VISUAL REVIEW | Vol. 18, 8, 2026 | ISSN 2695-9631
International Visual Culture Review / Revista Internacional de Cultura
https://doi.org/10.62161/revvisual.------ (provided by the publisher)

DIDÁCTICA DEL ERROR Y REPRESENTACIONES VISUALES EN EL DESARROLLO DE COMPETENCIAS PARA EL DISEÑO EXPERIMENTAL AGROPECUARIO: ESTUDIO COMPARATIVO DE CUATRO COHORTES

The Didactics of Error and Visual Representations in the Development of Competencies for Agricultural Experimental Design: A Comparative Study of Four Cohorts

Segress García Hevia, Ph.D.[1]

Dr. Sheila Cárdenas García, M.S.[2]

Raúl Alejandro Montes de Oca Celeiro, B.A., M.A.[3]

Roberto Milanés Gómez, B.A., Ph.D.[4]

1 Universidad Bolivariana del Ecuador, Ecuador
2 Universidad ECOTEC, Ecuador
3 Universidad Bolivariana del Ecuador, Ecuador
4 Universidad de Guayaquil, Ecuador

If the article has funding, it goes here. Book Antigua 10, italics, justified, single-spaced.

García Hevia, S., Cárdenas García, S., Cárdenas García, R., Martínez Pérez, O., Montes de Oca Celeiro, R. A., & Milanés Gómez, R. (2026). Error-based instruction and visual representations in the development of competencies for agricultural experimental design: A comparative study of four cohorts. *VISUAL REVIEW. International Journal of Visual Culture*. *Volume* ( ), Issue ( )

CC BY NC ND

ABSTRACT

The objective was to evaluate the effect of an error-based teaching strategy mediated by visual representations on competencies for agricultural experimental design. A quantitative study was conducted using a pretest-posttest design with a comparison group (80 eighth-semester students divided into 4 consecutive academic cohorts). In , ten students in each cohort received the intervention, while the other ten received conventional instruction; this amounted to 16 class hours. The strategy included identifying methodological errors, analyzing consequences, reconstructing designs, scientific reasoning, and instructor feedback using diagrams, maps, and representations of experimental situations related to short-cycle crops. The reported results showed better final performance and fewer errors in the intervention group. The analysis of covariance, adjusted for initial performance and cohort, showed a favorable difference of approximately 1.33 points on a ten-point scale. It is thus concluded that the integrated strategy has the potential to strengthen methodological reasoning and experimental decision-making in technical and vocational agricultural education, although the specific effect of visual mediation could not be isolated.

Keywords: error didactics; visual representations; agricultural experimental design; technical and vocational education; research competencies; methodological reasoning.

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de una estrategia de didáctica del error mediada por representaciones visuales en competencias para diseño experimental agropecuario. Se realizó una investigación cuantitativa con pretest postest y grupo de comparación (80 estudiantes octavo semestre repartidos en 4 cohortes académicas consecutivas). En cada cohorte diez estudiantes recibieron intervención y las otras diez enseñanzas convencionales; equivalía a 16 horas de clase. La estrategia incluía identificación de errores metodológicos, análisis de consecuencias, reconstrucción diseños, argumentación científica y retroalimentación docente mediante diagramas mapas y representación situaciones experimentales relacionadas cultivos ciclo corto. Los resultados reportados mostraron un mejor desempeño final y menor número de errores en el grupo intervención. El análisis covarianza ajustado por desempeño inicial y cohorte mostró diferencia favorable aproximada de 1,33 puntos en escala diez. Se concluye así que la estrategia integrada tiene potencial para fortalecer el razonamiento metodológico y toma de decisiones experimentales en formación técnica y profesional agropecuaria sin poder aislar el efecto específico de mediación visual.

Palabras clave: didáctica del error; representaciones visuales; diseño experimental agropecuario; formación técnica y profesional; competencias investigativas; razonamiento metodológico.

1. Introducción

La educación técnica y profesional agropecuaria se enfrenta al desafío de preparar personas capaces de comprender problemas productivos complejos. También deben proponer soluciones y justificar sus decisiones utilizando métodos científicos rigurosos. Los cambios en los sistemas agrícolas, las demandas de sostenibilidad, la variabilidad en las condiciones ambientales y la integración de tecnologías en los procesos productivos requieren habilidades de investigación. Estas habilidades ayudan a los estudiantes a ir más allá de la mera repetición de conocimientos y les permiten generar, evaluar y aplicar evidencia según el contexto. En este ámbito, el diseño experimental es un componente clave de la formación científica. Proporciona los principios metodológicos y estadísticos necesarios para formular hipótesis, hacer comparaciones válidas, controlar las fuentes de variabilidad y respaldar las inferencias sobre los fenómenos en estudio.

En las ciencias agrícolas, el diseño experimental se utiliza al realizar estudios para evaluar variedades de plantas, fertilizantes, sistemas de riego, densidades de siembra, prácticas fitosanitarias y tecnologías de manejo de la producción. La validez de estos estudios depende, entre otros factores, de la consistencia entre los objetivos de la investigación, las características de los factores y tratamientos, la definición de las unidades experimentales, la aleatorización, la repetición y el control de la heterogeneidad ambiental. Así, seleccionar un buen diseño experimental no es simplemente una decisión estadística, sino un proceso de razonamiento científico en el que convergen el conocimiento conceptual, los criterios metodológicos y las condiciones experimentales específicas.

Esta complejidad plantea demandas significativas a la educación universitaria. El dominio declarativo de los principios del diseño experimental no implica necesariamente conocer las condiciones bajo las cuales se aplican o ser capaz de justificar su uso en el contexto de problemas de investigación específicos. Un estudiante puede conocer las características generales de un diseño completamente al azar, un diseño de bloques completamente al azar o un arreglo factorial, pero puede tener dificultades para decidir cuál es el apropiado para una situación práctica dada; o puede realizar correctamente un procedimiento estadístico, pero no darse cuenta de que la estructura experimental utilizada hace que las observaciones sean independientes o invalida las inferencias válidas. Estas situaciones ponen de relieve la necesidad de fortalecer la formación metodológica dirigida no solo a aprender sobre diseños experimentales, sino también a comprenderlos y justificar científicamente las decisiones tomadas.

Algunas dificultades que adquieren especial importancia en este proceso incluyen la confusión entre la unidad experimental y la unidad de observación, la pseudoreplicación, la identificación incorrecta de factores y tratamientos, la falta de aleatorización, un bloqueo insuficiente y procedimientos analíticos inapropiados para la estructura del experimento

(errores que pueden reducir la precisión de las estimaciones; introducir sesgos; o llevar a conclusiones que no corresponden a las condiciones reales de la investigación). Desde una perspectiva pedagógica, estos errores no deben interpretarse simplemente como respuestas incorrectas, sino como dificultades conceptuales, procedimentales e inferenciales que pueden examinarse para comprender cómo los estudiantes construyen y aplican su conocimiento metodológico.

En este sentido, la pedagogía del error es un enfoque que convierte las equivocaciones en oportunidades para el análisis y la reflexión sobre el conocimiento, ya que se basa en la premisa de que el aprendizaje depende no solo de la exposición a procedimientos correctos, sino también de la capacidad para evaluar decisiones, detectar inconsistencias, y explicar consecuencias y soluciones justificadas. Safadi (2022) estudia el diagnóstico de ejemplos erróneos en el aprendizaje de las ciencias; Alemdag et al. (2025) examinan el aprendizaje a partir de ejemplos incorrectos y las condiciones pedagógicas que pueden facilitarlo. Con base en estos aportes, podemos concluir que el potencial educativo de los errores no reside en los errores mismos, sino en las actividades cognitivas implicadas en su identificación, explicación y corrección.

La eficacia pedagógica de los ejemplos erróneos depende de las condiciones bajo las cuales los estudiantes descubren, explican y rectifican las inconsistencias presentes en una situación de aprendizaje. En una revisión sistemática, Dieterich et al. (2025) describen las condiciones propicias para el aprendizaje a partir de ejemplos incorrectos y destacan la importancia del procesamiento activo de los errores. Este enfoque proporciona la base para la estrategia utilizada en esta investigación: a los estudiantes se les presentaron situaciones experimentales que contenían inconsistencias metodológicas y tuvieron que reconstruirlas tomando decisiones científicamente justificadas. Así, el error sirve como un recurso para promover el razonamiento experimental porque requiere que los estudiantes establezcan relaciones entre los principios estadísticos, las características del problema de investigación y las consecuencias de las decisiones tomadas.

Aprender del error es un proceso de reorganización cognitiva en el cual las diferencias entre las respuestas producidas y los criterios de desempeño esperados sirven como oportunidades para revisar el conocimiento y reconstruir procedimientos. Zhang y Fiorella (2023) presentan un modelo integrador a través del cual se puede comprender el papel de los errores en la construcción del aprendizaje; sin embargo, también deben considerarse los procesos cognitivos implicados en su identificación y procesamiento. En la misma línea, Narciss y Alemdag (2025) estudian las condiciones individuales y contextuales que influyen en el aprendizaje a partir de los errores y las experiencias de fracaso, argumentando que el uso pedagógico de los errores debe ir más allá de simplemente identificarlos como resultados incorrectos e incluir actividades que impliquen explicación, reflexión y reconstrucción basada en evidencia. En la enseñanza del diseño experimental agropecuario, esto es particularmente relevante porque los errores metodológicos pueden invalidar las decisiones de investigación y la interpretación de los resultados obtenidos.

Aplicar este tipo de enfoque a la enseñanza del diseño experimental es particularmente importante porque los errores metodológicos tienen consecuencias más allá del aula. La asignación incorrecta de los tratamientos, el mal uso de las repeticiones o la omisión de fuentes relevantes de variabilidad pueden afectar la comprensión de los resultados y la utilidad de las recomendaciones técnicas derivadas de la investigación. Así, el análisis de los errores de diseño a través de situaciones contextualizadas permite vincular los fundamentos estadísticos con problemas del mundo real en la investigación agrícola. De manera similar, Smucker et al. (2023) afirman que es necesario integrar la enseñanza del diseño experimental con experiencias que incorporen decisiones sobre la planificación, ejecución y análisis, lo que refuerza el hecho de que no basta con centrarse únicamente en la aplicación mecánica de procedimientos.

Sin embargo, detectar y reconstruir errores experimentales es aún más difícil cuando las relaciones metodológicas tienen una dimensión espacial, estructural o combinatoria que no siempre es evidente a través de explicaciones verbales. La distribución de parcelas, el orden de los tratamientos, la disposición de los bloques, la estructura de los diseños factoriales y las relaciones entre unidades experimentales y observaciones son configuraciones que pueden expresarse a través de diversos sistemas de representación (en este sentido, la cultura visual científica tiene un valor epistemológico y pedagógico porque amplía nuestra comprensión de los procesos a través de los cuales los estudiantes interpretan, examinan y reconstruen las decisiones experimentales).

Desde una perspectiva epistemológica, las representaciones visuales no son meros recursos ilustrativos para simplificar un contenido desarrollado previamente. Los diagramas científicos, gráficos, croquis y esquemas organizan, exteriorizan, interpretan y comunican relaciones que forman parte de la construcción del conocimiento (Tang, 2023). Al discutir las características de los diagramas en las explicaciones científicas, Tang señala que los modos visuales y escritos se integran en la representación del significado. De esta manera, podemos entender cómo la información gráfica y verbal no tienen necesariamente funciones equivalentes, sino que pueden proporcionar recursos semióticos complementarios para expresar estructuras, relaciones y procesos científicos.

Las representaciones visuales son herramientas para organizar e interpretar el conocimiento científico cuando nos permiten exteriorizar relaciones espaciales, estructurales y funcionales que son difíciles de comprender únicamente mediante explicaciones verbales. Lichtenberger et al. (2024), en su estudio sobre el aprendizaje a través de múltiples representaciones externas en física, demuestran la importancia de considerar las condiciones bajo las cuales se presentan y utilizan estos recursos; desde esta perspectiva, el valor pedagógico de una representación reside no solo en su existencia sino también en las operaciones intelectuales que promueve durante el aprendizaje. Los croquis de parcelas, los esquemas de aleatorización y los diagramas de tratamiento en el diseño experimental agrícola nos permiten visualizar las decisiones metodológicas, identificar posibles inconsistencias y justificar alternativas para la organización experimental.

La cultura visual científica puede entenderse así como un conjunto de prácticas que implican la producción, interpretación y comunicación de representaciones que desempeñan un papel en la construcción del conocimiento. No basta con simplemente tener imágenes en los procesos de enseñanza; más bien, deben estar presentes las operaciones intelectuales necesarias para comprender qué información se está representando (y cómo), cuáles son las relaciones entre sus componentes (qué decisiones guían su construcción) y cuáles son sus posibilidades y limitaciones explicativas. Desde esta perspectiva, una representación científica no debe entenderse como una reproducción neutral y exhaustiva de la realidad, sino como una construcción selectiva que enfatiza ciertos aspectos del fenómeno y organiza visualmente las relaciones consideradas relevantes.

Esta comprensión se relaciona con el concepto de metavisualización (la capacidad de reflexionar sobre las representaciones visuales, sus características y sus funciones en la construcción de explicaciones científicas). Chang (2022), al estudiar la metavisualización de profesores y alumnos durante el modelado científico, señala que el conocimiento epistemológico, los criterios de evaluación y los procesos metacognitivos desempeñan un papel en el uso y la valoración de las representaciones. Desde esta perspectiva, interpretar un diagrama experimental implica no solo reconocer los elementos gráficos, sino también determinar si las decisiones que transmite son relevantes y si su estructura es coherente con los principios metodológicos que pretende representar.

La relación entre el pensamiento espacial y el aprendizaje científico proporciona otra base para explicar por qué estas representaciones son importantes. Taylor et al. (2023) estudian las relaciones entre el pensamiento espacial, las visualizaciones y el aprendizaje en las disciplinas STEM, y señalan que los procesos mediante los cuales las relaciones espaciales se organizan, transforman e interpretan son fundamentales. En el diseño experimental agrícola, esta dimensión es particularmente relevante porque las decisiones metodológicas a menudo se reflejan físicamente en los espacios de producción: interpretar el diseño de una parcela implica reconocer dónde se ubican las unidades experimentales, cómo se relacionan los tratamientos, las condiciones de heterogeneidad y las posibilidades de controlar las fuentes de variación. Por lo tanto, la representación espacial puede servir como un medio para verificar si la estructura física del experimento se alinea con los principios estadísticos que aseguran su validez.

Además, la construcción del significado científico requiere la articulación de diferentes modos de representación. Cheung et al. (2025) investigan cómo interactúan los modos visual, verbal y escrito en la forma en que los estudiantes construyen significado sobre la naturaleza de la ciencia. Esta perspectiva nos ayuda a entender que la interpretación de una representación visual puede ser más rica cuando va acompañada de explicaciones verbales, justificaciones escritas y procesos de argumentación. En la ciencia agrícola, esta integración se produce cuando un estudiante interpreta un diseño experimental, identifica una inconsistencia y explica por qué el cambio X mejora la alineación entre el problema y el diseño Y.

El uso de múltiples representaciones externas también debe examinarse en términos de las condiciones que posibilitan su aplicación pedagógica. Rexigel et al. (2024), mediante una revisión sistemática y un metaanálisis del uso de más de dos representaciones externas en la educación STEM, aportan evidencia para debatir los beneficios y las condiciones de uso de diferentes modalidades representacionales. Así, la inclusión de croquis, diagramas, tablas de decisiones y diseños factoriales no debe considerarse beneficiosa simplemente por la cantidad de recursos utilizados, sino porque estas representaciones se alinean con los objetivos de aprendizaje y las actividades intelectuales que se promueven durante su interpretación.

Desde esta perspectiva, las representaciones visuales tienen un doble papel en la enseñanza del diseño experimental agrícola. En primer lugar, cumplen una función epistemológica al exteriorizar la estructura de las decisiones metodológicas, las relaciones entre sus componentes y las condiciones necesarias para que un estudio sea válido; en segundo lugar, cumplen una función didáctica al proporcionar objetos de análisis para que los estudiantes interpreten, cuestionen, comparen y reconstruyan. Ambas dimensiones convergen cuando la representación deja de utilizarse únicamente para demostrar un procedimiento correcto y, en su lugar, se convierte en un medio para examinar críticamente la coherencia de las decisiones experimentales.

La intersección entre la cultura visual científica y la didáctica del error adquiere especial importancia cuando las representaciones incorporan inconsistencias metodológicas que deben ser identificadas y corregidas: un croquis experimental en el que los tratamientos están mal asignados, un diagrama donde las submuestras se confunden con repeticiones independientes o una representación que no logra controlar un gradiente ambiental pueden ser problemáticos para el razonamiento científico, debido a que deben ser analizados reconociendo la inconsistencia, relacionándola con los fundamentos del diseño experimental, explicando sus consecuencias y reconstruyendo una alternativa metodológicamente válida. Así, la representación visual del error deja de ser un mero ejemplo de una respuesta errónea y se convierte en objeto de investigación científica.

El proceso de reconstrucción es particularmente relevante porque debe conducir desde la identificación inicial del error hasta una decisión metodológica bien fundamentada. No basta con decir que la asignación de un tratamiento no funciona: se debe explicar por qué compromete el control de la variabilidad, qué principios experimentales se ven afectados y justificar un diseño diferente. Así, la mediación visual puede ser parte de un marco pedagógico de identificación, interpretación, explicación, reconstrucción y argumentación, donde las representaciones sirven como referentes concretos para examinar si el conocimiento estadístico se corresponde con las decisiones de investigación.

Sin embargo, es necesario distinguir entre el papel de las representaciones como parte de una pedagogía basada en la intervención y las habilidades visuales que pueden ser evaluadas por separado. McLure et al. (2022), al analizar los diagramas creados por los estudiantes para explicar los fenómenos científicos, demuestran por qué son necesarios criterios explícitos para evaluar la calidad de la representación y el significado expresado en

ella; esto es relevante para nuestro estudio, ya que las representaciones se usaron como herramientas para analizar y reconstruir errores metodológicos, mientras que el aprendizaje se evaluó basándose en competencias específicas (selección, estructuración y justificación de diseños experimentales) y la frecuencia de los errores metodológicos.

Así, aunque las actividades de intervención requerían la interpretación de representaciones gráficas y diagramáticas, el estudio no pretendió medir de forma independiente competencias en alfabetización visual, decodificación gráfica o razonamiento diagramático. Por lo tanto, las diferencias de desempeño entre las condiciones pedagógicas deben entenderse en relación con la estrategia integrada de enseñanza basada en el error y mediada por representaciones visuales, sin atribuir a estas representaciones un efecto independiente que el diseño de investigación no nos permite identificar. Esta aclaración establece una correspondencia necesaria entre la fundamentación conceptual, las variables realmente evaluadas y el alcance de las conclusiones.

La articulación de estos fundamentos permite identificar una problemática de investigación. Por un lado, la bibliografía sobre el aprendizaje a partir del error aporta ideas sobre por qué es necesario analizar las respuestas incorrectas y reconstruir el conocimiento; por otro lado, los estudios sobre representaciones científicas destacan su papel en la organización, interpretación y comunicación de significados. Sin embargo, la relación entre ambos campos debe examinarse contextualmente cuando se utilizan representaciones visuales para estudiar los errores en el diseño experimental agropecuario y las competencias que se evalúan son decisiones metodológicas con implicaciones directas en la investigación aplicada.

El uso de ejemplos correctos e incorrectos en las actividades de aprendizaje puede ayudar en el análisis de conceptos erróneos y en la comprensión de los procedimientos necesarios para resolver problemas. Barbieri y Silla (2024) analizan el papel que juegan los ejemplos para reducir las concepciones erróneas y promover la comprensión de los procedimientos. Esto permite desarrollar una estrategia en la que las representaciones visuales no son meros recursos ilustrativos, sino objetos críticos para analizar. Así, la reconstrucción de un diseño experimental defectuoso implica reconocer sus inconsistencias, explicar las consecuencias metodológicas y proponer una configuración alternativa basada en principios científicos. Este enfoque constituye el fundamento pedagógico de la intervención en estudio.

En particular, el estudio examina si la participación en una estrategia que combina el análisis de errores, la interpretación de representaciones visuales y la reconstrucción razonada de situaciones experimentales conduce a diferencias en el desempeño metodológico en comparación con la enseñanza convencional. Esta pregunta es importante porque seleccionar un diseño experimental adecuado requiere combinar información conceptual, estadística y espacial; reconocer restricciones contextuales; y justificar la coherencia entre las decisiones tomadas y los objetivos científicos. Así, el objetivo no es solo

determinar si los estudiantes alcanzan calificaciones más altas, sino también analizar competencias relacionadas con la selección de diseños, la identificación de factores de tratamiento, la definición de unidades experimentales, la correspondencia entre diseño y análisis, el análisis estadístico, el razonamiento y las decisiones metodológicas.

Además, el estudio de diferentes cohortes académicas nos permitió analizar otra dimensión importante de este tema: la consistencia temporal de las diferencias entre las condiciones pedagógicas. Los resultados hallados en una única implementación pueden estar relacionados con las características de los participantes, el período académico o las condiciones de enseñanza; por tanto, el examen de cuatro cohortes consecutivas nos permite determinar si las diferencias entre una estrategia didáctica integrada basada en el error y la enseñanza convencional se mantienen similares en diferentes períodos de implementación. Este enfoque amplía la evidencia descriptiva comparativa disponible en el contexto objeto de estudio, pero no elimina por sí solo las posibles fuentes de confusión ni permite la generalización automática de los resultados a otras poblaciones.

En respuesta a este desafío, el presente estudio se llevó a cabo con 80 estudiantes de octavo semestre de la carrera de tecnología agropecuaria en una institución de formación técnica y profesional, divididos en cuatro cohortes académicas consecutivas de 20 participantes cada una. En cada cohorte se compararon dos condiciones pedagógicas: una intervención centrada en la identificación, explicación y reconstrucción de errores metodológicos mediante representaciones visuales (una condición) y una condición de enseñanza convencional. La evaluación incluyó valoraciones iniciales y finales de las competencias de diseño experimental, así como registros de errores metodológicos para estudiar las diferencias entre los grupos y el comportamiento de los estudiantes en los cuatro periodos académicos.

La contribución científica de este estudio se sitúa en dos niveles complementarios. A nivel conceptual, integra la cultura visual científica, la didáctica del error y el razonamiento metodológico para fundamentar una estrategia pedagógica basada en problemas de diseño experimental agropecuario; a nivel empírico, compara el rendimiento y la frecuencia de errores entre dos condiciones pedagógicas (pre y post-test en cuatro cohortes consecutivas). Esto permite discutir el rol de las representaciones visuales como objetos de interpretación y reconstrucción metodológica dentro de un proceso integrado, definiendo claramente su función pedagógica en relación con los efectos que se pueden identificar a través de las variables realmente evaluadas.

A partir de estos antecedentes, se planteó entonces la siguiente pregunta científica: ¿En qué medida la participación en una estrategia didáctica basada en el error y mediada por representaciones visuales genera diferencias en el desarrollo de competencias para el diseño experimental agropecuario y en los errores metodológicos en comparación con la enseñanza convencional?

2. Metodología

El estudio empleó un enfoque cuantitativo utilizando un diseño experimental de grupos paralelos aleatorizados con mediciones pretest y postest y un grupo de control. De naturaleza comparativa y explicativa, se diseñó para evaluar las diferencias en el desarrollo de competencias de diseño experimental agropecuario y la frecuencia de errores metodológicos entre estudiantes que recibieron una estrategia de enseñanza basada en el error mediada por representaciones visuales y los estudiantes que recibieron instrucción convencional.

El estudio incluyó a cuatro cohortes académicas consecutivas de estudiantes de octavo semestre del programa técnico y profesional de agricultura, realizadas en 2025 y 2026. En cada cohorte, se asignaron aleatoriamente 20 estudiantes a dos condiciones de instrucción: un grupo de intervención compuesto por 10 estudiantes y un grupo de control con igual representación. Así, hubo 40 participantes por condición y una muestra total de 80 estudiantes.

El diseño incluyó un pretest y un postest para observar los cambios que se produjeron durante el proceso formativo y comparar el desempeño entre ambas condiciones pedagógicas. La asignación aleatoria dentro de cada cohorte tuvo como objetivo reducir las diferencias iniciales entre los grupos, mientras que cuatro periodos académicos nos permitieron examinar la consistencia de los resultados a lo largo de diferentes implementaciones de la estrategia.

La variable independiente fue la condición pedagógica (participación en la intervención de didáctica del error mediada por representaciones visuales o enseñanza convencional). La principal variable dependiente fue el desempeño en las competencias de diseño experimental agropecuario, puntuado en una escala de 0 a 10 puntos. Como resultado adicional, se tuvo en cuenta la frecuencia de errores metodológicos.

La interpretación de los resultados se centró en las diferencias asociadas a la estrategia pedagógica integrada. Dado que la intervención combinaba el análisis de errores, la representación visual, la reconstrucción metodológica y la retroalimentación docente, el diseño no permitió identificar por separado la contribución de cada componente.

2.2. Contexto, Población y Participantes

La investigación se llevó a cabo en el marco de la asignatura de Diseño Experimental del octavo semestre del programa técnico y profesional agrícola, cuyo objetivo es desarrollar competencias en la planificación de la investigación, la selección de diseños experimentales, la identificación de factores y tratamientos, la definición de unidades experimentales, el control de fuentes de variabilidad y la justificación de los procedimientos de análisis estadístico.

La población accesible estuvo conformada por los estudiantes matriculados en el curso durante los cuatro periodos académicos estudiados. La muestra estuvo constituida por 80 estudiantes distribuidos en 4 cohortes consecutivas (20 participantes por periodo).

En cada cohorte, se asignaron aleatoriamente 10 alumnos al grupo de intervención y 10 al grupo de control. Así, los 40 participantes se distribuyeron entre las dos condiciones de instrucción.

Se incluyeron estudiantes del octavo semestre matriculados en Diseño Experimental. No se establecieron criterios de exclusión adicionales respecto al desempeño académico u otras características individuales.

La distribución por cohortes y condiciones pedagógicas se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Distribución de los participantes por cohorte académica y condición de instrucción

Cohorte	Intervención	Control
Cohorte 1	10	10
Cohorte 2	10	10
Cohorte 3	10	10
Cohorte 4	10	10
Total	40	40

Fuente: García et al. Elaboración propia.

Se conservaron las puntuaciones individuales del pretest y postest para comparar las mediciones iniciales y finales de los estudiantes. Se dispuso de registros emparejados para los 80 participantes, garantizando que no hubiera pérdidas durante el seguimiento.

El estudio se organizó en cuatro periodos académicos consecutivos realizados entre 2025 y 2026. Cada periodo tuvo una duración aproximada de cinco meses y correspondió a una cohorte distinta de estudiantes de octavo semestre.

La intervención pedagógica se llevó a cabo durante cuatro semanas consecutivas dentro de cada período académico (una sesión semanal de 4 horas por cohorte, para un total de 16 horas de intervención mensual por cohorte).

La intervención se llevó a cabo en diferentes fechas, de acuerdo con el calendario académico del grupo. Esto permitió que las estrategias se implementaran de manera sucesiva y se compararan los resultados de cuatro implementaciones independientes.

El cronograma del estudio distinguió entre la duración del período académico (cinco meses) y la duración específica de la intervención pedagógica (cuatro semanas).

2.4 Fundamento Metodológico para la Intervención Pedagógica

La intervención se basó en la didáctica del error como estrategia de aprendizaje orientada a transformar los errores metodológicos en oportunidades de análisis, reflexión y reconstrucción del conocimiento científico.

Su fundamento pedagógico se basó en el hecho de que los errores cometidos al seleccionar y aplicar diseños experimentales no son meras respuestas incorrectas, sino manifestaciones de dificultades conceptuales, procedimentales e inferenciales que pueden ser estudiadas sistemáticamente.

Se identificaron tres categorías fundamentales de errores:

- Errores conceptuales. También conocidos como confusiones: interpretaciones erróneas de los principios del diseño experimental (por ejemplo, confusión entre unidad experimental y unidad de observación; factores, niveles y tratamientos).
- Errores de ejecución. Relacionados con la aplicación incorrecta de procedimientos metodológicos (asignación de tratamientos, aleatorización, repetición y bloqueo).
- Errores de inferencia. Relacionados con interpretaciones estadísticas o conclusiones que no se corresponden con las características del diseño utilizado.

Esta clasificación permitió organizar las actividades de instrucción en función de la naturaleza de las dificultades identificadas y dirigir los procesos de retroalimentación hacia la explicación de sus causas y consecuencias.

La estrategia comprendía cuatro procesos intelectuales (identificación del error; explicación de sus implicaciones metodológicas; reconstrucción de la solución experimental; y justificación científica de las decisiones adoptadas). Éstos se llevaron a cabo en cinco fases de instrucción, incluyendo la retroalimentación del docente.

2.5. Representaciones Visuales como Mediadoras del Aprendizaje Experimental

La novedad de la intervención radicó en el uso de representaciones visuales de situaciones experimentales como herramientas para reconocer, analizar y corregir errores metodológicos.

Las actividades se llevaron a cabo en el ámbito de la investigación sobre cultivos de ciclo corto (problemas relacionados con la selección del diseño experimental, la organización de parcelas, la distribución de tratamientos, la definición de unidades experimentales, las estructuras factoriales y el control de la variabilidad).

Las representaciones gráficas permitieron exteriorizar las relaciones entre los componentes de un experimento y analizar la correspondencia entre el problema de investigación, la estructura del diseño y las posibilidades estadísticas.

En lugar de encontrar una sola respuesta correcta, los estudiantes debían interpretar la información presentada, identificar inconsistencias entre ellas, explicar sus consecuencias y proponer modificaciones justificadas metodológicamente.

Un ejemplo de lo anterior es el análisis de un croquis experimental con una distribución incorrecta de los tratamientos, que permitió estudiar la aleatorización y el control de la variabilidad; del mismo modo, la representación de plantas agrupadas en parcelas permitió debatir sobre la pseudoreplicación y las diferencias entre las unidades experimentales y las submuestras.

Estas situaciones sirvieron como herramientas para relacionar los principios abstractos del diseño experimental con problemas específicos de la investigación agrícola.

Es importante señalar que las representaciones visuales formaban parte de una intervención pedagógica integrada. Por lo tanto, el estudio analizó las diferencias asociadas a la estrategia en su conjunto y no el efecto independiente de los recursos visuales.

2.6 Organización e Implementación de la Intervención

La secuencia pedagógica constaba de cinco etapas interconectadas:

- Primera etapa. Diagnóstico e identificación del error. El primer paso fue diagnosticar e identificar el problema. Es necesario tener claro exactamente lo que está sucediendo para luego buscar posibles soluciones e intentar resolverlo. Los estudiantes observaron escenarios experimentales representados gráficamente para identificar inconsistencias metodológicas y hacer una interpretación inicial.
- Segunda etapa. Explicación de las consecuencias. Se animó a los estudiantes a analizar los posibles efectos de los errores detectados en el sesgo, la precisión de las estimaciones, la validez de los resultados y las posibilidades de inferencia científica.
- Tercera etapa. Reconstrucción metodológica. Los estudiantes redactaron soluciones alternativas mediante la reorganización de tratamientos, unidades experimentales, procedimientos de aleatorización, repetición y variables de control de acuerdo con las características del problema.
- Cuarta etapa. Razonamiento científico. Las soluciones propuestas se justificaron utilizando principios metodológicos y estadísticos (alineación entre la pregunta de investigación, el diseño elegido y el análisis de los datos).
- Quinta etapa. Retroalimentación del instructor. Se llevaron a cabo sesiones de orientación y debate para explicar inconsistencias, comparar alternativas y consolidar criterios para la toma de decisiones experimentales.

La estrategia se implementó a través de escenarios de investigación con cultivos de ciclo corto. Las ayudas visuales utilizadas incluyeron diagramas de diseño experimental y otros recursos visuales relacionados con las decisiones metodológicas analizadas.

El grupo de control cubrió el contenido del curso de Diseño Experimental mediante una metodología convencional basada en ejercicios prácticos con cultivos de ciclo corto.

Estas actividades estaban dirigidas a la aplicación de principios metodológicos y estadísticos a la selección de diseños experimentales, la identificación de factores y tratamientos, la organización de unidades experimentales y situaciones típicas de la investigación agrícola.

La instrucción se llevó a cabo durante cuatro semanas consecutivas (4 horas por sesión semanal), para un total de 16 horas por cohorte. El horario fue idéntico para el grupo de intervención, lo que permitió comparar la exposición a la instrucción a lo largo del tiempo.

Ambos grupos cubrieron los contenidos básicos del curso y participaron en actividades relacionadas con la investigación en cultivos de ciclo corto.

La principal diferencia fue la estrategia metodológica utilizada: mientras que el grupo de intervención participó en actividades estructuradas (identificar, explicar y reconstruir errores mediante representaciones visuales), el grupo de control realizó prácticas convencionales para aplicar conocimientos de diseño experimental.

La equivalencia en la duración entre las condiciones pedagógicas redujo la influencia de las diferencias en el tiempo de enseñanza como una explicación alternativa para los resultados. Sin embargo, esta equivalencia no asegura necesariamente que se hayan eliminado otros factores de confusión; por lo tanto, las diferencias se interpretaron tomando en cuenta el nivel inicial de los participantes y las características de las cuatro cohortes académicas.

3. Resultados

El análisis descriptivo de las cuatro cohortes académicas reveló diferencias entre los estudiantes que recibieron la estrategia de enseñanza basada en el error mediada por representaciones visuales y los que recibieron instrucción convencional en cuanto al desarrollo de competencias en el diseño experimental agropecuario.

En el pretest, las medias de ambos grupos estuvieron relativamente cercanas. El grupo de control obtuvo entre 8.30 y 8.43 puntos, mientras que el grupo de intervención obtuvo entre 8.23 y 8.57 puntos. Esta proximidad descriptiva indica niveles similares de desempeño inicial, pero no constituye por sí sola evidencia estadística de equivalencia en las condiciones pedagógicas.

Después de cuatro semanas de implementación, el grupo de intervención obtuvo puntuaciones medias de 9.87, 9.70, 9.85 y 10.00 puntos para la primera, segunda, tercera y cuarta cohorte, respectivamente. El grupo de control obtuvo puntuaciones finales de 8.51, 8.44, 8.66 y 8.42 puntos.

Las diferencias finales entre los grupos fueron de 1.36, 1.26, 1.19 y 1.58 puntos, respectivamente, todas a favor de la intervención. Estos resultados muestran un patrón consistente de mayor desempeño final entre los estudiantes que participaron en actividades

que implicaban la identificación, explicación y reconstrucción de errores experimentales utilizando representaciones visuales.

En términos generales, el incremento promedio aproximado fue de 1.47 puntos en el grupo de intervención y de 0.17 puntos en el grupo de control. La diferencia descriptiva entre ambos incrementos es de aproximadamente 1.30 puntos.

Esto demuestra que la mejora en el rendimiento fue mayor en la condición pedagógica integrada en los cuatro periodos académicos. Sin embargo, deben distinguirse las diferencias descriptivas de las estimaciones ajustadas obtenidas mediante el análisis de covarianza.

La reducción de errores metodológicos en el grupo de intervención puede explicarse por el papel formativo de la identificación y corrección de respuestas incorrectas. Metcalfe et al. (2025) estudiaron el aprendizaje a partir de errores frente a la instrucción explícita y demostraron la importancia de ciertas condiciones de retroalimentación; en este estudio, la reducción de errores ocurrió en un marco donde el análisis de inconsistencias, la reconstrucción metodológica, la argumentación científica y la mediación utilizando representaciones visuales fueron parte del enfoque pedagógico integrado; por lo tanto, los resultados confirman la relevancia del enfoque pedagógico integrado, pero no nos permiten inferir qué componente específico fue más importante para la reducción observada, ni si las diferencias estadísticas deben interpretarse como una comparación de puntuaciones finales entre condiciones pedagógicas o como comparaciones de medias iniciales entre condiciones pedagógicas.

La evaluación de los errores metodológicos reveló diferencias entre las condiciones pedagógicas tanto en su frecuencia final como en la magnitud de la reducción observada durante el proceso de aprendizaje.

En el pretest, el grupo de intervención presentó medias que oscilaron entre 4.30 y 4.60 errores por alumno; el grupo de control presentó medias que oscilaron entre 4.10 y 4.30 errores. Esto indica que la frecuencia inicial de errores fue ligeramente superior en el grupo de intervención.

Reconstruir situaciones experimentales erróneas llevó a los estudiantes a pasar del simple reconocimiento de las inconsistencias a proporcionar explicaciones fundamentadas sobre sus causas y consecuencias (Tulis & Dresel 2025), resaltando por qué es importante fomentar respuestas adaptativas a través de actividades que impliquen reflexión, corrección y retroalimentación. En el estudio descrito, el debate sobre alternativas metodológicas fue el foco central de la intervención porque vinculó la comprensión de los principios experimentales a la toma de decisiones científicas; sin embargo, sin una evaluación independiente de los componentes pedagógicos, las diferencias observadas no pueden atribuirse exclusivamente a la retroalimentación, la reconstrucción o la mediación visual.

Al finalizar el proceso de formación, la frecuencia promedio de error para el grupo de intervención fue de 0.80; 0.30; 0.20; y 0.10 para la primera, segunda, tercera y cuarta

cohorte, respectivamente. Las reducciones absolutas fueron de 3.70; 4.20; 4.40; y 4.20 errores por estudiante.

Por su parte, el grupo control presentó tasas de error finales de 3.80; 3.80; 4.10; y 3.60 errores, con reducciones respectivas de 0.30; 0.40; 0.20; y 0.60.

En general, la frecuencia media de errores en el grupo de intervención disminuyó de aproximadamente 4.48 a 0.35 errores por alumno (es decir, una reducción absoluta de 4.13 errores), mientras que en el grupo de control disminuyó de 4.20 a 3.83, con una reducción aproximada de 0.38 errores.

El análisis de varianza factorial descrito reveló diferencias estadísticamente significativas entre las condiciones de instrucción en cuanto a la frecuencia de error en el postest ($p < 0.0001$). El efecto de cohorte ($p = 0.2276$) y la interacción cohorte-condición de instrucción ($p = 0.2471$) no alcanzaron significancia estadística.

Estos resultados indican que la menor tasa de error final en el grupo de intervención se produjo en los cuatro períodos académicos. Sin embargo, el análisis inferencial realizado para esta variable no incluyó un ajuste por la tasa de error inicial; por tanto, sus resultados deben interpretarse como una comparación de los valores finales y no como una estimación ajustada por el rendimiento inicial.

4.3. Análisis de Covarianza del Desempeño Final

Para verificar si las diferencias en el rendimiento final persistían después de tomar en cuenta las puntuaciones iniciales y las características de las cuatro cohortes académicas, se utilizó un análisis de covarianza (ANCOVA).

La puntuación del postest se tomó como variable dependiente, siendo los factores fijos la condición de instrucción y la cohorte académica; la puntuación del pretest sirvió como covariable.

El modelo general fue estadísticamente significativo con un valor de $p < 0.0001$, un coeficiente de determinación $R^2 = 0.76$ y un R^2 ajustado de 0.75. Esto significa que las variables incluidas en el modelo explicaron en conjunto aproximadamente el 76% de la variabilidad observada en las puntuaciones finales.

Desde la perspectiva de la educación técnica y profesional, los resultados indican que es necesario vincular el aprendizaje metodológico con problemas del mundo real que requieran decisiones científicas sólidas. Zhao y Selvaratnam (2024) revisan sistemáticamente las transformaciones en la educación profesional para examinar cómo el contenido educativo se vincula a las demandas prácticas. Esto cobra sentido para la enseñanza de las ciencias agropecuarias porque la elección del diseño experimental, la organización de los tratamientos y el control de las fuentes de variabilidad son decisiones que impactan directamente en la calidad de la investigación aplicada (por ejemplo). En este

sentido, la estrategia estudiada puede servir como una alternativa pedagógica para vincular los fundamentos estadísticos a situaciones reales típicas de la producción agrícola y pecuaria; sin embargo, la transferencia efectiva de habilidades a investigaciones realizadas fuera del aula requiere de una evaluación más profunda.

La diferencia ajustada entre las condiciones pedagógicas fue de 1.33 puntos a favor del tratamiento, con un intervalo de confianza estimado del 95% de 1.15 a 1.51 puntos para esta diferencia. La puntuación inicial también se asoció estadísticamente con el rendimiento final, con valores $p < 0.0001$. El coeficiente de regresión para el pretest fue positivo ($\beta = 0.35$), lo que significa que un mejor rendimiento inicial se asoció con puntuaciones finales más altas cuando se incluyeron los otros términos del modelo.

El efecto principal de la cohorte académica, con un valor p de 0.2806, no alcanzó significación estadística en los cuatro períodos académicos después de ajustar el rendimiento inicial y la condición de instrucción.

En general, el ANCOVA demostró que las diferencias a favor de la intervención persistieron después de considerar las puntuaciones iniciales y las cohortes académicas.

El análisis combinado de las cuatro cohortes reveló un patrón descriptivo que favoreció a la intervención. En todos los períodos académicos, los estudiantes del grupo de tratamiento lograron puntuaciones finales más altas y cometieron menos errores metodológicos que los participantes del grupo de control.

Las diferencias de medias en el postest oscilaron entre 1.19 y 1.58 puntos, mientras que las reducciones de errores fueron mayores para el grupo de intervención en las cuatro cohortes.

El ANOVA factorial de rendimiento final no encontró una interacción estadísticamente significativa entre la cohorte y la condición de instrucción, con un valor p de 0.5904. Además, y de manera coincidente, el análisis de los errores finales tampoco mostró una interacción significativa, con un valor p de 0.2471.

Estos resultados muestran que no hubo evidencia estadística suficiente de que las diferencias entre las condiciones de instrucción variaran según la cohorte; sin embargo, la falta de significancia estadística para las interacciones no implica que los efectos fueran los mismos en todos los periodos académicos. Cada cohorte consistió en 20 estudiantes (dos grupos de 10 participantes); por lo tanto, el tamaño de la muestra limita la precisión con la que se pueden estimar las diferencias potenciales en la efectividad de la intervención entre los periodos académicos.

El uso del ANCOVA implica examinar la relación entre la covariable inicial y el desempeño final (específicamente, si las pendientes de regresión son homogéneas entre las condiciones de instrucción).

La prueba de interacción entre las puntuaciones del pretest y la condición pedagógica mediante análisis secuencial de sumas de cuadrados reveló valores $p > 0.9999$.

Esta prueba no encontró evidencia estadística de diferencias en las pendientes de regresión entre las condiciones pedagógicas, lo que es congruente con el uso de un modelo ANCOVA con pendientes comunes.

Sin embargo, el hecho de que la interacción no sea significativa no prueba por sí mismo que se cumplan todos los supuestos del modelo. Esta verificación debe realizarse examinando los residuos, los valores atípicos y el ajuste del modelo a una variable de resultado que oscila entre 0 y 10 puntos.

La fuerza de la asociación entre la condición de instrucción y el rendimiento final fue mayor dentro del modelo ajustado, con un valor de 0.736. Sin embargo, esta medida no corresponde al porcentaje de aprendizaje inducido por la intervención. Más bien, representa la proporción de la variación parcial atribuible a la condición.

Uno de los aspectos destacables fue el desempeño de la cuarta cohorte, en la cual el grupo de intervención alcanzó una media postest de 10.00 puntos. Esta concentración de las puntuaciones en el extremo superior de la escala es consistente con un efecto techo: cuando los estudiantes alcanzan la máxima puntuación, el instrumento no puede distinguir diferencias entre altos niveles de desempeño.

Por lo tanto, la significancia de los resultados debe evaluarse integrando las diferencias descriptivas, las estimaciones ajustadas, los tamaños de efecto y las limitaciones del instrumento.

Los resultados descriptivos e inferenciales mostraron diferencias a favor del grupo de intervención en el rendimiento final respecto al diseño experimental agrícola y la reducción de errores metodológicos.

La mejora del rendimiento se observó en las cuatro cohortes académicas y persistió después de realizar el ajuste por las puntuaciones iniciales y el periodo académico. La diferencia ajustada fue de 1.33 puntos en una escala de 0 a 10; la condición de instrucción se asoció estadísticamente con el resultado final.

Además, la frecuencia media de errores metodológicos disminuyó más en el grupo de intervención que en el grupo control, proporcionando evidencia adicional sobre las diferencias entre las condiciones pedagógicas.

Estos resultados demuestran la necesidad de seguir investigando estrategias que integren el análisis de errores, la interpretación de representaciones visuales y la reconstrucción razonada de decisiones experimentales. Su interpretación debe vincularse a las características de la intervención integrada, las propiedades del instrumento y los supuestos del análisis estadístico aplicado.

5. Conclusiones

La estrategia de enseñanza basada en el error mediada por representaciones visuales mejoró las competencias en el diseño experimental agrícola en comparación con la enseñanza convencional, con un valor de $p < 0.0001$ en las cuatro cohortes estudiadas, aunque mantuvo la significancia estadística después de ajustar el rendimiento inicial y el período académico ($p < 0.0001$), con una ventaja de 1.33 puntos (IC del 95%: 1.15–1.51).

La intervención también se asoció con una menor cantidad de errores metodológicos, particularmente en los procesos relacionados con la selección del diseño experimental, la estructuración de los tratamientos y el fundamento de las decisiones de investigación. Estos resultados resaltan la necesidad de incorporar el análisis crítico de errores, la reconstrucción de soluciones y las representaciones visuales en la enseñanza de las ciencias agrícolas.

La principal novedad del estudio es que aporta evidencia de que esta estrategia pedagógica integrada puede mejorar el razonamiento metodológico; sin embargo, no se puede deducir el efecto independiente de la mediación visual porque el diseño del estudio no lo permite. Futuras investigaciones deberán analizar sus componentes específicos, la retención del aprendizaje y la transferencia de estas habilidades a situaciones de investigación agrícola en el mundo real.

Referencias

Nota: Lista de referencias conservada en su idioma original (o resumida) de acuerdo a la plantilla académica. (15 referencias incluidas en el documento original).

AUTORES

Ing. Segress García Hevia, PhD 1

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6178-9872

Universidad Bolivariana del Ecuador, Ecuador

Dr. Sheila Cárdenas García, M.Sc. 2

ORCID: https://orcid.org/0009-0001-8433-2912

Universidad ECOTEC, Ecuador

Raúl Alejandro Montes de Oca Celeiro, B.A., M.A. 3

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8733-9610

Universidad Bolivariana del Ecuador, Ecuador

Roberto Milanés Gómez, Lcdo., PhD 4

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6879-3559 | roberto.milanesg@ug.edu.ec

Universidad de Guayaquil, Ecuador