

Título: Fortaleciendo habilidades investigativas y una actitud positiva hacia las ciencias mediante la evaluación de la calidad del agua a través de macroinvertebrados

Resumen

Esta investigación en acción tuvo como propósito fortalecer las habilidades científicas básicas, evaluar la calidad del agua mediante bioindicadores y fomentar actitudes positivas hacia las ciencias en estudiantes de nivel intermedio. Para ello, se diseñó e implementó una unidad curricular contextualizada, centrada en el uso de macroinvertebrados acuáticos y parámetros fisicoquímicos como indicadores de salud ambiental. El enfoque metodológico fue cuantitativo, empleando instrumentos como una prueba de aprovechamiento, el Inventario de Actitudes hacia las Ciencias (IAC) y una prueba de alfabetización sobre la naturaleza de la ciencia, complementados con herramientas formativas como rúbricas, listas de cotejo y hojas de trabajo.

Los análisis estadísticos revelaron un aumento significativo en el conocimiento científico ($Z = -4.231$, $p < .001$), aunque se identificó una disminución en las actitudes positivas hacia las ciencias ($Z = -2.067$, $p = .039$). A pesar de esta contradicción, los datos cualitativos recopilados al cierre del curso sugirieron una percepción favorable del módulo por parte de los estudiantes. La integración de tecnologías educativas y estrategias de evaluación formativa contribuyó al desarrollo de competencias prácticas, la motivación y el pensamiento crítico. Esta experiencia evidencia el valor pedagógico de diseñar experiencias auténticas, contextualizadas y adaptadas a la diversidad del estudiantado para transformar la enseñanza de las ciencias.

Introducción

En un mundo donde los desafíos ambientales son cada vez más evidentes, la educación científica desempeña un papel crucial para preparar a las nuevas generaciones con las habilidades necesarias para comprender, analizar y actuar frente a estas problemáticas. Uno de los temas más relevantes en este contexto es la calidad del agua y el uso de bioindicadores, que no solo tiene un impacto directo en la salud de los ecosistemas, sino también en la vida cotidiana de las comunidades. Por ello, este tema subyace en la investigación en acción que se desarrolló, centrada en fomentar habilidades investigativas y actitudes positivas hacia las ciencias en estudiantes de sexto grado a través del estudio y la evaluación de la calidad del agua en ecosistemas acuáticos.

En este sentido, la investigación se fundamentó en conceptos clave relacionados con la observación, recopilación e interpretación de datos científicos, habilidades esenciales en la práctica investigativa. Específicamente, la indagación se centró en el manejo de instrumentos de laboratorio como microscopios de disección, kits de calidad de agua y refractómetros, junto con la aplicación de índices biológicos como BMWP e IBF para determinar la calidad del agua. Así pues, estos conceptos no solo son fundamentales para la comprensión de los procesos científicos, sino que también facilitan la conexión entre los estudiantes y los problemas ambientales reales, promoviendo un aprendizaje significativo y contextualizado.

Desde una perspectiva educativa, la enseñanza de estos conceptos a través de actividades prácticas y el uso de herramientas tecnológicas como “PocketMacro” permitió que los estudiantes participaran activamente en su aprendizaje. De acuerdo con diversos autores, como Álvarez-Coronel et al. (2022), la integración de experiencias prácticas en el aula fomenta el desarrollo de habilidades científicas, al tiempo que incrementa la motivación y el interés por las ciencias. Asimismo, Rojas et al. (2021) destacan la importancia de la aplicación de estos conceptos en

escenarios reales, señalando que los estudiantes logran un entendimiento más profundo y duradero cuando relacionan su aprendizaje con problemas concretos, como la evaluación de la calidad del agua.

En cuanto a la teoría subyacente, la investigación en acción se sustentó en las ideas propuestas por John Elliott (2010), quien argumenta que este enfoque permite a los docentes reflexionar sobre su práctica y realizar cambios significativos en función de las necesidades de sus estudiantes. Por otro lado, la metodología de investigación en acción fomenta un ciclo continuo de planificación, implementación, observación y reflexión, lo que aseguró que los resultados obtenidos sean relevantes y aplicables al contexto educativo. Por consiguiente, el diseño de esta investigación no solo busca fortalecer las habilidades científicas de los estudiantes, sino también proporcionar un modelo replicable para otros docentes interesados en mejorar la enseñanza de las ciencias.

Por último, la importancia de esta investigación radicó en su capacidad para abordar problemas específicos identificados en los estudiantes, como la falta de dominio en el manejo de instrumentos de medición y la comprensión limitada de conceptos científicos básicos. A través de la implementación de un plan de acción estructurado que integre actividades prácticas, recursos tecnológicos y estrategias de evaluación continua, se espera no solo mejorar el desempeño académico de los estudiantes, sino también cambiar su percepción y actitud hacia las ciencias, promoviendo una mayor conexión con el aprendizaje y un interés potencial por carreras relacionadas con STEM. En conclusión, esta investigación en acción ofrece una oportunidad para transformar la enseñanza de las ciencias en un proceso dinámico, interactivo y centrado en el estudiante. De esta manera, al integrar conceptos científicos clave con problemas ambientales reales, se esperó no solo desarrollar habilidades prácticas en los estudiantes, sino también

inspirarles a valorar la importancia de las ciencias en la solución de problemas globales. Así, este enfoque reflejó la necesidad de una educación que trascienda las barreras tradicionales y prepare a los estudiantes para enfrentar los desafíos del futuro con conocimiento, creatividad y compromiso.

Revisión de literatura

La presente investigación en acción se fundamentó en diversos enfoques teóricos y empíricos que respaldan el fortalecimiento de las habilidades científicas, la evaluación ambiental mediante bioindicadores, el desarrollo de actitudes positivas hacia las ciencias y la implementación de estrategias pedagógicas centradas en la indagación científica. Estos ejes conceptuales permitieron diseñar e implementar una unidad curricular que busca transformar la enseñanza tradicional de las ciencias en una experiencia contextualizada, activa y significativa.

Desarrollo de habilidades científicas básicas

El fortalecimiento de habilidades científicas como la observación, el registro y la interpretación de datos representa un componente esencial en la alfabetización científica del estudiantado. Diversos autores coinciden en que estas competencias constituyen la base para una comprensión profunda del método científico y de la ciencia como proceso activo de construcción de conocimiento (Álvarez-Coronel & Pérez-Cabrera, 2022; McMillan, 2014). Además, el manejo adecuado de instrumentos de medición científica —como microscopios de disección, refractómetros y kits para análisis de calidad de agua— permite que los estudiantes vivan experiencias de laboratorio más cercanas a la práctica profesional, lo cual enriquece su aprendizaje y despierta su interés hacia la ciencia (Cruz-Pérez et al., 2019). En este contexto, el uso de

estrategias formativas orientadas a la aplicación de los saberes científicos en situaciones reales se torna esencial para desarrollar pensamiento crítico y habilidades investigativas.

Evaluación de la calidad del agua mediante bioindicadores

La utilización de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores ha sido ampliamente reconocida como una herramienta educativa eficaz para promover el pensamiento científico y la conciencia ambiental. Esta estrategia permite integrar conceptos ecológicos con procedimientos científicos concretos, al tiempo que facilita la comprensión de la interdependencia entre los organismos y su ambiente. Los índices biológicos BMWP-PR e IBF-PR ofrecen un marco cuantitativo accesible para que el estudiantado analice la calidad del agua de forma rigurosa, fomentando así el pensamiento lógico y la interpretación de datos ambientales (McMillan, 2016; Pardo & San Martín, 2010). Asimismo, la integración de parámetros fisicoquímicos como el pH, el oxígeno disuelto o los niveles de nitrato complementa el análisis biológico, aportando una visión integral de la salud de los ecosistemas acuáticos. El uso de estos enfoques desde edades escolares promueve una conciencia ecológica fundamentada en la evidencia.

Actitudes hacia las ciencias

El fomento de actitudes positivas hacia las ciencias es una meta crucial en la educación científica contemporánea. La motivación, el interés y la percepción de la utilidad de la ciencia influyen directamente en la disposición del estudiantado para involucrarse en procesos de indagación y aprendizaje autónomo (Osborne et al., 2003). Para evaluar este aspecto, se utilizó el Inventario de Actitudes hacia las Ciencias (IAC), adaptado y validado para contextos hispanohablantes por Bravo-Vick et al. (2019). Este instrumento permite diagnosticar de forma

confiable dimensiones cognitivas, afectivas y conductuales relacionadas con la actitud estudiantil hacia la ciencia. De acuerdo con Rojas et al. (2021), cuando los estudiantes se enfrentan a experiencias prácticas y contextualizadas, se incrementan las probabilidades de generar un cambio favorable en sus actitudes, siempre que el entorno de aprendizaje sea significativo y emocionalmente positivo.

Enseñanza basada en indagación científica y contexto real

La enseñanza por indagación, especialmente cuando se contextualiza en la realidad ambiental del estudiantado, representa una vía eficaz para promover un aprendizaje profundo. Elliott (2010) sostiene que la investigación-acción y la enseñanza basada en problemas reales favorecen el compromiso activo del estudiante y su desarrollo como agente transformador de su entorno. Esta visión se alinea con el modelo pedagógico constructivista, en el que el conocimiento no se transmite de forma pasiva, sino que se construye a partir de la experiencia, la exploración y la reflexión. La integración de tecnologías educativas —como la aplicación PocketMacro y presentaciones interactivas— enriquece aún más la experiencia de aprendizaje, permitiendo representar visualmente conceptos abstractos, acceder a recursos científicos actualizados y fortalecer la autonomía del estudiante (Cruz-Pérez et al., 2019).

Evaluación formativa y monitoreo del aprendizaje

Uno de los elementos clave en esta investigación fue la integración de la evaluación formativa mediante rúbricas, hojas de trabajo y listas de cotejo. Este enfoque permitió monitorear el progreso del estudiantado durante cada etapa del proceso, en lugar de limitar la evaluación a un único momento. Carrascosa et al. (2020) destacan que la evaluación formativa favorece la autorregulación, estimula la reflexión sobre el aprendizaje propio y ofrece oportunidades

constantes de retroalimentación, especialmente en contextos donde se desarrollan habilidades de indagación. Esta visión concuerda con lo planteado por Medina y Verdejo (2019), quienes señalan que la evaluación auténtica debe ser coherente con los objetivos pedagógicos y fomentar el pensamiento científico en acción.

En síntesis, la literatura respalda el diseño e implementación de propuestas educativas centradas en la indagación científica, el uso de instrumentos tecnológicos, la contextualización del aprendizaje y la evaluación integral de competencias. Estos enfoques no solo promueven el rendimiento académico, sino que también potencian actitudes positivas hacia la ciencia, el pensamiento crítico y el compromiso con los problemas ambientales locales.

Planteamiento del problema

A principios del semestre, como parte de un ejercicio exploratorio, se descubrió que más del 60% de los estudiantes en el curso de biología preparatoria expresaron un fuerte interés en aprender a realizar experimentos y utilizar equipos de laboratorio. Sin embargo, la mayoría señaló que su experiencia previa se limitaba a demostraciones, con poca o ninguna oportunidad de involucrarse activamente en la recopilación de datos. Esta carencia en experiencias prácticas previas ha generado la necesidad de reforzar sus destrezas investigativas y su capacidad para manipular instrumentos científicos de manera efectiva. Este interés manifestado de los estudiantes representó una necesidad importante para desarrollar sus habilidades científicas y su comprensión del método científico, que son fundamentales para un aprendizaje significativo en ciencias.

No obstante, los estudiantes de sexto grado en biología preparatoria presentan dificultades específicas en destrezas investigativas y en la comprensión de los procesos básicos del método científico, como la observación detallada, recopilación e interpretación de datos. Estas limitaciones

afectan directamente su desempeño en tareas que requieren análisis crítico y resolución de problemas. Según Cruz-Pérez et al. (2019), el desarrollo de habilidades investigativas es clave para que los estudiantes enfrenten con éxito problemas relacionados con la recolección y el análisis de información científica, además de fomentar un aprendizaje activo y reflexivo. Asimismo, la carencia de estas destrezas impacta negativamente su motivación e interés hacia las ciencias, lo que puede llevar a una desconexión con el aprendizaje científico y a una baja inclinación por carreras relacionadas con STEM (Rojas et al., 2021).

La problemática se refleja también en el desempeño académico en ciencias. Según los datos obtenidos de Conoce tu Escuela, el aprovechamiento académico en esta área está por debajo del promedio esperado, lo que evidenció la necesidad de fortalecer el aprendizaje en esta disciplina clave. La escuela cuenta con una población estudiantil diversa, donde aproximadamente el 31% pertenece al Programa de Educación Especial, un grupo que presenta desafíos adicionales en el desarrollo de habilidades investigativas y científicas. Estas brechas de rendimiento confirman la urgencia de implementar estrategias pedagógicas innovadoras que respondan a las necesidades específicas de los estudiantes, promoviendo un aprendizaje significativo y mejorando sus competencias científicas.

Por otro lado, la investigación formativa fue crucial para superar estas brechas. Como destaca Álvarez-Coronel et al. (2022), la inclusión de experiencias prácticas y directas en el aula permite a los estudiantes adquirir confianza y competencias necesarias para involucrarse en la investigación científica. Sin estas oportunidades, los estudiantes se enfrentan a barreras significativas para comprender el método científico y para aplicar sus conceptos en contextos prácticos, lo que limita su potencial de aprendizaje y desarrollo académico.

Dificultades específicas

A partir del problema mencionado, se identifican tres dificultades específicas que afectan directamente la capacidad de los estudiantes para involucrarse de manera efectiva en el aprendizaje de las ciencias (véase Figura 1). Estas dificultades están profundamente relacionadas con la falta de destrezas investigativas y la carencia de comprensión de los procesos básicos del método científico, como se describió previamente.

La primera dificultad es el poco dominio de destrezas para el manejo de instrumentos de medición. Durante las actividades de laboratorio, los estudiantes enfrentaron desafíos significativos al utilizar herramientas como microscopios de disección, medidores de calidad de agua, refractómetros y otros instrumentos esenciales para la recolección y análisis de datos. Esta falta de destrezas prácticas no solo compromete la precisión de los experimentos, sino que también afecta la validez de los datos obtenidos y, en consecuencia, su capacidad para comprender el proceso científico en su totalidad. Según Rojas et al. (2021), el desarrollo de habilidades instrumentales es fundamental para la formación científica, ya que permite a los estudiantes realizar análisis rigurosos y profundizar en su entendimiento de conceptos clave. Además, esta carencia se agrava debido a la falta de experiencias previas que integren el uso de tecnología y equipos científicos, como lo mencionan Cruz-Pérez et al. (2019), quienes destacan que el aprendizaje práctico es esencial para el desarrollo de habilidades investigativas. Sin este dominio, los alumnos no pudieron aplicar el método científico de manera eficaz, limitando su participación en actividades significativas de aprendizaje.

En segundo lugar, la dificultad radica en la carencia de una comprensión profunda de los conceptos científicos básicos, específicamente en la recopilación e interpretación de datos. Estos enfrentaron desafíos significativos al intentar registrar observaciones y analizar los resultados

obtenidos en actividades experimentales, lo que impidió que lleguen a conclusiones fundamentadas y coherentes. Este problema refleja una falta de familiaridad con los principios del método científico, que son esenciales para interpretar correctamente la información y hacer inferencias basadas en evidencia. Según Álvarez-Coronel et al. (2022), una comprensión sólida de estos conceptos es fundamental para puedan aplicar el método científico de manera efectiva, ya que sin esta base conceptual suelen surgir errores al procesar y analizar datos, lo cual limita su capacidad para resolver problemas y profundizar en su aprendizaje científico. La falta de habilidades en la interpretación de datos no solo afecta el rendimiento en las actividades prácticas, sino que también disminuye la confianza de los estudiantes en sus capacidades para llevar a cabo investigaciones científicas.

Finalmente, se identifica una dificultad actitudinal para trabajar en investigación científica en clase. Muchos estudiantes perciben la ciencia como una disciplina compleja y, como resultado, muestran cierta desmotivación y apatía hacia las actividades investigativas, especialmente aquellas que implican la realización de proyectos como la feria científica. Esta percepción negativa limita su participación en el proceso de investigación y afecta su disposición para involucrarse en actividades que requieren análisis crítico. Blanch-Ricart y Albás Bollit (2022) indican que la actitud del estudiante es un factor determinante en el rendimiento en ciencias, ya que la motivación y el interés son claves para lograr un aprendizaje significativo. Además, Rojas et al. (2021) sugieren que fomentar una cultura de investigación en el aula puede ayudar a transformar estas actitudes, promoviendo una visión positiva de la ciencia y aumentando el interés de los estudiantes en su aprendizaje.

Figura 1. Dificultades específicas

Asuntos específicos	Descripción
Poco dominio de destrezas para el manejo de instrumentos de medición	Como: Microscopios de disección “water quality tester”, Kit de prueba Freshwater Master, refractómetro, Fiberglass Floding Rulers, Metric Open Reel Fiberglass Tapes),
Carencia de una comprensión profunda de los conceptos científicos básicos necesarios para una comprensión en las ciencias, específicamente en la observación, recopilación e interpretación de datos.	Particularmente en la destreza de observar, registrar y analizar de datos, que afecta la correcta aplicación del método científico.
Dificultades actitudinales para trabajar investigación científica en clase	Falta de interés en la materia de ciencia y lo que esta implica en la investigación científica porque lo consideran una disciplina difícil.

Propósitos

En esta investigación en acción se plantearon los siguientes propósitos:

- indagar acerca del nivel del conocimiento en los procesos básicos del método científico, particularmente en la destreza de observar, registrar y analizar de datos, así como en las actitudes en torno a las ciencias, de los estudiantes de sexto grado en el curso de Biología preparatoria;
- implementar un plan para acción, centrado en el estudio de la calidad del agua mediante macroinvertebrados, con énfasis en recursos diversos para una comprensión profunda de los conceptos científicos básicos y el manejo de instrumentos de medición, desde una perspectiva alternativa; y
- medir los cambios en torno al nivel de conocimiento de los procesos básicos del método científico y las actitudes en torno a las ciencias de los estudiantes antes y después de la implementación del plan para acción.

Preguntas de investigación

A partir de los propósitos se establecieron las siguientes preguntas de investigación. Con estas se propició la recopilación de datos respecto a la acción para tratar de minimizar las dificultades específicas que se identificaron como parte del problema de investigación. Las preguntas son las siguientes:

1. ¿Qué indagar acerca del nivel de conocimiento en los procesos básicos del método científicos, particularmente en las destrezas de observar, registrar y analizar datos, así como en las actitudes hacia las ciencias que tienen los estudiantes de sexto grado en el curso de biología preparatoria?
2. ¿Cómo debe implementar un plan para acción entorno al estudio de la calidad del agua mediante macroinvertebrados con énfasis en recursos diversos para una comprensión profunda de los conceptos científicos básicos y el manejo de instrumentos de medición, desde una perspectiva alternativa?
3. ¿Cómo cambia el nivel de conocimiento de los procesos básicos del método científico, particularmente, en las destrezas de observar, registrar y analizar datos, así como en las actitudes hacia las ciencias, de los estudiantes, antes y después de la implementación del plan para acción?

Método

En esta investigación en acción, se utilizaron métodos cuantitativos para guiar la implementación de la acción y la recopilación de datos. Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), los métodos cuantitativos se enfocan en la recolección y análisis de datos numéricos, permitiendo establecer relaciones causales y evaluar hipótesis mediante procedimientos estructurados y estandarizados. Estos métodos son ideales para medir el impacto de las

intervenciones educativas, ya que proporcionan datos objetivos y fiables sobre el progreso de los estudiantes en relación con las habilidades científicas que se busca desarrollar. En efecto, mediante el uso de instrumentos como prepruebas, pospruebas cuestionarios, hojas de trabajo estructuradas y listas de cotejo, se esperó evaluar la eficacia del diseño implementado en el fortalecimiento de habilidades de observación, recolección e interpretación de datos en el contexto científico escolar. Estos instrumentos permitieron evaluar el impacto de las actividades diseñadas y medir la eficacia del diseño implementado en el fortalecimiento de habilidades de observación, recolección e interpretación de datos en el contexto científico escolar. Asimismo, se observó no solo un aumento en las destrezas mencionadas, sino también un incremento en el número de estudiantes que desarrollen una actitud positiva hacia las ciencias, mostrando interés por aprender más o incluso considerando una carrera en STEM.

Diseño

Respecto al diseño de investigación en acción, cabe destacar que este se caracterizó por su enfoque en la resolución de problemas concretos dentro del contexto educativo, involucrando al educador como agente de cambio en su práctica. Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), el diseño de investigación en acción implicó un ciclo iterativo de planificación, acción, observación y reflexión, que busca generar mejoras continuas en el ambiente educativo. Se eligió este diseño porque permitió abordar las dificultades específicas identificadas en los estudiantes de sexto grado, integrando la reflexión sobre la práctica docente y promovió una transformación significativa en su aprendizaje de las ciencias.

Modelo de investigación en acción

Para implementar esta investigación, se siguió el modelo de John Elliott (2010), el cual pone énfasis en el cambio como un objetivo central de la investigación en acción. Este modelo se

caracteriza por su orientación hacia la mejora de las prácticas educativas a través de ciclos de planificación, implementación, evaluación y reflexión. Se eligió este modelo porque permite adaptar las estrategias pedagógicas en función de los resultados obtenidos en cada ciclo y fomentó una respuesta dinámica a las necesidades de los estudiantes. Las etapas del modelo de Elliott y su aplicación en esta investigación son las siguientes:

1. Identificación y aclaración de la idea general: En esta fase, se define el problema o área de mejora. En este caso, se identificaron dificultades específicas en los estudiantes de sexto grado en cuanto a la comprensión de conceptos básicos de ciencias, especialmente en observación, recolección e interpretación de datos. Esta identificación se basó en los resultados de la prueba diagnóstica del Departamento de Educación de Puerto Rico, que mostró necesidades de mejora en interpretación y análisis de datos. Además, más del 55% de los estudiantes consideraron la ciencia como una disciplina difícil, y expresaron interés en aprender sobre experimentos, proyectos de investigación y uso de equipos de laboratorio.
2. Reconocimiento y revisión: Implica un análisis detallado del problema identificado, recopilando información relevante para comprender su contexto y causas. Se analizaron las dificultades en el manejo de instrumentos de medición, actitudes hacia la ciencia y comprensión de conceptos clave. Este análisis permitió una comprensión profunda de las necesidades y desafíos de los estudiantes.
3. Estructuración del plan general: Se desarrolla un plan de acción que incluye estrategias y actividades específicas para abordar el problema. Se diseñó una unidad curricular con actividades que van desde el manejo básico de instrumentos de medición hasta la aplicación de estos en la identificación de la calidad del agua, tema relevante en el currículo de sexto

grado. Se elaboraron hojas de trabajo, prepruebas, pospruebas y cuestionarios de actitud para evaluar el impacto de las actividades.

4. Desarrollo de las siguientes etapas de acción: Se implementaron las actividades planificadas, monitoreando su desarrollo y realizando ajustes según fue necesario. La implementación se llevó a cabo en el aula, facilitando a los estudiantes la participación en laboratorios y actividades prácticas, con un monitoreo constante para asegurar el cumplimiento de los objetivos.
5. Implementación de los siguientes pasos: Se evaluaron los resultados de las acciones implementadas, reflexionando sobre su eficacia y realizando los ajustes necesarios para futuras intervenciones. Los datos recopilados de prepruebas, pospruebas y cuestionarios de actitud determinaron mejoras en las habilidades científicas y cambios en la percepción de las ciencias.

Participantes

La selección de los participantes de esta investigación se realizó mediante un muestreo por conveniencia. Acorde con Creswell y Guetterman (2019), el muestreo por conveniencia se utiliza cuando se seleccionan sujetos debido a su disponibilidad y accesibilidad, garantizando que quienes participen cumplan con las características necesarias para abordar las preguntas de investigación. Por su parte, McMillan (2012) mencionó que este tipo de muestreo es útil porque permite identificar casos que personifican o representan características específicas del grupo, asegurando profundidad y calidad en la información obtenida.

Así pues, participaron un total de 62 estudiantes de sexto grado, matriculados en el curso de biología preparatoria. De estos estudiantes, 33 son féminas y 29 son varones, con edades comprendidas entre los 11 y 12 años. Además, 28 de los participantes pertenecen al programa de

educación especial, y cuentan con acomodos razonables como tiempo extendido, repetición de instrucciones, división de tareas o exámenes, y asistencia para mantenerse enfocados en las actividades.

Hay que destacar que, para efectos de cumplir con los aspectos éticos, se solicitó permiso a los padres o tutores legales para que consientan la participación de sus hijos en la investigación. Asimismo, se solicitó a los estudiantes su asentimiento como parte de los requisitos para la protección de los seres humanos en la investigación. Este proceso garantizó que todos los participantes comprendan los objetivos de la investigación y se sientan cómodos y respetados durante su desarrollo.

Plan para acción

El presente plan de acción fue diseñado para abordar cuatro dificultades específicas identificadas en los estudiantes de sexto grado del curso de biología preparatoria. Estas dificultades incluyen: (1) el poco dominio de destrezas en el manejo de instrumentos de medición, (2) la carencia de comprensión profunda de conceptos científicos básicos necesarios para la observación, recopilación e interpretación de datos, y (3) actitudes negativas hacia la investigación científica. Para evaluar el impacto de las actividades, se administraron prepruebas y pospruebas diseñadas para medir el progreso en las habilidades científicas y un inventario para medir las actitudes hacia las ciencias. Asimismo, se utilizarán rúbricas específicas para algunas actividades y análisis detallados de los datos recopilados en las hojas de trabajo. Esto permitió ajustar futuras intervenciones educativas y garantizar un aprendizaje significativo. Para trabajar estas dificultades, se implementó una serie de actividades estructuradas que incluyen el uso de herramientas tecnológicas, experimentación práctica y reflexión grupal. El objetivos de estas actividades fue desarrollar habilidades científicas fundamentales, comprender conceptos clave y fomentar una

actitud positiva hacia las ciencias. A continuación, se detalla el plan de acción según cada dificultad identificada:

- Manejo de instrumentos de medición: Los estudiantes presentaban poco dominio de las destrezas necesarias para el manejo adecuado de instrumentos de medición en el laboratorio. Esta limitación afecta directamente su capacidad para recopilar datos precisos y realizar análisis científicos rigurosos. Por tal motivo, se diseñaron actividades específicas que ayudaron a formar las destrezas necesarias para el uso correcto y manejo adecuado de los instrumentos de medición.
 - En la actividad 1 los estudiantes se familiarizaron con los instrumentos básicos de medición utilizados en el laboratorio de biología. Esto incluye microscopios de disección, kits de medición de calidad de agua, refractómetros, “fiberglass folding rulers” y “metric tapes”. Para su implementación se comenzó la actividad con una demostración detallada sobre el uso correcto de cada instrumento. Esto incluirá: explicación de las partes de los instrumentos, proceso de calibración (cuando sea aplicable), procedimientos para su manejo adecuado y ejemplos prácticos de cómo realizar mediciones. Durante la demostración los estudiantes tomaron notas de procedimientos paso a paso para el uso de cada instrumento. Luego, de discutir las dudas sobre el manejo y uso correctos de los instrumentos los estudiantes completaron la segunda hoja identificación de los instrumentos. A continuación, en grupos pequeños, practicaron el manejo de los instrumentos bajo la supervisión del educador. Durante esta etapa proporcione retroalimentación inmediata, corrigiendo errores y reforzando buenas prácticas y se recomienda que los alumnos tengan acceso a materiales visuales o guías prácticas para reforzar su aprendizaje. El

desempeño de los estudiantes fue evaluado utilizando listas de cotejo que medirán manipulación correcta de los instrumentos, precisión en las mediciones realizadas y adherencia a los procedimientos establecidos. Al finalizar esta actividad, los estudiantes demostraron competencias básicas en el manejo de los instrumentos, comprendiendo el funcionamiento de cada herramienta, asimismo, lograron obtener mediciones precisas y registrar sus datos correctamente.

- Por otra parte, la actividad 3 se trabajó con la dificultad mencionada ya que su objetivo es aplicar las habilidades adquiridas en la actividad 1 para observar y clasificar macroinvertebrados acuáticos utilizando microscopios de disección y técnicas de clasificación. De no contar con muestras reales, el educador proporcionará imágenes detalladas y guías ilustradas. Los estudiantes completaron hojas de trabajo diseñadas para registrar: características anatómicas de los macroinvertebrados observados y su clasificación según las guías proporcionadas. Se emplearon listas de cotejo para evaluar la manipulación del microscopio y hojas de trabajo para medir la precisión de las observaciones. Al culminar la actividad se esperó que los estudiantes demuestren destrezas avanzadas en el manejo de microscopios y en la identificación de organismos.
- Asimismo, en la actividad 4 se reforzó la dificultad mencionada porque se integra el manejo de instrumentos con el análisis de datos fisicoquímicos. Para que lo anterior sea posible se requirió de buen uso y manejo de instrumentos de medición. Los estudiantes usaron kits de medición para obtener parámetros como pH, temperatura, oxígeno disuelto y TDS. Usando los datos recopilados, calcularán índices de calidad del agua como el BMWP-PR e IBF-PR. Además, completaron

hojas de trabajo que incluyen tablas para registrar datos y preguntas guía para interpretar resultados físicoquímicos y biológicos con precisión. Se revisaron que incluyan cálculos y análisis, además de evaluar la capacidad de los estudiantes para justificar conclusiones. Los estudiantes integraron el uso de instrumentos y el análisis de datos para evaluar la calidad del agua de manera efectiva.

- Comprensión profunda de conceptos científicos básicos necesarios para una comprensión en las ciencias, específicamente en la observación, recopilación e interpretación de datos: Los estudiantes presentaban una comprensión limitada de los conceptos básicos necesarios para la observación, recopilación e interpretación de datos. Estas habilidades son fundamentales para comprender fenómenos científicos y realizar análisis precisos. A continuación, se abordan las tres actividades diseñadas específicamente para trabajar esta dificultad. Por cada actividad, se describe su objetivo, la forma en que se implementó aspectos que se evaluaron y los resultados.
 - En primer lugar, en la actividad 2 se pretende introducir a los estudiantes en el mundo de los macroinvertebrados acuáticos, enfatizando su importancia ecológica y su uso como indicadores biológicos de la calidad del agua. Para esto el educador empleó recursos visuales y tecnológicos, como presentaciones multimedia y aplicaciones interactivas (por ejemplo, PocketMacro), para mostrar la diversidad de macroinvertebrados y su relevancia ecológica. Los estudiantes completaron una hoja de trabajo titulada Explorando sobre los Macroinvertebrados, donde identificarán las estructuras anatómicas de tres organismos seleccionados. Además, trabajaron en una actividad creativa que consiste en representar un macroinvertebrado mediante arcilla o dibujo, destacando sus características

distintivas. Finalmente, presentaron sus modelos al resto de la clase, explicando la relevancia del organismo seleccionado. Se empleó una rúbrica para evaluar la precisión del modelo anatómico y la claridad de la presentación oral. Los criterios incluirán la exactitud de las características representadas, la coherencia en la exposición y la capacidad para explicar la importancia ecológica del organismo. Se esperó que los estudiantes logren identificar y describir las características básicas de los macroinvertebrados, comprendan su relevancia ecológica y reconozcan su papel como indicadores biológicos. Esta actividad fomenta una base sólida para avanzar hacia habilidades más complejas en observación y análisis de datos. En fin, esta actividad proporcionó evidencia clara del progreso de los estudiantes en las destrezas de observación recopilación e interpretación de datos reflejados en la calidad de sus modelos y presentación cabe destacar que las rúbricas también permitirán identificar áreas específicas para reforzar en actividades futuras promoviendo una mejora continua en el aprendizaje de los conceptos científicos básicos.

- En la actividad 3, como se mencionó previamente, se aplicaron las habilidades de observación y clasificación utilizando instrumentos y técnicas de clasificación, para avanzar en la comprensión práctica de los macroinvertebrados. El educador proporcionó instrucciones claras sobre el manejo de microscopios de disección y guías de identificación de organismos. Los estudiantes, organizados en grupos, observaron muestras reales de macroinvertebrados utilizando microscopios. Si no se dispone de muestras reales, se puede utilizar imágenes detalladas de diferentes familias de macroinvertebrados como alternativa. Estos registraron sus

observaciones en hojas de trabajo diseñadas para incluir tablas de clasificación, descripciones anatómicas y un espacio para observaciones específicas. Al finalizar, se llevó a cabo una discusión grupal para resolver dudas y reforzar conceptos clave. Se evaluó la precisión y detalle de las observaciones registradas en las hojas de trabajo, así como la correcta aplicación de las técnicas de clasificación. Además, se emplearon listas de cotejo para monitorear el manejo adecuado de los microscopios durante la actividad. Los estudiantes fueron capaces de identificar y clasificar macroinvertebrados con precisión, relacionando sus características anatómicas con sus funciones ecológicas.

- En fin, la actividad 4, la cual es avanzada, se integra todo lo aprendido en las actividades anteriores. Los alumnos en grupos utilizaron kits de medición para registrar parámetros como pH, temperatura, oxígeno, nitrato, nitrito, amoníaco. Además, integraron estas mediciones con las observaciones de macroinvertebrados obtenidas en la actividad anterior calcularon índices de calidad del agua, como el BMWP-PR e IBF-PR, utilizando hojas de trabajo que incluyen tablas para registrar datos, fórmulas para los cálculos y preguntas guía para interpretar los resultados. Finalmente, presentaron sus hallazgos en una discusión grupal, reflexionando sobre el impacto de la calidad del agua en los ecosistemas. Se evaluaron las hojas de trabajo completadas, los cálculos realizados y la claridad en la interpretación de los datos. Las presentaciones grupales fueron evaluadas con base en la precisión de los resultados y la capacidad de los estudiantes para justificar sus conclusiones. Estos demostraron capacidad al integrar el analizar datos fisicoquímicos y biológicos para evaluar la calidad del agua. También comprendieron las interacciones entre los

parámetros medidos y su impacto en los ecosistemas acuáticos, desarrollando una perspectiva más holística y aplicada.

- Actitudes hacia las ciencias
 - El “Inventario de Actitudes hacia las Matemáticas y las Ciencias” desarrollado por Bravo-Vick et al. (2019) se aplicó antes y después de la intervención para medir cambios en la percepción de los estudiantes hacia las actividades científicas. Este inventario es un cuestionario con reactivos en una escala tipo Likert que contiene 31 ítems relacionados con actitudes hacia las ciencias. Se compararon los resultados obtenidos en las fases pre y post implementación para identificar cambios significativos en las actitudes hacia las ciencias, con énfasis en aspectos como motivación, interés y disposición para participar en investigaciones científicas en el aula. El análisis de los datos obtenidos permitió evaluar la efectividad de las actividades diseñadas para modificar las actitudes hacia las ciencias y proporcionará información valiosa para futuras intervenciones pedagógicas. Se anticipaba, tras la implementación de las actividades, los estudiantes mostrarían una mejora en sus actitudes hacia las ciencias, reflejada en un aumento de la motivación, el interés y la disposición para participar en investigaciones científicas en el aula. La integración de este inventario permitió medir de manera objetiva el impacto de las actividades diseñadas en las actitudes de los estudiantes, proporcionando una herramienta clave para la reflexión y la mejora continua de las prácticas educativas en ciencias. Este enfoque no solo busca mejorar la percepción de los estudiantes hacia las ciencias, sino también fomentar un cambio cultural dentro del aula hacia una mayor valoración de la investigación científica.

El diseño del plan permite su fácil replicación, proporcionando una guía clara y estructurada para que otros docentes interesados puedan implementar estas estrategias en su práctica educativa. Además, al integrar herramientas de evaluación como rúbricas, hojas de trabajo e inventarios de actitudes, se asegura un enfoque basado en evidencias que facilita el monitoreo y la mejora continua del proceso educativo. Este plan de acción no solo aborda las dificultades específicas identificadas, sino que también ofrece una oportunidad para transformar la enseñanza de las ciencias en un proceso dinámico, interactivo y centrado en el estudiante, sentando las bases para un aprendizaje más profundo y duradero.

Tabla 1. Estructura del plan para acción

Dificultades	Contexto	Sujetos implicados	Acción específica	Recursos/ materiales	Persona encargada	Instrumento o técnica	Análisis	Resultados o hallazgos esperados
Poco dominio de destrezas para el manejo de instrumentos de medición	Sala de clases	Estudiantes de 6 to grado	<u>Actividad manejo de instrumentos de medición:</u> Demostraciones sobre cómo utilizar los diferentes equipos de laboratorio Después, los estudiantes en grupos practicar el manejo de los instrumentos. Al final, se evaluará su destreza en el uso de los equipos mediante una lista de cotejo. Actividad 3 & 4: Requieren que los estudiantes utilicen herramientas científicas como microscopios de disección y kits de medición fisicoquímica, lo que implica que, para llevarlas a cabo, los estudiantes deben aplicar y perfeccionar las destrezas necesarias para manejar estos instrumentos con precisión.	Microscopios de disección. Water quality tester. Kit de prueba Freshwater Master. Refractómetro. Fiberglass Folding Rulers y Metric. Open Reel Fiberglass Tapes.	Maestro	Lista de cotejo Hojas de trabajo: Identificación del equipo de medición, manejo de instrumentos de medición, laboratorio práctico. Prueba corta (pre y post) sobre los contenidos temáticos de los temas cubiertos en la unidad. ¹	Estadística descriptiva y Prueba	Nombrar correctamente los diferentes instrumentos de laboratorio. Uso correcto de los instrumentos de medición. Precisión de las mediciones realizadas. Se espera que los estudiantes logren el correcto manejo y uso de los instrumentos de medición, permitiéndoles recopilar datos precisos y confiables sobre los parámetros biológicos, físicos y fisicoquímicos de las muestras, y con ello realizar análisis científicos de calidad.
Carencia de una comprensión profunda de los conceptos científicos básicos necesarios para una comprensión en las ciencias, específicamente en la	Sala de clases	Estudiantes de 6to grado	<u>Actividad 2: Introducción Explorando sobre los macroinvertebrados:</u> Se utilizarán presentaciones y aplicaciones tecnológicas como PocketMacro para desarrollar habilidades prácticas y de análisis de	-Imágenes de macros. -Presentación digital -Artículo científico -Guía para observación de macroinvertebrado de PR -Lienzos de canvas pequeños, arcilla	Maestro	Hojas de trabajos por actividad: Explorando los macroinvertebrados y Explorando los macroinvertebrados-Clasificación Rubrica para la representación creativa del macroinvertebrado.	Análisis de contenido y estadística descriptiva	Reconocer e identificar la anatomía básica de los macroinvertebrados, así como su clasificación. Además, una mayor comprensión de su rol en el ecosistema y cómo interpretar datos

¹ La prueba corta incluye contenido de todas las actividades.

Dificultades	Contexto	Sujetos implicados	Acción específica	Recursos/ materiales	Persona encargada	Instrumento o técnica	Análisis	Resultados o hallazgos esperados
observación, recopilación e interpretación de datos.			datos para identificar los macroinvertebrados que observen. Luego de esto los estudiantes crearán un modelo creativo de un macroinvertebrados identificando sus particularidades anatómicas y presentara el mismo.	polimérica, marcadores, pinturas acrílicas, dispositivos móviles con internet		Otra rubrica para la exposición y desempeño del grupo.	Estadística descriptiva y análisis de contenido	observados en sus hojas de trabajo.
			<u>Actividad 3: Observación y clasificación de macroinvertebrados</u> Actividad práctica en la que los estudiantes observen muestras de macroinvertebrados utilizando microscopios de disección y Kit de disección para identificar y clasificar organismos según características. Incorporar el uso de tecnologías como PocketMacro para reforzar la identificación de macroinvertebrados y validar las observaciones realizadas durante la actividad práctica.	-Microscopios de disección - Muestras preservadas de macroinvertebrados acuáticos - Guía de Macroinvertebrados Acuáticos de Puerto Rico - PocketMacro app instalada en el dispositivo móvil	Maestro	Hojas de trabajos: “Clasificación de macroinvertebrados- Laboratorio” que incluye preguntas guiadas sobre observación, clasificación y conclusiones. PocketMacro se utilizará como herramienta de apoyo para confirmar identificaciones. *Rubrica		Realización correcta y completa de la observación. Mostrarán un incremento del 20% en precisión en comparación con la preprueba inicial. Se espera una reducción del 15% en los errores de identificación, junto con una mejora en la confianza y autonomía de los estudiantes al utilizar herramientas tecnológicas en actividades científicas.
			<u>Actividad #4: Evaluación de ecosistemas acuáticos mediante macroinvertebrados y parámetros fisicoquímicos</u> Consiste en que los estudiantes identifiquen macroinvertebrados acuáticos, calculen los índices BMWP-PR e IBF-PR, analicen parámetros fisicoquímicos, integren	Microscopios de disección, guías de macroinvertebrados, hojas de trabajo específicas, muestras de agua, calculadoras, refractómetros, equipos de protección.		Hojas de trabajos: Interpretación de datos para la evaluación de la calidad del agua Macroinvertebrados como bioindicadores y Evaluación de ecosistemas acuáticos mediante macroinvertebrados y parámetros fisicoquímicos	Uso de hojas de trabajo diseñadas para registrar datos de macroinvertebrados, cálculos de índices BMWP e IBF y parámetros fisicoquímicos. Evaluaciones continuas durante la actividad.	Correcta identificación de la calidad de las muestras de agua basándose en datos biológicos y fisicoquímicos precisos, demostrando un dominio adecuado de las herramientas e instrumentos de medición, así como la capacidad de interpretar resultados científicos de manera integral.

Dificultades	Contexto	Sujetos implicados	Acción específica	Recursos/ materiales	Persona encargada	Instrumento o técnica	Análisis	Resultados o hallazgos esperados
			los resultados para evaluar la calidad del agua, y reflexionen sobre sus hallazgos mediante análisis grupales y estadísticos.			Prueba corta (pre y post) sobre los contenidos temáticos de los temas cubiertos en la unidad. ²		
Dificultades actitudinales para trabajar investigación científica en clase	Sala de clases--	Estudiantes de 6to grado	Desarrollo de las cuatro actividades del plan que integran observación.	Microscopios de disección, guías de macroinvertebrados, hojas de trabajo específicas, muestras de agua, calculadoras, refractómetros, equipos de protección.	Maestro	Inventario de Actitudes hacia las Ciencias pre y post actividades.	Estadística descriptiva y análisis de contenido	Incremento positivo en el interés y actitud de los estudiantes hacia la ciencia y las actividades investigativas.

² La prueba corta incluye contenido de todas las actividades.

Explicación de la acción

El plan de acción se centró en implementar una serie de actividades interconectadas para abordar las dificultades identificadas en los participantes descritos previamente. A continuación, se describe cómo cada actividad contribuye al desarrollo de las competencias científicas y a la mejora de las actitudes hacia la investigación en ciencias, siguiendo las especificaciones detalladas en la tabla correspondiente.

1. Manejo de instrumentos de medición: Esta actividad inicial tuvo como propósito introducir y fortalecer habilidades prácticas esenciales para el manejo de instrumentos de laboratorio como microscopios de disección, kits de medición de calidad de agua, refractómetros y sensores digitales. El docente realizó demostraciones detalladas sobre el funcionamiento, calibración y aplicaciones de cada instrumento. Posteriormente, los estudiantes participaron en prácticas guiadas en pequeños grupos para afianzar su dominio técnico. La evaluación se llevó a cabo mediante un examen práctico, dividido en sesiones de 40 minutos, utilizando listas de cotejo y hojas de trabajo para documentar el progreso individual. Esta experiencia permitió a los estudiantes demostrar competencias básicas en el uso de equipos y registrar datos con precisión.
2. Introducción a los macroinvertebrados: Esta actividad integró recursos visuales y tecnológicos como la aplicación PocketMacro y guías ilustradas, facilitando la exploración del rol ecológico de los macroinvertebrados. Durante tres sesiones, los estudiantes identificaron diferentes especies y construyeron modelos representativos de su anatomía mediante arcilla o ilustraciones, los cuales fueron presentados ante el grupo. La evaluación se centró en la precisión del modelo y la claridad de la presentación oral, utilizando una

rúbrica estandarizada. Esta actividad proporcionó una base sólida en observación e interpretación de datos, preparando al estudiantado para análisis más complejos.

3. Observación y clasificación de macroinvertebrados: En esta fase, los estudiantes manejaron muestras reales para observar, identificar y clasificar macroinvertebrados acuáticos utilizando microscopios de disección y guías taxonómicas. Durante tres sesiones, registraron sus hallazgos en hojas de trabajo estructuradas, con apoyo del educador para reforzar conceptos y guiar el uso adecuado de los equipos. La actividad concluyó con una discusión grupal donde se socializaron los hallazgos. La evaluación incluyó la precisión en la clasificación y el manejo técnico de los instrumentos.
4. Evaluación de ecosistemas acuáticos mediante macroinvertebrados y parámetros fisicoquímicos: Esta actividad integró los conocimientos adquiridos en las fases anteriores para evaluar la calidad del agua en ecosistemas específicos. En la primera sesión, los estudiantes calcularon los índices BMWP-PR e IBF-PR usando sus registros previos y los valores de tolerancia de los macroinvertebrados. El docente demostró el uso del Freshwater Master Kit y sensores digitales para medir parámetros fisicoquímicos como nitrato, nitrito, amoníaco, pH, oxígeno disuelto y temperatura. Los estudiantes analizaron sus resultados y los compararon con valores de referencia. En la segunda sesión, completaron una hoja de trabajo guiada e interpretaron los datos para determinar la calidad del agua. La actividad concluyó con una reflexión escrita individual donde expresaron dificultades, aprendizajes y su visión sobre el rol de la ciencia en su entorno. La evaluación consideró la interpretación de datos, el uso adecuado de equipos y la calidad del análisis reflexivo.

Estas acciones contribuyeron al desarrollo de las competencias científicas esenciales en el estudiantado, fomentando el aprendizaje significativo y promoviendo una actitud positiva hacia la ciencia. La tabla correspondiente detalla los recursos, tiempos e instrumentos utilizados en cada actividad.

Tabla 1. *Explicación de la acción*

Actividades para la acción	Explicación de la actividad	Uso de los recursos	Tiempo de la intervención	Instrumentos, técnicas o guías	Momento de la recopilación	Tipo de información
Actividad 1: Manejo instrumentos de medición	Demostración y práctica guiada del uso de instrumentos de laboratorio como microscopios y kits de medición fisicoquímica. Los estudiantes practicarán y registrarán mediciones.	Se optimizará el uso de los instrumentos de laboratorio como microscopios y kits de medición.	40 minutos por sesión (4 días máx.)	Hojas de trabajo y listas de cotejo para evaluar el manejo de instrumentos.	Al finalizar la actividad	Registro del uso correcto de los instrumentos y precisión en las mediciones.
Actividad 2: Introducción a los macroinvertebrados	Uso de presentaciones y herramientas tecnológicas para explorar y clasificar macroinvertebrados con base en guías visuales y tecnológicas. Los estudiantes conocerán el rol de los macroinvertebrados en los ecosistemas y tendrán la oportunidad de seleccionar un macroinvertebrado para hacer un modelo detallado de sus estructuras anatómicas, el cual será presentado al grupo junto con información relevante sobre el organismo.	Imágenes de macroinvertebrados, PocketMacro app, hojas de trabajo.	40 minutos por sesión (3 días máx.)	Guía de identificación de macroinvertebrados, rubricas para clasificación.	Durante y después de la sesión	Observaciones y clasificaciones realizadas por los estudiantes, además de la evaluación del modelo anatómico y la calidad de la exposición oral.
Actividad 3: Observación y clasificación de macroinvertebrados	Observación práctica en muestras reales utilizando microscopios para identificar y clasificar organismos acuáticos.	Muestras preservadas, guías de macroinvertebrados, hojas de trabajo para registro.	40 minutos por sesión (3 días máx.)	Microscopios de disección, PocketMacro app, escala de categorías	Al finalizar la actividad	Registros de observación y clasificación precisos y completos.
Actividad 4: Evaluación de ecosistemas acuáticos mediante macroinvertebrados y parámetros fisicoquímicos	Cálculo de índices BMWP-PR e IBF-PR utilizando datos biológicos y fisicoquímicos; reflexión grupal sobre los resultados.	Microscopios, kits de medición, hojas de trabajo para cálculos e interpretación.	40 minutos por sesión (3 días máx.)	Hojas de trabajo, guías de interpretación, instrumentos para registrar parámetros.	Durante y después de la sesión	Cálculos precisos de los índices y evaluación de los parámetros fisicoquímicos para reflexionar en grupo sobre la calidad del agua.

Recopilación de datos (e información)

En esta investigación en acción, la recopilación de datos fue un componente esencial para evaluar el impacto de las intervenciones implementadas y analizar los resultados en función de las dificultades previamente identificadas. Este proceso integró dos enfoques principales: la indagación para la acción y la indagación acerca de la acción, cada uno orientado a obtener información significativa que permitiera reflexionar de forma sistemática y ajustar continuamente el plan.

La indagación para la acción se enfocó en recopilar datos antes y después de la implementación del plan mediante dos instrumentos principales: el Cuestionario de Actitudes hacia las Ciencias y la prueba de aprovechamiento. Ambos fueron diseñados para medir los cambios en las actitudes del estudiantado hacia la ciencia y su conocimiento sobre calidad del agua y bioindicadores. Durante el desarrollo del plan de acción, se aplicaron herramientas complementarias como hojas de trabajo, listas de cotejo y rúbricas, asociadas a actividades específicas. Estas herramientas facilitaron una evaluación continua y contextualizada del desempeño práctico de los estudiantes. En particular, las hojas de trabajo permitieron documentar la precisión en la observación, recopilación e interpretación de datos; las listas de cotejo supervisaron el uso adecuado de los instrumentos; y las rúbricas evaluaron la calidad de productos elaborados, como presentaciones grupales o ejercicios de análisis. Así, mientras los instrumentos principales midieron los cambios generales, las herramientas formativas proporcionaron evidencia práctica del progreso alcanzado durante la ejecución del plan.

Por otro lado, la indagación acerca de la acción consistió en el análisis de los datos obtenidos a través de estos instrumentos, lo cual permitió reflexionar sobre la efectividad del plan

implementado, identificar áreas de mejora y realizar ajustes pertinentes en futuras aplicaciones. Esta estructura de medición mixta —pre, durante y post— facilitó una visión integral del impacto del plan, combinando un enfoque cuantitativo con evidencia pedagógica situada.

Indagación para la acción: pre y posmedición

La medición inicial y final se llevó a cabo mediante dos instrumentos diseñados para recopilar datos cuantitativos: la prueba de aprovechamiento y el cuestionario de actitudes hacia las ciencias. Ambos fueron administrados antes y después de la intervención, bajo condiciones controladas para asegurar la comparabilidad de los resultados. La prueba de aprovechamiento permitió identificar el nivel inicial y final de dominio de los estudiantes en procesos científicos como la observación, el registro y la interpretación de datos. Por su parte, el cuestionario de actitudes midió dimensiones como la percepción de la ciencia en la vida diaria, la disposición hacia la investigación y el interés por continuar aprendiendo. Utilizando una escala tipo Likert, se capturaron aspectos cognitivos, afectivos y conductuales de la actitud del estudiantado hacia la ciencia. Durante la implementación del plan, también se emplearon instrumentos diseñados para documentar el progreso práctico en tiempo real. Las hojas de trabajo registraron la precisión en la recopilación e interpretación de datos, las listas de cotejo permitieron supervisar el manejo adecuado de los instrumentos de medición, y las rúbricas evaluaron productos como tareas escritas, actividades experimentales y presentaciones.

La combinación de todos estos instrumentos aseguró una evaluación integral: mientras que la prueba de contenido y el cuestionario midieron los cambios generales en conocimientos y actitudes, los instrumentos aplicados durante el desarrollo del plan ofrecieron una perspectiva contextualizada del aprendizaje activo.

Instrumento: cuestionario/prueba de aprovechamiento

En esta investigación en acción, se utilizarán dos instrumentos principales que permitirán recopilar datos cuantitativos para evaluar el impacto de las actividades implementadas: el cuestionario de actitudes hacia las ciencias y la prueba de aprovechamiento. En primer lugar, ambos instrumentos son esenciales para medir, respectivamente, las actitudes de los estudiantes hacia las ciencias y el desarrollo de las competencias científica como la observación, recopilación y análisis de datos mediante la relación con la calidad del agua y el uso de bioindicadores. Además, estos instrumentos no solo proporcionan información relevante para el análisis de los objetivos de aprendizaje, sino que también ofrecen datos significativos que pueden ser utilizados por otros educadores interesados en la mejora de la enseñanza de las ciencias.

El cuestionario de actitudes hacia las ciencias seleccionado para esta investigación es el Inventario de Actitudes hacia las Matemáticas y las Ciencias, adaptado al contexto hispanohablante por Bravo-Vick et al. (2019). Este instrumento utiliza una escala tipo Likert con 31 ítems relacionados específicamente con actitudes hacia las ciencias. De esta manera, el propósito principal de emplear este cuestionario es evaluar las percepciones, intereses y motivaciones de los estudiantes hacia las ciencias antes y después de la implementación del plan de acción, permitiendo analizar posibles cambios en sus actitudes como resultado de las actividades desarrolladas. En este sentido, el cuestionario fue escogido debido a su validación previa en contextos educativos similares y su capacidad para recopilar datos cuantitativos de manera estructurada y culturalmente relevante. Según Bravo-Vick et al. (2019), instrumentos como este son esenciales para estudiar actitudes en poblaciones escolares, ya que proporcionan medidas fiables y replicables, adaptadas a la realidad lingüística y cultural de los participantes. El cuestionario consta de las siguientes partes:

1. Descripción del propósito y las instrucciones: Los estudiantes leen una breve introducción que explica el objetivo del cuestionario y cómo deben responder a las premisas.
2. Premisas organizadas en tres componentes:
 - a. Cognitivo: Ítems que miden la importancia percibida de las ciencias en contextos educativos y sociales.
 - b. Afectivo: Preguntas que exploran emociones y motivaciones relacionadas con las ciencias.
 - c. Conductual: Reactivos que analizan comportamientos asociados al aprendizaje y la práctica de las ciencias.
3. Escala de respuesta: Los participantes califican cada ítem según su grado de acuerdo o desacuerdo en una escala que va de "Totalmente en desacuerdo" a "Totalmente de acuerdo".

El instrumento fue diseñado siguiendo un proceso riguroso de traducción y adaptación cultural. Específicamente, como lo describen Bravo-Vick et al. (2019), este incluyó la traducción del cuestionario original al español, seguido de una traducción al inglés para garantizar la equivalencia semántica. Además, un panel de expertos en educación STEM revisó el contenido para asegurar su relevancia cultural y técnica en el contexto puertorriqueño. Finalmente, se realizaron pruebas piloto para refinar la claridad y comprensibilidad de los ítems. Por último, este instrumento fue seleccionado porque permite recopilar datos relevantes y estructurados sobre las actitudes de los estudiantes, lo que lo convierte en una herramienta eficaz para esta investigación fiables y replicables, adaptadas a la realidad lingüística y cultural de los participantes.

Por otra parte, la prueba de aprovechamiento diseñada para esta investigación tiene como objetivo medir el conocimiento y las habilidades de los conceptos científicos básicos necesarios para una comprensión en las ciencias, específicamente en la observación, recopilación e interpretación de datos para ello se relacionan con la calidad del agua y el uso de bioindicadores en ecosistemas acuáticos. Como señala McMillan (2014), las pruebas son herramientas clave para evaluar no solo la retención de información, sino también la capacidad de aplicarla en contextos específicos. Por este motivo, el instrumento fue diseñado de forma tal que permite analizar el impacto de las actividades implementadas en términos de aprendizajes medibles, alineados con los estándares del Programa de Ciencias de Puerto Rico y fue revisado por los profesores universitario del Proyecto BioRets. Por ende, proporciona una visión clara y cuantitativa del progreso de los estudiantes, facilitando una comparación objetiva entre los resultados de la pre y posprueba. En otras palabras, la elaboración de la prueba de aprovechamiento responde a la necesidad de evaluar aspectos fundamentales del aprendizaje en ciencias, como el reconocimiento de conceptos clave, la aplicación de conocimientos en situaciones reales y la interpretación de datos científicos. Este enfoque es crucial, ya que permite enlazar el instrumento con los objetivos de esta investigación, que buscan fortalecer las habilidades investigativas de los estudiantes y mejorar su comprensión sobre la calidad del agua. Además, la estructura de la prueba garantiza una cobertura equilibrada de contenidos y habilidades, permitiendo a los educadores interesados replicar este instrumento en sus propios contextos. No obstante, la misma consta de 35 ítems distribuidos en tres secciones, diseñadas para abarcar distintos niveles de la Taxonomía de Bloom: recuerdo, comprensión, aplicación y análisis. Como consecuencia, la primera sección contiene 17 premisas de selección múltiple donde se evalúan desde el reconocimiento de instrumentos de medición hasta la interpretación de datos ambientales. En cuanto a la segunda sección constan de escenarios

hipotéticos, incluye 7 preguntas que presentan contextos reales de calidad de agua. En otras palabras, los estudiantes deben aplicar sus conocimientos para resolver situaciones prácticas mediante el uso de índices ecológicos. La tercera sección está compuesta por 10 ítems tipo cierto/falso. Estas afirmaciones están diseñadas para evaluar la comprensión de conceptos básicos y la interpretación de parámetros fisicoquímicos (como pH, nitratos, nitritos y amoníaco), así como la identificación de posibles conceptos erróneos en el pensamiento científico de los estudiantes. En relación con el diseño del instrumento siguió un proceso estructurado que incluyó la planilla de especificaciones para facilitar la comprensión de su construcción:

RANGO DE PREGUNTAS	INDICADOR	NIVEL DE BLOOM	COMPETENCIA EVALUADA	CANTIDAD DE PREGUNTAS	PORCENTAJE
1-2	6.IT1.5	Recuerdo	Identifica equipo y prácticas de seguridad en el laboratorio	2	5.7%
3-6	6.CB2.3	Comprensión	Reconoce los instrumentos necesarios para evaluar parámetros físico-químicos	4	11.4%
7-10	6.CB2.8	Aplicación	Describe cómo utilizar instrumentos para recopilar datos ambientales	4	11.4%
11-14	6.CB2.15	Análisis	Interpreta datos relacionados con parámetros de calidad de agua	4	11.4%
15-17	6.CB2.22	Aplicación	Clasifica macroinvertebrados y sus características en relación al agua	3	8.6%
18-22	6.CB1.28	Análisis	Analiza la biodiversidad como indicador ecológico	5	14.3%
23-26	6.CB1.29	Aplicación	Evalúa relaciones entre organismos y su ambiente	4	11.4%
27-30	6.CB2.3	Análisis	Aplica índices para evaluar la calidad del agua	4	11.4%

RANGO DE PREGUNTAS	INDICADOR	NIVEL DE BLOOM	COMPETENCIA EVALUADA	CANTIDAD DE PREGUNTAS	PORCENTAJE
31-35	6.CB2.8 / 6.CB2.22	Comprensión	Relaciona observaciones con conceptos científicos	5	14.3%

Los contenidos cubiertos aseguran una alineación equilibrada con los estándares curriculares y un énfasis en habilidades investigativas prácticas, lo que refuerza el aprendizaje significativo y la conexión con problemas ambientales reales. En conclusión, ambos instrumentos fueron claves para medir el avance de los estudiantes en términos de contenido y actitudes, además de generar evidencia útil y replicable para futuras investigaciones en contextos escolares similares.

Análisis de los datos

El análisis de los datos recopilados en esta investigación en acción se realizó mediante métodos estadísticos descriptivos e inferenciales. Estos procedimientos permitieron interpretar de forma sistemática la información cuantitativa obtenida a través de los instrumentos aplicados, con el objetivo de evaluar el impacto del plan de acción en el aprendizaje y las actitudes hacia las ciencias.

En primer lugar, se utilizaron estadísticas descriptivas para organizar y resumir los datos de manera clara y comprensible. Este análisis facilitó una comprensión inicial de las tendencias generales y la distribución de las respuestas. Específicamente, se calcularon medidas de tendencia central —como la media, la mediana y la moda— para identificar los valores promedio o más frecuentes. También se aplicaron medidas de dispersión, como el rango y la desviación estándar, con el fin de evaluar la variabilidad de los datos respecto a su centro. Estas herramientas

descriptivas permitieron caracterizar la muestra, además de verificar el cumplimiento de los supuestos necesarios para el análisis inferencial (McMillan, 2016; Pardo & San Martín, 2010).

En segundo lugar, para examinar los cambios en el aprendizaje (dominio de destrezas) y en las actitudes hacia las ciencias antes y después de la intervención, se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para rangos con signo. Esta prueba resultó adecuada debido a que los datos no cumplieron con el supuesto de normalidad, una situación común en investigaciones educativas con muestras pequeñas o distribuciones asimétricas (Pardo & San Martín, 2010). La prueba de Wilcoxon permitió comparar las medianas de dos muestras relacionadas —como los resultados de una preprueba y una posprueba— para determinar si existieron diferencias estadísticamente significativas. En esta investigación, la prueba de Wilcoxon se aplicó para analizar dos aspectos fundamentales:

- Cambio en el aprendizaje: Se evaluaron las habilidades científicas de los estudiantes, tales como la observación, el registro y la interpretación de datos, mediante los resultados de la prueba de aprovechamiento.
- Cambio en las actitudes: Se midieron las percepciones, motivaciones e intereses hacia las ciencias a través de las respuestas al cuestionario de actitudes.

Los datos obtenidos de la preprueba y la posprueba fueron organizados en pares para cada estudiante, y la prueba de Wilcoxon analizó si las diferencias entre cada par fueron consistentes y significativas. De esta manera, se pudo inferir si las actividades del plan de acción contribuyeron a mejorar tanto el aprendizaje como la actitud hacia la ciencia. En resumen, el análisis de datos combinó herramientas estadísticas descriptivas e inferenciales para ofrecer una visión completa del efecto de la intervención. Mientras que las estadísticas descriptivas permitieron caracterizar la muestra y preparar los datos, el análisis inferencial mediante la prueba de Wilcoxon proporcionó

evidencia robusta sobre los cambios logrados. Este enfoque permitió alcanzar conclusiones objetivas, basadas en la evidencia empírica generada durante el estudio.

Resultados / Hallazgos

Cuestionario u Inventario de Actitudes hacia las Ciencias (IAC)

Estadísticas descriptivas

Los resultados del Inventario de Actitudes hacia las Ciencias (IAC) evidencian cambios en las puntuaciones de los estudiantes tras la implementación del tratamiento pedagógico. En la preprueba, la puntuación mínima fue de 63.00, la máxima de 96.00 y la media fue de 80.55. La desviación estándar fue de 7.535, y el error estándar de la media fue de 1.099. En la posprueba, la puntuación mínima fue de 66.00, la máxima de 113.00 y la media fue de 78.23. La desviación estándar fue de 8.825 y el error estándar de la media fue de 1.287. En cuanto a la normalidad de los datos (ver Tabla 2 y Gráficos 1 y 2), el test de Shapiro-Wilk indicó que los datos de la preprueba cumplen con el supuesto de normalidad ($S-W = 0.983$, $p = .739$), mientras que los de la posprueba no lo cumple ($S-W = 0.902$, $p < .001$). Aunque el tamaño muestral fue mayor a 30 participantes, esta discrepancia justifica el uso de estadística no paramétrica.

Tabla 1. Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk para el IAC ($n = 47$)

	Tests of Normality					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
PRE	.085	47	.200*	.983	47	.739
POS	.128	47	.053	.902	47	<.001

*. This is a lower bound of true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Gráfico 1. Histograma para la preprueba del IAC (eje de x son las puntuaciones y el eje de y es la frecuencia de esas puntuaciones)

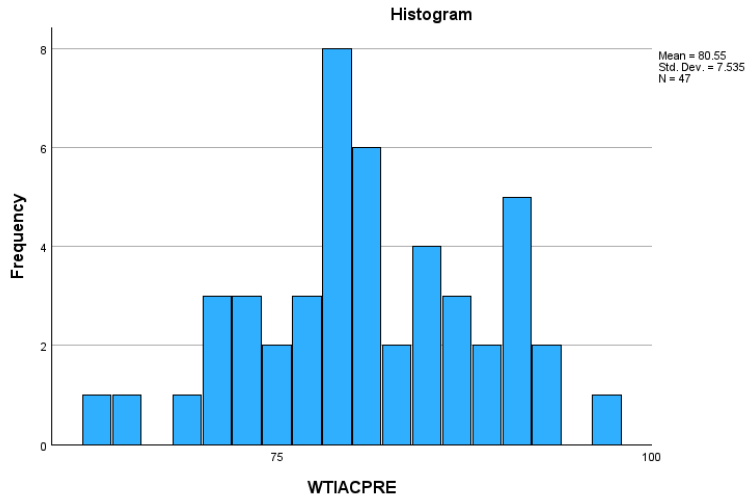
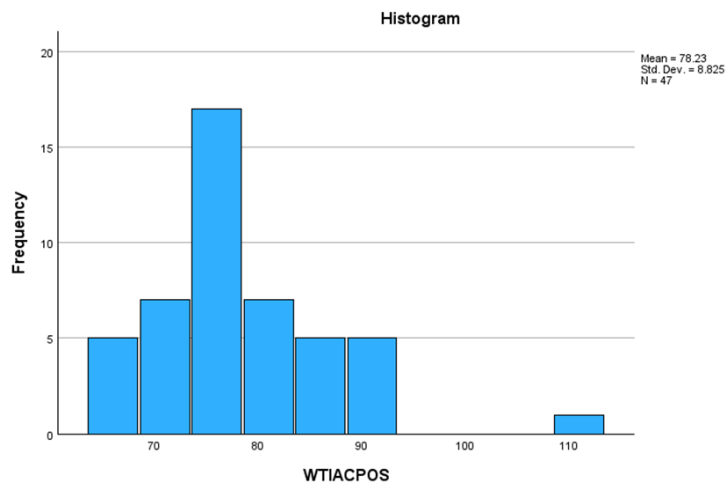


Gráfico 2. Histograma para la posprueba del IAC (eje de x son las puntuaciones y el eje de y es la frecuencia de esas puntuaciones)



Estadísticas inferenciales

Dado que la distribución de la posprueba no cumple con el supuesto de normalidad, y considerando que los datos corresponden a muestras (pre y posprueba del mismo grupo), se utilizó la prueba no paramétrica de rangos con signos de Wilcoxon para muestras pareadas, la cual es apropiada para este contexto. Como se muestra en la Tabla 3, un total de 25 estudiantes obtuvieron puntuaciones menores en la posprueba que en la preprueba (Negative Ranks), con un promedio de rango de 29.18 y una suma de rangos de 729.50. Por otro lado, 21 estudiantes mejoraron su

puntuación en la posprueba (Positive Ranks), con un promedio de rango de 16.74 y una suma de rangos de 351.50. Un estudiante obtuvo la misma puntuación en ambas pruebas (Ties = 1). La prueba de Wilcoxon arrojó una puntuación $Z = -2.067$ con un valor de significancia bilateral de $p = .039$, lo cual es menor al nivel alfa de .05 (ver Tabla 4). Por consiguiente, se concluye que los resultados son estadísticamente significativos.

Tabla 2. Estadísticas descriptivas de la prueba no paramétrica de muestras pareadas y rangos señalados de Wilcoxon para el IAC ($n = 47$)

		Ranks		
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
POS - PRE	Negative Ranks	2 ^a	4.50	9.00
	Positive Ranks	24 ^b	14.25	342.00
	Ties	0 ^c		
	Total	26		

a. POS < PRE

b. POS > PRE

c. POS = PRE

Tabla 3. Estadística inferencial y significancia de Wilcoxon para el IAC

Test Statistics ^a	
	POS - PRE
Z	-4.231 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	<.001

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on negative ranks.

En síntesis, aunque la mayoría de los estudiantes manifestó inicialmente una actitud favorable hacia las ciencias, los resultados posteriores sugieren una disminución significativa en dichas actitudes, posiblemente influida por factores contextuales durante la aplicación de la evaluación.

Prueba de Contenido (Aprovechamiento)

Estadísticas descriptivas

Los resultados obtenidos en la prueba de contenido evidencian un cambio positivo en el rendimiento académico de los estudiantes tras la implementación del tratamiento pedagógico, compuesto por cuatro actividades diseñadas bajo el enfoque de investigación en acción. En la preprueba, la puntuación mínima fue de 6.00, la máxima de 17.00 y el promedio fue de 12.73. La desviación estándar fue de 2.554, y el error estándar de la media fue de 0.501. En la posprueba, la puntuación mínima fue de 13.00, la máxima de 30.00 y el promedio fue de 21.23. La desviación estándar fue de 4.546, y el error estándar de la media fue de 0.892. Estos resultados se presentan en la Tabla 2, así como en los Gráficos 1 y 2, los cuales ilustran la distribución de frecuencia de las puntuaciones en ambos momentos de evaluación.

Tabla 4. Pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) para la prueba de contenido (n = 26)

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	Df	Sig.	Statistic	df	Sig.
PRE	.151	26	.131	.946	26	.188
POS	.144	26	.175	.967	26	.555

a. Lilliefors Significance Correction

Gráfico 1. Histograma de la preprueba de contenido (eje de x son las puntuaciones y el eje de y es la frecuencia de esas puntuaciones)

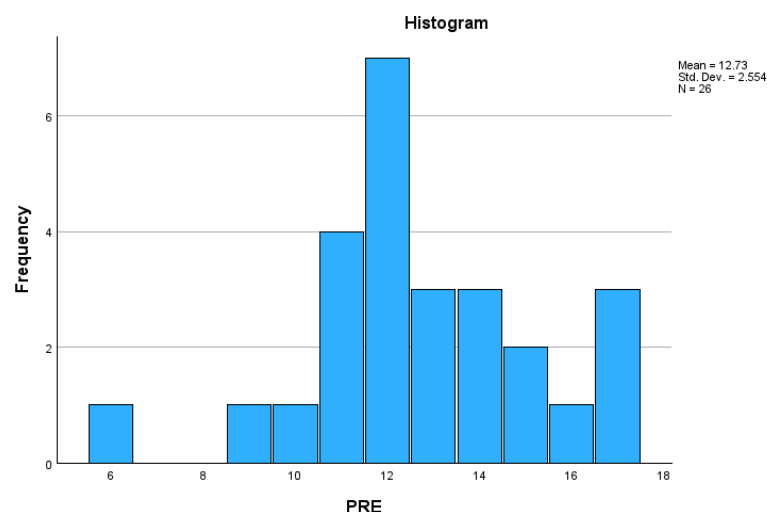
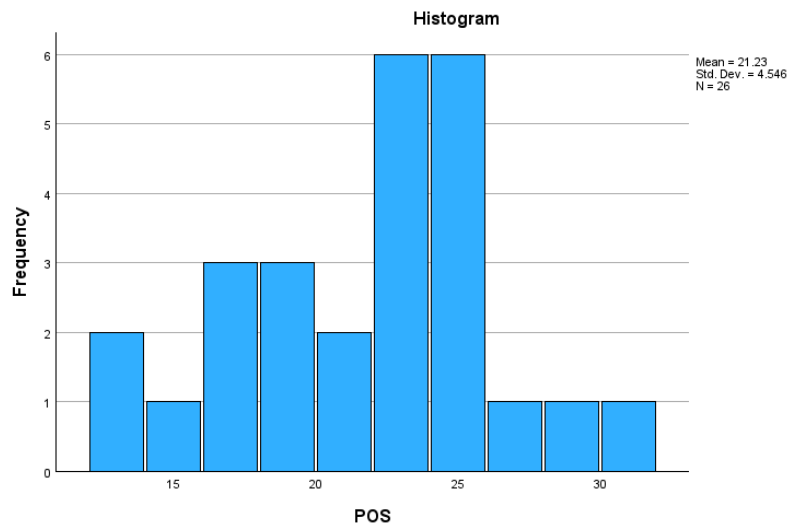


Gráfico 2. Histograma de la posprueba de contenido (eje de x son las puntuaciones y el eje de y es la frecuencia de esas puntuaciones)



En relación con la normalidad de los datos, los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk indican que tanto la preprueba (S-W = 0.946, $p = .188$) como la posprueba (S-W = 0.967, $p = .555$) cumplen con el supuesto de normalidad. Sin embargo, dado que el tamaño de la muestra es menor a 30 participantes ($N = 26$), se optó por aplicar una prueba no paramétrica.

Estadísticas inferenciales

Se utilizó la prueba de muestras pareadas y rangos señalados de Wilcoxon, ya que este análisis es apropiado para datos que no cumplen con los supuestos paramétricos, para muestras pequeñas y relacionadas, como es el caso de este estudio. Según los resultados de la prueba Wilcoxon, presentados en la Tabla 3, 24 estudiantes obtuvieron una puntuación mayor en la posprueba que en la preprueba (Positive Ranks), con un promedio de rango de 14.25 y una suma de rangos de 342.00. Solamente 2 estudiantes obtuvieron una puntuación menor en la posprueba (Negative Ranks), con un promedio de rango de 4.50 y una suma de rangos de 9.00. Ningún estudiante obtuvo la misma puntuación en ambas pruebas (Ties = 0). La prueba arrojó una

estadística Z de -4.231, con un valor de significancia asintótica bilateral de $p < .001$, el cual es menor que el nivel alfa establecido ($\alpha = .05$). En consecuencia, se concluye que los resultados son estadísticamente significativos. Esto implica que hubo una mejora significativa en el aprovechamiento académico de los estudiantes, luego de participar en las cuatro actividades pedagógicas diseñadas en el marco de la presente investigación en acción.

Tabla 5. Estadísticas descriptivas de la prueba no paramétrica de muestras pareadas y rangos señalados de Wilcoxon

		Ranks		
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
POS - PRE	Negative Ranks	2 ^a	4.50	9.00
	Positive Ranks	24 ^b	14.25	342.00
	Ties	0 ^c		
	Total	26		

a. POS < PRE

b. POS > PRE

c. POS = PRE

En resumen, los resultados reflejan una mejora significativa en el rendimiento académico de los estudiantes, validando el impacto positivo de la unidad curricular basada en indagación.

Otros instrumentos de evaluación integrados en la unidad curricular

Además de las pruebas estandarizadas aplicadas al inicio y final de la unidad, se integraron múltiples instrumentos de evaluación formativa que, si bien no fueron analizados estadísticamente, aportaron evidencia complementaria valiosa desde la observación pedagógica, permitiendo triangular los hallazgos y enriquecer la comprensión del proceso de aprendizaje de los estudiantes. Las hojas de tareas fueron diseñadas de manera progresiva, comenzando con actividades enfocadas en el reconocimiento de instrumentos de medición y su uso, luego terminología anatómica de los macroinvertebrados, hasta llegar a tareas más complejas como la clasificación de muestras reales

y la interpretación de datos de calidad de agua integrando los bioindicadores con los parámetros fisicoquímicos. Estas tareas promovieron el uso de recursos tecnológicos como “PocketMacro”, así como el desarrollo de habilidades científicas esenciales como la observación precisa, el registro estructurado y la capacidad de análisis. En términos generales, la mayoría de los estudiantes logró completar exitosamente todas las hojas de trabajo, utilizando tanto los recursos provistos como el conocimiento adquirido a lo largo del proceso.

Asimismo, se utilizó una lista de cotejo para evaluar el uso de instrumentos científicos durante una actividad práctica. Esta evaluación contempló aspectos como la organización, el manejo de equipos, y el seguimiento de instrucciones en el laboratorio. Aunque inicialmente algunos estudiantes enfrentaron dificultades específicas, principalmente relacionadas con el enfoque del microscopio o el uso del refractómetro, estas fueron superadas con apoyo docente y prácticas repetidas. De los 62 estudiantes participantes, 53 lograron alcanzar todos los criterios de forma satisfactoria.

Finalmente, se emplearon dos rúbricas: una para evaluar la manualidad científica y otra para las presentaciones orales. Las rúbricas permitieron valorar aspectos como la creatividad, el dominio conceptual, la organización y la comunicación efectiva. Muchos estudiantes destacaron por la originalidad de sus modelos y la claridad en sus exposiciones. En general, se observó una evolución positiva en el comportamiento académico, la disposición al trabajo colaborativo y la actitud hacia las ciencias, especialmente entre aquellos estudiantes que inicialmente mostraban inseguridad o resistencia.

Discusión

Interpretación contextualizada de los hallazgos

Los resultados obtenidos en esta investigación-acción revelaron un panorama complejo en términos de aprendizaje y actitudes hacia las ciencias. En primer lugar, los hallazgos derivados de la prueba de contenido confirmaron un aumento estadísticamente significativo en el conocimiento científico de los estudiantes, lo cual validó la hipótesis inicial: que una unidad curricular basada en la indagación, enfocada en la evaluación de la calidad del agua mediante macroinvertebrados, podría fortalecer el aprendizaje conceptual. El tratamiento pedagógico permitió que los estudiantes participaran, en muchos casos por primera vez, en experiencias auténticas de laboratorio. Estas incluyeron la recolección y análisis de muestras reales, el uso de instrumentos científicos como el “Water Quality Tester”, el “Freshwater Master Kit” y el microscopio de disección, y la interpretación de resultados a través del método científico. Estas oportunidades prácticas permitieron que los estudiantes se posicionaran como agentes activos en la construcción de su conocimiento, en consonancia con postulados constructivistas como los de Piaget (1971) y Driver et al. (1994). El contacto con datos reales también fomentó un interés genuino en la ciencia, manifestado por estudiantes que expresaron su deseo de continuar participando en experiencias similares.

Sin embargo, este progreso cognitivo contrastó con los resultados del Inventario de Actitudes hacia las Ciencias (IAC), que reflejaron una disminución significativa en las actitudes positivas hacia la disciplina. Este hallazgo, aunque sorpresivo, se puede explicar por varios factores contextuales. En primer lugar, el instrumento se aplicó al finalizar el curso escolar, tras intensas jornadas de exámenes estandarizados, lo cual pudo haber provocado fatiga y una actitud negativa hacia cualquier forma de evaluación. Además, el tratamiento pedagógico se extendió hasta los últimos días del semestre, momento en el cual la mayoría de las demás materias ya había concluido, situación que pudo influir en la percepción emocional del proceso. Desde la perspectiva

de Koballa (1988) y Osborne et al. (2003), se reconoce que la motivación y actitud hacia las ciencias están ligadas a variables como el ritmo de instrucción, la autonomía percibida por el estudiante y la relevancia de las experiencias vividas en el aula. Las interrupciones escolares, ajustes de calendario, ausencias frecuentes y la necesidad de aplicar refuerzos antes de avanzar en nuevas etapas de la unidad curricular afectaron la secuencia didáctica prevista y, posiblemente, la motivación de los estudiantes. Finalmente, el perfil particular de la muestra —con alta representación de estudiantes de Educación Especial y rezagos significativos en lectura y escritura— también condicionó tanto el desarrollo como la recepción de la experiencia educativa. Tal como discuten Lee y Buxton (2013), estas características representan barreras estructurales que deben atenderse con estrategias diferenciadas, especialmente cuando se implementan modelos pedagógicos exigentes como el aprendizaje por indagación.

Limitaciones procesales y metodológicas

Durante la implementación de la unidad curricular, se identificaron diversas limitaciones de tipo procesal y metodológico que deben ser consideradas al interpretar los resultados. En términos procesales, una de las principales dificultades fue la falta de continuidad entre actividades, generada por factores externos como interrupciones escolares, ajustes de calendario y ausencias recurrentes. Estas situaciones obligaron a realizar refuerzos y retrocesos antes de cada nueva etapa, alterando la progresión planificada. Además, debido a restricciones de tiempo, la Actividad 2, inicialmente diseñada para ser realizada en el aula, tuvo que ser completada en el hogar. Por otro lado, las pospruebas se administraron en horarios desfavorables, como las tardes después de una jornada escolar intensa, lo que pudo afectar tanto el rendimiento académico como las actitudes hacia la evaluación.

Una limitación metodológica significativa fue la discrepancia entre el número de pruebas administradas y el número de pruebas finalmente utilizadas en el análisis. Por ejemplo, en el caso del IAC, aunque se administraron más de 47 pruebas, varias fueron invalidadas y, por tanto, no incluidas en los análisis estadísticos. Esta reducción de la muestra efectiva puede comprometer la representatividad de los resultados y limitar la generalización de los hallazgos. Asimismo, aunque el diseño de la unidad fue cuidadosamente planificado, el ritmo real del grupo requirió extender el tiempo originalmente previsto, dado el nivel de conocimiento inicial de los estudiantes. Esta ampliación implicó que la unidad se extendiera hasta los últimos días del curso, en un momento en que la mayoría de las demás materias ya habían concluido, lo que pudo provocar un sentimiento de saturación o desconexión hacia la asignatura de ciencias.

Finalmente, se reconoce como una limitación estructural del estudio el haber trabajado con una muestra no representativa del estudiantado general. La mayoría de los participantes presentaban necesidades educativas especiales, así como dificultades marcadas en comprensión lectora, lo cual influyó tanto en la dinámica de implementación como en la interpretación de los instrumentos evaluativos aplicados.

Aporte cualitativo complementario

Como parte de mi práctica docente habitual, administro anualmente una evaluación final del curso, en la que los estudiantes valoran las herramientas pedagógicas utilizadas: métodos de evaluación, actividades dinámicas, recursos educativos, entre otros aspectos. Aunque esta evaluación no formó parte formal de la presente investigación, constituye una fuente de información valiosa que complementa los datos obtenidos. En esta ocasión, el formulario incluyó una sección específica sobre la unidad curricular trabajada, lo que permitió conocer la percepción de los estudiantes sobre si esta experiencia despertó su interés por la ciencia. Los resultados

revelaron una puntuación promedio de 4.02 estrellas sobre 5, lo que indica que, en términos generales, la mayoría de los estudiantes valoró positivamente la unidad y se sintió motivado con las actividades propuestas. Cabe destacar que este formulario fue administrado antes de las pruebas estandarizadas y la semana de exámenes finales, y que participó aproximadamente el 90 % del estudiantado involucrado en el proyecto (56 de 62 estudiantes), lo cual supera ampliamente el número de respuestas válidas obtenidas en las pruebas del IAC y la prueba de contenido. Estos hallazgos cualitativos refuerzan la importancia de integrar instrumentos cualitativos en futuras investigaciones —como diarios reflexivos, entrevistas o cuestionarios abiertos— para obtener una visión más completa y asertiva de la experiencia del estudiante a lo largo del proceso de enseñanza-aprendizaje, y no únicamente en momentos puntuales como ocurre con las pruebas tradicionales.

Conclusión

Esta investigación en acción tuvo como propósito principal evaluar el impacto de una unidad curricular basada en el enfoque de indagación científica sobre las actitudes hacia las ciencias y el conocimiento de contenido en estudiantes de sexto grado, tomando como eje temático la evaluación de la calidad del agua mediante el uso de macroinvertebrados y parámetros fisicoquímicos. Los resultados obtenidos evidencian que el tratamiento pedagógico tuvo un efecto significativo en el aprovechamiento académico de los estudiantes, permitiéndoles comprender conceptos científicos complejos a través de la experimentación directa, la recolección de datos reales y el análisis mediante instrumentos especializados. Para muchos de ellos, fue la primera experiencia de laboratorio con propósito investigativo, lo cual no solo facilitó el aprendizaje, sino que también despertó el interés por continuar explorando este campo científico en cursos posteriores.

Sin embargo, en cuanto a las actitudes hacia la ciencia, los resultados reflejaron una disminución estadísticamente significativa, lo cual sugiere una desconexión emocional o motivacional durante el proceso, posiblemente influida por factores como el cansancio al cierre del semestre, las interrupciones externas y la extensión del tratamiento más allá de lo inicialmente planificado. A pesar de estos retos, los hallazgos permiten reconocer que los estudiantes sí lograron apropiarse de los saberes científicos, pero el componente afectivo requiere ser trabajado de manera más estratégica.

Implicaciones para la especialidad (desde el objeto de estudio)

Desde la perspectiva de la enseñanza de las ciencias en el nivel intermedio, este estudio reafirma la pertinencia de diseñar experiencias de aprendizaje basadas en la indagación científica y en contextos reales, como lo es el estudio de cuerpos de agua locales. La unidad curricular desarrollada no solo permite articular contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales, sino que además promueve competencias científicas alineadas con los estándares del Departamento de Educación de Puerto Rico y las tendencias internacionales en educación STEM. Asimismo, la investigación señala la importancia de considerar el perfil cognitivo y socioemocional de los estudiantes, particularmente en grupos con diversidad funcional o rezagos en lectura y redacción. Estos factores inciden directamente en la percepción que los estudiantes construyen sobre su experiencia científica, por lo que deben ser integrados de forma consciente en el diseño de futuras intervenciones educativas.

Recomendaciones para investigaciones futuras

Con base en las lecciones aprendidas, se proponen las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones o implementaciones similares:

1. Dividir la unidad curricular en dos fases distribuidas entre semestres: Se sugiere comenzar con las actividades de manejo de instrumentos y exploración de macroinvertebrados antes del receso académico, para retomar y completar las actividades de interpretación y evaluación de datos en el segundo semestre. Esta estructura permitirá reforzar el aprendizaje y evitar la saturación al final del curso.
2. Evitar actividades asignadas para el hogar: Todas las actividades deben ser realizadas y supervisadas dentro del salón de clases. Esto garantizará una participación equitativa y mejor seguimiento del aprendizaje, especialmente en grupos con alta diversidad de necesidades educativas.
3. Ampliar la muestra y controlar los factores externos: Para investigaciones futuras, se recomienda trabajar con muestras más amplias y asegurar mayor control sobre variables como ausencias, horarios de evaluación y distribución temporal del tratamiento, para reducir posibles sesgos en los resultados.
4. Incluir la participación de recursos externos: La incorporación de especialistas, estudiantes graduados o entidades universitarias vinculadas a temas ambientales o científicos puede enriquecer la experiencia de los estudiantes, aumentando su percepción de pertinencia y conexión con la ciencia real.
5. Incorporar momentos de metacognición emocional: Al finalizar cada actividad, dedicar 5–10 minutos a que los estudiantes reflexionen sobre cómo se sintieron, qué les gustó, qué les frustró y cómo resolvieron desafíos. Esto puede hacerse con diarios breves, semáforos emocionales o nubes de palabras. Esto promueve la autorregulación emocional y ayuda a los docentes a identificar puntos críticos del proceso de enseñanza.

En resumen, esta investigación aporta evidencia valiosa sobre el impacto dual del aprendizaje activo: mientras potencia el conocimiento conceptual, también demanda ajustes pedagógicos y emocionales que deben ser atendidos cuidadosamente para lograr una experiencia educativa integral y significativa.

Referencias

- Álvarez-Coronel, J. F., & Pérez-Cabrera, K. R. (2022). La investigación formativa y su contribución en el desarrollo de habilidades. *Revista Conrado*, 18(85).
- Bravo-Vick, M., Padró-Collazo, M. R., & Borrero, E. E. (2019). Inventario de actitudes hacia las matemáticas y las ciencias: Adaptación cultural y validación en el contexto hispanohablante. *Revista de Educación STEM*, 5(2), 123–140.
<https://revistas.udc.es/index.php/reipe/article/view/reipe.2019.6.2.5687>
- Buxton, C. A. y Lee, O. (2013). Science, language, and families: Constructing a model of steps to college through language-rich science inquiry.
- Carrascosa, J. L., Martínez-Chico, M., & Sánchez-Carrillo, S. (2020). Formative assessment as a tool to enhance the development of inquiry skills in science education. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(1), 1101–1112.
- Creswell, J. W., & Guetterman, T. C. (2019). *Educational research: Planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research* (6th ed.). Pearson.
- Cruz-Pérez, M. A., Pozo-Vinueza, M. A., Chamorro-Sevilla, H. E., & Urquizo-Buenaño, G. (2019). Estrategia didáctica para el desarrollo de habilidades investigativas con el aprovechamiento de las TIC. *Revista Ciencias Pedagógicas e Innovación*, 7(1), 78-85.
<https://doi.org/10.26423/rcpi.v7i1.279>
- Departamento de Educación de Puerto Rico. (n.d.). Conoce tu escuela: Escuela Dr. Pedro Albizu Campos. <https://conocetuescuelapr.dde.pr/principal/27540>
- Elliott, J. (2010). *El cambio educativo desde la investigación-acción*. Ediciones Morata.
<https://1library.co/document/y4kjkvq-elliott-john-el-cambio-educativo-desde-la-investigacion-accion-pdf.html>

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill. Recuperado de

<https://1library.co/document/zxvx45ny-metodolog%C3%ADa-investigaci%C3%B3n-rutas-cuantitativa-cualitativa-mixta.html>.

Hilmi, M., & Prastowo, A. (2023). Use of Educandy in improving science learning outcomes through drill and practice model. *Journal of Education and Learning*, 17(3), 221–228.

Koballa, T. R., Crawley, F. E. y Shrigley, R. L. (1990). Research on attitudes toward science: Implications for science teaching (en: Gardner, P. L. (2002), *Handbook of Research on Science Education*).

McMillan, J. H. (2014). *Classroom assessment: Principles and practice for effective standards-based instruction* (6th ed.). Pearson.

McMillan, J. H. (2016). *Fundamentals of educational research* (7th ed.). Pearson

Medina, M., & Verdejo, A. (2019). *Evaluación educativa en el aula: Métodos y herramientas*. Ediciones Pirámide.

Osborne, J. y cols. (2003). *Science education reform: Building on the research base*.

Pardo, A., & San Martín, R. (2010). Análisis de datos en ciencias sociales y de la salud. *Síntesis*.

Rojas, S. A., Barrientos, P. P., Valle, S. M., & Chanamé, R. (2021). Desarrollo de habilidades investigativas en el contexto educativo. *Revista PAIAN*, 12(1).

<https://revistas.uss.edu.pe/index.php/PAIAN/article/view/1658>