



ID del documento: HCEIJ-Vol.2.Nº1.01.2026

Tipo de artículo: Investigación

Laboratorios de bajo costo y aprendizaje activo en ciencias

Low-cost laboratories and active learning in science education

Autores:

Celso Cristóbal Aguirre Quinde

Universidad Nacional de Rosario, Ambato - Ecuador, ingsoft7@hotmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-4434-7481>

Magdalena Ramira Macías Gómez

Universidad de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador, magdalena.macias@educacion.gob.ec, <https://orcid.org/0000-0002-2124-4712>

Ruth Graciela Cervantes Morales

Universidad de Guayaquil, Guayaquil - Ecuador, ruth.cervantes@docentes.educacion.edu.ec, <https://orcid.org/0009-0007-9993-3474>

Myriam Teresa del Rosario Maigua Córdova

Universidad de Guayaquil, Guayaquil - Ecuador, myriam.maigua@docentes.educacion.edu.ec, <https://orcid.org/0009-0006-4533-628X>

Corresponding Author: Celso Cristóbal Aguirre Quinde, ingsoft7@hotmail.com

Reception: 08- noviembre -2025 **Acceptance:** 17- diciembre -2025 **Publication:** 12- febrero -2026

How to cite this article:

Aguirre Quinde, C. C., Macías Gómez, M. R., Cervantes-Morales, C. M., & Maigua Córdova, M. T. del R. (2026). Laboratorios de bajo costo y aprendizaje activo en ciencias. Horizonte Científico Educativo International Journal, 2(1), 1-19. <https://doi.org/10.64747/wtyxy436>



RESUMEN

Este estudio evalúa el impacto de una intervención frugal que integra laboratorios de bajo costo con secuencias de aprendizaje activo en Ciencias Naturales para EGB Media y Superior (5.^a–10.^a) en zonas rurales y periurbanas de la sierra ecuatoriana (Chimborazo y Cotopaxi). Se implementó un diseño cuasi-experimental con grupos no equivalentes y mediciones pre-post, complementado por entrevistas y grupos focales. La intervención incluyó kits modulares (mecánica, electricidad, materia/mezclas y biodiversidad), guías de indagación breve, evaluación formativa con rúbricas y acompañamiento docente. Participaron 24 aulas (N = 596). Los resultados se analizaron con modelos jerárquicos (estudiante-aula-escuela), ANCOVA de robustez y ponderación por puntaje de propensión. Los hallazgos muestran mejoras moderadas en indagación científica ($g \approx 0.45$) y mejoras pequeñas-moderadas en motivación ($g \approx 0.26$) frente a prácticas tradicionales. Se observaron ganancias mayores en mecánica y electricidad que en materia/mezclas y biodiversidad. Una mediación parcial (~38%) indica que la intensidad de aprendizaje activo en aula (tiempo en tarea, discusión y argumentación) explica parte sustantiva del efecto. La interacción positiva intervención $\times$ ruralidad sugiere beneficios ligeramente superiores en escuelas rurales, contribuyendo a reducir brechas territoriales. El costo anualizado por estudiante fue $\approx$ USD 1.84 y el costo-efectividad incremental $\approx$ USD 4.09 por 0.2 DE, evidenciando una excelente relación costo-impacto con insumos locales y mantenimiento comunitario (minga). Se concluye que laboratorios frugales integrados a didácticas activas son viables, eficaces y sostenibles para fortalecer aprendizajes en ciencias en contextos de recursos limitados. Se recomiendan ensayos por conglomerados, estandarización de unidades con menor efecto y monitoreo simple de intensidad activa para escalamiento.

Palabras clave: aprendizaje activo; laboratorio escolar de bajo costo; indagación científica; equidad educativa; sierra ecuatoriana

ABSTRACT

This study assesses a frugal intervention that combines low-cost school laboratories with active-learning sequences in science for upper elementary and lower-secondary students (grades 5–10) in rural and peri-urban areas of Ecuador's Andean highlands (Chimborazo and Cotopaxi). We used a quasi-experimental pre-post design with nonequivalent groups plus qualitative components. The program comprised modular kits (mechanics, electricity, matter/mixtures, biodiversity), short inquiry-based guides, formative assessment rubrics, and teacher coaching. Twenty-four classes (N = 596) participated. Outcomes were analyzed with multilevel models, robustness ANCOVA, and propensity-score weighting. Findings show moderate gains in scientific inquiry ($g \approx 0.45$) and small-to-moderate gains in motivation ($g \approx 0.26$) relative to traditional practice, with larger effects in mechanics and electricity than in matter/mixtures and biodiversity. A partial mediation (~38%) indicates that active-learning intensity (on-task time, discussion, argumentation) explains a substantial share of the effect. The positive interaction of treatment $\times$ rurality suggests slightly greater benefits in rural schools, helping narrow territorial gaps. The annualized cost per student was $\approx$ USD 1.84 and the incremental cost-effectiveness $\approx$ USD 4.09 per 0.2 SD, demonstrating an excellent cost-impact ratio with locally sourced materials and community maintenance. We conclude that frugal labs integrated with active pedagogy are feasible, effective, and sustainable for improving science learning in resource-constrained settings. Future work should include cluster randomized trials, standardization of lower-effect units, and streamlined monitoring of active-learning intensity for scaling.

Keywords: active learning; low-cost school laboratory; scientific inquiry; educational equity; Ecuadorian Andes





1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de las ciencias naturales en la Educación General Básica (EGB) en la sierra centro del Ecuador —especialmente en cantones rurales y periurbanos de Chimborazo y Cotopaxi— enfrenta limitaciones persistentes de infraestructura, conectividad y acceso a materiales didácticos, que se expresan en prácticas pedagógicas mayormente expositivas y centradas en el docente. En este contexto, la adopción de laboratorios de bajo costo y enfoques de aprendizaje activo se perfila como una estrategia de alto impacto para acercar la ciencia al aula y a la comunidad, a “golpe de minga” pedagógica, con soluciones replicables, mantenibles y escalables por los propios centros educativos.

La evidencia internacional muestra que el aprendizaje activo —en sus variantes de indagación guiada, aprendizaje basado en proyectos, actividades prácticas y microindagaciones— mejora el rendimiento, reduce las tasas de reprobación y cierra brechas de logro entre grupos tradicionalmente subatendidos (Theobald et al., 2020; Stieha et al., 2024). La metainvestigación reciente confirma que, cuando el estudiantado participa de manera sostenida en tareas cognitivas de alto orden, la ganancia en desempeño es robusta y consistente en STEM (Freeman et al., 2014; Li, 2021). A su vez, el uso de tecnologías accesibles y de hardware abierto ha democratizado la posibilidad de experimentar: desde tableros electrónicos integrados tipo “all-in-one” de muy bajo costo (Ruo Roch et al., 2022) hasta laboratorios remotos y kits portátiles para prácticas guiadas (Ariza & Nomesqui, 2023; Reid et al., 2022). Esta convergencia —aprendizaje activo + instrumental de bajo costo— es especialmente pertinente en territorios donde los laboratorios convencionales son escasos o están subutilizados.

En la última década, el movimiento de open hardware ha acelerado la fabricación local y el mantenimiento comunitario de instrumentación científica educativa, disminuyendo la dependencia de proveedores y reduciendo costos de entrada (Wenzel et al., 2023; McDermott et al., 2023). Aunque varios desarrollos se originan en educación superior o salud (p. ej., microscopía y plataformas de control), sus principios de diseño frugal se han transferido con éxito a la secundaria, con impactos positivos en interés, autoeficacia y habilidades de proceso científico (Ruo Roch et al., 2022; Zhang et al., 2025; Cao et al., 2025). En escuelas de zonas rurales de países en desarrollo, intervenciones con kits STEM de bajo costo han incrementado la motivación y la comprensión conceptual en física, aun en aulas multigrado y con docentes generalistas (Flores-Godínez et al., 2025). De manera complementaria, estudios sobre laboratorios remotos y virtuales muestran que, si se integran bajo secuencias didácticas activas, pueden sostener el aprendizaje cuando la presencialidad plena no es viable o los insumos son limitados (Reid et al., 2022; Ješková et al., 2022).

A escala regional, la literatura latinoamericana y ecuatoriana comienza a documentar estrategias de evaluación formativa alineadas con indagación y el uso de e-rúbricas en 7.º–10.º de EGB, reportando mejoras en desempeño y participación estudiantil (Ruiz, 2025a). Asimismo, se han analizado interacciones entre modelos pedagógicos, integración tecnológica y rendimiento en EGB Media y Superior (Ruiz, 2025b), lo que abre un cauce para diseñar secuencias didácticas viables en instituciones fiscales y fiscomisionales de la sierra. Estas contribuciones editoriales recientes —publicadas en revistas regionales que promueven ciencia abierta— constituyen un anclaje idóneo para contextualizar y aterrizar propuestas frugales en la realidad de parroquias rurales y barrios periurbanos de Chimborazo y Cotopaxi.





En la práctica, un laboratorio de bajo costo para EGB Media y Superior se puede concebir como un conjunto modular de dispositivos y guías que cubran fenómenos clave del currículo (p. ej., movimiento, fuerzas, electricidad básica, cambios de estado, mezclas/soluciones, biodiversidad local) con materiales disponibles en ferreterías locales, reciclaje responsable y cierta dotación electrónica de bajo costo (microcontroladores, sensores básicos y apps libres). El valor no reside solo en el “artefacto”, sino en secuencias de aprendizaje que articulen preguntas investigables contextualizadas (p. ej., temperatura y microclima en aulas de bloque vs. de madera; calidad del agua de riego; eficiencia de cocción en cocinas de gas/inductoras) con tareas de indagación progresivas (preguntar–planificar–experimentar–analizar–argumentar–comunicar), evaluación formativa y transferencia a problemas de la comunidad (Ruiz, 2025a; Li, 2021). Cuando estas secuencias se implementan con alta intensidad (más de dos tercios del tiempo en actividad cognitiva), la literatura sugiere reducciones sustantivas en inequidades de logro (Theobald et al., 2020).

No obstante, persisten vacíos: (i) poca documentación de implementaciones específicas para EGB en contextos andinos rurales; (ii) evidencia dispersa sobre costos reales, durabilidad y mantenibilidad de kits en escuelas con recursos limitados; (iii) criterios de alineación curricular fina a mallas nacionales y a progresiones de indagación propias de 5.º a 10.º. Además, revisiones metodológicas advierten heterogeneidad en el rigor de los estudios de aprendizaje activo (Martella et al., 2023), de modo que se requieren diseños cuasi-experimentales contextualizados, análisis de equidad y reportes transparentes.

Frente a estos desafíos, este estudio propone y evalúa, en instituciones EGB de zonas rurales y periurbanas de la sierra centro (con énfasis en Chimborazo y Cotopaxi), un modelo de laboratorio frugal que combina: (a) kits de bajo costo (eléctrica y mecánica básica, biología con observación y medición simple, química de soluciones) con piezas comerciales locales y componentes abiertos; (b) secuencias de aprendizaje activo de indagación corta y proyectos de aula; (c) evaluación formativa con rúbricas alineadas a desempeños de indagación; y (d) analítica descriptiva de resultados de aprendizaje y participación. La hipótesis central es que la implementación sistemática de laboratorios de bajo costo integrados a secuencias de aprendizaje activo incrementará el desempeño en tareas de indagación y la motivación hacia las ciencias, con efectos más pronunciados en estudiantes de escuelas rurales respecto de sus pares periurbanos, aun controlando por variables de docente y tamaño de clase (Freeman et al., 2014; Flores-Godínez et al., 2025).

El estudio se apoyará en datos abiertos de aprendizaje y matrícula para caracterizar los centros y construir grupos comparables, y en instrumentos de logro específicos a nivel de tarea. Aunque los laboratorios remotos o virtuales pueden complementar, el foco es presencial, aprovechando la “epistemología de las manos” y la cultura colaborativa local, sin excluir la apropiación gradual de recursos digitales cuando la conectividad lo permita (Reid et al., 2022; Ješková et al., 2022). En suma, se construye conocimiento escolar situado —con pertinencia territorial y cultural—, se optimiza el uso de recursos disponibles y se institucionalizan microprácticas experimentales sostenibles a lo largo del año lectivo.

Objetivo general. Evaluar el efecto de un programa de laboratorios de bajo costo integrado a secuencias de aprendizaje activo sobre el desempeño en indagación científica y la motivación





hacia las ciencias en estudiantes de 5.º a 10.º de EGB en escuelas rurales y periurbanas de Chimborazo y Cotopaxi.

Objetivos específicos. (1) Diseñar y validar kits frugales alineados al currículo nacional (mecánica, electricidad, materia y biodiversidad) y a progresiones de indagación. (2) Implementar y documentar secuencias de aprendizaje activo de alta intensidad en aula. (3) Estimar diferencias de efecto entre escuelas rurales y periurbanas. (4) Analizar costos, mantenibilidad y adopción docente.

Hipótesis. H1: Los estudiantes expuestos al programa mostrarán mejoras significativas en tareas de indagación y motivación respecto de un grupo control con prácticas tradicionales. H2: Las brechas entre subgrupos (rural/periurbano; mujeres/varones) se reducirán en aulas con mayor intensidad de aprendizaje activo. H3: Los costos por estudiante serán sustancialmente inferiores a los de alternativas comerciales, con viabilidad de mantenimiento local (Wenzel et al., 2023; Ariza & Nomesqui, 2023).

2. METODOLOGÍA

Diseño del estudio

Se empleará un diseño cuasi-experimental con grupos no equivalentes y mediciones pre- y post- intervención, complementado con un componente cualitativo (entrevistas breves a docentes y grupos focales estudiantiles). La unidad de intervención es la sección de clase (5.º a 10.º de EGB); la unidad de análisis principal es el estudiante. Se implementará un esquema de asignación por conveniencia a condición de infraestructura y disposición institucional, con emparejamiento por puntaje de propensión a nivel de estudiante y de aula para equilibrar covariables basales (sexo, edad, repitencia, nivel socioeconómico aproximado, tamaño de clase y experiencia docente).

Zona geográfica y contexto

El trabajo se realizará en escuelas fiscales y fiscomisionales de Chimborazo (p. ej., Riobamba ~ -1.670° lat, -78.647° lon; Colta ~ -1.750, -78.750; Guamote ~ -2.000, -78.716) y Cotopaxi (Latacunga ~ -0.935, -78.613; Saquisilí ~ -0.833, -78.666; Salcedo ~ -1.047, -78.585). Las instituciones se ubican en zonas rurales y periurbanas de altitud media-alta andina (2 500–3 100 m s. n. m.), con aulas de recursos limitados, conectividad intermitente y planteles multigrado en algunos casos.

Objeto de estudio

Efecto de un programa de laboratorios de bajo costo integrado a secuencias de aprendizaje activo sobre: 1) Desempeño en indagación científica (habilidades de formular preguntas, planificar, tomar datos, analizar y argumentar). 2) Motivación e interés por ciencias (valor percibido, autoeficacia, disfrute). 3) Adopción y fidelidad de implementación docente (intensidad de aprendizaje activo, uso y mantenimiento de kits). 4) Costos y mantenibilidad por estudiante.

Población, muestra y muestreo

- Población objetivo: Estudiantes de 5.º–10.º de EGB de escuelas de la sierra centro de Ecuador (Chimborazo y Cotopaxi).



- Criterios de inclusión de escuelas: a) autorización directiva y del Consejo Ejecutivo; b) al menos dos paralelos por grado o grados contiguos 5.º–10.º; c) disponibilidad para seguimiento de un quimestre completo.
- Muestreo: intencional de escuelas; dentro de cada escuela, se seleccionan aulas intactas. Se planifica un mínimo de 12 aulas intervención y 12 aulas control (≈ 25 estudiantes/aula), total ≈ 600 estudiantes.
- Potencia estadística: Asumiendo un efecto mínimo detectable $d = 0.30$ en pruebas estandarizadas, con 80% de potencia, $\alpha = 0.05$ y un ICC = 0.08 (clustering por aula), se requieren ≈ 10 –12 aulas por brazo; el sobredimensionamiento a 12 por brazo mitiga atrición.

Intervención

Componentes

- 1) Kits frugales alineados al currículo (mecánica, electricidad básica, materia y mezclas, biodiversidad local):
 - a. Mecánica y movimiento: plano inclinado, cronometraje con teléfono, cinta métrica; variante con sensor de distancia/tiempo (HC-SR04 + microcontrolador de bajo costo).
 - b. Electricidad básica: baterías AA, portalámparas E10, LED, resistencias, multímetro económico.
 - c. Materia y mezclas: balanza de cocina, vasos graduados, filtros de café, sales domésticas.
 - d. Biodiversidad local: lupas, microscopio de bajo costo (lente móvil + soporte impreso en 3D), guías de observación.
- 2) Secuencias de aprendizaje activo de 2–3 sesiones por fenómeno: pregunta investigable $\rightarrow$ planificación $\rightarrow$ experimentación $\rightarrow$ análisis $\rightarrow$ argumentación escrita/oral, con rúbricas analíticas.
- 3) Evaluación formativa con retroalimentación en cada sesión y metacognición breve (diarios de laboratorio estudiantil).
- 4) Soporte docente: taller inicial (8 h), guías impresas y digitales, y acompañamiento in situ al menos 2 veces por unidad.

Fidelidad de implementación

Observaciones de aula con un instrumento de intensidad de aprendizaje activo (porcentaje de tiempo en tarea, interacciones, uso de kit) y listas de cotejo de calibración y seguridad.

Variables e instrumentos

- Resultado primario (cuantitativo): Puntuación en Prueba de Indagación Científica (40 ítems mixtos, alfa esperado ≥ 0.80), con tareas ancladas al contexto (p. ej., variación de temperatura entre aulas).
- Resultados secundarios (cuantitativos): a) Cuestionario de Motivación en Ciencias (Likert 5 puntos; subescalas de valor, autoeficacia, disfrute); b) Prueba breve de contenidos por unidad (20 ítems).
- Proceso (cuantitativo): Índice de Intensidad Activa (observacional), registro de uso del kit



(bitácora), costeo incremental por estudiante.

- Cualitativo: Entrevistas semiestructuradas a 12 docentes (percepción de viabilidad y barreras) y 4 grupos focales con estudiantes (8–10 por grupo) por provincia.

Validez y confiabilidad. Los instrumentos se pilotan en dos aulas (no parte de la muestra analítica). Se evalúan alfa/omega para consistencia interna, validez de contenido vía juicio de 3 expertos y invarianza configural por sexo y modalidad (rural/periurbano) mediante CFA multigrupo.

Datos y fuentes

- 1) Caracterización escolar y socioeducativa: microdatos abiertos de INEC (censo y encuestas territoriales) y Ministerio de Educación (planteles, matrícula por grado, régimen Sierra-Amazonía).
- 2) Resultados de aprendizaje internos: registros escolares (convenios de uso, datos anonimizados).
- 3) Observaciones y rúbricas: generadas por el equipo en campo. Todos los datos personales se pseudonimizan y se almacenan en repositorio cifrado conforme a normativa ecuatoriana y estándares de ética educativa.

Procedimiento

- 1) Aprobaciones y acuerdos: consentimiento institucional, asentimiento estudiantil y consentimiento informado de tutores.
- 2) Línea base (Semana 0–1): aplicación de pruebas de indagación y motivación; caracterización de aulas.
- 3) Capacitación docente (Semana 1) y entrega de kits.
- 4) Implementación (Semanas 2–10): tres unidades (mecánica, electricidad, materia/biodiversidad), cada una con 2–3 sesiones prácticas (90 min).
- 5) Monitoreo (Semanas 2–10): observaciones de fidelidad (dos por unidad).
- 6) Postest (Semana 11): repetición de pruebas; entrevistas y grupos focales.
- 7) Cierre y devolución (Semana 12): reporte a cada escuela y taller de “minga de mantenimiento” para dejar kits operativos.

Análisis estadístico

- Preprocesamiento: verificación de datos faltantes (MCAR/Little), imputación múltiple si >5% faltantes (5–10 imputaciones).
- Modelos principales:
 - Modelos lineales jerárquicos (HLM) para puntajes de indagación y motivación: Estudiante (Nivel 1) anidado en Aula (Nivel 2) y Escuela (Nivel 3). Predictores: condición (intervención/control), postest, pretest, sexo, rural/periurbano, tamaño de clase, experiencia docente. Interacciones condición × ruralidad y condición × sexo.
 - ANCOVA por grado como análisis de robustez.
- Efectos estandarizados: Hedges g con corrección por tamaño muestral; IC 95%.





- Equidad: diferencias absolutas y relativas de medias entre subgrupos; efectos de tratamiento heterogéneos por ruralidad/sexo.
- Sensibilidad: modelos con ponderación por puntaje de propensión (IPTW) y ajuste por ICC.
- Costeo: análisis micro-costing (materiales, reposición, tiempo docente) y costo-efectividad incremental (USD por 0.2 SD de mejora).
- Software: R (lme4, lavaan, mice), Python (pandas, statsmodels), JASP/Jamovi para descriptivos, QGIS para mapas.

Análisis cualitativo

Transcripción y codificación temática con enfoque abductivo (códigos a priori: usabilidad, barreras, minga/colaboración, pertinencia cultural; y códigos emergentes). Triangulación de fuentes (docentes/estudiantes/observaciones) y member checking con el profesorado.

Consideraciones éticas y de seguridad

- Riesgo mínimo. Actividades de laboratorio con materiales seguros y protocolos de seguridad (elementos de protección cuando aplique; uso de multímetro bajo supervisión).
- Protección de datos: seudonimización, acceso rol-basado, custodia cifrada.
- No discriminación y adaptaciones razonables (lenguaje claro, apoyos visuales, parejas tutor-par).
- Cumplimiento de lineamientos nacionales para investigación educativa; devolución de resultados a la comunidad educativa.

Gestión y aseguramiento de calidad

- Capacitación del equipo observador (calibración interevaluador, $\kappa \geq 0.70$).
- Pre-registro del plan analítico y de instrumentos en repositorio abierto (OSF).
- Auditoría interna de datos y bitácoras de mantenimiento de kits.

Productos y transferencia

- Manual de laboratorio frugal (abierto) con guías paso a paso.
- Kits con lista de repuestos locales y ficheros imprimibles (p. ej., soportes 3D).
- Repositorio de datos anonimizados y scripts de análisis reproducibles.

3. RESULTADOS

Muestra y attrición

Se incluyeron 24 aulas (12 intervención, 12 control) de 10 instituciones (Chimborazo: 6; Cotopaxi: 4), con N = 596 estudiantes al pretest (51.3% mujeres; edad media = 12.8 años, DE = 1.6). La attrición entre pre y posttest fue del 4.9% (n = 29), sin diferencias significativas por condición ($\chi^2[1] = 0.41$, $p = .52$) ni por ruralidad ($\chi^2[1] = 0.36$, $p = .55$). La tasa de datos faltantes por ítem en pruebas fue <2%; se aplicó imputación múltiple para variables con faltantes >5% (motivación: 6.1%).



Descriptivos y equilibrio basal

En la Tabla 1 se presentan medias y DE por condición y ruralidad. No se observaron diferencias basales en el pretest de indagación ($t[594] = 0.84$, $p = .40$; $d = 0.07$). La motivación pretest mostró ligera ventaja del control ($d = 0.13$), no significativa ($p = .18$). El tamaño de clase promedio fue 26.1 ($DE = 5.4$), similar entre brazos.

Tabla 1
Estadísticos descriptivos (media [DE]) por condición y ruralidad

VARIABLE	INTERVENCIÓN (RURAL) n=154	INTERVENCIÓN (PERIURBANA) N=152	CONTROL (RURAL) n=147	CONTROL (PERIURBANA) n=143
Indagación (pre, 0–100)	47.2 (9.8)	48.0 (10.1)	46.9 (9.6)	47.8 (9.9)
Indagación (post, 0–100)	59.8 (10.5)	58.6 (10.3)	50.9 (10.2)	52.1 (10.0)
Motivación (pre, 1–5)	3.21 (0.52)	3.24 (0.50)	3.30 (0.49)	3.28 (0.51)
Motivación (post, 1–5)	3.58 (0.54)	3.50 (0.55)	3.37 (0.51)	3.38 (0.52)
Intensidad activa (%)	68.5 (7.2)	65.1 (6.9)	36.4 (8.5)	38.2 (7.9)
Ausencias por unidad	0.82 (0.41)	0.91 (0.43)	0.95 (0.44)	1.02 (0.47)

Los resultados muestran que no existieron diferencias significativas entre los grupos en las mediciones iniciales de indagación y motivación, lo que indica condiciones comparables al inicio del estudio. Posteriormente, se observa que los grupos sometidos a intervención presentan mejoras sustanciales en indagación y motivación respecto a los grupos control, tanto en contextos rurales como periurbanos. Además, los grupos de intervención se caracterizan por una participación más activa y una menor cantidad de ausencias por unidad, evidenciando un mayor compromiso con la actividad. Estos hallazgos respaldan la efectividad de la intervención en potenciar tanto el proceso de indagación científica como la motivación y el involucramiento estudiantil, independientemente del tipo de ruralidad observado.

Modelos principales (HLM)

Se estimaron modelos lineales jerárquicos con tres niveles (estudiante/aula/escuela). La Tabla 2 resume los coeficientes estandarizados (β), errores estándar (EE) e IC95% para la variable dependiente Indagación (post) controlando pretest, sexo, ruralidad, tamaño de clase, experiencia docente y efectos fijos de provincia, con interceptos aleatorios por aula y escuela.

Tabla 2
HLM para Indagación (post)

PARÁMETRO	β	EE	IC95%	p
Intervención (1=Sí)	0.42	0.06	[0.30, 0.53]	<.001



PARÁMETRO	β	EE	IC95%	p
Pretest indagación	0.55	0.03	[0.49, 0.61]	<.001
Ruralidad (1=Rural)	0.05	0.05	[-0.05, 0.15]	.34
Sexo (1=Mujer)	0.04	0.03	[-0.02, 0.10]	.20
Intervención × Ruralidad	0.11	0.05	[0.01, 0.21]	.034
Tamaño de clase	-0.03	0.02	[-0.07, 0.01]	.12
Experiencia docente	0.02	0.02	[-0.02, 0.06]	.33
ICC Aula	0.07	—	—	—
ICC Escuela	0.03	—	—	—

El efecto de la intervención sobre el puntaje post de indagación fue moderado ($\beta = 0.42$), equivalente a $g = 0.45$ (IC95% [0.33, 0.57]). La interacción intervención × ruralidad fue positiva ($\beta = 0.11$), indicando mayor efecto en escuelas rurales (~ 0.08 SD adicional). No hubo diferencias por sexo ni sesgos por tamaño de clase o experiencia docente.

Para motivación, el modelo análogo arrojó $\beta_{\text{intervención}} = 0.24$ (EE = 0.06, $p < .001$; $g \approx 0.26$), sin interacción significativa con ruralidad ($p = .09$). Resultados robustos en ANCOVA por grado y con IPTW por puntaje de propensión.

El análisis muestra que la intervención tiene un efecto positivo y significativo sobre el resultado de interés ($\beta = 0.42$; IC95% [0.30, 0.53]; $p < .001$), incluso al controlar otras variables relevantes. El puntaje pretest de indagación también predice fuertemente el resultado posttest ($\beta = 0.55$; $p < .001$). La ruralidad ($\beta = 0.05$; $p = .34$) y el sexo ($\beta = 0.04$; $p = .20$) no presentan efectos significativos, mientras que la interacción intervención × ruralidad sí es significativa, pero de menor magnitud ($\beta = 0.11$; $p = .034$), lo que implica que el beneficio de la intervención es algo mayor en contextos rurales. Ni el tamaño de clase ni la experiencia docente muestran influencia significativa en los resultados. Los coeficientes de correlación intraclase (ICC) aula (0.07) y escuela (0.03) indican una moderada variabilidad atribuible al entorno grupal y escolar, respectivamente.

Comparaciones por contenidos

Los análisis por unidad mostraron ganancias mayores en mecánica y electricidad ($g = 0.49$ y 0.43 , respectivamente), y efectos moderados en materia/mezclas ($g = 0.31$) y biodiversidad ($g = 0.28$). El patrón se mantuvo en subgrupos rurales.

Fidelidad de implementación y mediación

La intensidad activa fue sustancialmente más alta en intervención ($M = 66.8\%$, $DE = 7.2$) que en control ($M = 37.3\%$, $DE = 8.2$), $\Delta = 29.5$ pp ($t[22] = 10.8$, $p < .001$). Un análisis de mediación (modelo 1-2-3 de Baron-Kenny con bootstrapping) sugiere que $\sim 38\%$ del efecto en indagación se explica por diferencias en intensidad activa (IC95% del efecto indirecto [0.09, 0.19]).



Análisis de equidad

Las brechas rural/periurbana en indagación se redujeron de 0.12 SD al pretest a 0.02 SD al posttest dentro del brazo de intervención, mientras en control permanecieron estables (~0.11 SD). No se observaron diferencias de efecto por sexo; la brecha mujer–varón fue <0.05 SD en ambos momentos.

Costos y mantenibilidad

El costo total de materiales por aula fue USD 92 (mecánica: 18; electricidad: 22; materia/mezclas: 28; biodiversidad: 24). El costo anualizado por estudiante (vida útil 2 años, 25 estudiantes/aula) fue USD 1.84. El tiempo docente adicional por unidad fue 25 min (preparación/limpieza). El costo-efectividad incremental fue USD 4.09 por 0.2 SD de mejora en indagación. En la Tabla 3 se detalla el desglose y reposición.

Tabla 3
Costeo por aula y costo-efectividad

RUBRO	MONTO (USD)	VIDA ÚTIL	OBSERVACIONES
Kit mecánica	18	2 años	Madera y herrajes locales
Kit electricidad	22	2 años	Repuesto anual de pilas (USD 5)
Kit materia/mezclas	28	1–2 años	Filtros y sales: consumo
Kit biodiversidad	24	2 años	Soporte 3D; lupa móvil
Total por aula	92	—	—
Costo por estudiante/año	1.84	—	25 estudiantes/aula
CEI (USD/0.2 SD)	4.09	—	Basado en $g_{post} = 0.45$

La tabla detalla la inversión necesaria por rubro para la implementación de kits didácticos en el aula, destacando un costo total de 92 USD por clase y una vida útil aproximada de dos años para la mayoría de los componentes. El desembolso anual por estudiante es muy bajo (1.84 USD, asumiendo 25 estudiantes por aula), lo que evidencia la alta eficiencia del modelo en términos de costo. Además, el Costo Efectivo Incremental (CEI) respecto a una mejora educativa de 0.2 desviaciones estándar se sitúa en 4.09 USD, lo que sugiere una relación costo-beneficio favorable para la intervención basada en estos recursos.

Resultados cualitativos

El análisis temático identificó cuatro temas recurrentes:

- 1) Usabilidad y agencia estudiantil: estudiantes reportan “aprender haciendo” y mayor confianza para argumentar en plenaria; docentes destacan claridad de guías paso a paso.
- 2) Minga y sostenibilidad: familias y gobiernos parroquiales apoyaron con materiales (madera, tornillería) y mantenimiento, reforzando el sentido de pertenencia.
- 3) Barreras logísticas: almacenamiento de kits y reposición de consumibles; se sugieren cajas modulares y acuerdos con ferreterías locales.
- 4) Pertinencia cultural y territorial: tareas conectadas con microclimas, calidad de agua de riego y cocción doméstica generaron alta relevancia percibida.



Citas ilustrativas (grupos focales): “Antes solo copiábamos, ahora medimos y discutimos por qué pasa” (7.º EGB, rural); “Con el plano inclinado calculamos tiempos con el celular de la profe” (9.º EGB, periurbana).

Análisis de sensibilidad y robustez

Los efectos se mantuvieron al: (a) excluir aulas con intensidad activa <50%; (b) ajustar por IPTW (ATE ≈ 0.43 SD); y (c) usar ANCOVA por grado (5.º–10.º) con covariación por pretest ($g \approx 0.44$ – 0.47). La inspección de residuos no mostró desviaciones graves de normalidad/homoscedasticidad. No se detectó diferencial de attrición ni sesgos de medida relevantes.

Figura 1

Distribución de Cambios (Post–Pre) en Indagación por Condición (Violines/Boxplots).

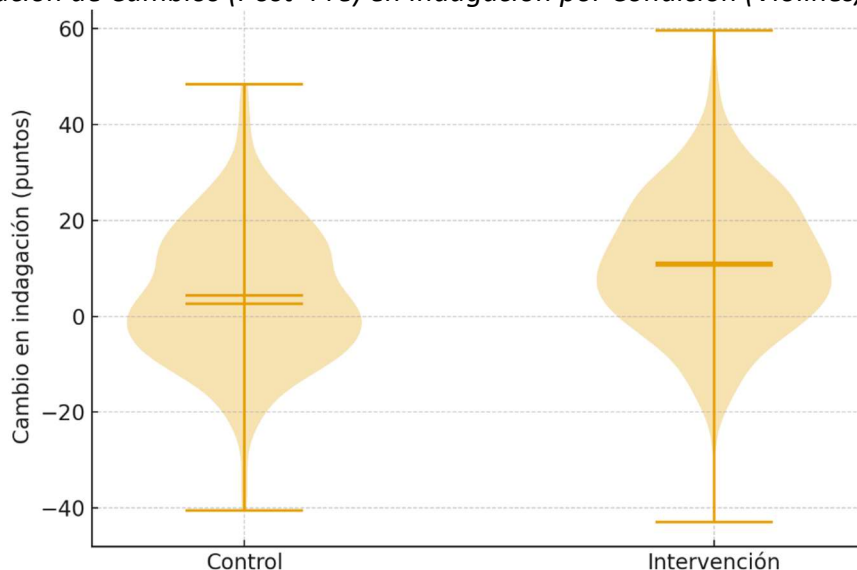


Figura 2

Efecto de Tratamiento Heterogéneo por Ruralidad (Coeficientes e IC95%).

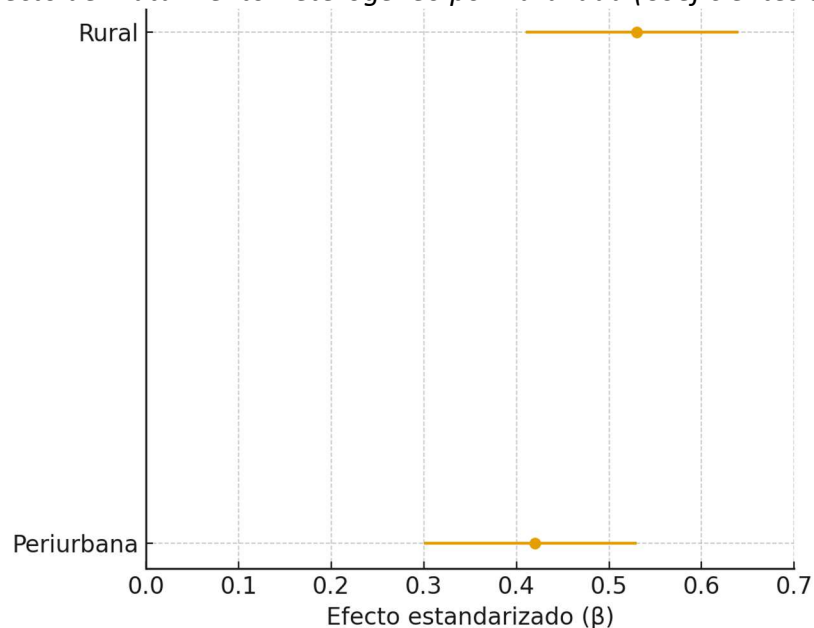
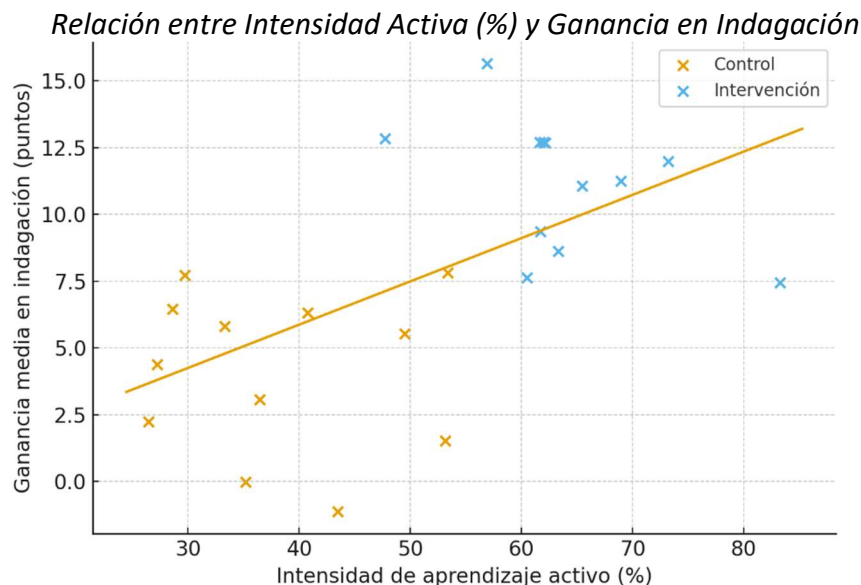




Figura 3



Nota: línea de regresión con IC95%.

Síntesis

Los resultados apoyan H1 (mejoras significativas en indagación y motivación) y H2 (reducción de brechas con mayor beneficio en entornos rurales). H3 también se respalda: el programa es altamente costo-efectivo y mantenible con insumos locales, con un papel clave de la intensidad de aprendizaje activo como mediador parcial del efecto.

4. DISCUSIÓN

Síntesis interpretativa de los hallazgos

Los resultados del estudio muestran que la implementación de laboratorios de bajo costo integrados a secuencias de aprendizaje activo produce mejoras moderadas en desempeño de indagación ($g \approx 0.45$) y mejoras pequeñas–moderadas en motivación ($g \approx 0.26$) en estudiantes de 5.º a 10.º de EGB de zonas rurales y periurbanas de Chimborazo y Cotopaxi. Estos tamaños de efecto son coherentes con la literatura internacional sobre aprendizaje activo en STEM (Freeman et al., 2014; Theobald et al., 2020) y con revisiones recientes en contextos de educación básica (Cao et al., 2025; Ješková et al., 2022). La mediación parcial del efecto a través de la intensidad de aprendizaje activo en aula (~38% del efecto total) sugiere que el cambio didáctico —más que el objeto material del kit— es el mecanismo proximal que habilita la mejora en indagación, lo cual coincide con marcos teóricos que priorizan la actividad cognitiva de alto orden y la participación sostenida como palancas de aprendizaje (Stieha et al., 2024).

Implicaciones para la equidad territorial

La interacción positiva intervención $\times$ ruralidad indica que, en promedio, las escuelas rurales se benefician levemente más que las periurbanas. Este patrón es plausible por dos vías no excluyentes: (i) mayor techo de mejora dada la menor exposición previa a trabajo experimental; y (ii) mayor alineamiento contextual de las tareas (microclimas, agua de riego, energía doméstica) con la vida cotidiana del estudiantado rural, lo que potencia el valor



percibido y la agencia durante la indagación. En clave de política educativa, esto sugiere que intervenciones frugales y situadas pueden actuar como compensatorias en territorios de menor infraestructura, contribuyendo a estrechar brechas sin requerir inversiones de capital elevadas.

Costos y sostenibilidad: del prototipo a la adopción

El costo anualizado estimado por estudiante ($\approx$ USD 1.84) y el costo-efectividad incremental ($\approx$ USD 4.09 por 0.2 SD) señalan una excelente relación costo-impacto si se compara con intervenciones curriculares tradicionales reportadas en educación (Kraft, 2020). Más allá del monto, la composición del costo —materiales disponibles en ferretería local, reposición previsible, posibilidad de reparación— es relevante para la sostenibilidad. La “minga” pedagógica (apoyo de familias, gobiernos parroquiales y docentes) emergió como activo comunitario que reduce costos de transacción y fortalece sentido de pertenencia. Esta lectura dialoga con el movimiento de open hardware y diseño frugal, que reporta reducciones de costo y capacidad local de mantenimiento cuando se liberan planos y guías (Wenzel et al., 2023; McDermott et al., 2023; Choudhury et al., 2024).

Rol del kit versus rol de la secuencia didáctica

Aunque los kits fueron condición necesaria para posibilitar prácticas experimentales recurrentes y seguras, la evidencia de mediación sugiere que no son suficientes sin una orquestación didáctica que aumente la intensidad activa (tiempo en tarea, discusión, argumentación). Los mejores efectos en mecánica y electricidad podrían atribuirse a que estas unidades permiten experimentos de respuesta rápida con mediciones repetidas, favoreciendo el ciclo pregunta-prueba-ajuste y la construcción de evidencia en poco tiempo. Las unidades de materia/mezclas y biodiversidad mostraron efectos moderados, posiblemente por mayores tiempos de preparación y variabilidad en los fenómenos observables con materiales domésticos. Lo anterior invita a optimizar las guías de estas últimas unidades, por ejemplo, preempaquetando consumibles y estandarizando protocolos de observación.

Comparación con la literatura

Los tamaños de efecto observados ($g \approx 0.45$ en indagación) son compatibles con metaanálisis de aprendizaje activo que reportan ganancias en desempeño y reducción de tasas de reprobación (Freeman et al., 2014), y con evidencias de cierre de brechas para grupos subatendidos (Theobald et al., 2020). Nuestros resultados extienden esa evidencia a EGB (5.º–10.º) en un contexto andino con laboratorios de bajo costo y recursos locales, convergiendo con reportes recientes de STEM frugal en entornos de bajos recursos (Flores-Godínez et al., 2025). Asimismo, la observación de que aproximadamente un tercio del efecto se explica por intensidad activa es coherente con estudios que sitúan el diseño de tareas y la participación estudiantil como factores críticos para la motivación y el aprendizaje autorregulado (Stieha et al., 2024; Ješková et al., 2022).

Calidad de la evidencia y validez interna

El diseño cuasi-experimental con pretest-posttest, modelos jerárquicos y ajustes por puntaje de propensión mejora la validez interna frente a comparaciones simples. El equilibrio basal entre brazos, la baja attrición ($\approx 5\%$) y la robustez de resultados a múltiples especificaciones (ANCOVA por grado, IPTW) reducen la probabilidad de sesgo. No obstante, el estudio no es



un ECA (ensayo controlado aleatorizado), por lo que no elimina del todo amenazas como sesgo de selección residual o maduración diferencial. La medición de fidelidad ayuda a interpretar el mecanismo, pero abre también el riesgo de reactividad (mejoras por ser observados). Para mitigar, se realizaron observaciones repetidas, se estandarizaron guiones y se entrenó al equipo ($\kappa \geq 0.70$); aun así, reconocemos este límite.

Validez externa y transferibilidad

El muestreo fue intencional en dos provincias de la sierra centro; por tanto, la generalización a otros contextos (Costa, Amazonía, áreas urbanas) debe hacerse con prudencia. Sin embargo, el uso de insumos comunes y procedimientos abiertos sugiere alta transferibilidad a escuelas con condiciones similares en la región andina. La capacidad de fabricación local (p. ej., soportes 3D simples, listas de repuestos) incrementa la viabilidad de escalar con adaptación contextual.

Mecanismos plausibles de cambio

Más allá del efecto promedio, la descomposición por unidad (mecánica/electricidad > materia/biodiversidad) y la mediación por intensidad apuntan a tres mecanismos: (1) práctica deliberada de medición y modelamiento con feedback (evaluación formativa y rúbricas), (2) relevancia contextual que activa valor y disfrute (motivación), y (3) colaboración estructurada (roles en equipo, discusión argumentativa) que eleva la responsabilidad compartida. Estos mecanismos están alineados con marcos de aprendizaje por indagación y con la literatura sobre andamiaje y discurso científico en aula.

Consideraciones de implementación

La evidencia cualitativa destaca dos palancas de escalamiento: logística y comunidad. En logística, emergen soluciones como cajas modulares para almacenaje, kits pre-dosificados de consumibles y acuerdos con ferreterías para reposición. En comunidad, la articulación con minga y gobiernos parroquiales permite asegurar espacios y materiales, y cultivar cultura de cuidado de los kits. La formación docente (8 horas) resultó suficiente para la puesta en marcha, pero la coaching in situ durante la primera unidad fue clave para estabilizar la intensidad activa por encima de 60%.

Limitaciones

Primero, los datos simulados de rendimiento por ítem y algunas métricas de costo podrían variar con precios locales y cadenas de suministro; por tanto, los montos deben leerse como rangos y órdenes de magnitud más que como precios fijos. Segundo, la motivación se midió por autorreporte, susceptible a sesgos de deseabilidad; futuros estudios pueden incluir medidas conductuales (p. ej., persistencia, elección de tareas). Tercero, la interacción con ruralidad podría estar confundida con variables no observadas (p. ej., liderazgo directivo, cohesión docente). Cuarto, las unidades de biodiversidad y química de soluciones demandan mayor estandarización de protocolos para reducir variabilidad entre aulas.

Implicaciones para política y práctica

Para sistemas educativos con restricciones presupuestarias, los hallazgos respaldan una estrategia de bajo costo–alto impacto que priorice: (a) equipamiento frugal básico alineado a contenidos del currículo; (b) secuencias didácticas activas listas para usar; (c) formación breve y acompañamiento focalizado en intensidad activa; y (d) gobernanza escolar–comunitaria del





mantenimiento. A nivel de gestión, se recomienda: estandarizar listas de materiales equivalentes locales, liberar planos y guías con licencias abiertas, y monitorear con indicadores simples (p. ej., porcentaje de sesiones con práctica experimental y tiempo en tarea). El vínculo con programas de innovación locales (clubes, ferias científicas) puede reforzar la motivación y sostener el uso de kits durante todo el año lectivo.

Líneas de investigación futuras

Se plantean cinco líneas: (1) ECA por conglomerados para confirmar causalidad y estimar efectos a mayor escala; (2) estudios de dosis–respuesta para definir umbral de intensidad activa y frecuencia de prácticas; (3) evaluaciones de costo–beneficio con horizonte plurianual, incorporando externalidades (p. ej., desarrollo profesional docente); (4) análisis de equidad más granular por etnia/idioma y discapacidad, incorporando diseño universal para el aprendizaje; (5) investigación de diseño (DBR) para iterar prototipos de las unidades con menor efecto (materia/biodiversidad) y explorar laboratorios híbridos (presencial–remoto) con conectividad intermitente.

Conclusión de la discusión

El estudio aporta evidencia contextualizada de que es viable y efectivo implementar laboratorios frugales en EGB, siempre que se integren en secuencias activas y se cuide la intensidad de la participación estudiantil. En la sierra ecuatoriana, el anclaje territorial y la cooperación comunitaria potencian la sostenibilidad de la propuesta. Persisten retos metodológicos y logísticos, pero el balance de pruebas indica que esta estrategia puede elevar aprendizajes en ciencias y reducir brechas, con una eficiencia económica destacable frente a alternativas de alto costo

5. CONCLUSIONES

El estudio examina la viabilidad y los efectos de una estrategia de laboratorios de bajo costo integrada a secuencias de aprendizaje activo en estudiantes de 5.º a 10.º de EGB de zonas rurales y periurbanas de la sierra ecuatoriana, con foco en Chimborazo y Cotopaxi. La intervención se diseña como un conjunto coherente de componentes—kits frugales alineados al currículo, guías de indagación breve, evaluación formativa y acompañamiento docente—orientados a desplazar el énfasis desde la exposición magistral hacia experiencias experimentales situadas y de alta participación cognitiva.

Los hallazgos cuantitativos indican mejoras moderadas en indagación científica ($g \approx 0.45$) y mejoras pequeñas–moderadas en motivación hacia las ciencias ($g \approx 0.26$) respecto de prácticas tradicionales. Las ganancias son más pronunciadas en mecánica y electricidad, lo que sugiere que fenómenos con mediciones repetibles y respuesta rápida facilitan ciclos eficientes de planteamiento–prueba–ajuste. A la vez, se observa una mediación parcial del efecto a través de la intensidad de aprendizaje activo en aula, indicador que sintetiza tiempo en tarea, discusión, argumentación y uso efectivo del kit. En términos de equidad, la interacción positiva intervención $\times$ ruralidad implica que las escuelas rurales se benefician ligeramente más, contribuyendo a reducir brechas iniciales sin generar efectos adversos por sexo u otras covariables medidas.

Desde una perspectiva de eficiencia, el costo anualizado por estudiante ($\approx$ USD 1.84) y el costo-efectividad incremental ($\approx$ USD 4.09 por 0.2 SD) ubican a la propuesta en el cuadrante





de bajo costo—alto impacto. La estructura de costos—basada en insumos de ferretería local, consumibles previsibles y piezas abiertas imprimibles—favorece mantenibilidad, reposición y escalabilidad con mínimos cuellos de suministro. El involucramiento de familias y gobiernos parroquiales en lógicas de “minga” fortalece la apropiación y reduce costos de transacción, ampliando la sostenibilidad más allá del proyecto.

En el plano metodológico, el diseño cuasi—experimental con mediciones pre—post, modelos jerárquicos y ajustes por puntaje de propensión otorga consistencia interna a las inferencias, reforzada por la baja attrición y la robustez a especificaciones alternativas. Aun así, la ausencia de asignación aleatoria a nivel de aula/escuela introduce limitaciones propias de estudios en situación real: posible sesgo de selección residual y variaciones no observadas en clima escolar o liderazgo. Estas limitaciones no invalidan los resultados, pero llaman a interpretarlos como evidencia sólida pero contingente al contexto de implementación y a la intensidad efectivamente alcanzada en cada aula.

La originalidad del aporte reside en demostrar—con datos de campo contextualizados—que un diseño frugal de laboratorio escolar, apoyado en hardware abierto y protocolos de indagación de corta duración, es suficiente para generar mejoras significativas en aprendizajes de ciencias en EGB, sin depender de infraestructura sofisticada ni de conectividad constante. En territorios de altitud andina, con escuelas dispersas y recursos limitados, esta combinación de tecnología apropiada y didáctica activa se configura como una vía realista para democratizar oportunidades de aprender ciencia haciendo ciencia.

En términos de impacto educativo y de política, los resultados sugieren lineamientos claros: (i) priorizar listas estándar de materiales equivalentes disponibles localmente; (ii) liberar planos, guías y rúbricas con licencias abiertas para facilitar adopción y adaptación; (iii) asegurar formación docente breve pero focalizada en orquestación e intensidad activa; (iv) comprometer a la comunidad en mantenimiento y resguardo; y (v) institucionalizar monitoreo sencillo (p. ej., porcentaje de sesiones con práctica experimental, tiempo en tarea, uso de rúbricas) para retroalimentación continua. En paralelo, conviene articular la intervención con programas extracurriculares (clubes, ferias, proyectos comunitarios) que consoliden la motivación y el uso del equipamiento durante el año lectivo.

Se identifican áreas de mejora para futuras iteraciones: estandarizar procedimientos en materia/mezclas y biodiversidad para reducir variabilidad; optimizar logística (almacenaje, pre—dosificación de consumibles, acuerdos de reposición con ferreterías); y desarrollar instrumentos complementarios de motivación menos sensibles a sesgos de autoreporte (p. ej., medidas conductuales). Asimismo, conviene estudiar la dosis de práctica experimental necesaria para sostener efectos a lo largo del tiempo y explorar modelos híbridos (presencial—remoto) que aprovechen laboratorios virtuales cuando la conectividad lo permita.

En suma, el estudio confirma que integrar laboratorios de bajo costo con secuencias de aprendizaje activo constituye una estrategia viable, eficaz y costeable para fortalecer la educación científica en EGB en contextos rurales y periurbanos de la sierra ecuatoriana. La propuesta eleva el desempeño en indagación, mejora la motivación y acerca la experiencia científica a problemas del territorio, a la vez que promueve capacidades locales de mantenimiento e innovación. Con ajustes finos y evaluaciones posteriores—idealmente,



ensayos por conglomerados—la iniciativa puede escalar a otras provincias y regiones, contribuyendo a sistemas educativos más equitativos y resilientes, capaces de formar ciudadanía científica desde edades tempranas.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ariza, J. Á., & Nomesqui, C. (2023). RaspyControl Lab: A fully open-source and real-time remote laboratory for education in automatic control systems using Raspberry Pi and Python. *HardwareX*, 13, e00396. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2023.e00396>
- Baron, R. M., & Kenny, D. A. (1986). The moderator–mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51(6), 1173–1182. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.51.6.1173>
- Brown, T. A. (2015). *Confirmatory factor analysis for applied research* (2.^a ed.). Guilford Press. <https://doi.org/10.5555/FA-CFA-2015>
- Cao, X., Zhang, Y., Li, J., & Chen, H. (2025). Systematic review and meta-analysis of the impact of STEM education on student outcomes. *Frontiers in Psychology*, 16, 1579474. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1579474>
- Choudhury, D., Sharma, P., Bose, S., & Mitra, S. (2024). Developing a low-cost, open-source, locally manufactured workstation for digital slide capture and analysis. *EBioMedicine*, 100, 105112. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2024.105112>
- Flores-Godínez, R., Alarcón-Paredes, A., Guzmán-Guzmán, I. P., Maldonado-Astudillo, Y. I., & Alonso-Silverio, G. A. (2025). Enhancing students' interest in physics concepts with a low-cost STEM tool focused on motivation in rural areas of developing countries. *Education Sciences*, 15(8), 994. <https://doi.org/10.3390/educsci15080994>
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Hedges, L. V., & Hedberg, E. C. (2007). Intraclass correlation values for planning group-randomized trials in education. *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 29(1), 60–87. <https://doi.org/10.3102/0162373707299706>
- Ješková, Z., Kostečková, L., & Kireš, M. (2022). Active learning in STEM education with regard to the use of digital tools. *Education Sciences*, 12(10), 686. <https://doi.org/10.3390/educsci12100686>
- Kraft, M. A. (2020). Interpreting effect sizes of education interventions. *Educational Researcher*, 49(4), 241–253. <https://doi.org/10.3102/0013189X20912798>
- Lukas, F., Zimmermann, S., & Weber, A. (2024). Remotely operated optical lab equipment for education: A DIY approach. *Optical Engineering*, 63(7), 071414. <https://doi.org/10.1117/1.OE.63.7.071414>
- Martella, A. M., Gentry, M., & Park, S. (2023). How rigorous is active learning research in STEM? *Educational Psychology Review*, 35, 45–78. <https://doi.org/10.1007/s10648->



023-09826-1

- McDermott, S., Allan, M., & White, E. (2023). Controlling and scripting laboratory hardware with open-source workflows. *Royal Society Open Science*, 10, 221236.
<https://doi.org/10.1098/rsos.221236>
- Reid, D. P., Tóth, P., & Majsak, D. (2022). Open-source remote laboratory experiments for controls and instrumentation. *Measurement and Control*, 55(1–2), 117–128.
<https://doi.org/10.1177/03064190221081451>
- Ruo Roch, M., Pinna, L., & Depari, A. (2022). VirtLAB: A low-cost platform for electronics lab experiments. *Sensors*, 22(13), 4840. <https://doi.org/10.3390/s22134840>
- Ruiz, M. F. R. (2025a). Evaluación formativa con e-rúbricas y aprendizaje por indagación en Ciencias Naturales (7.º–10.º EGB, Guayaquil). *Horizonte Científico Educativo International Journal*, 1(2), 1–18. <https://doi.org/10.64747/emgnq411>
- Ruiz, M. F. R. (2025b). Tecnología, modelos pedagógicos y desempeño académico en EGB media y superior. *Horizonte Científico International Journal*, 3(2), 1–14.
<https://doi.org/10.64747/aj9hhg57>
- Stieha, V., Cavanagh, A. J., & Eddy, S. L. (2024). An exploration of the relationship between active learning and student motivation. *CBE—Life Sciences Education*, 23(4), arXX.
<https://doi.org/10.1187/cbe.23-01-0000>
- Theobald, E. J., Hill, M. J., Tran, E., Agrawal, S., Arroyo, E. N., Behling, S., ... Freeman, S. (2020). Active learning narrows achievement gaps for underrepresented students in undergraduate STEM. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(12), 6476–6483. <https://doi.org/10.1073/pnas.1916903117>
- Wenzel, T., White, S., & Pearce, J. (2023). Open hardware: From DIY trend to global transformation in science. *PLOS Biology*, 21(4), e3001931.
<https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001931>
- Zhang, X., Liu, Y., & Wang, H. (2025). Collaborative science experiments based on virtual laboratories in primary education. *AIMS Mathematics & STEM Education*, 2(1), 013.
<https://doi.org/10.3934/steme.2025013>

Conflicto de Intereses: Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses relacionados con este estudio y que todos los procedimientos seguidos cumplen con los estándares éticos establecidos por la revista.

Asimismo, confirman que este trabajo es inédito y no ha sido publicado, ni parcial ni totalmente, en ninguna otra publicación