

## Del modelo tradicional al aula invertida: Atenuando las limitaciones en la enseñanza de geología estructural

### From the Traditional Model to the Flipped Classroom: Mitigating Limitations in Structural Geology Teaching

Christian Wladimir Romero Córdor<sup>a</sup>  , Fausto Carranco-Andino<sup>a</sup>  , Marilyn Castillo-Jara<sup>b</sup>  

<sup>a</sup> Instituto de Investigación Geológico y Energético. Av. de la República E7-263 y Diego de Almagro, Edificio Sky, Planta Baja, 170518, Quito, Ecuador.

<sup>b</sup> Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleo y Ambiental (FIGEMPA). Ciudadela Universitaria, calle Jerónimo Leyton y av. La Gasca, Quito, Ecuador.

#### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

##### Historial del artículo:

Recibido el 16 de febrero de 2025

Aceptado el 21 de mayo de 2025

Online First el 17 de julio de 2025

Publicado el 03 de octubre de 2025

##### Palabras clave:

aula invertida

geología estructural

metodologías activas de aprendizaje

herramientas digitales

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received on February 16, 2025

Accepted on May 21, 2025

Online on First July 17, 2025

Published on October 03, 2025

##### Keywords:

flipped classroom

structural geology

active learning methodologies

digital tools

#### RESUMEN

La enseñanza de la geología estructural presenta desafíos persistentes, como la desconexión entre teoría y práctica y la baja participación estudiantil. Este estudio evaluó el impacto del modelo de aula invertida en el desarrollo de competencias teóricas y prácticas en cuarenta estudiantes de cinco universidades de Ecuador. Se aplicó un enfoque mixto con diseño cuasiexperimental transversal, integrando técnicas cuantitativas y cualitativas para valorar el aprendizaje en contextos reales. La metodología incluyó tres fases: consolidación teórica, trabajo de campo y análisis en gabinete. Se utilizaron herramientas digitales como Field Move Clino y Dips 5.0, junto con plataformas virtuales (Moodle y Google Classroom), que facilitaron la presentación de simulaciones y videos explicativos y el trabajo colaborativo. Los resultados mostraron mejoras significativas: el 75 % de los estudiantes alcanzó niveles intermedios y expertos en la evaluación final, en contraste con el 80 % que inició en niveles básicos. Las fases de campo y gabinete alcanzaron altos niveles de cumplimiento (96,8 % y 87,9 %, respectivamente), y entre el 85 % y el 92 % de los estudiantes valoró positivamente las herramientas digitales y el aprendizaje colaborativo. Se concluye que el modelo de aula invertida fue efectivo para reducir brechas teórico-prácticas y fomentar una participación activa, autónoma y contextualizada en la enseñanza de la geología estructural.

#### ABSTRACT

The teaching of structural geology faces persistent challenges, such as the disconnect between theory and practice and low student participation. This study evaluated the impact of the flipped classroom model on the development of theoretical and practical competencies in 40 students from five universities in Ecuador. A mixed-methods approach with a cross-sectional quasi-experimental design was applied, integrating quantitative and qualitative techniques to assess learning in real-world contexts. The methodology included theoretical consolidation, fieldwork, and laboratory analysis. Digital tools such as Field Move Clino and Dips 5.0 and virtual platforms (Moodle and Google Classroom) were used, facilitating simulations, explanatory videos, and collaborative work. The results showed significant improvements: 75% of students reached intermediate and expert levels in the final evaluation, in contrast to 80% who initially were at the basic level. The field and laboratory phases achieved high levels of completion (96.8% and 87.9%, respectively), and between 85% and 92% of students positively evaluated the use of digital tools and collaborative learning. It is concluded that the flipped classroom model effectively reduced theoretical-practical gaps and fostered active, autonomous, and contextualized participation in the teaching of structural geology.

#### Introducción

La geología estructural es la rama de la geología que estudia la forma, la disposición y las relaciones de las estructuras observadas en superficie, como fallas, pliegues y fracturas (Pollard & Fletcher, 2005). Los datos estructu-

rales recolectados en campo permiten interpretar el relieve y su historia de evolución (Hills, 2012). La aplicación de conceptos teóricos y prácticos vinculados a la geología estructural facilita el desarrollo de competencias analíticas en diferentes áreas como la exploración de hidrocar-

buros, la prospección de recursos minerales, la mitigación de riesgos geológicos y la planificación del ordenamiento territorial (Lecuona, 2023).

Recientes investigaciones afirman que la enseñanza de la geología mediante métodos tradicionales, como la clase magistral y las prácticas guiadas, enfrentan diversos desafíos tanto para docentes como para estudiantes. Fernández y Gutiérrez (2016) señalan que los métodos de enseñanza tradicionales de recolección de datos en campo dependen de las condiciones del terreno y de factores climáticos. Además, suelen proporcionar información puntual o local, pero carecen de una visión regional e integral del área estudiada (Córdoba, 2023).

Martínez (2023) afirma que el aprendizaje unidireccional (basado en la transmisión de información desde el tutor al estudiante) limita la participación activa de los alumnos y dificulta el desarrollo de habilidades críticas, como el análisis y la resolución de problemas. Este enfoque fomenta una memorización superficial que disminuye la retención del conocimiento y su aplicabilidad práctica. Asimismo, la desconexión entre teoría y praxis se convierte en un obstáculo en el desarrollo de competencias (Hernández et al., 2022), al tiempo que la falta de dinámicas interactivas reduce el interés de los estudiantes y afecta su motivación (Espitia, 2023). Mogk y Goodwin (2012) señalan que los enfoques tradicionales no ofrecen suficientes oportunidades para interpretar estructuras complejas y son poco flexibles respecto a los estilos de aprendizaje de los estudiantes. Por su parte, Ortiz (2020) subraya que la enseñanza tradicional fragmenta el conocimiento en lugar de integrarlo, y complica la comprensión de las interacciones entre elementos geológicos.

La representación de datos estructurales añade otra capa de complejidad, ya que las estructuras tridimensionales se proyectan en diagramas bidimensionales que suelen confundir a intérpretes con poca experiencia (Novakova & Pavlis, 2017). Liben y Titus (2012) sugieren que los métodos tradicionales de enseñanza generalizan errores de interpretación y resaltan la necesidad de herramientas visuales didácticas. Francelino et al. (2018) destacan la importancia de la proyección estereográfica para el desarrollo de la percepción espacial, pero señalan que los métodos convencionales basados en explicaciones abstractas y ejercicios repetitivos no logran conectar eficazmente los conceptos con aplicaciones prácticas.

Frente a estas limitaciones, surge la necesidad de implementar metodologías activas y tecnologías contemporáneas en la enseñanza de la geología estructural. Esta investigación evalúa el impacto del método aula invertida en el aprendizaje de dicha disciplina, haciendo énfasis en la recolección, la representación gráfica, el análisis y la interpretación de datos estructurales recolectados en afloramientos. En este estudio participaron cuarenta estudiantes vinculados a carreras de geología de diversas universidades de Ecuador, quienes realizaron prácticas preprofesionales en el Proyecto de Investigación Geológica y Disponibilidad de Ocurrencias Minerales en el Territorio Ecuatoriano, desarrollado por el Instituto de Investigación Geológica y Energética (IIGE) entre 2021 y 2024.

Las metodologías activas de aprendizaje son enfoques pedagógicos centrados en el estudiante que promueven su participación activa en el proceso educativo (Baro,

2011). A diferencia del modelo tradicional, en el que el docente transmite información de forma unidireccional, estas metodologías fomentan el pensamiento crítico, la resolución de problemas, el trabajo colaborativo y la aplicación práctica del conocimiento (Taipe, 2020). Ejemplos comunes incluyen el aprendizaje basado en proyectos, el aula invertida, los estudios de caso y el aprendizaje cooperativo. Su objetivo es lograr una comprensión más profunda y significativa, desarrollando competencias cognitivas, sociales y técnicas alineadas con contextos reales y profesionales (Bernal & Martínez, 2009).

#### *Aula invertida*

La metodología de aula invertida transforma el modelo tradicional de enseñanza al trasladar la instrucción teórica fuera del aula mediante videos, lecturas y recursos digitales; así, el tiempo presencial se reserva para actividades prácticas que favorecen la aplicación de conocimientos (Ozdamli & Asiksoy, 2016). Este enfoque combina enseñanza directa extraclase con dinámicas interactivas en clase, al tiempo que promueve el aprendizaje colaborativo (Bishop & Verleger, 2013). Además, fortalece la interacción entre docentes y estudiantes al centrarse en el uso activo de conceptos durante las sesiones presenciales (Gregory & Jolley, 2024), y fortalece el aprendizaje autorregulado al permitir que los estudiantes gestionen su ritmo de estudio (O'Flaherty & Phillips, 2015). En disciplinas como la geología, esta estrategia facilita el abordaje de problemas complejos en entornos controlados (Beko & Dorđević, 2024). Este modelo también permite adaptar la enseñanza a las necesidades del estudiantado, facilitando la atención diferenciada y el desarrollo de habilidades como pensamiento crítico, resolución de problemas y trabajo en equipo (Lage et al., 2013; Lo & Hew, 2017; Chen et al., 2018). No obstante, enfrenta desafíos relacionados con la brecha digital, ya que no todos los estudiantes disponen de acceso adecuado a dispositivos o conectividad (Abeysekera & Dawson, 2015). Asimismo, requiere un esfuerzo considerable del docente para diseñar recursos innovadores, y puede generar resistencia entre quienes están acostumbrados a métodos tradicionales (Betihavas et al., 2016; Karabulut-Ilgü et al., 2018).

La implementación exitosa del aula invertida depende del uso de materiales didácticos bien estructurados, actividades dinámicas presenciales y retroalimentación continua que mantengan el compromiso del estudiante (Lo & Hew, 2017; Hew & Lo, 2018; Gregory & Jolley, 2024). Herramientas como cuestionarios diagnósticos y plataformas digitales accesibles fortalecen el aprendizaje autónomo (O'Flaherty & Phillips, 2015), mientras que actividades como debates, simulaciones y resolución de problemas permiten una comprensión más profunda de los contenidos (Chen et al., 2018). La evaluación se basa en proyectos colaborativos, estudios de caso y rúbricas orientadas a valorar competencias técnicas y sociales, complementadas con procesos de autoevaluación (Betihavas et al., 2016; Jones et al., 2019). En el contexto geológico, Straser (2017) evidenció mejoras en la comprensión conceptual al integrar el trabajo de campo. Jones et al. (2019) reportaron mayor rendimiento académico y confianza estudiantil, y Somma (2022) destacó una mejor articulación entre teoría y práctica mediante ejercicios simulados.

## Metodología

### Enfoque y diseño metodológico

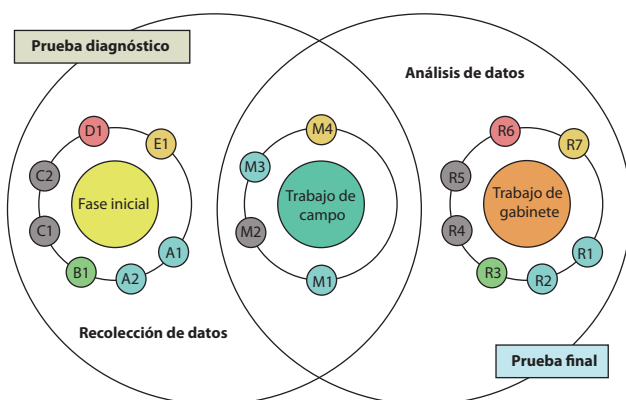
La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto que integró componentes cuantitativos y cualitativos, con el propósito de ofrecer una comprensión integral del impacto del modelo de aula invertida en la enseñanza de la geología estructural. Desde el enfoque cuantitativo, se midió objetivamente el desarrollo de competencias teóricas y prácticas mediante instrumentos estructurados como evaluaciones diagnósticas y finales y rúbricas de desempeño. Paralelamente, el enfoque cualitativo permitió interpretar percepciones, actitudes y experiencias estudiantiles a través de encuestas abiertas, observación estructurada y análisis de productos académicos generados por los participantes, como videos, ensayos y mapas geológicos.

El diseño de investigación fue cuasiexperimental de tipo transversal, al aplicar una intervención educativa sin manipulación aleatoria sobre una población preexistente, y recolectar datos en un período definido (2021-2024), durante prácticas preprofesionales supervisadas por el IIGE. Este diseño facilitó la comparación de competencias antes y después de la intervención.

La investigación se caracterizó por su naturaleza descriptiva y explicativa. Se describieron niveles de competencia mediante análisis estadísticos y gráficos de distribución, y se explicó cómo el modelo de aula invertida influyó en el desempeño estudiantil. La triangulación de técnicas cuantitativas y cualitativas garantizó la validez de los hallazgos y la construcción de una visión integral del fenómeno educativo (figura 1).

### Fases de investigación

La metodología utilizada en esta investigación desarrolla un programa de actividades que incluye la evaluación continua y la retroalimentación. Se estableció un esquema cíclico en función de tres fases de trabajo — inicial, trabajo de campo y trabajo de gabinete —, las cuales son descritas a continuación:



**Fig. 1.** Metodología aplicada al enfoque de aula invertida en la enseñanza de la geología estructural.

Fuente: Autores (2025).

### Definición de la población de estudio

La población de estudio fue definida priorizando la diversidad académica y la representatividad mediante

la inclusión de cohortes heterogéneas, lo cual permitió evaluar de forma amplia el impacto del modelo de aula invertida en el proceso de enseñanza-aprendizaje. La metodología contempló variaciones curriculares y contextuales de los estudiantes, fomentando el intercambio de perspectivas y fortaleciendo el aprendizaje colaborativo. Las diferencias en formación y experiencia fueron abordadas mediante un diagnóstico inicial que evaluó conocimientos teóricos y prácticos.

Participaron cuarenta estudiantes de geología provenientes de cinco instituciones ecuatorianas: la Escuela Politécnica Nacional, la Universidad Central del Ecuador, la Universidad de Guayaquil, la Universidad Técnica Particular de Loja y la Universidad Yachay Tech. La recolección de información se realizó entre 2021 y 2024, y se distribuyó en dos períodos académicos por año: *a* (enero a mayo) y *b* (julio a diciembre). Todos los participantes cursaban semestres superiores al quinto nivel, requisito primordial para acceder a las prácticas preprofesionales supervisadas por el IIGE. Esto garantizó una preparación técnica adecuada y fortaleció la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

### Diagnóstico inicial

Cada grupo realizó una evaluación diagnóstica, que incluyó una prueba teórica y una actividad práctica. Este instrumento permitió establecer una línea base de conocimiento. La prueba teórica fue diseñada con formato de selección múltiple, y estuvo compuesta por diez preguntas que abarcaron conceptos teóricos sobre: 1. las partes y el uso de la brújula; 2. planos de estratificación; 3. diaclasas; 4. tipos de contacto entre planos; y 5. diferencias entre rumbo, buzamiento y azimut.

En cada pregunta se establecieron cuatro opciones de respuesta, y los participantes tenían que elegir una; todas las posibles respuestas fueron consideradas adecuadas y factibles. Estas preguntas y respuestas fueron redactadas cuidadosamente para evaluar el grado de conocimiento del estudiante. La prueba se evaluó asignando un puntaje de 1 a 4 a cada respuesta; luego, se sumaron los puntajes y se obtuvo un puntaje ponderado sobre 40 y un promedio sobre 4 (material suplementario 1). Este enfoque permitió identificar cuatro niveles de conocimiento, definidos en la tabla 1.

La evaluación diagnóstica se realizó en Google Forms, una plataforma accesible y amigable tanto para estudiantes como para tutores. Su interfaz intuitiva permite crear cuestionarios personalizados con opciones de respuestas múltiples y asignar puntajes automáticamente (Leyva et al., 2018). Además, ofrece herramientas de análisis inmediato y compatibilidad con dispositivos móviles, lo que facilita la participación remota y la recolección eficiente de datos para un diagnóstico inicial detallado (Nguyen et al., 2018).

La actividad práctica se centró en evaluar el procedimiento de toma de datos en planos inclinados y su representación en diagramas estereográficos. Para esta evaluación, se establecieron cuatro niveles de conocimiento, descritos en función de los parámetros cualitativos detallados en la tabla 1. Esta metodología de evaluación diagnóstica consideró tanto los aspectos teóricos como prácticos y buscó que los resultados reflejaran el nivel de



preparación inicial de los participantes. Los resultados de la evaluación diagnóstica se presentan de manera detallada en el material suplementario 2.

**Tabla 1.** Descripción de niveles de conocimiento en función de la identificación de competencias previas.

Nivel de conocimiento	Puntaje ponderado	Promedio	Competencia
Principiante	10	1	El estudiante es capaz de reconocer definiciones básicas y características elementales de los conceptos, con un enfoque general y simplificado.
Básico	11-19	$1 < x < 2$	El estudiante es capaz de comprender aspectos fundamentales y puede describir procesos o funciones específicas con cierta profundidad técnica.
Intermedio	20-30	$2 < x < 3$	El estudiante es capaz de integrar conocimientos técnicos más avanzados, relacionando los conceptos con aplicaciones prácticas y procesos geológicos.
Experto	> 30	$3 < x < 4$	El estudiante es capaz de proporcionar explicaciones completas y detalladas, que incluyen terminología precisa y aplicaciones avanzadas en contextos especializados.

Fuente: Autores (2025).

#### Fase inicial: consolidación de fundamentos teóricos y técnicos

En la primera fase, los estudiantes accedieron a materiales teóricos y herramientas interactivas en línea, como guías paso a paso y tutoriales prácticos sobre el uso de brújulas Brunton y la aplicación Field Move Clino. Se emplearon plataformas como Moodle y Google Classroom para realizar ejercicios interactivos y simulaciones de medición de planos geológicos (tabla 2). Estas actividades comenzaron con prácticas sencillas cuya complejidad se incrementó paulatinamente para consolidar el aprendizaje.

**Tabla 2.** Resumen de actividades realizadas en la fase inicial.

Código de actividad	Lista de actividades	Tipo de evaluación	Criterio de evaluación	Participación (%)
A1	Lectura interactiva sobre dirección, buzamiento y azimut	Test de elección múltiple	Cumple/no cumple	5
A2	Lectura interactiva sobre estratificación y diaclasamiento	Test de elección múltiple	Cumple/no cumple	5
B1	Guía paso a paso sobre uso de brújula Brunton	Crucigrama sobre las partes de la brújula	Cumple/no cumple	5
B2	Guía paso a paso sobre la aplicación Field Move Clino	Resumen gráfico sobre Field Move Clino	Cumple/no cumple	5
C1	Tutorial práctico sobre el uso de brújula Brunton	Lista de diez pasos para medir un plano utilizando una brújula Brunton	Cumple/no cumple	5

C2	Tutorial práctico sobre la aplicación Field Move Clino	Lista de diez aspectos esenciales para el uso de Field Move Clino	Cumple/no cumple	5
D1	Simulación de medición de planos	Medición de treinta planos geológicos en GeoGebra	Cumple/no cumple	10
E1	Elaboración de videos temáticos	Coherencia de mensaje	Cumple/no cumple	30
E2	Elaboración de ensayos	Coherencia de redacción	Cumple/no cumple	30

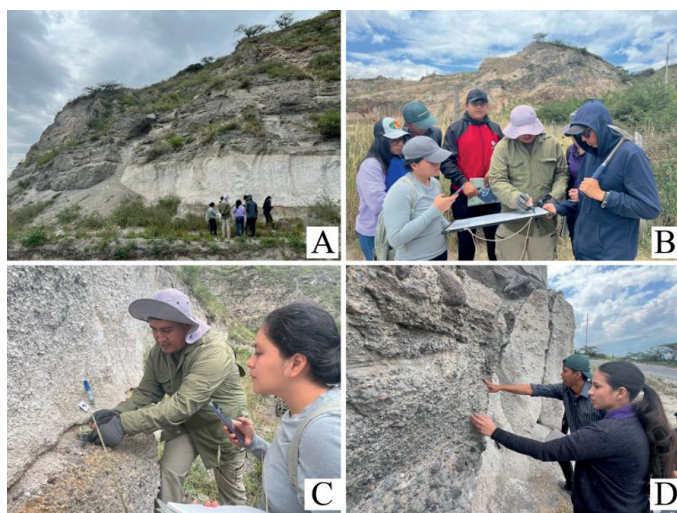
Fuente: Autores (2025).

Asimismo, se incentivó el aprendizaje activo mediante tareas como la creación de videos explicativos de 90 segundos, respondiendo la pregunta “¿Cuál es la utilidad de la brújula en cartografía geológica?”, y un ensayo de 300 palabras sobre el tema “Levantamiento de datos estructurales aplicado a la cartografía geológica” (tabla 2). La etapa se desarrolló durante un período de dos semanas, en el cual se solicitó a los participantes cumplir con un cronograma mínimo de una hora diaria durante cuatro días a la semana.

Los resultados fueron expresados mediante indicadores diseñados para evaluar el grado de participación, cumplimiento y aprendizaje de los estudiantes. Para ello, se utilizaron métricas cuantitativas y cualitativas que describieron el progreso en la consolidación de los fundamentos teóricos y técnicos. Los datos recolectados incluyeron el porcentaje de estudiantes que completaron las actividades programadas en el cronograma mínimo establecido, así como la proporción de tareas entregadas. Estas métricas facilitaron el análisis sistemático del nivel de compromiso y desempeño de los participantes. Por otro lado, los videos fueron evaluados mediante rúbricas que midieron la claridad técnica, la creatividad y la relevancia de los contenidos explicados, mientras que los ensayos se analizaron en términos de argumentación crítica, precisión conceptual y originalidad en la redacción. Estas evaluaciones ofrecieron una visión integral del aprendizaje adquirido por los estudiantes durante esta fase inicial. También se emplearon encuestas de retroalimentación para recoger las percepciones de los estudiantes respecto a las herramientas y los recursos utilizados. Los resultados de la fase inicial se presentan de manera detallada en el material suplementario 3, 4, 5, 6 y 7.

#### Fase de campo: actividades prácticas y recolección de datos

En la fase de campo se aplicaron conceptos teóricos en un entorno práctico basado en una simulación controlada. Cinco estudiantes integraron cada grupo de trabajo. A cada estudiante se le asignaron tareas específicas, con el objetivo de fomentar la colaboración efectiva (figuras 2). En campo, el grupo de trabajo desarrolló en un afloramiento cuatro actividades detalladas en las tablas 3 y 4. Las actividades incluyeron la identificación litológica, el registro fotográfico a escala y la documentación sistemática de datos en libretas de campo y *smartphones*. El personal técnico monitoreó las actividades para garantizar precisión en la metodología y la seguridad de los estudiantes.



**Figs. 2.** Actividades realizadas en el aula invertida: A. Explicación de la estructura del afloramiento en el campo. B. Descripción de las principales estructuras observadas en el afloramiento. C. Explicación de la recolección de datos con una brújula. D. Estudiantes recolectando datos en el campo.

Fuente: Fotografías tomadas por el Mgt. Roberto Muñoz, miembro del Equipo de Comunicaciones del IIGE.

**Tabla 3.** Resumen de actividades realizadas en la fase de campo.

Código de la actividad	Lista de actividades	Criterio de evaluación	Participación (%)
M1	Descripción base del afloramiento (registro de coordenadas UTM y litologías presentes)	Se verifica si las coordenadas son precisas y están correctamente documentadas. Se evalúa la coherencia en la descripción de las litologías observadas.	20
M2	Registro fotográfico a escala	Se evalúa la relevancia de las imágenes para documentar el afloramiento. Se verifica el uso adecuado de una escala física en la imagen.	20
M3	Recolección de 30 datos estructurales (estratificación-diaclasa) con ayuda de brújula	Se evalúa el número de datos recolectados y su consistencia.	30
M4	Recolección de 30 datos estructurales (estratificación-diaclasa) con ayuda de la aplicación Field Move Clino	Se evalúa el número de datos recolectados y su consistencia.	30

Fuente: Autores (2025).

Los resultados de esta fase se expresaron en función del porcentaje de participación efectiva en las actividades indicadas (material suplementario 8 y 9). La percepción de los participantes sobre las actividades desarrolladas en la fase de campo se evaluó a partir de los indicadores propuestos (material suplementario 10).

### Fase de gabinete: análisis e interpretación de datos

En la tercera etapa, los grupos de trabajo consolidaron datos recolectados durante la fase de campo, en un formato estándar. Los datos se plotearon en el *software* Dips 5.0, para permitir la comparación entre las mediciones obtenidas con brújula y las registradas en Field Move Clino. Posteriormente, los resultados fueron integrados y analizados en el contexto del mapa geológico regional. Cada grupo presentó un informe describiendo tanto el procedimiento como los hallazgos estructurales, y asegurando la sistematización y el análisis crítico de la información recolectada (tabla 4).

**Tabla 4.** Resumen de actividades realizadas en la fase de gabinete.

Código de actividad	Lista de actividades	Criterio de evaluación	Participación (%)
R1	Integración de resultados individuales	Se evalúa si el estudiante contribuyó con sus resultados individuales al trabajo grupal. Se mide si los datos o análisis aportados son relevantes y precisos.	20
R2	Diagramación y análisis de resultados	Se evalúa si los resultados fueron presentados de manera clara y coherente. Se mide la capacidad para interpretar y analizar los datos integrados.	20
R3	Representación de datos en un mapa geológico local	Se evalúa la exactitud en la representación de los datos. Se mide la correcta aplicación de elementos cartográficos.	30
R4	Digitalización de resultados	Se evalúan la precisión y claridad de los resultados digitalizados. Se mide si los productos cumplen con los requerimientos técnicos establecidos.	30
R5	Informe de resultados	Se evalúa si el informe está bien organizado y es comprensible. Se mide la calidad y precisión de la información presentada. Se evalúa si las conclusiones están bien fundamentadas y apoyadas en los datos.	30
R6	Exposición de resultados	Se evalúan la claridad y efectividad al transmitir ideas. Se miden el conocimiento y la seguridad al responder preguntas. Se evalúan la calidad y relevancia de las ayudas visuales utilizadas.	30

Fuente: Autores (2025).

La evaluación abarcó aspectos como participación en equipo, calidad de los informes y claridad en la presentación oral (material suplementario 11 y 12). Se evaluó la percepción de los participantes respecto a las actividades realizadas durante la fase de campo, utilizando los indicadores especificados (material suplementario 13). Como parte final de esta fase, se desarrolló una mesa redonda

en la que los grupos presentaron la metodología de recolección y los resultados obtenidos. En esta discusión colaborativa, se contextualizaron los datos en términos de conceptos teóricos, como estratificación, diaclasamiento y discordancias. Este enfoque permitió maximizar el tiempo en campo, integrando teoría y práctica, fortaleciendo competencias colaborativas y resolviendo problemas geológicos reales en un entorno educativo estructurado.

#### *Evaluación final*

La evaluación final consistió en una prueba similar a la diagnóstica inicial (material suplementario 14), compuesta por diez preguntas teóricas relacionadas con los temas abordados en ella. Además, se incluyó una actividad práctica en la que los estudiantes midieron capas inclinadas en diferentes direcciones. El objetivo fue evaluar el conocimiento adquirido y el desarrollo de competencias prácticas, a partir del programa de aula invertida. Comparando los resultados del diagnóstico inicial con los resultados de la evaluación final, se determinó el progreso individual y grupal (material suplementario 15). El grado de conocimiento se midió en cuatro niveles siguiendo los indicadores de la [tabla 1](#), mientras que las competencias se valoraron considerando la precisión en las mediciones, el análisis y el trabajo colaborativo.

#### *Validación y confiabilidad de los instrumentos aplicados*

Con el propósito de garantizar la validez y confiabilidad de los instrumentos empleados en la presente investigación, se aplicó un procedimiento metodológico riguroso que combinó la validación por juicio de expertos con análisis estadístico. La validez de contenido fue establecida mediante la participación de tres docentes universitarios con experiencia en geología estructural y didáctica de las ciencias, quienes evaluaron cada ítem del cuestionario diagnóstico y de las rúbricas de evaluación considerando criterios de claridad, pertinencia y coherencia con los objetivos del programa. Con base en sus valoraciones, se calculó el índice de validez de contenido siguiendo la metodología de Lawshe (1975), y se conservaron aquellos ítems con valores superiores a 0,75. Paralelamente, la confiabilidad del cuestionario diagnóstico fue determinada mediante el coeficiente alfa de Cronbach, del que se obtuvo un valor de  $\alpha = 0,81$ , lo cual representa una consistencia interna aceptable según los estándares propuestos por George y Mallery (2003). Este proceso metodológico aseguró que los instrumentos utilizados evaluaran de forma válida y consistente las competencias teóricas y prácticas en geología estructural, y respaldaran la solidez interpretativa de los resultados obtenidos.

#### *Validación de los resultados obtenidos*

Con el objetivo de validar los resultados obtenidos a partir de los instrumentos aplicados durante la fase experimental, se adoptó un enfoque mixto que combinó análisis comparativos, triangulación metodológica y revisión experta. La mejora en los niveles de competencia se verificó mediante la comparación sistemática entre los resultados de la evaluación diagnóstica inicial y la evaluación final, ambas diseñadas bajo los mismos indicadores y criterios de desempeño. Esta comparación

permitió identificar cambios significativos atribuibles a la implementación del modelo de aula invertida. Además, se efectuó una triangulación metodológica cruzando los datos cuantitativos con evidencias cualitativas derivadas de las rúbricas de evaluación aplicadas en las fases de campo y gabinete, así como encuestas de percepción y análisis de productos elaborados por los estudiantes (videos, ensayos, mapas geológicos). Esta integración de fuentes permitió fortalecer la validez interpretativa de los hallazgos y garantizar la coherencia entre el diseño pedagógico, la ejecución del programa y los resultados observados.

#### *Instrumento y análisis de percepción estudiantil*

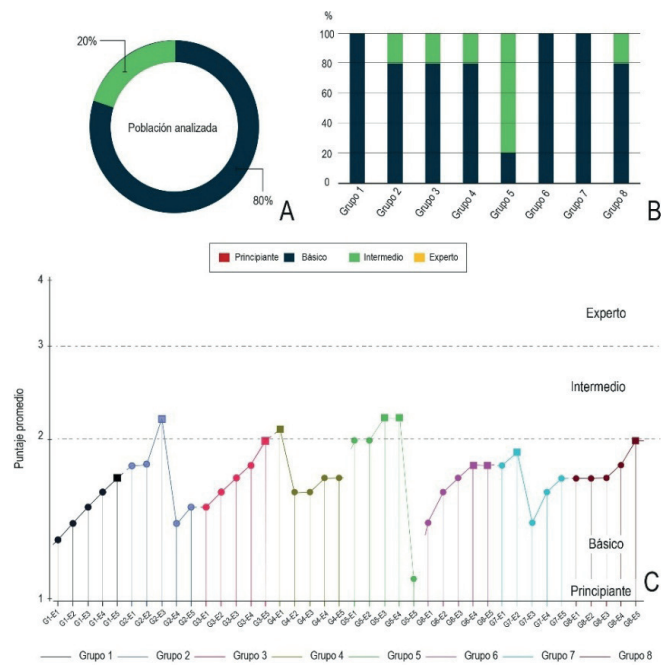
La percepción de los estudiantes fue evaluada mediante una encuesta estructurada desarrollada en Google Forms, aplicada al finalizar cada fase del programa (inicial, campo y gabinete). Esta encuesta incluyó tres indicadores clave: satisfacción con los recursos utilizados (S1), percepción de utilidad de los conceptos y actividades desarrolladas (S2), y nivel de dificultad percibida (S3). Cada indicador fue valorado utilizando una escala de Likert de cuatro niveles, que permitió clasificar las respuestas en “muy alto”, “alto”, “moderado” y “bajo” (o su equivalente en términos de satisfacción). Los resultados se analizaron de forma cuantitativa mediante el cálculo de frecuencias absolutas y relativas, y se representaron gráficamente en figuras que muestran tanto las distribuciones globales como los comentarios cualitativos más representativos. Este enfoque facilitó una comprensión integral del impacto percibido del modelo de aula invertida y permitió identificar fortalezas y áreas de mejora desde la perspectiva estudiantil.

## **Resultados**

#### *Evaluación diagnóstica*

Los resultados de la evaluación diagnóstica fueron analizados desde tres niveles: población total, grupos de trabajo e individual ([figuras 3](#)). En términos generales, el 80 % del total presentó un nivel de conocimiento básico ([figura 3A](#)), con puntajes ponderados entre 11 y 19, y promedios de 1,1 a 1,9. Este grupo demostró competencias fundamentales, como el uso básico de brújulas, identificación de planos geológicos y definiciones elementales de rumbo y azimut, aunque evidenció dificultades en la aplicación práctica. En contraste, el 20 % alcanzó el nivel intermedio, con puntajes entre 20 y 30 y promedios de 2,0 a 2,2; este grupo se destacó por integrar conceptos teóricos y habilidades prácticas, especialmente en la medición de buzamientos y rumbo. Los grupos G1, G6 y G7 ([figura 3B](#)) mostraron niveles exclusivamente básicos. Los grupos G2, G3, G4 y G8 combinaron niveles básico e intermedio, mientras que en el grupo G5 predominó el nivel intermedio. Esta distribución reflejó una marcada heterogeneidad entre los grupos. A nivel individual ([figura 3C](#)), los puntajes promedio evidenciaron una dispersión considerable en cuanto a niveles de conocimiento previo, lo cual confirmó la diversidad formativa de los participantes antes de la intervención pedagógica.





**Figs. 3.** Resultados de la evaluación diagnóstica. A. Resultados para la población total. B. Resultados por grupos de trabajo. C. Resultados individuales.

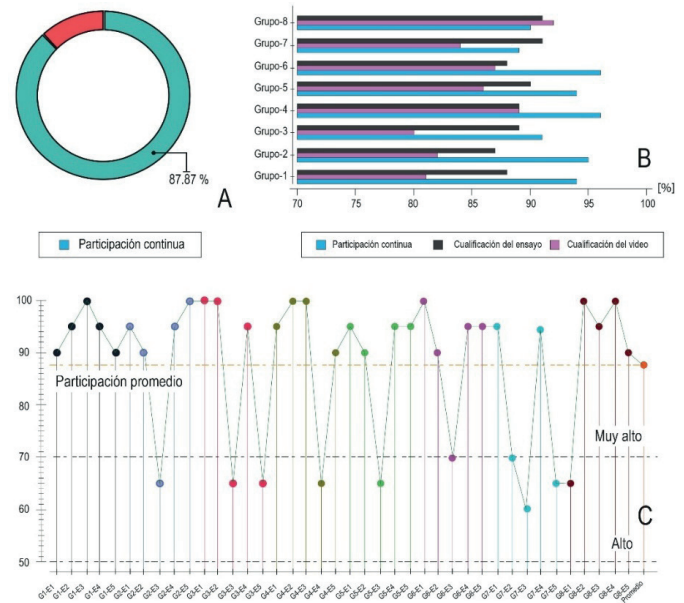
Fuente: Autores (2025).

El análisis porcentual de los resultados por concepto específico permitió identificar diferencias claras entre la comprensión de contenidos teóricos y el dominio de habilidades prácticas. En la pregunta 1, relacionada con el limbo graduado, el 60 % de los estudiantes alcanzó niveles básico e intermedio, mientras que el 40 % permaneció en nivel principiante, lo que evidencia una comprensión parcial del instrumento. En la pregunta 3, sobre el uso del clinómetro, el 70 % se ubicó en niveles básico o intermedio, lo que demuestra un manejo adecuado para medir buzamientos, aunque un 30 % presentó deficiencias técnicas puntuales. En cuanto a la medición de rumbo (pregunta 4), el 50 % alcanzó el nivel básico; el 20 %, el nivel intermedio; y el 30 % quedó en nivel principiante. En la medición de buzamiento (pregunta 5), el 65 % logró niveles básico e intermedio, frente a un 35 % que no superó el nivel inicial. Finalmente, en el concepto de azimut (pregunta 6), el 55 % alcanzó niveles satisfactorios, mientras que el 45 % permaneció en el nivel principiante. Estos resultados muestran un mejor desempeño en tareas prácticas, lo cual destaca la necesidad de integrar teoría y aplicación en el diseño de actividades didácticas para fortalecer competencias estructurales.

#### *Fase inicial: consolidación de fundamentos teóricos y técnicos*

Durante la fase inicial, la participación estudiantil evidenció un alto nivel de compromiso, con tasas de cumplimiento que oscilaron entre el 60 % y el 100 %, para un promedio general de 87,87 % (figura 4A). Según los resultados por grupo (figura 4B; tabla 5), los grupos G1, G2, G4, G5 y G6 presentaron porcentajes de participación entre 94 % y 96 %, lo que demuestra una combinación efectiva de habilidades individuales y trabajo colaborativo. En contraste, los grupos G3, G7 y G8 mostraron varia-

bilidad en los resultados: un desempeño práctico sólido, aunque con oportunidades de mejora en la consolidación de los contenidos teóricos trabajados.



**Figs. 4.** Resultados de la participación en la fase inicial. A. Resultados de la población total. B. Resultados por grupos de trabajo. C. Resultados individuales.

Fuente: Autores (2025).

Durante la fase inicial, la elaboración de productos académicos como videos y ensayos permitió analizar el desempeño grupal desde una perspectiva técnica y conceptual, e identificar fortalezas y debilidades específicas en función de la dinámica interna de cada equipo (material suplementario 7). El grupo G1 demostró consistencia en ambas tareas; se destacaron su claridad técnica en los videos y su precisión conceptual en los ensayos, aunque algunos miembros presentaron limitaciones creativas. El grupo G2 logró un adecuado equilibrio entre originalidad y relevancia audiovisual; sin embargo, varios ensayos mostraron escasa profundidad argumentativa. El grupo G3 sobresalió en la ejecución técnica de los videos, pero evidenció deficiencias analíticas en los ensayos, lo que indica una orientación más práctica que crítica. El grupo G4 obtuvo puntajes altos en ambas actividades gracias a su enfoque estructurado y atención al detalle, aunque con menor innovación visual. El grupo G5 destacó por su creatividad y coherencia, y logró calificaciones sobresalientes. El grupo G6 presentó variabilidad en el rendimiento individual y dificultades en cuanto a la cohesión grupal. El grupo G7 mostró argumentación sólida en los ensayos, pero menor claridad técnica en los videos. El grupo G8, finalmente, fue fuerte en creatividad y relevancia audiovisual, aunque algunos ensayos tuvieron menor profundidad conceptual.

Los grupos G4, G5 y G8 alcanzaron promedios superiores al 90 % en ambas tareas (tabla 5), mientras que los grupos G3 y G7 evidenciaron fortalezas particulares en los ensayos (89 %-91 %) pero resultados técnicos más bajos en los videos. A nivel individual, los estudiantes con participación superior al 70 % demostraron mejor domi-

nio de contenidos teóricos y cumplimiento de actividades (material suplementario 6). En contraste, aquellos con participación inferior al 70 % presentaron dificultades en tareas clave, lo que evidencia la necesidad de implementar una retroalimentación más específica y personalizada (material suplementario 3).

**Tabla 5.** Resultados cuantificables de la participación de grupos en las actividades realizadas en la fase inicial.

Grupos	Porcentaje de participación en las actividades (%)	Rúbrica de la propuesta de video (%)	Rúbrica de la propuesta de ensayo (%)
G1	94	81	88
G2	95	82	87
G3	91	80	89
G4	96	89	89
G5	94	86	90
G6	96	87	88
G7	89	84	91
G8	90	92	91

Fuente: Autores (2025).

La percepción de los estudiantes sobre la fase inicial fue predominantemente positiva. La mayoría calificó con puntuaciones entre 9 y 12 (de un máximo de 12), lo que indica altos niveles de satisfacción con los recursos utilizados y las actividades propuestas. En promedio, los estudiantes destacaron la utilidad práctica de herramientas como Field Move Clino y Moodle, considerándolas fundamentales para su aprendizaje. Las figuras 6 revelan que entre el 75 % y el 92 % de los participantes tuvo una percepción positiva o muy positiva sobre los recursos: destacaron como fortalezas la accesibilidad de los materiales y la claridad en las instrucciones. Sin embargo, un porcentaje menor señaló áreas de mejora, como la necesidad de retroalimentación más específica. Algunos estudiantes encontraron las actividades desafiantes pero manejables, lo que estimuló su desarrollo académico y profesional.

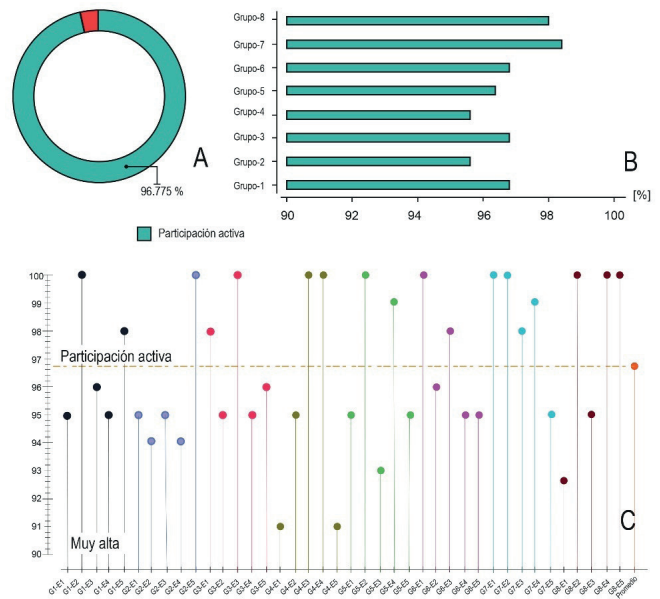
*Fase de campo: actividades prácticas y recolección de datos*

La participación total en la fase de campo fue sobresaliente, con un promedio general de 96,8 % (figura 5A). Este dato refleja un alto nivel de compromiso entre los estudiantes, quienes completaron actividades prácticas en entornos reales, como la descripción de afloramientos, registro fotográfico y recolección de datos estructurales con brújula y aplicaciones digitales. Las actividades de recolección de datos estructurales, que representaron el 60 % de las tareas totales, obtuvieron los niveles más altos de cumplimiento, con un promedio del 98 % en consistencia y precisión de los datos documentados (material suplementario 8). Estas cifras evidencian el impacto positivo del modelo de aula invertida, que permitió a los estudiantes aplicar conceptos teóricos en escenarios prácticos, maximizando el aprendizaje y la interacción con su entorno profesional.

El análisis por grupos revela ligeras variaciones en los niveles de participación, con cifras que oscilan entre el

95,4 % y el 98,4 % (figura 5B; tabla 6). Los grupos G7 y G8 lideraron en consistencia y precisión en actividades como el registro fotográfico y la recolección de datos estructurales con Field Move Clino. Estos resultados sugieren una fuerte cohesión grupal y un enfoque efectivo hacia las tareas prácticas. Por otro lado, el grupo G4 presentó menores resultados en actividades específicas, como la descripción litológica, lo que indica posibles dificultades logísticas o técnicas. En general, todos los grupos mantuvieron un desempeño alto, lo que demuestra una efectiva aplicación de los conocimientos adquiridos durante la fase inicial.

A nivel individual, los resultados muestran un compromiso variado, con la mayoría de los estudiantes alcanzando puntajes superiores al 90 % en las actividades. Los participantes más destacados completaron todas las tareas con alta precisión, mientras que algunos enfrentaron retos específicos en actividades como el registro fotográfico, que requirieron un uso adecuado de escalas físicas y técnicas de documentación. Aproximadamente un 5 % de los estudiantes presentó participación intermitente, principalmente por dificultades técnicas o falta de experiencia previa en campo. No obstante, el acompañamiento técnico y las dinámicas grupales ayudaron a mitigar estas diferencias, para asegurar que todos los estudiantes completaran la mayoría de las actividades.



**Figs. 5.** Resultados de participación durante la fase de campo. A. Resultados de la población total. B. Resultados por grupos de trabajo. C. Resultados individuales.

Fuente: Autores (2025).

La percepción de los estudiantes sobre la fase de campo fue mayormente positiva, con un 89 % calificando las actividades como “útiles” o “muy útiles”. Los estudiantes destacaron la relevancia de las herramientas empleadas, como Field Move Clino y brújulas Brunton, para facilitar la recolección de datos estructurales. No obstante, un 11 % indicó desafíos relacionados con logística y precisión, como acceso limitado a dispositivos o dificultades para aplicar técnicas complejas. Estos comentarios resal-



tan la importancia de optimizar la planificación y brindar soporte técnico durante las actividades prácticas (material suplementario 9). La fase de campo reforzó la integración entre teoría y práctica, y mejoró competencias clave como la observación, el análisis y el trabajo colaborativo.

#### Fase de gabinete: análisis e interpretación de datos

En la fase de gabinete, la participación total alcanzó un promedio del 87,9 %, lo que evidencia el compromiso significativo por parte de los estudiantes en el análisis y la interpretación de los datos recolectados durante la fase de campo (figura 6A). Esta etapa fue clave para consolidar el aprendizaje adquirido, pues permitió a los participantes transformar los datos en productos técnicos aplicables a contextos reales. Las actividades realizadas incluyeron la integración de resultados individuales, la diagramación de datos, la representación en mapas geológicos, la digitalización de resultados, la redacción de informes y exposiciones orales.

Las tareas relacionadas con la digitalización y diagramación de resultados fueron las más exitosas, con un promedio de cumplimiento del 90 %. Destaca la habilidad de los estudiantes para utilizar herramientas digitales, como el *software* Dips 5.0, en la representación gráfica e interpretación de estructuras geológicas (tabla 6). Por otro lado, las actividades de redacción de informes y exposición de resultados presentaron un cumplimiento ligeramente inferior, con un promedio del 85 %, lo cual resalta la necesidad de trabajar en la síntesis de información y la claridad comunicativa (tabla 6). Estas cifras destacan el equilibrio alcanzado por los estudiantes entre la aplicación de conceptos teóricos y el uso de herramientas técnicas avanzadas, lo que refleja un aprendizaje integral y práctico.

**Tabla 6.** Resultados cuantificables de la participación de grupos en las actividades realizadas en la fase de gabinete.

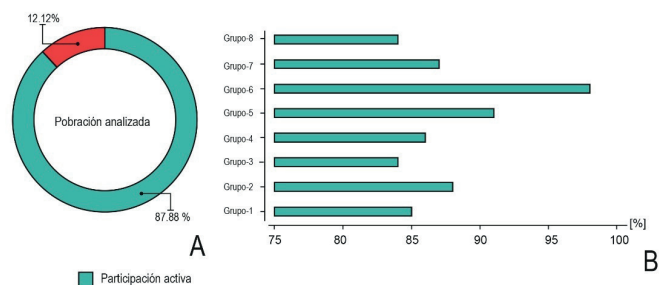
Grupos	Porcentaje de participación en las actividades (%)	Rúbrica de informe (R5) (x/30)	Rúbrica de exposición (R6) (x/30)
G1	85	26	24
G2	88	26	24
G3	84	30	26
G4	86	28	22
G5	91	26	26
G6	98	30	30
G7	87	28	22
G8	84	26	30

Fuente: Autores (2025).

A nivel grupal, se observaron diferencias importantes en la participación y el desempeño. Los grupos G5 y G6 lideraron esta fase con promedios de participación del 91 % y el 98 %, respectivamente (figura 6B). El grupo G6 logró resultados sobresalientes, con calificaciones perfectas en las actividades de digitalización y diagramación, reflejo de su sólida cohesión grupal y habilidades avanzadas en el manejo de *software* técnico. Este desempeño también sugiere una distribución efectiva de tareas y una

comunicación fluida entre sus integrantes. Por otro lado, los grupos G3 y G8 mostraron menores niveles de participación, con promedios del 84 %, lo que puede atribuirse a dificultades en la integración de resultados y en el uso de herramientas tecnológicas avanzadas. Sin embargo, ambos grupos lograron un desempeño satisfactorio en la representación de datos en mapas geológicos, con puntuaciones promedio superiores al 80 %, lo que muestra avances en habilidades cartográficas aplicadas. Estos resultados destacan que, a pesar de enfrentar desafíos, los grupos fueron capaces de completar tareas clave; se evidencia asimismo el potencial del modelo de aula invertida para mitigar diferencias en habilidades y experiencia.

A nivel individual, los resultados reflejaron un manejo adecuado de las tareas asignadas por parte de la mayoría de los estudiantes. Más del 80 % de los participantes alcanzó puntajes altos en actividades relacionadas con la digitalización y la diagramación, en las que el cumplimiento promedio fue del 92 % (figura 6C). Estas tareas requerían precisión técnica y dominio del *software* Dips 5.0, competencias exitosamente desarrolladas en esta fase. Sin embargo, alrededor del 10 % de los estudiantes enfrentó dificultades en la redacción de informes y la exposición de resultados, actividades que exigieron habilidades avanzadas de síntesis y claridad comunicativa. Las principales limitaciones individuales estuvieron relacionadas con la integración de datos complejos y la elaboración de productos finales que cumplieran con estándares técnicos específicos (material suplementario 12). Estas observaciones subrayan la necesidad de proporcionar apoyo adicional en estas áreas, como talleres de redacción técnica y prácticas simuladas de presentaciones orales.



**Figs. 6.** Resultados de participación durante la fase de gabinete. A. Resultados de la población total. B. Resultados por grupos de trabajo.

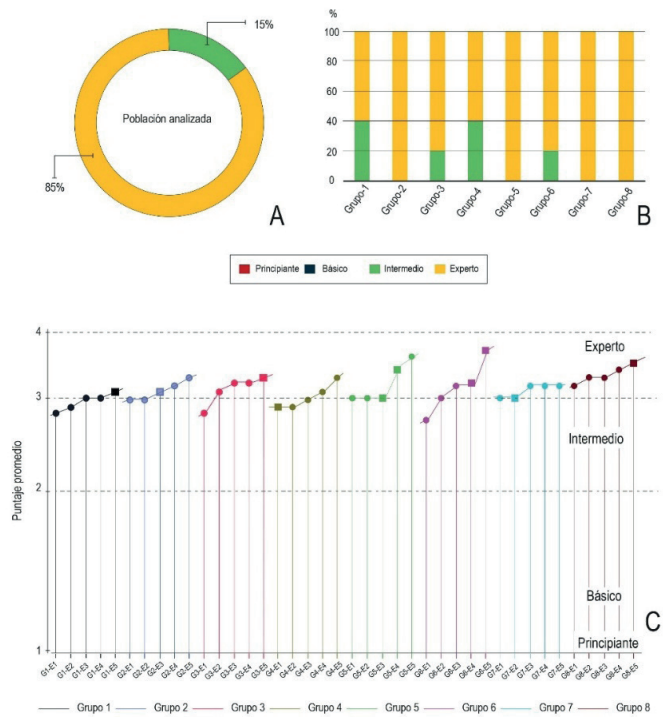
Fuente: Autores (2025).

La percepción de los estudiantes sobre la fase de gabinete fue predominantemente positiva. Según las encuestas, el 85 % calificó las actividades como "útiles" o "muy útiles" para consolidar su aprendizaje práctico y técnico. Herramientas como Dips 5.0 y las rúbricas de evaluación fueron especialmente valoradas por su accesibilidad y funcionalidad, lo que facilitó el análisis y la presentación de datos estructurales (material suplementario 13). No obstante, alrededor del 15 % de los participantes mencionó dificultades relacionadas con la integración grupal de resultados y el uso de *software* avanzado. Estos comentarios resaltan la importancia de incluir sesiones de capacitación técnica más detalladas, particularmente en el

manejo de herramientas digitales complejas. A pesar de estas limitaciones, los estudiantes consideraron que las actividades fortalecieron competencias clave como la interpretación de datos, la elaboración de productos técnicos de calidad y la comunicación efectiva de hallazgos.

*Evaluación final*

Las figuras 7 muestran los resultados de la evaluación final en tres niveles: población total, resultados por grupos y resultados individuales. Al analizarlas en el contexto de la tabla 1, que clasifica el conocimiento en cuatro niveles (principiante, básico, intermedio y experto) en función del puntaje ponderado, se puede detallar lo siguiente:



**Figs. 7.** Resultados de la evaluación del aprendizaje invertido posterior a la clase. A. Resultados de la población total. B. Resultados por grupos de trabajo. C. Resultados individuales. Fuente: Autores (2025).

La mayoría de los estudiantes alcanzaron niveles intermedios y expertos, con un puntaje promedio de 88,5 %; esto equivale a una competencia superior a 30 puntos ponderados, lo que los ubica en la categoría de experto según la tabla 1. Este desempeño refleja que los estudiantes fueron capaces de proporcionar explicaciones completas y precisas, aplicando conceptos avanzados como análisis estructural e interpretación de datos geológicos en contextos prácticos.

La figura 7B analiza el desempeño por grupos de trabajo en la evaluación final; destaca allí cómo se distribuyeron los estudiantes entre los campos de conocimiento definidos en la tabla 1 según el puntaje ponderado. Los grupos G2, G5, G7 y G8 lograron posicionar a toda su población dentro del campo experto, con puntajes ponderados superiores a 30 puntos y porcentajes de acierto superiores al 90 %. Estos resultados reflejan una comprensión sólida y habilidades avanzadas en el análisis geológico

estructural. Los estudiantes de estos grupos demostraron competencias técnicas destacadas, como la representación gráfica en diagramas estereográficos y el análisis preciso de datos estructurales recolectados en el campo. Este desempeño puede atribuirse a una cohesión grupal efectiva, a una alta participación en las fases previas y a un manejo adecuado de herramientas como Dips 5.0.

En los grupos G1, G3, G4 y G6, la población presentó una distribución entre los niveles intermedio y experto, con puntajes ponderados entre 20 y 40 puntos. Esto indica que, aunque una proporción significativa de estudiantes alcanzó el nivel experto, algunos miembros permanecieron en el nivel intermedio, con dificultades en temas complejos como azimut y buzamiento.

Los resultados individuales evidencian que aproximadamente un 75 % de los estudiantes se ubicaron en el nivel experto, por su capacidad para integrar conocimientos técnicos y proporcionar explicaciones completas. Sin embargo, cerca del 10 % de los participantes permanecieron en el nivel intermedio, con puntajes entre 20 y 30 puntos ponderados, lo que indica que aún presentan dificultades en aspectos clave como la representación gráfica y la diferenciación de conceptos avanzados.

La figura 7C destaca que las preguntas relacionadas con los conceptos básicos, como las partes y el uso de la brújula Brunton y definiciones sobre estratificación, obtuvieron las mayores tasas de acierto, superiores al 90 %. Esto sugiere que los estudiantes consolidaron adecuadamente los fundamentos teóricos impartidos durante la fase inicial. Por ejemplo, preguntas que evaluaban la identificación de componentes de la brújula o la correcta interpretación de planos de estratificación evidenciaron un dominio uniforme entre los grupos (material suplementario 14). Este desempeño positivo puede atribuirse a las actividades prácticas y los tutoriales interactivos realizados en plataformas como Moodle, que reforzaron estos conceptos básicos mediante simulaciones y guías paso a paso.

Las preguntas que evaluaron la identificación y clasificación de contactos geológicos y diaclasas presentaron tasas de acierto de entre el 80 % y el 89 %. Aunque los resultados son satisfactorios, algunas respuestas reflejaron confusión en la interpretación de terminología técnica y en la diferenciación de tipos específicos de contacto. Estas dificultades podrían estar relacionadas con la complejidad de estos conceptos y su representación gráfica en diagramas bidimensionales. Sin embargo, las actividades grupales y el uso de diagramas estereográficos ayudaron a mitigar parcialmente estos problemas.

Las preguntas que abordaron las diferencias entre rumbo, azimut y buzamiento tuvieron tasas de acierto más bajas, cercanas al 70 % (figura 7C). Estas preguntas son consideradas más complejas, ya que requieren un entendimiento profundo de las relaciones geométricas en estructuras tridimensionales y su proyección bidimensional. La baja tasa de aciertos en estos ítems podría indicar una brecha en la transición entre teoría y aplicación práctica. Aunque se utilizaron herramientas como Field Move Clino y Dips 5.0, algunos estudiantes enfrentaron dificultades para integrar estos conceptos con sus representaciones gráficas.

## Discusión

En el desarrollo del programa de aula invertida aplicado a la enseñanza de geología estructural se evidenció un cumplimiento riguroso de la metodología propuesta, evaluado con base en indicadores cuantitativos y cualitativos. El programa se estructuró a partir de fases de aprendizaje activo que incluyeron actividades teóricas y prácticas desarrolladas en entornos controlados. Los resultados reportados en las fases inicial, de campo y de gabinete reflejaron una alta participación de los estudiantes, con promedios de cumplimiento que oscilaron entre el 87,9 % y el 96,8 %. Estas cifras destacan el compromiso de los participantes y la efectividad del diseño metodológico. La combinación de materiales previos, actividades grupales y simulaciones en campo permitió integrar conocimientos teóricos y prácticos, como el uso de herramientas digitales y técnicas de levantamiento de datos geológicos. Este enfoque contrastó con las limitaciones de las metodologías tradicionales, en las que los factores climáticos y logísticos pueden restringir la recolección y el análisis de datos (Fernández & Gutiérrez, 2016). En este sentido, los resultados respaldan la implementación de estrategias activas para maximizar el aprendizaje en geología estructural.

### *Comparación entre la evaluación diagnóstica y la final*

El análisis comparativo entre la evaluación diagnóstica y la final revela un incremento significativo en los niveles de conocimiento de los estudiantes. Inicialmente, el 80 % de la población presentó un nivel de conocimiento básico, con puntajes promedio de 1,1 a 1,9. En contraste, en la evaluación final, el 75 % de los participantes alcanzó niveles intermedios y expertos, con promedios ponderados superiores a 30 puntos, lo que los clasifica como "expertos" según los criterios establecidos en la tabla 2. El modelo de aula invertida permitió consolidar tanto habilidades teóricas como prácticas al fomentar una transición fluida entre la adquisición de conceptos y su aplicación en escenarios reales. Este enfoque se alinea con investigaciones previas que destacan la eficacia de metodologías activas en la educación de las geociencias (Novakova & Pavlis, 2017). Además, las herramientas tecnológicas como Dips 5.0 y Field Move Clino jugaron un papel fundamental al facilitar el aprendizaje espacial y la representación gráfica de datos complejos, áreas tradicionalmente problemáticas en la enseñanza de la geología estructural (Liben & Titus, 2012).

### *Desarrollo del trabajo colaborativo y simulaciones*

El programa se enfocó en fortalecer el trabajo colaborativo, un componente esencial en la formación profesional. Los estudiantes trabajaron en grupos diversos para completar tareas de recolección y análisis de datos, lo que favoreció el intercambio de perspectivas y habilidades (tabla 6). Las simulaciones en entornos controlados permitieron aplicar conceptos teóricos a problemas prácticos, para mejorar la comprensión de estructuras geológicas tridimensionales. Este enfoque replicó con éxito condiciones reales de campo y redujo la dependencia de factores externos (Mogk & Goodwin, 2012). Estudios previos demostraron que las actividades grupales en entornos controlados no solo potencian el aprendizaje, sino

que además desarrollan habilidades interpersonales y de resolución de problemas (Chen et al., 2018). En este programa, la colaboración se evaluó mediante indicadores cualitativos y cuantitativos, con resultados que evidenciaron una mejora constante en la cohesión grupal y la calidad de los productos entregados.

### *Aprendizaje mediante aula invertida*

El modelo de aula invertida demostró ser una herramienta eficaz para incrementar el aprendizaje en geología estructural. Los estudiantes experimentaron un enfoque activo que combinó recursos digitales, ejercicios prácticos y actividades grupales. Este diseño metodológico respondió a las limitaciones de las clases magistrales tradicionales, como la falta de interactividad y la desconexión entre teoría y práctica (Hernández et al., 2022). Además, el modelo promovió la autonomía de los estudiantes al permitirles controlar su ritmo de aprendizaje a través de materiales previos como videos y lecturas interactivas (O'Flaherty & Phillips, 2015). Durante las sesiones presenciales, las actividades de resolución de problemas y las simulaciones facilitaron una comprensión profunda y aplicada de los conceptos geológicos, superando las tasas de memorización superficial asociadas con enfoques tradicionales (Francelino et al., 2018).

Comparado con las clases magistrales y prácticas guiadas, el programa presentado abordó las limitaciones logísticas al integrar herramientas digitales que permitieron a los estudiantes realizar simulaciones precisas. El programa también fomentó un aprendizaje integral que combinó teoría y práctica de manera efectiva, incrementando la retención del conocimiento y su aplicabilidad profesional (Abeysekera & Dawson, 2015). Otro aspecto destacado fue el desarrollo de competencias clave, como el pensamiento crítico y la resolución de problemas, aspectos que suelen descuidarse en enfoques tradicionales (Martínez, 2023). Finalmente, el modelo promovió una experiencia personalizada de aprendizaje, que se adaptó a los niveles de conocimiento inicial de los estudiantes y cerró brechas significativas en su preparación.

### *Importancia de la retroalimentación y evaluación continua*

La retroalimentación y la evaluación continua fueron elementos centrales del programa y contribuyeron directamente al progreso de los estudiantes. Las encuestas realizadas evidenciaron una percepción positiva sobre estas prácticas, con puntuaciones promedio superiores a 9 en una escala de 12 puntos. Además, los estudiantes destacaron la utilidad de las observaciones detalladas para mejorar sus desempeños individuales y grupales. La retroalimentación constante también permitió ajustar el enfoque pedagógico según las necesidades del grupo y mejoró la eficacia de las actividades propuestas. Este aspecto es consistente con estudios que subrayan la importancia de la evaluación formativa para maximizar el aprendizaje en ciencias de la tierra (Lo & Hew, 2017).

El programa fue bien recibido por los participantes, quienes valoraron la accesibilidad y relevancia de las herramientas utilizadas. La combinación de ejercicios interactivos, simulaciones y actividades grupales fue percibida como un enfoque innovador y motivador. Sin embargo, algunos estudiantes destacaron la necesidad de



mayor capacitación técnica en el uso de *software* avanzado, lo que sugiere oportunidades para perfeccionar futuros programas. El modelo de aula invertida implementado en este programa representa un avance significativo en la educación en geología estructural, al ofrecer una alternativa efectiva y sostenible a las metodologías tradicionales. Al promover un aprendizaje activo, colaborativo y aplicado, el programa no solo incrementó el nivel de conocimiento de los participantes, sino que también los preparó para enfrentar los desafíos profesionales en un campo altamente técnico y competitivo.

## Conclusiones

La implementación del modelo de aula invertida mejoró de manera significativa el aprendizaje en geología estructural, promoviendo el desarrollo equilibrado de competencias teóricas y prácticas. La comparación entre la evaluación diagnóstica y la evaluación final evidenció un avance sustancial: el 75 % de los estudiantes alcanzó niveles intermedios y expertos, frente a un 80 % que inicialmente se ubicaba en niveles básicos. Este cambio refleja la efectividad del modelo para cerrar brechas de conocimiento, fortalecer la interpretación de datos estructurales y consolidar habilidades críticas.

La metodología permitió una transición fluida entre la adquisición conceptual y su aplicación en contextos reales. Las fases de campo y gabinete fueron esenciales para este proceso: alcanzaron niveles de cumplimiento del 96,8 % y del 87,9 %, respectivamente. Actividades como la recolección de datos en afloramientos y su análisis en *software* especializado (Dips 5.0) favorecieron la articulación entre teoría y práctica y elevaron la preparación técnica de los participantes.

La participación promedio del 87,87 % en las actividades reflejó el compromiso estudiantil y la eficacia del enfoque colaborativo. Los grupos G5 y G6 sobresalieron por su cohesión y desempeño en tareas colectivas, lo que destaca la importancia del trabajo en equipo para el desarrollo de competencias técnicas y sociales. Además, la colaboración entre estudiantes de diversas instituciones enriqueció la experiencia de aprendizaje.

Las plataformas digitales (Moodle y Google Classroom) y las herramientas como Field Move Clino y Dips 5.0 facilitaron el acceso a contenidos, la simulación práctica y la representación gráfica de datos. El 85 % de los estudiantes valoró positivamente su uso, aunque se reportaron algunas dificultades técnicas, lo cual subraya la necesidad de capacitaciones previas y soporte continuo.

Las tareas de videos y ensayos fortalecieron la argumentación, la creatividad y el pensamiento crítico. Los grupos G5 y G8 obtuvieron puntajes superiores al 90 %. Las variaciones observadas señalaron áreas de mejora en cuanto a claridad técnica y profundidad analítica. El uso de rúbricas específicas y la retroalimentación constante promovieron un aprendizaje autónomo y reflexivo.

En síntesis, el aula invertida permitió superar barreras asociadas a la enseñanza tradicional, al fomentar una formación más contextualizada. Este modelo demostró ser una estrategia transformadora y pertinente para el desarrollo de competencias fundamentales en geología estructural, consolidando la integración entre teoría, práctica y tecnología en escenarios educativos aplicados.

## Referencias

- Abeyssekera, L., & Dawson, P. (2015). Motivation and Cognitive Load in the Flipped Classroom: Definition, Rationale and a Call for Research. *Higher Education Research & Development*, 34(1). <https://doi.org/10.1080/07294360.2014.934336>
- Baro, A. (2011). Metodologías activas y aprendizaje por descubrimiento. *Revista Digital Innovación y Experiencias Educativas*, 7(40). <https://tinyurl.com/mtrfet7b>
- Beko, V., & Đorđević, M. (2024). Exploring the Flipped Model in the CLIL Geology Classroom. *Teaching Innovations*, 37(3). <https://doi.org/10.5937/inovacije2403090B>
- Bernal, M., & Martínez, M. (2009). Metodologías activas para la enseñanza y el aprendizaje. *Revista Panamericana de Pedagogía*, 14, 101-106. <https://tinyurl.com/bddyk4hn>
- Betihavas, V., Bridgman, H., Kornhaber, R., & Cross, M. (2016). The Evidence for "Flipping out": A Systematic Review of the Flipped Classroom in Nursing Education. *Nurse Education Today*, 38, 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2015.12.010>
- Bishop, J., & Verleger, M. (2013). The Flipped Classroom: A Survey of the Research. *ASEE National Conference Proceedings*, 30(9). <https://tinyurl.com/4hbnt37p>
- Chen, F., Lui, A., & Martinelli, S. (2018). A Systematic Review of the Effectiveness of Flipped Classrooms in Medical Education. *Medical Education*, 51(6), 585-597. <https://doi.org/10.1111/medu.13272>
- Córdoba, J. (2023). *Evaluación crítica de los métodos de análisis para estabilidad de taludes en laderas naturales y las perspectivas de investigación* [tesis de máster]. Universidad EAFIT, Colombia. <https://tinyurl.com/y3te5td5>
- Espitia, J. (2023). *Desarrollo de competencias en las ciencias de la tierra por medio de la plataforma Microsoft Teams* [tesis de maestría]. Universidad del Norte, Colombia. <https://tinyurl.com/2rvemjf7>
- Fernández, J., & Gutiérrez, G. (2016). Aplicaciones geológicas de los drones. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 29(1), 89-105. <https://tinyurl.com/4jcmtp7>
- Francelino, G., Dal Ré, C., Amaral, G., & Da Ponte, J. (2018). La proyección estereográfica como recurso para el desarrollo de la percepción espacial y el aprendizaje significativo en geología estructural. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 26(2), 176-185. <https://tinyurl.com/yvvhxrn8>
- George, D., & Mallery, P. (2003). *SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference*. Allyn & Bacon. <https://tinyurl.com/28bm3ktm>
- Gregory, D., & Jolley, A. (2024). Combining Flipped Class Sessions with Traditional Lectures in a Non-Computational Upper Level Economic Geology Class. *Journal of Geoscience Education*, 72(4), 408-421. <https://doi.org/10.1080/10899995.2023.2261830>
- Hernández, Y., Gutiérrez, R., & De la Rosa, O. (2022). Manual de prácticas y ejercicios de laboratorio de la asignatura Técnicas Geológicas de Campo, una herramienta para geocientíficos e ingenieros en ciencias de la tierra. *Revista de Enseñanza de las Ciencias Geológicas*, 1(2). <https://doi.org/10.22201/cgeo.29928087e.2022.1.2.1>
- Hew, K., & Lo, C. (2018). Flipped Classroom Improves Student Learning in Health Professions Education: A Meta-Analysis. *BMC Medical Education*, 18. <https://doi.org/10.1186/s12909-018-1144-z>

- Hills, E. S. (2012). *Elements of Structural Geology*. Springer. <https://tinyurl.com/yhsxepzz>
- Jones, J., McConnell, D., Wiggen, J., & Bedward, J. (2019). Effects of Classroom "Flipping" on Content Mastery and Student Confidence in an Introductory Physical Geology Course. *Journal of Geoscience Education*, 67(3), 195-210. <https://doi.org/10.1080/10899995.2019.1568854>
- Karabulut-Ilgu, A., Jaramillo, N., & Jahren, C. (2018). A Systematic Review of Research on the Flipped Learning Method in Engineering Education. *British Journal of Educational Technology*, 49(3), 398-411. <https://doi.org/10.1111/bjet.12548>
- Lage, M., Platt, G., & Treglia, M. (2013). Inverting the Classroom: A Gateway to Creating an Inclusive Learning Environment. *The Journal of Economic Education*, 31(1), 30-43. <https://doi.org/10.1080/00220480009596759>
- Lawshe, C. (1975). A Quantitative Approach to Content Validity. *Personnel Psychology*, 28(4), 563-575. <https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.1975.tb01393.x>
- Lecuona, G. (2023). *La ciencia de nuestra tierra: Programación didáctica 1.º ESO* [tesis de maestría]. Universidad Europea de Canarias, España. <https://tinyurl.com/yjxkv23x>
- Leyva, H., Pérez, M., & Pérez, S. (2018). Google Forms en la evaluación diagnóstica como apoyo en las actividades docentes: Caso con estudiantes de la Licenciatura en Turismo. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 9(17), 84-111. <https://doi.org/10.23913/ride.v9i17.374>
- Liben, L., & Titus, S. (2012). The Importance of Spatial Thinking for Geoscience Education: Insights from the Crossroads of Geoscience and Cognitive Science. En Kim Kastens y Cathryn Manduca (eds.), *Earth and Mind II: A Synthesis of Research on Thinking and Learning in the Geosciences*. [https://doi.org/10.1130/2012.2486\(10\)](https://doi.org/10.1130/2012.2486(10))
- Lo, C., & Hew, K. (2017). A Critical Review of Flipped Classroom Challenges in K-12 Education: Possible Solutions and Recommendations for Future Research. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 12(4). <https://doi.org/10.1186/s41039-016-0044-2>
- Martínez, M. (2023). *Importancia del ABJ y de la gamificación en la adquisición de conocimientos geométricos: Propuesta de intervención* [tesis de maestría]. Universidad de Valladolid, España. <https://tinyurl.com/mv52zkha>
- Mogk, D., & Goodwin, C. (2012). Learning in the Field: Synthesis of Research on Thinking and Learning in the Geosciences. En Kim Kastens y Cathryn Manduca (eds.), *Earth and Mind II: A Synthesis of Research on Thinking and Learning in the Geosciences*. [https://doi.org/10.1130/2012.2486\(24\)](https://doi.org/10.1130/2012.2486(24))
- Nguyen, H., Stehr, E., Eisenreich, H., & An, T. (2018). Using Google Forms to Inform Teaching Practices. *Proceedings of the Interdisciplinary STEM Teaching and Learning Conference (2017-2019)*, 2(1), 74-79. <https://doi.org/10.20429/stem.2018.020110>
- Novakova, L., & Pavlis, T. (2017). Assessment of the Precision of Smart Phones and Tablets for Measurement of Planar Orientations: A Case Study. *Journal of Structural Geology*, 97, 93-103. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2017.02.015>
- O'Flaherty, J., & Phillips, C. (2015). The Use of Flipped Classrooms in Higher Education: A Scoping Review. *The Internet and Higher Education*, 25, 85-95. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2015.02.002>
- Ortiz, M. (2020). Un acercamiento a la historia del aprendizaje basado en problemas en el contexto global. *Sathiri*, 15(2), 118-152. <https://doi.org/10.32645/13906925.984>
- Ozdamli, F., & Asiksoy, G. (2016). Flipped Classroom Approach. *World Journal on Educational Technology: Current Issues*, 8(2), 98-105. <https://tinyurl.com/yvwtuxs9>
- Pollard, D., & Fletcher, R. (2005). *Fundamentals of Structural Geology*. Cambridge University Press. <https://tinyurl.com/3m8xe7bu>
- Somma, R. (2022). Advances in Flipped Classrooms for Teaching and Learning Forensic Geology. *Education Sciences*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/educsci12060403>
- Straser, V. (2017). Flipped-Classroom and Perceptual Modalities in the Teaching of Structural Geology, Tectonics and Natural Science. *Journal of Geological Resource and Engineering*, 2, 53-60. <https://tinyurl.com/msa9he7b>
- Taipe, M. (2020). Metodologías activas en el proceso enseñanza-aprendizaje. (Revisión). *Roca: Revista Científico-Educativas de la Provincia de Granma*, 16(1), 463-472. <https://tinyurl.com/2s3ff6nk>

#### Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

#### Declaración de autoría

Los autores declaran que todos participaron de forma activa y continua en la investigación reportada y la elaboración del manuscrito.

#### Declaración de ética

Los autores declaran haber cumplido con las directrices éticas internacionales.

#### Disponibilidad de datos

Los datos que respaldan los hallazgos de este estudio están disponibles en Zenodo: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15974418>