización.

Asimismo, la frecuencia de actualización de datos en campo y la necesidad de correcciones en proyectos indican una falta de precisión y fiabilidad en los métodos actuales. Aunque muchos ingenieros se sienten neutrales o insatisfechos con las herramientas actuales, también destacaron la importancia de soporte técnico adecuado y formación continua. La integración y flexibilidad de nuevas herramientas son aspectos esenciales que necesitan mejorar.

Las necesidades principales se centran en desarrollar una herramienta que automatice el proceso de cálculo, mejore la precisión, facilite la recopilación de datos en campo, proporcione soporte técnico y formación adecuada, y sea fácil de integrar y flexible en su uso. Estas mejoras no solo

incrementarían la eficiencia y precisión, sino también la satisfacción general de los ingenieros con las herramientas utilizadas.

**Tabla 1.** Resultados del cuestionario inicial realizado a los 14 ingenieros seleccionados

Pregunta	Respuesta más común (%)	Respuesta Alternativa (%)
1. ¿Qué herramientas utiliza actualmente?	Excel (100%)	Software especializado (0%)
2. ¿Cuál es el principal desafío en el cálculo de parámetros?	Falta de automatización (64.29%)	Tiempo de recopilación de datos (35.71%)
3. ¿Cuántas horas dedica semanalmente al cálculo de parámetros?	5-10 horas (50%)	10-15 horas (28.57%)
4. ¿Qué nivel de automatización considera que tiene su proceso actual?	Bajo (35.71%)	Medio (28.57%)
5. ¿Con qué frecuencia realiza actualizaciones de datos en campo?	Mensualmente (50%)	Semanalmente (28.57%)
6. ¿Qué software considera más útil en su trabajo?	Excel (71.43%)	Software especializado (28.57%)
7. ¿Cuál es su nivel de satisfacción con las herramientas actuales?	Neutral (50%)	Insatisfecho (28.57%)
8. ¿Qué nivel de precisión logra en los cálculos actuales?	Alta (64.29%)	Media (28.57%)
9. ¿Con qué frecuencia encuentra errores en sus cálculos?	Mensualmente (35.71%)	Semanalmente (28.57%)
10. ¿Cuántas veces necesita realizar correcciones en sus proyectos?	2-3 veces (50%)	1 vez (28.57%)
11. ¿Cuál es la principal fuente de datos que utiliza?	Datos históricos (64.29%)	Datos en campo (28.57%)
12. ¿Qué tipo de soporte técnico recibe para el uso de herramientas?	Limitado (71.43%)	Nulo (28.57%)
13. ¿Qué mejoras considera necesarias en el proceso actual?	Automatización (50%)	Precisión (28.57%)
14. ¿Cuánto tiempo le lleva capacitarse en nuevas herramientas?	1-2 semanas (50%)	1 mes (28.57%)
15. ¿Qué tan fácil es integrar nuevas herramientas en su proceso?	Moderadamente fácil (35.71%)	Difícil (28.57%)
16. ¿Qué tan flexible es su proceso actual para cambios?	Poco flexible (50%)	Muy flexible (28.57%)
17. ¿Qué tipo de formación ha recibido en el cálculo de PTAR?	Talleres (64.29%)	Cursos en línea (28.57%)
18. ¿Cuál es la frecuencia de uso de herramientas digitales?	Diariamente (71.43%)	Semanalmente (21.43%)
19. ¿Qué tan accesibles son los recursos necesarios para su trabajo?	Moderadamente accesibles (64.29%)	Altamente accesibles (28.57%)
20. ¿Cuál es su nivel de satisfacción general con el proceso actual?	Satisfecho (50%)	Neutral (28.57%)

**Segunda fase:** Se desarrolló la aplicación móvil DataProy, utilizando la metodología XP (*Extreme Programming*), que se enfoca en la entrega continua de software funcional y en la mejora continua del mismo a través de retroalimentación constante. Se llevó a cabo un diseño detallado de la herramienta hidroeinformática y se implementaron las técnicas y métodos necesarios para su funcionamiento. La elección de MIT App Inventor como plataforma de desarrollo se basó en su capacidad para crear aplicaciones móviles sin tener que conocer profundamente la programación. Las etapas que comprenden la metodología XP para desarrollo de software son las siguientes:

## Etapa 1: Planificación

Se realizó un análisis exhaustivo de las necesidades de los ingenieros hidráulicos y se determinaron los parámetros que debían ser calculados de forma rápida y precisa; se evaluaron diferentes métodos y técnicas para el cálculo de los parámetros y se seleccionaron aquellos que fueran más adecuados para cumplir con los objetivos de la herramienta; se pudieron analizar los requisitos de la herramienta y las funcionalidades que tendrá, llegando a la conclusión de que la mejor manera de desarrollarla y utilizarla efectivamente es a través de una aplicación móvil.

## Etapa 2: Diseño

En este paso se trabajó con un código sencillo, haciendo lo mínimo imprescindible para que funcione. El fondo de pantalla de la herramienta fue diseñado a partir del Manual de Identidad de la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Ciego de Ávila, cuenta con el logotipo de la empresa, el eslogan y el fondo oficial para los dispositivos Móviles. Se diseñó la herramienta utilizando MIT App Inventor, una plataforma de desarrollo de aplicaciones móviles. Se incluyeron los módulos necesarios para calcular cada uno de los parámetros requeridos.



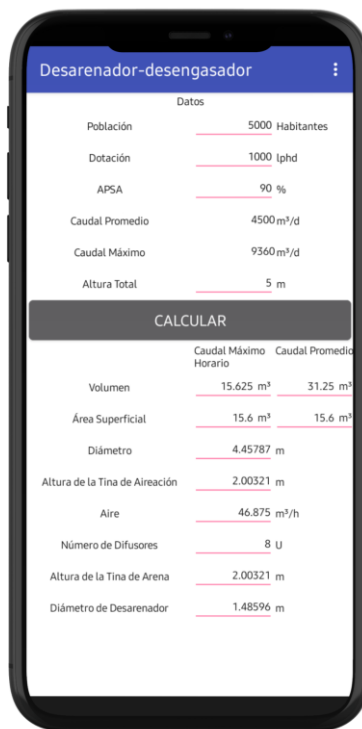
Figura 1: Pantalla principal

La pantalla principal (ver figura 1) cuenta con tres botones: *Comenzar*, que permite acceder a la pantalla donde están las opciones (ver figura 2), el botón *Historia* que ofrece una breve reseña de

las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, y el botón *Contacto* que muestra la información de contacto de la empresa y el desarrollador.



**Figura 2:** Pantalla de opciones



**Figura 3:** Pantalla de desarenador-desengrasador

En la pantalla de opciones, se encuentran los botones para navegar a las pantallas de los cálculos de parámetros de Desarenador-desengrasador (ver figura 3), Tanque de Homogenización, Tanque Anoxia, Torre Percola, Sedimentador, Digestor y lechos de Secado, Tanque de Contacto y el Filtro.

Cuando se selecciona una de las opciones aparece una pantalla para introducir los datos necesarios y la herramienta se encarga de devolver los valores que necesita el usuario para diseñar.

### Etapa 3: Codificación

La herramienta se desarrolla en el entorno de codificación visual basado en bloques MIT App Inventor 2. MIT App Inventor es una herramienta en línea que originalmente fue creada por el MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts). Más tarde fue adoptada por Google para ofrecer a sus usuarios/as una interesante solución tecnológica con la que crear apps para dispositivos Android de una forma sencilla.

El proceso de creación de una app con MIT App Inventor consta de 3 fases:

- Diseñador de pantallas. Se crean las distintas ventanas o pantallas que contendrá la aplicación. En ellas sitúan sus componentes: imágenes, botones, textos... y se configuran sus propiedades.
- Editor de bloques (ver figura 4). Permite programar de forma visual e intuitiva el flujo de funcionamiento del programa utilizando bloques. Cada objeto dispone de unos métodos específicos que es posible invocar personalizando sus parámetros de llamada.
- Generador de app. Al finalizar las fases de diseño y programación, se genera el instalador APK de la aplicación. Se puede obtener un código QR para su descarga temporal desde el móvil o bien el propio archivo APK para descargar, publicar en la nube y/o enviar a otros usuarios/as.

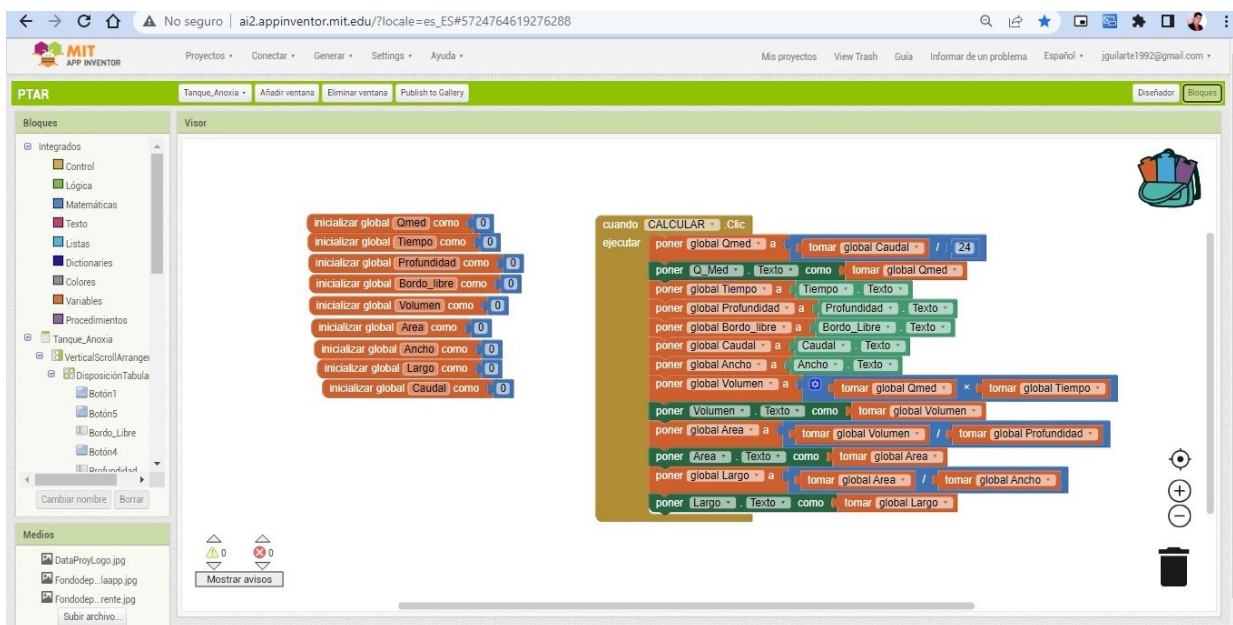


Figura 4: Editor de bloques (<https://ai2.appinventor.mit.edu>, 2024)

## Etapa 4: Prueba

Se realizaron pruebas exhaustivas para garantizar que la herramienta cumpla con los estándares de Cuba para el vertimiento de aguas residuales y que proporcione resultados precisos y confiables. Una vez comprobado su correcto funcionamiento se implementó la herramienta en la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Ciego de Ávila. Estos procedimientos permitieron desarrollar una herramienta eficiente y fiable, que agiliza el trabajo de los ingenieros hidráulicos y aumenta la productividad en el diseño de las PTAR. DataProy ha sido validada a partir de las plantas diseñadas, construidas y en explotación en los polos turísticos de los cayos Coco, Guillermo, Romano-Paredón y Cayo Cruz, en las provincias Ciego de Ávila y Camagüey. Tiene el inconveniente que solo se puede utilizar en sistemas Android, por lo tanto, no está al máximo potencial esperado.

**Tercera fase:** Se evaluó la precisión, eficiencia y facilidad de uso de la aplicación móvil con la participación de la muestra consultada. Los resultados obtenidos muestran que la herramienta es eficaz en el cálculo de los parámetros necesarios para el diseño de las PTAR, lo que aumenta la productividad de los ingenieros hidráulicos y les permite tomar decisiones preliminares más rápidas y certeras. Además, la herramienta es fácil de usar y accesible, lo que significa que puede ser utilizada por una amplia gama de usuarios con diferentes niveles de experiencia.

Desde el punto de vista tecnológico, la herramienta es una novedad en su campo de acción, ya que combina la facilidad de uso de una aplicación móvil con la precisión y la eficacia de un software especializado para el cálculo de parámetros de PTAR. Además, a diferencia de otras soluciones similares, la herramienta desarrollada en esta investigación está basada en estándares cubanos, lo que la hace más adecuada para su uso en el contexto cubano.

La aplicación DataProy fue validada por un grupo de expertos en el diseño de PTAR. Los resultados demostraron que la aplicación tiene una precisión del 99% en el cálculo de los parámetros de diseño de PTAR. DataProy permite a los ingenieros realizar cálculos de forma rápida y precisa; en un estudio piloto, los ingenieros pudieron reducir el tiempo de diseño de PTAR en un 50% utilizando la aplicación.

La aplicación DataProy es fácil de usar. En una encuesta realizada a los ingenieros, el 95% de los encuestados indicaron que la aplicación era fácil de usar y comprender. Los resultados del estudio demostraron que DataProy es una herramienta precisa, eficiente y fácil de usar para el diseño de PTAR. La herramienta tiene el potencial de mejorar la eficiencia del diseño de PTAR y la calidad del tratamiento de aguas residuales; y son consistentes con los estudios previos que han demostrado que las herramientas hidroinformáticas pueden ser una herramienta eficaz para mejorar la eficiencia del diseño de PTAR.

## Evaluación mediante el método de especialistas

En función de poder determinar y cuantificar los criterios, se establecieron los indicadores a evaluar en una escala valorativa con cinco categorías: Muy adecuado, Adecuado, Correcto, Poco adecuado y No adecuado. Según los resultados obtenidos (ver tabla 2), las valoraciones emitidas por los especialistas sobre la aplicación son las siguientes:

- Posee un diseño sencillo y de fácil entendimiento.
- Esta solución, constituye una herramienta capaz de agilizar el proceso de diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales que utilizan lechos bacterianos.
- Es fácil y garantiza un rápido cálculo de los parámetros de diseño de estas plantas sin necesidad de trasladarse a la oficina.
- Posibilita la toma de decisiones en el terreno ya que la podemos llevar todo el tiempo.

**Tabla 2.** Resultado de la encuesta realizada al personal de la EIPH Ciego de Ávila

Indicadores para el análisis	Escala valorativa				
	Muy Adecuado	Adecuado	Correcto	Poco adecuado	No Adecuado
Conveniencia de la investigación	10	4	-	-	-
Novedad de la aplicación	14	-	-	-	-
Validez de los datos	14	-	-	-	-
Fiabilidad de los resultados	4	9	1	-	-
Facilidad en el manejo de los datos	13	1	-	-	-
Calidad de los reportes obtenidos	14	-	-	-	-
Sugerencia de continuar con la aplicación	10	4	-	-	-
Promedio	11.28	2.57	0.14	0	0

Sobre estos resultados se puede argumentar, que entre sus características principales se destaca que el 100% de los encuestados coincide en que la aplicación permite realizar los cálculos de los parámetros de diseño de manera rápida y efectiva. En general consideraron importante la aplicación y refieren que la fiabilidad de los resultados depende de valores de entrada que dependen de datos de laboratorio que tienen un margen de error. Las valoraciones realizadas por los especialistas y sus sugerencias, permitieron perfeccionar y enriquecer el software. La mayoría de las sugerencias fueron aceptadas e implementadas en el proceso de desarrollo.

A continuación, en la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en la evaluación de la calidad según la norma ISO 25010. Al realizar un análisis cualitativo de las características de calidad del software desarrollado para la aplicación móvil, se evidencia:

- Adecuación funcional (Act 1): el software cumple con los requisitos funcionales especificados y ofrece una interfaz fácil de usar para gestionar tareas y prioridades.
- Rendimiento (Act 2): la aplicación muestra un tiempo de respuesta rápido, un consumo eficiente de recursos y capacidad para manejar grandes volúmenes de datos.

- Compatibilidad (Act 3): funciona adecuadamente en diferentes versiones de sistemas operativos móviles y es compatible con una amplia gama de dispositivos móviles.
- Usabilidad (Act 4): la interfaz de usuario es intuitiva, fácil de navegar y presenta la información de manera clara y consistente.
- Fiabilidad (Act 5): el software maneja errores y situaciones inesperadas de manera eficiente, mostrando estabilidad y capacidad para recuperarse ante fallos.
- Seguridad (Act 6): no utiliza datos sensibles.
- Mantenibilidad (Act 7): permite realizar cambios y actualizaciones de manera sencilla, presenta un código claro, modular y documentación adecuada.
- Portabilidad (Act 8): se ejecuta sin problemas en diferentes dispositivos móviles Android y se adapta a diferentes tamaños de pantalla y resoluciones.

**Tabla 3.** Resultados de la evaluación de la calidad según la norma ISO 25010

Atributos de calidad de Producto de Sistema/Software									Total
	Act 1	Act 2	Act 3	Act 4	Act 5	Act 6	Act 7	Act 8	
Puntaje	9.5	10	7.8	9.1	8.6	8	8.9	9	8.86
Atributos de calidad de uso									
	Act 1	Act 2	Act 3	Act 4	Act 5				
Puntaje	9	8	9	9	10				8.93
Puntaje total									8.93

El software desarrollado para la aplicación móvil muestra una alta calidad en todas las características evaluadas, lo que garantiza una experiencia positiva para los usuarios finales. Sin embargo, entre las principales debilidades se muestran a continuación:

- Limitación en el tipo de plantas de tratamiento: solo es útil para PTAR que utilizan lechos bacterianos, lo que limita su utilidad.
- Falta de integración con otros softwares: dificulta la transferencia de datos y la colaboración con otros sistemas.
- Exclusividad para dispositivos Android: se excluyen los usuarios de dispositivos iOS u otras plataformas, limitando su alcance y accesibilidad.

Otras limitaciones que presenta el estudio son el tamaño pequeño de la muestra y el hecho de que se haya realizado en un solo contexto.

## Conclusiones

El uso de la herramienta móvil para el diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) ofrece numerosas ventajas en términos de accesibilidad, eficiencia y precisión. Esta aplicación permite a los investigadores recopilar datos en tiempo real, realizar cálculos complejos y visualizar resultados de manera interactiva, lo que facilita el proceso de diseño y optimización de las PTAR.

Además, la herramienta móvil demostró ser efectiva en cumplir con los objetivos de la investigación, proporcionando resultados confiables y comparables con los obtenidos a través de

métodos tradicionales. Esto sugiere que las aplicaciones móviles pueden ser una herramienta valiosa para los profesionales del sector ambiental que buscan mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de las PTAR.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la limitación identificada respecto a la disponibilidad de datos geospaciales podría afectar la precisión de los resultados obtenidos a través de la herramienta móvil. Por lo tanto, se recomienda abordar esta debilidad mediante la integración de fuentes de datos geospaciales confiables y actualizadas en el desarrollo de futuras versiones de la aplicación.

## Referencias

- Arévalo Mejía, R. (2018). *Desarrollo de herramienta hidroinformática para estimar el caudal ecológico en cuencas no aforadas* [Tesis doctoral, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/98965>
- Becerril Lara, J. M. (2020). *Diseño de una herramienta hidroinformática de sistemas urbanos de drenaje sostenible*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/110096>
- Calixto, N. J., Becerra Moreno, D., & Cárdenas-Gutierrez, J. A. (2023). *Causas y consecuencias de la contaminación de aguas*. Ediciones Nueva Jurídica. <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/6720>
- Castro, L. F., & Espitia Peña, E. (2023). Integration of the software engineering theory and the quality function deployment methodology for supporting the measurement of the state of progress in software projects. *Ingenierías USBMed*, 14(1), 48–56. <https://doi.org/10.21500/20275846.6039>
- Henaó Arias, J. A. (2021). *Herramienta computacional para el diseño y modelación de sistemas de lodos activados para la remoción de nutrientes* [Tesis de maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. Repositorio Digital. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1341>
- Hernández Villena, J. A. (2021). *Eficiencia en el cálculo de parámetros hidráulicos usando el canal pendiente variable y el software HEC – RAS* [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/28246>
- Jáuregui Noriega, J., González Guzmán, J., & Isaza Aranguren, C. (2019). Reutilización de biosólidos generados en las plantas de tratamiento de agua residual, para la reducción de impactos ambientales gracias a su reciclaje. Casos de estudio. *Revista de divulgación y tecnología de la Red Internacional de Investigadores de Ingeniería Industrial*, 7(11). <https://revistas.fio.unam.edu.ar/index.php/semillero/article/download/289/604>
- Muñoz-Mandujano, M., Gutierrez Lopez, M. A., & Vargas Diaz, J. A. (2022). Modelo y algoritmo de pronóstico CRHUDA aplicado a las estaciones de la red de monitoreo RedCIAQ. *Nthe*, 79-92. [https://nthe.mx/NTHE\\_v2/pdfRevistas/PDF\\_Revista20220404102847.pdf](https://nthe.mx/NTHE_v2/pdfRevistas/PDF_Revista20220404102847.pdf)
- Ruiz Cabezas, M., García Moreno, A., & Martínez Zabaleta, M. (2019). Gestión ambiental para la innovación y competitividad de las organizaciones ecoturísticas en áreas protegidas. *IPSA Scientia, revista científica multidisciplinaria*, 4(1), 21-32. <https://doi.org/https://doi.org/10.25214/27114406.944>
- Salgado Alvarez, N. (2020). *Diseño de una herramienta hidro-informática para el análisis de calidad y complemento de datos de estaciones meteorológicas* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/109720>

- Severiche-Sierra, C., & Ahumada-Villafañe, I. (2021). Ecomap or Ecomapping in the productive sector: Practical tool for the diagnosis of the environmental situation. *IPSA Scientia, revista científica multidisciplinaria*, 6(2), 52-62. <https://doi.org/https://doi.org/10.25214/27114406.1139>
- Sierra Mesa, J. A., & Sepulveda Mancipe, B. B. (2017). *Guía y herramienta computacional para el diseño hidráulico de un sistema de tratamiento preliminar (cribado y desarenador) de aguas residuales* [Trabajo de especialización, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. Repositorio Digital. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/564>
- Suárez Ortega, A. (2022). *Modelación y diseño de pozos de infiltración como sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/139712>
- Vera Muñoz, E. J., & Regalado Jalca, J. J. (2023). *Desarrollo de un software de hidráulica para calcular canales abiertos mediante Python* [Trabajo de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. Repositorio Digital. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/5847>