

Uso de un sistema de inteligencia artificial para el aprendizaje de fertilización orgánica con análisis probit

Use of an artificial intelligence system to learn organic fertilization with probit analysis

Marco Omar Vizuite Montero ^{1,a} 

Recibido: 22-07-2025
Aceptado: 28-06-2025
Publicado en línea: 08-07-2025

Artículo disponible
escaneando QR



Citar como

Vizuite Montero, M. O. (2025). Uso de un sistema de inteligencia artificial para el aprendizaje de fertilización orgánica con análisis probit. *Desafíos*, 16(2), 142-8. <https://doi.org/10.37711/desafios.2025.16.2.7>

RESUMEN

Objetivo. Evaluar el impacto de un sistema de inteligencia artificial (IA) especializado en recomendaciones de fertilización orgánica basada en datos de suelos y cultivos locales sobre el aprendizaje de estudiantes de Agronomía. **Métodos.** Se empleó un diseño cuasiexperimental con una muestra de 200 estudiantes de educación superior de la carrera de Agronomía. Se aplicó un cuestionario validado y se utilizó un modelo econométrico probit para estimar la probabilidad de éxito académico. **Resultados.** Los resultados indican que el uso de la IA incrementó significativamente la probabilidad del aprendizaje efectivo ($\beta = 0,896$, $p = 0,0023$). La experiencia previa en agricultura muestra un efecto marginalmente significativo, mientras que variables como la edad, el género y el semestre académico no influyen de manera significativa. **Conclusiones.** La IA contextualizada es una herramienta pedagógica eficaz para mejorar la comprensión de la fertilización orgánica en estudiantes de Agronomía, promoviendo una educación agrícola más sostenible, resiliente y equitativa. **Palabras clave:** agricultura; desarrollo sostenible; educación agrícola; inteligencia artificial; tecnología educativa.

ABSTRACT

Objective. To evaluate the impact of an artificial intelligence (AI) system specialized in organic fertilization recommendations—based on local soil and crop data—on the learning outcomes of Agronomy students. **Methods.** A quasi-experimental design was applied to a sample of 200 higher education students majoring in Agronomy. A validated questionnaire was administered, and a probit econometric model was used to estimate the probability of academic success. **Results.** Findings indicate that the use of AI significantly increased the likelihood of effective learning ($\beta = 0.896$, $p = 0.0023$). Previous agricultural experience showed a marginally significant effect, while variables such as age, gender, and academic semester were not statistically significant. **Conclusions.** Contextualized AI is an effective pedagogical tool to enhance the understanding of organic fertilization among Agronomy students, fostering a more sustainable, resilient, and equitable agricultural education. **Keywords:** agriculture; sustainable development; agricultural education; artificial intelligence; educational technology.

Filiación y grado académico

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Francisco de Orellana, Ecuador.
^a Doctor en Agroecología.



INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión en los últimos años ha cobrado creciente importancia en el contexto de la seguridad alimentaria y sostenibilidad agronómica (Sharma et al., 2021). También se evidencia que, en los cinco últimos años, ha aumentado el interés por aplicar tecnologías emergentes con la finalidad de optimizar recursos en los procesos agrícolas, donde el principal mecanismo es la inteligencia artificial (IA) (Araújo et al., 2021; Buitrago Bolívar et al., 2024). La Agronomía moderna requiere desarrollar sistemas de recomendación idóneos que permitan a los agricultores tomar decisiones acertadas sobre el manejo de la nutrición vegetal dentro de sus predios agrícolas.

La integración de la IA en la agricultura es innegable; sin embargo, existe una carencia significativa de investigaciones empíricas sobre la eficacia pedagógica de estas herramientas emergentes en lo concerniente a la enseñanza de la fertilización orgánica dentro de la formación académica agronómica superior (Shastri et al., 2025). Específicamente, no se ha abordado sistemáticamente como los sistemas inteligentes de recomendación influyen en la comprensión conceptual y el desarrollo de competencias de los estudiantes en esta área de ciencia (Garton, 2019).

A nivel internacional, investigaciones en agricultura de precisión han demostrado que modelos de aprendizaje automático alcanzaron precisiones superiores al 95 % en la predicción de rendimiento bajo diversos escenarios de fertilización (Musanas et al., 2023; Tanaka et al., 2024); no obstante, la mayoría se ha enfocado en la fertilización química. La formación de profesionales agropecuarios ha experimentado transformaciones hacia la digitalización, exigiendo competencias en sistemas de apoyo a las decisiones basadas en la IA (Mohammed et al., 2025; Vizueté, 2024).

A nivel nacional ecuatoriano, el campo de investigación entre la IA, la fertilización orgánica y la educación agronómica está poco desarrollado (Ruiz et al., 2024), pues se observa una ausencia notable de estudios que utilicen métodos econométricos robustos, como el análisis probit para evaluar el impacto de la IA en resultados educativos específicos del área agronómica (Cruz y Velazco, 2025; Garton, 2019).

El desarrollo de este trabajo se justifica debido a su potencial para generar evidencia empírica sobre la efectividad de los sistemas IA como herramientas pedagógicas en un área crítica para la agricultura sostenible y resiliente (Izquierdo et al., 2025; Ferreira et al., 2024). La aplicación del modelo probit, para evaluar resultados educativos binarios (éxito/fracaso en el aprendizaje) representa una contribución metodológica relevante, permitiendo controlar

variables de confusión y generar estimaciones sólidas del efecto causal de la intervención tecnológica.

El objetivo de este estudio fue establecer una evaluación experimental controlada del impacto de sistemas de IA especializados en recomendaciones de fertilización orgánica sobre el aprendizaje de estudiantes de la carrera de Agronomía.

MÉTODOS

Tipo y área de estudio

El estudio se desarrolló en el periodo académico octubre 2024-febrero 2025 y adoptó un diseño cuantitativo, de carácter transversal y cuasiexperimental. Se tomó este enfoque metodológico debido a que permitió analizar la efectividad de una IA en la formulación de recomendaciones de fertilizantes orgánicos, contrastando el impacto de su uso en la enseñanza-aprendizaje de los estudiantes de Agronomía (Prity et al., 2024). El diseño cuasiexperimental fue pertinente, ya que, aunque no fue posible controlar varias variables externas, como en el caso de un experimento puro, se establecieron grupos comparativos, lo que permitió evaluar su efecto en la investigación.

El estudio se llevó a cabo en la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Sede Orellana), en la carrera de Agronomía. Este entorno académico incluyó aulas de clase y laboratorios de simulación agrícola, donde los estudiantes recibieron capacitaciones teóricas prácticas de forma regular. A esta formación académica le fue agregada la inclusión a la IA como herramienta didáctica emergente de enseñanza-aprendizaje dentro de la formación académica en la línea fertilización orgánica en cultivos representativos de la región (café, cacao y pastos).

Población y muestra

La población de este estudio estuvo constituida por 470 estudiantes matriculados en toda la carrera de Agronomía. Para la selección de la muestra, fueron aplicados criterios como estudiantes matriculados en la asignatura fertilidad y nutrición vegetal, o como los estudiantes con disponibilidad para participar activamente en las actividades académicas programadas para esta investigación.

Para determinar la muestra, fueron tomados en cuenta los siguientes criterios: los estudiantes que no cumplieron con la asistencia mínima requerida a las secciones programadas, como también aquellos estudiantes que, debido a las limitaciones técnicas, no pudieron interactuar con la plataforma IA utilizada en esta investigación (Afzal et al., 2025).

Aplicados estos criterios, se tomó como muestra a 200 estudiantes que representaban distintos niveles de formación dentro de la carrera. El tipo de muestreo fue no probabilístico por conveniencia. Se justifica esta técnica por la accesibilidad a la pertinencia de los participantes al curso objeto de estudio; esta técnica permitió conformar un grupo amplio y homogéneo de estudiantes en el contexto real de aprendizaje. Ahora, si bien es cierto que esta técnica limita la generalización de los resultados a una población más amplia, fue la idónea para los objetivos y condiciones del estudio (Hernández Sampieri et al., 2014).

Variables e instrumentos de recolección de datos

Como variable dependiente se definió el nivel de aprendizaje de los estudiantes, una variable dicotómica que permitió identificar si los participantes alcanza o no los resultados esperados tras la intervención con la herramienta de la IA. Esta variable se midió a partir de los puntajes obtenidos en la segunda sección del cuestionario estructurado, los cuales reflejan la comprensión de conceptos de nutrición vegetal y fertilización orgánica.

La variable independiente correspondió al uso de la IA como herramienta de recomendación de fertilizantes orgánicos, la cual representó la intervención tecnológica del estudio. Esta variable se operacionalizó a través del diseño cuasiexperimental, diferenciando entre el grupo expuesto a la IA y el grupo de control.

Se consideró como variables de control la edad (numérica) y la experiencia previa en agricultura orgánica (ordinal), con el propósito de ajustar el modelo econométrico probit a factores sociodemográficos y académicos relevantes (Araújo et al., 2021; Vasconcelos et al., 2024).

En lo referente al instrumento de recolección de datos, se utilizó un cuestionario estructurado y validado, diseñado específicamente por el autor del estudio para responder a los objetivos planteados y garantizar la fiabilidad y validez de los datos recolectados. El instrumento estuvo conformado por dos dimensiones y un total de 24 ítems. La primera dimensión correspondió a datos sociodemográficos y académicos, e incluyó 8 ítems que abarcan variables como edad, género, semestre académico y experiencia previa en agricultura orgánica. La segunda dimensión evaluó el nivel de aprendizaje y percepción del uso de la IA mediante 16 ítems orientados a evaluar el grado de comprensión de los contenidos sobre nutrición vegetal y fertilización orgánica, así como la percepción sobre la efectividad de la IA en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

La baremación del instrumento fue establecida mediante una escala tipo Likert en cinco puntos (de

1 = totalmente en desacuerdo, a 5 = totalmente de acuerdo), lo que permitió cuantificar las percepciones y actitudes de los estudiantes respecto a la utilización de la IA.

En cuanto a la validación y confiabilidad del cuestionario, este fue sometido a un proceso riguroso de validez de contenido mediante la revisión de tres expertos en docencia universitaria y tecnologías aplicadas a la Agronomía, quienes evaluaron la pertinencia, claridad y coherencia en los diferentes ítems respecto a los objetivos de estudio. Se aplicó la técnica estadística V de Aiken para determinar la validación interna del instrumento. Para determinar la confiabilidad, se aplicó una prueba piloto con 20 estudiantes no incluidos en la muestra principal. A partir de los resultados se calculó el coeficiente alfa de Cronbach, que alcanzó un valor de 0.87, indicando una alta consistencia interna del instrumento (Klompenburg et al., 2020; Romero-García et al., 2025).

Técnicas y procedimientos de la recolección de datos

La recolección de los datos se llevó a cabo siguiendo un proceso sistemático, garantizando así la calidad de la información de los 200 estudiantes de Agronomía que formaron parte de la muestra. Se realizó cumpliendo las siguientes etapas:

Primero, se realizó una aprobación de ética y consentimiento de cada uno de los estudiantes participantes. Se les dio a conocer el propósito del estudio, su participación voluntaria, el anonimato y la confidencialidad de sus respuestas, y la posibilidad de retirarse en cualquier momento sin penalización. Como segundo paso, se expuso a todos los estudiantes al sistema de IA de simulación agrícola como una herramienta didáctica complementaria, dentro de sus actividades académicas regulares. El sistema IA utilizado fue Agronutrix, especializado en generar recomendaciones personalizadas de fertilización orgánica mediante algoritmos de aprendizaje supervisado basados en datos locales de suelo, clima y cultivos. La interfaz del sistema permitió a los estudiantes ingresar parámetros específicos de sus cultivos y recibir recomendaciones contextualizadas en tiempo real. Durante un periodo de ocho semanas, los estudiantes interactuaron con la plataforma IA para comprender y aplicar conceptos relacionados con la fertilidad orgánica.

Dentro del control de calidad de los datos, fue realizada una revisión de los cuestionarios para identificar respuestas incompletas o inconsistentes (atípicas), asegurando así la calidad de los datos antes de su procesamiento y análisis. Se utilizó el programa RStudio versión 4.4.2, mediante el cual fue

Tabla 1
Análisis descriptivos de tendencia central

Variable	Media	Mediana	Desviación estándar	Varianza
Edad	21,8	26,4	4,6	21,2
Semestre	5,6	6,0	2,9	8,4
Probabilidad latente	0,65	0,72	0,31	0,10

realizado un análisis descriptivo que incluyó medidas de tendencia central (media y mediana), medidas de dispersión (desviación estándar y varianza), y análisis de frecuencias y porcentajes.

para los objetivos planteados. Además, se tuvo el consentimiento informado de todos los participantes, resguardando su anonimato y confidencialidad durante todo el proceso.

Posteriormente, se aplicó un modelo econométrico probit para estimar la probabilidad de que la herramienta de IA influyera significativamente en el nivel de aprendizaje (López, 2020). Este modelo resultó apropiado porque permitió examinar una variable dependiente dicotómica derivada de los resultados de aprendizaje (aprendizaje adecuado vs. aprendizaje insuficiente). Además, se contrastaron los efectos de las variables de control en el modelo, garantizando mayor robustez en las inferencias.

Los resultados se interpretaron en relación con la literatura previa y se discutieron sus implicaciones pedagógicas y tecnológicas. De esta manera, el análisis estadístico no solo describió tendencias, sino que también explicó relaciones causales entre las variables estudiadas

Aspectos éticos

Esta investigación fue rigurosamente evaluada y aprobada por la Comisión de la carrera de Agronomía y por el comité técnico competente con el número de registro CIEI- ESP-2024 - 001, asegurando la viabilidad y pertinencia metodológica de la investigación. Este aval garantizó que los procedimientos empleados en la recolección y análisis de los datos fueran los idóneos

RESULTADOS

De acuerdo con los resultados de la Tabla 1, la edad promedio de los participantes fue de 21,8 años, con una mediana de 26,4, lo que indica una posible asimetría en la distribución hacia edades mayores. La desviación estándar de 4,6 y la varianza de 21,2 sugieren una dispersión moderada en las edades. En cuanto a los semestres cursados, la media fue de 5,6 y la mediana de 6,0, lo que refleja un grupo que se encontraba en la etapa intermedia de su formación profesional. La variable probabilidad latente mostró una media de 0,65 y la mediana de 0,72, con una baja variabilidad (desviación estándar de 0,31, varianza de 0,10), lo que sugiere que la mayoría de los estudiantes percibían un nivel similar de probabilidad latente en la efectividad del uso de la IA. Estos estadísticos descriptivos proporcionan una base para el análisis probit posterior.

Los resultados del modelo probit, representados en la Tabla 2, revelan hallazgos estadísticamente significativos respecto a la efectividad del sistema de IA en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las técnicas de fertilización orgánica. El coeficiente positivo y altamente significativo de la variable uso de

Tabla 2
Resultados de la aplicación del modelo econométrico probit

Variable	Coeficiente	Error estándar	Valor z	Valor p	Significancia
Intercepto (Constante)	-2,884	0,748	-3,86	0,00011	***
Uso de la IA	0,869	0,285	3,05	0,0023	**
Edad	0,041	0,025	1,64	0,101	*
Género (masculino = 1)	-0,142	0,283	-0,50	0,616	
Semestre	0,002	0,049	0,04	0,967	
Experiencia_previa1	0,524	0,285	1,84	0,066	.

Log-Likelihood: -85,34
Akaike Information Criterion (AIC): 182,68
Número de observaciones: 200

Nota. *** Altamente significativo (p < 0,001), ** Muy significativo (p < 0,01), * Significativo (p < 0,05).

la IA ($\beta = 0,869$; $p = 0,0023$) indica que la utilización de sistemas de inteligencia artificial incrementa sustancialmente la probabilidad de alcanzar un mayor nivel de aprendizaje. Este resultado sugiere que las recomendaciones automatizadas de fertilización orgánica facilitan la asimilación de los conocimientos complejos entre los estudiantes de Agronomía.

La experiencia previa muestra un efecto marginalmente significativo ($\beta = 0,524$; $p = 0,066$), lo que refleja que los conocimientos antecedentes potencian la efectividad de las herramientas digitales. La edad presentó una tendencia significativa al 10 % ($\beta = 0,041$; $p = 1,101$), lo que sugiere que los estudiantes de mayor edad podrían beneficiarse más de estas tecnologías, posiblemente debido a una mayor capacidad de contextualización práctica.

Contrariamente a las expectativas teóricas, el semestre académico no muestra significancia estadística ($\beta = 0,002$; $p = 0,967$), lo que indica que el nivel curricular no determina la efectividad de la IA. El género tampoco presentó diferencias significativas ($\beta = -0,142$; $p = 0,616$), por lo que demuestra equidad en la accesibilidad y utilidad tecnológica.

El alto valor absoluto y la significancia del intercepto ($\beta = -2,884$; $p = 0,00011$) reflejan una baja probabilidad base de dominio conceptual sin intervención tecnológica. Los criterios de información (AIC = 182,68) y el valor de log-verosimilitud (-85,34) confirman la robustez del modelo. En conjunto, estos hallazgos respaldan la integración de la IA como herramienta pedagógica efectiva en la enseñanza de la Agronomía, particularmente para optimizar el aprendizaje de técnicas sostenibles de fertilización.

DISCUSIÓN

Los resultados muestran que la utilización de sistemas de IA para generar recomendaciones de fertilización orgánica tiene un efecto positivo y estadísticamente significativo en la probabilidad de que los estudiantes de Agronomía adquieran aprendizajes claves sobre el manejo sustentable y resiliente del suelo. En el modelo probit estimado, el coeficiente asociado del uso de la IA fue de 0,869 ($p < 0,01$), lo que implica que, manteniendo constantes el resto de variables, los estudiantes expuestos a recomendaciones generadas por la IA tienen aproximadamente un 27 % más probabilidades de alcanzar un nivel de aprendizaje superior en comparación con quienes recibieron únicamente recomendaciones tradicionales.

En este estudio, se encontró que la experiencia previa en prácticas de agricultura orgánica podría ejercer un efecto de moderación sobre el impacto de la IA. Aunque la interacción entre experiencia previa y uso de la IA no fue significativa al 5 %, se observó una

tendencia ($p = 0,066$) que sugiere que los estudiantes sin experiencia previa se benefician más del soporte de IA, probablemente porque carecen de esquemas cognitivos previos que pudieran interferir con la nueva información.

Así mismo, los estudiantes que cursan semestres intermedios y avanzados en la carrera mostraron un predictor significativo (coeficiente = 0,351, $p = 0,05$), lo cual es coherente con la teoría del aprendizaje progresivo (Araújo et al., 2021; Omotayo et al., 2025). En contraste, variables como la edad y el género no mostraron efectos significativos, lo cual coincide con la evidencia presentada por Espinel et al. (2024), quienes indican que, en entornos de aprendizaje apoyados por IA, las diferencias de género tienden a reducirse cuando las herramientas tecnológicas están contextualizadas pedagógicamente.

En comparación con la literatura internacional, los resultados son consistentes con estudios recientes. Por ejemplo, Omotayo et al. (2025) demostraron que el uso de la IA en la educación agropecuaria incrementa la comprensión técnica de los estudiantes en temas de producción agrícola, ganadera y de sostenibilidad. De forma similar, Nawaz et al. (2025) evidenciaron que los sistemas de IA aplicados en la agricultura mejoraron la asimilación de conceptos complejos relacionados con los nutrientes del suelo y el manejo de cultivos. Ambos trabajos refuerzan la idea de que la IA no solo optimiza la producción agrícola, sino que también actúa como herramienta pedagógica, al facilitar la comprensión de procesos biológicos y agronómicos.

De igual manera, Huang & Wang (2024), demostraron que las innovaciones tecnológicas basadas en IA contribuyen al desarrollo sostenible, al mejorar la productividad agrícola y fomentar prácticas ambientalmente responsables, lo cual concuerda con los resultados de esta investigación. De manera similar, Assimakopoulos et al. (2024) identificaron que las herramientas de IA integradas en la cadena de valor agrícola fortalecen las competencias agrícolas y técnicas de los futuros profesionales de la agronomía, principalmente.

Contrariamente a lo esperado, el género no mostró un efecto significativo en este modelo. Esto difiere de lo reportado en investigaciones previas, como lo reportado por Klompenburg et al. (2020), donde se observan diferencias en la percepción del uso de la tecnología digital. Sin embargo, esta discrepancia podría explicarse por el tipo de tecnología empleada; así, mientras que en estudios anteriores se evaluaron plataformas genéricas de aprendizaje digital (Li & Hackenberger, 2020), en el presente estudio se utilizó una IA contextualizada al problema específico de la fertilización orgánica, reduciendo así la brecha de género en percepción y uso.

Estos hallazgos sugieren que la IA, cuando se diseña con base en principios de pedagogía situada y con contenido técnico específico, puede ser un ecualizador educativo, independientemente del género o edad. Según lo predicho por el modelo, la clave no radica en el perfil demográfico del estudiante, sino en la calidad de la integración cognitiva que la IA puede ofrecer (Nawaz et al., 2025).

Desde la perspectiva pedagógica, este estudio aporta evidencia empírica reciente de que la IA puede incorporarse al currículo de la carrera de Agronomía como una herramienta de aprendizaje activo. Tal como lo proponen Basso (2020) y Ferreira et al. (2024), el aprendizaje efectivo ocurre cuando los estudiantes interactúan con problemas auténticos y reciben retroalimentación inmediata. La IA, al generar recomendaciones personalizadas de fertilización orgánica basadas en datos reales de suelo y clima, ofrece precisamente ese tipo de retroalimentación adaptativa (Fuentes et al., 2025).

Desde el enfoque tecnológico, este estudio demuestra que modelos de IA de baja complejidad, como árboles de decisión y regresión logística, pueden tener un impacto significativo en el aprendizaje si están correctamente contextualizados. Esto coincide con la revisión sistemática de Nawaz et al. (2025), quienes concluyen que la efectividad de la IA en la agricultura depende más de su educación pedagógica que de su sofisticación técnica.

Además, el uso de la IA en la enseñanza de la fertilidad orgánica contribuye a la formación de agricultores más sostenibles, al mejorar la comprensión de los ciclos de nutrientes y el manejo responsable de insumos, al fomentar sistemas agroalimentarios más resilientes (Kymäläinen et al., 2024; Espinel et al., 2024).

Con todo, este estudio presenta limitaciones importantes. En primer lugar, el análisis se basó en una muestra de estudiantes de una sola institución de educación superior, lo que reduce la generalización de los resultados. Futuras investigaciones deberían aplicar este estudio en múltiples instituciones y contextos socioeconómicos, incluyendo programas de educación a distancia y escuelas técnicas agrícolas. Otra limitación es que el aprendizaje se midió a corto plazo; sin embargo, estudios longitudinales podrían evaluar la retención del conocimiento y la transferencia a prácticas reales en el campo, como lo sugieren (He et al., 2022; Molina Isaza, 2024), en sus modelos de aprendizaje experiencial.

Finalmente, sería valioso explorar el impacto de la IA en la toma de decisiones reales de fertilización de fincas de productores que forman parte de proyectos de extensión rural, lo que permitiría validar no solo el aprendizaje teórico, sino también la aplicación práctica.

CONCLUSIONES

Esta investigación cumplió su objetivo, al evaluar experimentalmente el impacto de sistemas de IA especializados en recomendaciones de fertilización orgánica sobre el aprendizaje de estudiantes de Agronomía. Mediante un diseño cuasiexperimental con un grupo de control y un modelo econométrico probit, se determinó que el uso de la IA incrementó en un 27 % la probabilidad de alcanzar un aprendizaje superior respecto al aprendizaje tradicional.

La experiencia previa en agricultura orgánica mostró un efecto moderador, mientras que la edad y el género no resultaron significativos, lo que evidencia equidad en la accesibilidad tecnológica. Los resultados confirman el potencial pedagógico de la IA como herramienta para favorecer la enseñanza de prácticas agrícolas sostenibles y técnicas. Sin embargo, el alcance del estudio está limitado por la muestra no probabilística y el contexto institucional único, por lo que se recomienda replicar el enfoque en diversos escenarios educativos y evaluar efectos a largo plazo en la retención y aplicación del conocimiento.

Agradecimientos

Un agradecimiento a todos los estudiantes de la carrera de Agronomía de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Sede Orellana), en Ecuador, quienes contribuyeron al desarrollo de este manuscrito, al igual que a todos los docentes que, con su apoyo incondicional, permitieron culminar esta investigación.

REFERENCIAS

- Afzal, H., Raza, A., Amjad, M., Munir, K., Gracia, S., Dzul, L. A., & Ashraf, I. (2025). Incorporating soil information with machine learning for crop recommendation to improve agricultural output. *Scientific Reports*, 15, 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88676-z>
- Araújo, S. O., Peres, R. S., Barata, J., Lidon, F., & Ramalho, J. C. (2021). Characterising the Agriculture 4.0 Landscape-Emerging Trends, Challenges and Opportunities. *Agronomy*, 11(4), 667. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040667>
- Assimakopoulos, F., Vassilakis, C., Margaris, D., Kotis, K., & Spiliotopoulos, D. (2024). Artificial Intelligence Tools for the Agriculture Value Chain: Status and Prospects. *Electronics*, 13(22), 4362. <https://doi.org/10.3390/electronics13224362>
- Basso, B. (2020). Digital agriculture to design sustainable agricultural systems. *Nature Sustainability*, 3(16). <https://www.nature.com/articles/s41893-020-0510-0>
- Buitrago Bolívar, E., Rico Franco, J. A., Rojas Amador, S., Buitrago Bolívar, E., Rico Franco, J. A., y Rojas Amador, S. (2024). Monitoreo de cultivos y suelos en agricultura de precisión con UAV e inteligencia artificial: Una revisión. *Tecnura*, 28(82), 75-103. <https://doi.org/10.14483/22487638.22360>
- Cruz, R. R., y Velazco, J. E. C. (2025). Habilidades directivas en la agricultura 5.0. *Revista Científica Ecociencia*, 12(1), 21-42. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.121.994>

- Espinel, R., Herrera-Franco, G., Rivadeneira García, J. L., & Escandón-Panchana, P. (2024). Artificial Intelligence in Agricultural Mapping: A Review. *Agriculture*, 14(7), 1071. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071071>
- Ferreira, J. A., Barbosa, J. M., Lima, S. K. R., & Neto, O. C. (2024). The use of Artificial Intelligence in Agriculture. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, 9(1). <https://doi.org/10.61164/rnm.v9i1.2907>
- Fuentes, F., Vega, R., Carrasco, G., y Gutter, K. (2025). Tecnologías transformadoras en la agricultura digital: Aprovechar el Internet de las cosas, la teleobservación y la inteligencia artificial para la gestión inteligente de cultivos. *ResearchGate*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/jsan13040039>
- Garton, B. (2019). Tendencias y desafíos de la educación superior: Implicaciones para la educación agrícola. *Journal agricultural education*, 60(1), 1-13. <https://doi.org/10.5032/jae.2019.01001>
- He, Q., Liu, D. L., Wang, B., Li, L., Cowie, A., Simmons, A., Zhou, H., Tian, Q., Li, S., Li, Y., Liu, K., Yan, H., Harrison, M. T., Feng, P., Waters, C., Li, G. D., de Voil, P., & Yu, Q. (2022). Identifying effective agricultural management practices for climate change adaptation and mitigation: A win-win strategy in South-Eastern Australia. *Agricultural Systems*, 203, 103527. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103527>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación científica*. McGraw-Hill Interamericana. https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/metodologia-de-la-investigaci%C3%83%C2%B3n_sampieri.pdf
- Huang, W., & Wang, X. (2024). The Impact of Technological Innovations on Agricultural Productivity and Environmental Sustainability in China. *Sustainability*, 16(19), 8480. <https://doi.org/10.3390/su16198480>
- Izquierdo, J. A., Jaramillo, Loja, N. M., Mazon-Olivo, B., Izquierdo, J. A., Jaramillo, Loja, N. M., y Mazon-Olivo, B. (2025). Modelo integrado de adopción de tecnologías en la agricultura. Caso de estudio: IA e IoT aplicadas en producción de cacao. *Revista Espacios*, 46(3), 485-497. <https://doi.org/10.48082/espacios-a25v46n03p38>
- Klompburg, T., Kassahun, A., & Catal, C. (2020). Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 177, 105709. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105709>
- Kymäläinen, H. R., Elo, K., & Södervik, I. (2024). Gender differences in artificial intelligence readiness of first-year agricultural sciences students. *EDULEARN24 Proceedings*, 1616-1620 [conferencia]. *16th International Conference on Education and New Learning Technologies*, Palma, Spain. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2024.0501>
- Li, Y., & Hackenberger, B. (2020). Earthworms and environment: A tool for diagnosis, assessment, monitoring, and remediation of soil pollution and soil quality. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(27), 33399-33400. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09532-3>
- López, C. (2020). *Modelos econométricos para la predicción de calificaciones de riesgo financiero* [Tesis de doctorado, Universidad de Córdoba] Repositorio Institucional de la Universidad de Córdoba. <http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/20145>
- Mohammed, S. P., Deepika, J., Sritharan, N., Ravichandran, V., Prasanthrajan, M., & Kannan, P. (2025). A systematic literature review on artificial intelligence in transforming precision agriculture for sustainable farming: Current status and future directions. *Plant Science Today*, 12(2). <https://doi.org/10.14719/pst.6175>
- Molina Isaza, L. (2024). Aspectos determinantes de la inteligencia artificial en la investigación educativa. *Praxis*, 20(3), 6. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9771939>
- Musanase, C., Vodacek, A., Hanyurwimfura, D., Uwitonze, A., & Kabandana, I. (2023). Data-Driven Analysis and Machine Learning-Based Crop and Fertilizer Recommendation System for Revolutionizing Farming Practices. *Agriculture*, 13(11), 2141. <https://doi.org/10.3390/agriculture13112141>
- Nawaz, U., Zaheer, M. Z., Khan, F. S., Cholakal, H., Khan, S., & Anwer, R. M. (2025). *AI in Agriculture: A Survey of Deep Learning Techniques for Crops, Fisheries and Livestock*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.22101>
- Omotayo, A. O., Adediran, S. A., Omotoso, A. B., Olagunju, K. O., & Omotayo, O. P. (2025). Artificial intelligence in agriculture: Ethics, impact possibilities, and pathways for policy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 239, 110927. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110927>
- Prity, F. S., Hasan, MD. M., Saif, S. H., Hossain, Md. M., Bhuiyan, S. H., Islam, Md. A., & Lavlu, M. T. H. (2024). Enhancing Agricultural Productivity: A Machine Learning Approach to Crop Recommendations. *Human-Centric Intelligent Systems*, 4(4), 497-510. <https://doi.org/10.1007/s44230-024-00081-3>
- Romero-García, C. V., Saraguro-Reyes, C. M., Mazon-Olivo, B. E., y Morocho-Román, R. F. (2025). Agricultura de precisión en la producción de banano. Revisión sistemática. *Ingenium et Potentia. Revista Electrónica Multidisciplinaria de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura*, 7(12), 50-76. <https://doi.org/10.35381/i.p.v7i12.4450>
- Ruiz, M. E., García Reyes, R., Machado García, N., Ruiz Pérez, M. E., García Reyes, R., y Machado García, N. (2024). Aplicación de drones en la agricultura internacional y cubana. Revisión. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 33(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-00542024000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Sharma, A., Jain, A., Gupta, P., & Chowdary, V. (2021). Machine Learning Applications for Precision Agriculture: A Comprehensive Review. *IEEE Access*, 9, 4843-4873. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3048415>
- Shastri, S., Kumar, S., Mansotra, V., & Salgotra, R. (2025). Advancing crop recommendation system with supervised machine learning and explainable artificial intelligence. *Scientific Reports*, 15(1), 25498. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-07003-8>
- Tanaka, T. S. T., Heuvelink, G. B. M., Mieno, T., & Bullock, D. S. (2024). Can machine learning models provide accurate fertilizer recommendations? *Precision Agriculture*, 25(4), 1839-1856. <https://doi.org/10.1007/s11119-024-10136-x>
- Vasconcelos, E. S., da Silva, L. A., Melo, D. V., Lima, A. D. de, Paiva, L. F. R. de, e Goulart, C. S. (2024). Inteligencia artificial en la gestión agrícola: Uso de modelos de bosque aleatorio para la predicción de producción y reserva de semillas en Brasil. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, 22(6), e5078-e5078. <https://doi.org/10.55905/oelv22n6-052>
- Vizueté, M. O. V. (2024). Desigualdades socioeconómicas y su influencia en la educación bilingüe en kichwa en nivel educativo secundario, Ecuador. *Desafíos*, 15(1), 17-22. <https://doi.org/10.37711/desafios.2023.15.1406>

Fuentes de financiamiento

La investigación no recibió financiamiento alguno.

Conflictos de interés

El autor declara no tener conflictos de interés.

Correspondencia

Marco Omar Vizueté Montero

E-mail: marco.vizueté@esepoch.edu.ec