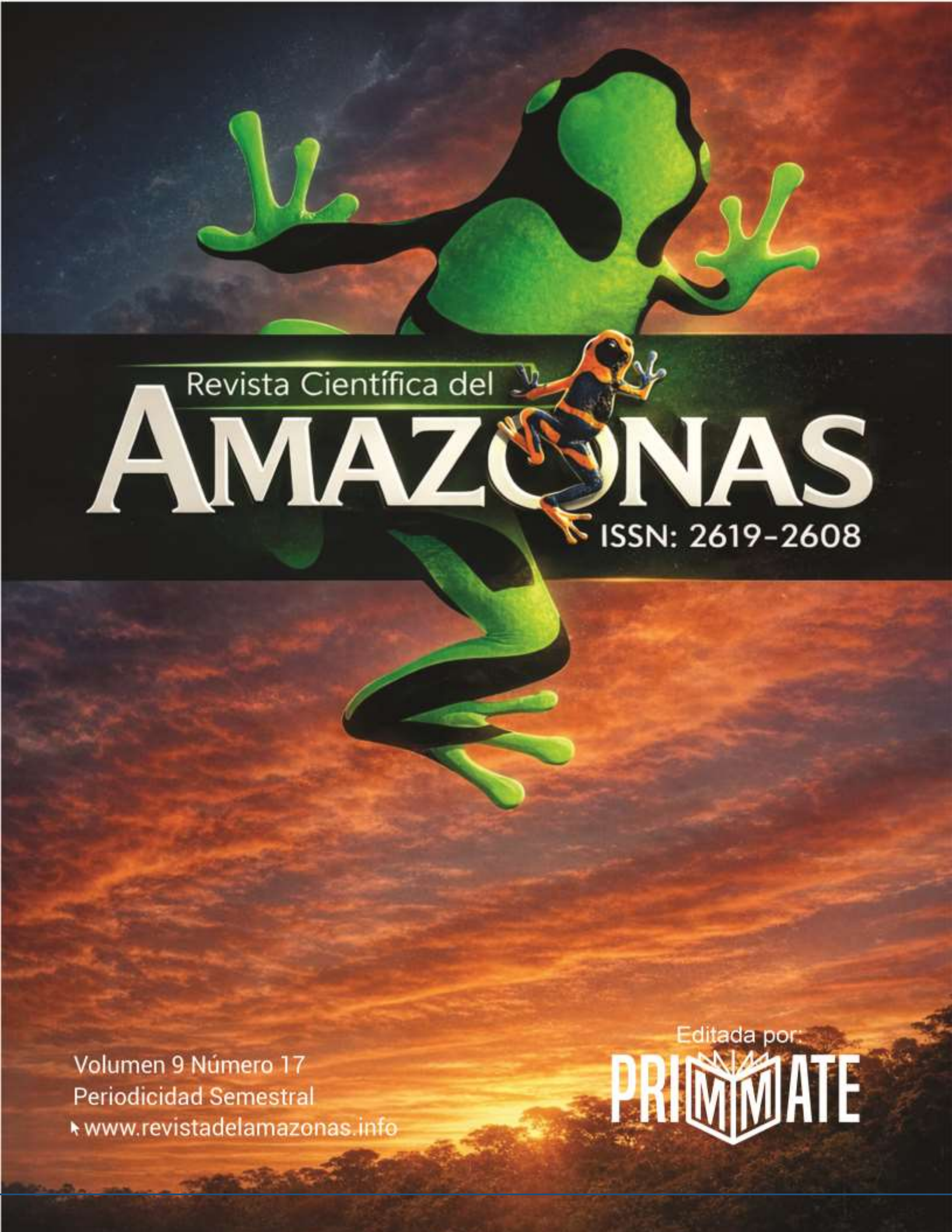




Revista Científica del

AMAZONAS

ISSN: 2619-2608

Volumen 9 Número 17
Periodicidad Semestral
✦ www.revistadelamazonas.info

Editada por:

PRIMATE

REVISTA CIENTIFICA VIRTUAL

Volumen 9, Numero 17

ISSN 2619-2608

Periodicidad

Semestral

Creación: 2018

Equipo editorial

Editora - Dra. Magda Julissa Rojas-Bahamón.
Universidad de la Amazonia. Colombia.

Coeditor - M.Sc. Diego Felipe Arbeláez Campillo,
Grupo de investigación Lenguajes, Representaciones y
Educación Universidad de la Amazonia, Colombia.

Ph.D. Ligia Terezinha Lopes Simonian, Federal
University of Pará. Belém, Brazil.

PhD. Eduardo Saguier, Ph.D. Washington
University, St. Louis, Missouri (USA), Argentina.

PhD. Daniela S. Veas Iniesta, Institute of
Engineering Economics and Humanities, Moscow Aviation
Institute (National Research University), Moscow, Russia.

PhD. Tatsiy Vasyi Ya. Doctor of Legal Sciences,
Professor, Rector of Yaroslav Mudryi National Law
University, Ukraine.

PhD. Danilyan Oleg G., Doctor of Philosophical
Sciences, (D.Sc.), Professor, Head of the Department of
Philosophy, Yaroslav Mudryi National Law University,
Ukraine.

PhD. Osadchenko Inna Ivanovna, Doctor of
pedagogical sciences, professor, department of pedagogy
and educational management Uman state pedagogical
university named Pavlo Tychyna, Ukraine.

PhD. Reyber Parra, Doctor in Education, University
of Zulia, Venezuela.

PhD. Olga Vladimirovna Trischuk. Doctor of Social
Communications, Professor. Horizons of Printing.
Ukraine.

PhD. I.S. Pinkovetskaia, Department of Economic
Analysis and State Management, Ulyanovsk State
University, Ulyanovsk, Russia.

PhD. Olga Kiseleva, Ulyanovsk State University,
Ulyanovsk, Russia.

Tetiana Faichuk, O. O. Potebnia Institute of
Linguistics of the National Academy of Sciences of
Ukraine, Kyiv, Ukraine.

Nadia Figol, National Technical University of
Ukraine Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv,
Ukraine.

PhD. Popovych Ihor Stepanovych. Doctor of
Psychological Sciences, Full Professor of Department
General and Social Psychology, Kherson State University,
Kherson, Ukraine.

Ph.D. Denise Machado Cardoso, Federal
University of Para. Brazil.

PhD. Aleksandr Alekseevich Korostelev, doctor of
pedagogical sciences, associate professor. Director of the

Center of scientific journals Federal State Budget
Educational Institution of Higher Education «Togliatti
State University»

PhD. Olga I. Vaganova. Minin Nizhny Novgorod
State Pedagogical University, Russia.

Comité científico

Dr. Ademar Santos de Araújo. Grupo de Pesquisa
do Centro de Educação Popular e Pesquisas. Econômicas
e Sociais (CEPPES). História Contemporânea/Educação,
Centro Universitário Uni-Araguaia, 2018.

Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior. Doctor Sistema
de Cultivo. Doctor en Sistema de Cultivo, Coordinador del
Centro de Investigación de Fitotecnica, Profesor Titular en
UniFIMES - Centro Universitario de Mineiros. Research
Group UniFIMES – Centro Universitário de Mineiros. Brasil.

Dr. Carlos Alberto Batista Santos, Dr. en
Etnobiología y Conservación de la Naturaleza. Profesor e
investigador de la Universidad Estatal de Bahía,
coordinador del programa de posgrado en ecología
humana y gestión social y ambiental.

Dr. Clarimar José, Coelho. Doutor em Engenharia
Eletrônica y Computación, 2002. Laboratório de
Laboratorio de Computación Científica / Pontificia
Universidade Católica de Goiás.

Dr. Ressiliane Ribeiro Prata-Alonso. Centro
Universitário Araguaia, researcher, teacher, coordinator
Extension, Research and Graduate Studies Center. Post
doctoral, Environmental Sciences.

Dr. Saura, Soraia Chung. Professor at School of
Physical Education and Sports. Play, Sports, Games, Body
knowledge, Philosophy, Education. Research Group PULA
Centro de Estudos Socioculturais – CESC 2010.
Universidade de São Paulo, Brasil.

Dr. Darci Schnorrenberger. Universidade Federal
de Santa. Doutorado em Gestão de Negócios, 2005.
Professor Associado no Departamento de Ciências
Contábeis; PPGC e PPGCG, 2007. Brasil.

Dr. Emil José Hernández – Ruz. Dr. Genetic and
Molecular Biology. 2010. Universidade Federal do Pará,
Altamira, Brazil. Conservation Genetic and Amazonian
diversity. Brasil.

Dra. Priscilla Guedes gambale. Faculdade de São
Miguel do Iguaçu, Faei, Paraná, Brasil.

PhD. Zbigniew Kaźmierczyk, Department of
History of Literature at the Institute of Polish Language
and Literature at the University of Gdańsk (Poland),
associate professor. The head of the scientific and

research Laboratory of Ethnogenetic Literature, 1988, Polish.

Ph.D. Jesica Arcangeli, National Mammal Collection, Mexico.

Ph.D. Ademir Araujo da Costa, Federal University of Rio Grande do Norte. Brasil.

Ph.D. Nyuara Araujo da Silva Mesquita, Federal University of Goiás. Brasil.

Ph.D. Paulo Moreira Pinto, Federal University of Para, Brasil

Ph.D. Marcio David Macedo Da Silva, Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, pelo Núcleo de Altos Estudos Amazônicos (NAEA), da pela Universidade Federal do Pará. Consultor de Projetos na empresa Análise Consultoria em Pesquisa de Mercado e Comunicação.

Ph.D. Rafael Gerardo Arce, Doctor en Humanidades y Artes con Mención en Literatura. Docente Universidad Nacional del Litoral – CONICET. Argentina

Ph.D. Carlos Ángel Arboleda Mora, Fundacion Universitaria Catolica del Norte, Colombia.

PhD. Pablo Martínez Calleja, Leuphana University Lünenburg, Germany.

PhD. Isabel Contreras, Universidad Iberoamericana, Cd. De México, Mexico.

Ana Cristina Rocha Silva, historian, Phd. Socioenvironmental Development of the PPGDSTU / NAEA / UFPA and professor of the UNIFAP (Federal University of Amapa).

M.Sc. Libardo Motta, Magíster en Ciencias Naturales y exactas, Universidad Nacional de Colombia.

Dr. Pablo Vommaro, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Ph. D. Jorge Jesús Villasmil Espinoza, Universidad del Zulia, Venezuela.

Dr. Luis Antonio García Gutiérrez, Universidad de los Andes – Universidad de Toulouse, Francia.

Dr. Fredy Alexis Rivera Angel NAEA Universidad Federal de Pará, Brasil.

MsC. Sergio Daniel Cubides Cubillos, Doutorando no Programa Interunidades em Biotecnologia (IPT/USP/Instituto Butantan), Universidade de São Paulo, Instituto de Ciências Biomédicas - SP Brasil.

Ph. D. Angela Maria Alvarez Gómez, Post-Doctoral fellow Centre of Excellence in New Target Discovery, Butantan Institute, Sao Paulo. Brasil.

El contenido de los artículos y reseñas publicadas es responsabilidad de los autores y no refleja el punto de vista u opinión de la Revista Científica del Amazonas

Los artículos de la Revista Científica del Amazonas se publican bajo los términos de la licencia Creative Commons CC-BY

Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



PRIMATE

Calle 15 N. 1-72

Florencia- Caquetá-Colombia-Suramerica

<https://revistadelamazonas.info/index.php/amazonas>

CONTENIDO

Students' perceptions of Artificial Intelligence in EFL learning.....	5
Diversidad y composición florística del bosque semideciduo mesófilo del recinto La Cruz, Manabí, Ecuador.....	19
Experiencias escolares para la acción climática y la reconstrucción civilizatoria: una sistematización pedagógica desde el piedemonte amazónico colombiano.....	31
Evaluación de un modelo predictivo de Competencia Digital Docente usando técnicas de aprendizaje automático.....	43
Defender la vida en territorios de postconflicto: educación para la justicia ecológica en Los Alpes, Medina, Cundinamarca.....	64
Efecto de la masa de grano y volteo en la calidad fisicoquímica y sensorial del cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) en la Amazonía Colombiana.....	79
Responsabilidad Social Universitaria e Investigación Acción Participativa para la soberanía alimentaria desde un huerto agroecológico universitario. México.....	95
Evaluación de sustratos para la incubación y eclosión de la mosca soldado negra (<i>Hermetia illucens</i>).....	113

Students' perceptions of Artificial Intelligence in EFL learning¹

Percepciones de los estudiantes sobre la inteligencia artificial en el aprendizaje del inglés como lengua extranjera

Brayan Fernando Artunduaga-Sánchez²  , Paola Julie Aguilar-Cruz³  ,
Julián David Mejía-Vargas⁴  

Master's student in Education at Universidad de la Amazonia. Specialist in Pedagogy, Colombia.²
PhD (c) in Education and Environmental Culture; Master in Education; Specialist in Pedagogy. Teacher and Researcher at Universidad de la Amazonia, Colombia.³

Master in Education. Professor of Applied Linguistics and English Literature at Universidad de la Amazonia, Colombia.⁴

ISSN 2619-2608

DOI: <https://doi.org/10.34069/RA/2026.17.01>

Cómo citar:

Artunduaga-Sánchez, B.F., Aguilar-Cruz, P.J., & Mejía-Vargas, J.D. (2026). Students' perceptions of Artificial Intelligence in EFL learning. *Revista Científica Del Amazonas*, 9(17), 5-18. <https://doi.org/10.34069/RA/2026.17.01>

Recibido: 31 de octubre de 2025

Aceptado: 2 de febrero de 2026



Abstract

This article aims to describe 10th-grade students' perceptions of the use of Artificial Intelligence in English Language Learning. Using a mixed-method design, data were collected from 159 students through surveys and from 10 students through semi structured interviews. The findings reveal that students reported positive experiences, appreciating AI's immediacy, accessibility, and motivational potential. However, they also identified limitations such as inaccurate responses, internet dependence, and reduced creativity when overusing these tools. The results also highlight a gap between students' independent use of AI and its limited presence in formal classroom instruction. In addition, students expressed the need for teachers to guide them in using AI ethically and effectively. Overall, the study emphasizes the importance of developing AI literacy and critical awareness in English as a Foreign Language education.

Keywords: Artificial intelligence, english language learning, student perception, education.

Resumen

Este artículo tiene como objetivo describir las percepciones de los estudiantes de grado décimo sobre el uso de la Inteligencia Artificial en el aprendizaje del inglés. Utilizando un diseño de método mixto, se recopilaron datos de 159 estudiantes a través de encuestas y de 10 estudiantes mediante entrevistas semiestructuradas. Los resultados revelan que los estudiantes reportaron experiencias positivas, valorando la inmediatez, accesibilidad y el potencial motivacional de la IA. Sin embargo, también identificaron limitaciones como respuestas inexactas, dependencia del internet y una reducción de la creatividad cuando se hace un uso excesivo de estas herramientas. Los resultados también evidencian una brecha entre el uso independiente que los estudiantes hacen de la IA y su presencia limitada en la enseñanza formal en el aula. Además, los estudiantes expresaron la necesidad de que los docentes los orienten en el uso ético y efectivo de la IA. En general, el estudio enfatiza la importancia de desarrollar la alfabetización en IA y la conciencia crítica en la enseñanza del inglés como lengua extranjera.

Palabras clave: Aprendizaje del inglés, educación, inteligencia artificial, percepción de estudiante.

¹This article compiles and summarizes the research findings derived from the master's thesis titled "The Perception of Artificial Intelligence for English Language Learning" conducted as part of the requirements for the Master's Program in Education at Universidad de la Amazonia.

Introduction

The use of Artificial Intelligence (AI) has become widespread in the education setting, the field of English Language Learning (ELL) being not an exception. Students can use AI in this environment to access information and to actively acquire English language (Atencio-González & Criollo-Ñato, 2025; Robayo-Pinzón et al., 2023). Such new practices are transforming the usual nature of the ELL classrooms (Caiza et al., 2025; Guanuche et al., 2025), on the other hand, technology is no longer an additional supplement but a necessary element of the student's self-learning process.

Although the use of AI in education is rapidly expanding, very few studies have taken place regarding the perception of AI-enhanced language learning tools to students. These perceptions are also essential to understand because they are likely to influence the confidence and readiness of students to use AI in ELL (Castillo-Cuesta et al., 2025; Davis, 1989; Nelson et al., 2025; Kessler, 2018). The attitude of students towards technology often dictates whether they will accept or decline the use of this kind of innovation, hence the need to clarify how they perceive and experience AI for ELL in educational institutions (Insuasty et al., 2025; Zambrano Rodriguez et al., 2025).

Though the research on the intersection of AI and education is growing in scholarly research, most of the existing studies considered the intersection in the higher education context (Acosta-Enríquez et al., 2025; Arbulú Ballesteros et al., 2024; De La Torre & Baldeón-Calisto, 2024; Vargas Bernuy et al., 2025; Vera, 2023) or on the perspectives of teachers (Aguilar-Cruz & Salas-Pilco, 2025; Bottiglieri et al., 2025). As a result, there is a significant gap as regards to secondary school students and especially the Latin American students regarding their attitudes and use of AI tools to learn English. To fill this gap, the following research question was formulated in this study: What are the perceptions of 10th-grade students in Florencia, Colombia, regarding the use of AI as a tool for ELL? Therefore, the study pursues three specific objectives: (1) to identify general knowledge and use AI tools by 10th graders, (2) to analyze 10th graders' experiences regarding the integration of AI in their ELL process, and (3) to describe the perceived benefits and challenges of using AI for ELL from the perspective of 10th graders.

The article is organized as follows: in the first section it presents the theoretical framework, describing AI in language education and students' perceptions. Later, it outlines the methodological design of the study. Then, it reports the main findings and discusses the implications of these findings for ELL. Finally, it presents the conclusions.

Theoretical Framework

Artificial Intelligence in Language Education

AI in education includes many types of smart tools, but the fast growth of Generative Artificial Intelligence (GenAI) has been notable and widespread. GenAI is a type of AI that can create content from scratch (text, picture, audio, video and more) by learning patterns from large amounts of data (Cabrera-Solano et al., 2025). Earlier AI tools mostly checked or classified information, like grading essays or finding grammar mistakes, but GenAI makes completely new content from user prompts (Dwivedi et al., 2023). Hence, GenAI works mainly through large language models like OpenAI's GPT, XAI, Gemini, Deepseek, among others. These tools are trained using significant amounts of data; as a simple example, textual inputs allow them to produce grammatically correct and meaning-bearing sentences (Muñoz et al., 2025). Therefore, GenAI is an innovative tool in the educational setting especially in the language acquisition field.

This technology offers new possibilities to language learners: GenAI can generate reading passages with different levels of difficulty, demonstrate the natural conversation, imitate the real conversations, and even clarify to them the reasons why a particular utterance might sound more natural (Kohnke et al., 2023, 2025; Rojas-Paucar et al., 2025). Regardless of such benefits, GenAI implementation in schools creates some challenges. It also poses relevant questions about academic integrity and authorship and there is still a risk of bias in case the learners do not critically assess the produced information. The study habits can be transformed by GenAI positively and negatively (Andrade-Girón et al., 2025). Although GenAI can provide strong tools capable of serving the purposes of students of the ELL it is up to the student to learn how to effectively use the tools and gain real advantages. In that regard, perceptions of the students need to be understood so that a constructive intervention can be designed to promote their learning patterns.

The recent research confirms that AI has a significant part in ELL; AI is capable of adjusting to the needs of individual learners, provide them with individual feedback, and consolidate vocabulary, pronunciation, and writing skills (Alqaed, 2024; Ricart, 2024). Such mechanisms also enhance independent learning and strengthen the self-confidence of the learners in English practice (Kohnke et al., 2025; López-Minotta et al., 2025). However, the success of the AI adoption depends on the digital skills of the teachers and the readiness of students to use these devices in a responsible way (Polakova & Ivenz, 2024; Polakova & Klimova, 2024). At the same time, teachers' perceptions and attitudes toward these technologies play a key role in shaping their pedagogical impact (Bottiglieri et al., 2025). Therefore, the pedagogical influence of AI in ELL will not happen only due to the adaptive and supportive nature of the latter, but rather the level to which educators and learners are prepared to utilize those sources efficiently and in a morally responsible way.

In line with the necessity to examine the perception and adoption of AI in the context of local environments, Aguilar-Cruz & Salas-Pilco (2025) also performed one of the limited studies on the matter in Colombia. The authors investigated the K-12 educators in Florencia, Caquetá, with the discussion of technology access, teacher training, and ethical issues. They found that teachers appreciated AI because of instructional resources development, though they were concerned about their personal skill levels in using AI, inequality in access to such resources, and the ethical concerns. Though the focus of the study was on teachers, its results can be generalized, since the realization of the lack of preparation by the teacher can suggest the possibility that students are on their own exploring AI tools without proper supervision or guidance.

Students' Perceptions

In education, perception is defined as interpretations and appraisals of learning experiences by learners, which are structured by cognitive, affective and contextual factors and not only by their sensory processes. In the learning contexts, the perception of students is directly connected with the ideas of beliefs, attitudes, expectations and previous experiences that contribute to the way students' approach and assess learning situations. Educational research and technology adoption studies note that the perceptual aspects are considered to be influential in motivation and reaction of learners towards pedagogical settings and technologies (Schunk, 2012; Acosta-Enríquez et al., 2024).

The importance of perception in this study lies in its well-established power to influence behavior and outcomes. Davis (1989) claims that an individual behavioral intention is determined by two perceptual factors. He called these factors (1) perceived usefulness and (2) perceived ease of use. Consequently, in ELL, this translates to whether students perceive AI tools effectively to improve language proficiency (usefulness) and whether they are intuitive and easy to interact with (ease of use).

Overall, students' perceptions are not guided by an independent process; instead, the students are influenced by the external influence and their past exposure to technology tools. According to this paper, some of the respondents cited the recommendations of peers and prior exposure to digital platforms as the reasons that assisted them in their early experience with AI-based tools. This observation relates with the importance of social influence as it is advanced in the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology, in which users' perceptions and intentions are determined by their social context and their previous experience with technology (Venkatesh et al., 2003). In this way, suggestions and previous experience with digital tools can strongly influence how students perceive AI tools for ELL. Kessler (2018) explains that when learners have a good opinion about a tool, they usually accept it faster, participate more, and feel more motivated, so, perceptions affect how students learn a language. For this reason, studying how AI is perceived in ELL includes looking at how this technology becomes part of daily learning, both inside and outside the classroom.

Methodology

The research design adopted in this study is a convergent mixed-method case study conducted as an exploratory investigation. According to Creswell (2012), convergent mixed-method designs involve the concurrent collection and analysis of quantitative and qualitative data, which are then integrated to provide a comprehensive understanding of the research problem. The quantitative measures used in the current investigation gave the general idea of the trends of AI use and attitudinal orientation of students and qualitative narratives gave more data about students' own

experiences, reasons, and issues faced. This integrative method has enabled triangulation and validation of the results which allowed a deeper and more contextualized interpretation of the empirical results.

Participants

The study was conducted with 10th-grade students from three public schools in Florencia, Caquetá: Jorge Eliécer Gaitán School, Juan Bautista Migani School, and Agroecológico Amazónico Buinaima School. These institutions were selected through convenience sampling, as their administrative and teaching staff expressed interest in the project and provided full support for the data collection process. In total, 159 students participated in the survey (see Table 1), while 10 students were selected through voluntary participation to take part in the semi-structured interviews (see Table 2) to provide more detailed accounts of their experiences.

Table 1.
Sociodemographic Information of Survey Participants

Characteristics	Category	n	%
School	Jorge Eliécer Gaitán	85	53.5
	Juan Bautista Migani	43	27.0
	Agroecológico Amazónico Buinaima	31	19.5
Age	14	3	1.9
	15	49	30.8
	16	58	36.5
	17	36	22.6
	18	13	8.2
Gender	Female	80	50.3
	Male	77	48.4
	Prefer not to say	2	1.3
Socioeconomic Status	1	116	73.0
	2	28	17.6
	3	4	2.5
	4	4	2.5
Current Place of Residence	Florencia (Urban Area)	140	88.1
	Florencia (Rural Area)	17	10.7
	Another Municipality in the Caquetá Department	2	1.3

Note. Own elaboration.

Table 2.
Sociodemographic Information of Interview Participants

Characteristics	Category	n	%
School	Jorge Eliécer Gaitán	3	30.0
	Juan Bautista Migani	3	30.0
	Agroecológico Amazónico Buinaima	4	40.0
Age	14	1	10.0
	15	2	20.0
	16	4	40.0
	17	2	20.0
	18	1	10.0
Gender	Female	7	70.0
	Male	3	30.0

Note. Own elaboration.

Data collection instruments

Two instruments were used to collect data for this study: a survey and a semi-structured interview. The survey was adapted from previously validated instruments developed by Aguilar-Cruz & Salas-Pilco (2025) and Vera (2023). The adaptation process involved contextual and linguistic adjustments to ensure relevance to the participants'

educational level and local context. In addition, to establish content validity, the adapted survey was reviewed by two experts in EFL, after that, minor modifications were made based on their feedback. Hence, our survey was designed to gather quantitative data from 10th-grade students in public schools of Florencia, Caquetá. It consisted of three sections: (1) general information, including age, gender, and socioeconomic status; (2) general perceptions of AI, perceptions and experiences related to the use of AI in ELL; and (3) expectations toward teachers' integration of AI tools in English classes. The items combined multiple-choice questions, Likert scale statements, and open-ended responses to capture students' knowledge, usage patterns, perceived benefits, and challenges when using AI.

A sub-group of students was given semi-structured interviews to be able to acquire qualitative information about their conceptualization and their practical experiences with AI in their processes of ELL. The interview consisted of five guiding questions that related to how students define AI, how they saw it useful to ELL, the most commonly used tools, the examples of typical tasks that students use with the help of AI, and the main challenges they faced when using these technologies. Together, these means helped obtain a complex view of the perceptions and practices of students, which allowed triangulation and more subtle data interpretation.

Data analysis

The analysis was conducted in accordance with the conceptualization of triangulation suggested by Creswell (2012), according to which the results of surveys, interviews, and available literature were methodically compared. The data collected in the surveys were analyzed through the descriptive statistics to systematize and summarize the responses, thus explaining any overall trends. With the interview data, the sequential coding methodology was used; the first stage was open coding that segmented responses to discrete units in order to discover distinguishing ideas; the second step was the axial coding that stratified the ideas into general categories; the third step was selective coding, which relates the categories to determine the dominant themes of the research. This repetitive process produced a deeper insight into the results of the research.

Ethical Considerations

Before starting the data collection process, three schools in which the research was to be conducted consented to the study on 10th-grade students. The purpose and procedures of the study were given to all the participants confidentially and their participation was optional. Every student, along with his or her parents or legal guardians, submitted the informed consent form provided by the schools and also signed another consent form, which was prepared by the researchers to be sure that rights and participation was fully understood. This protocol was carried out to guarantee the adherence to the principles of ethical research in the case of minors and protect the privacy and autonomy of the participants.

Findings and Discussion

The given section describes and analyses the main results obtained during the survey and semi-structured interviews with 10th-grade students of three state schools in Florencia, Caquetá. Findings are arranged in quantitative and qualitative elements as a way of coming up with a comprehensive understanding of how students perceive AI as a learning tool used in ELL.

General Student Knowledge and Use of AI

The first group of results explores the level of knowledge and usage of AI tools among students, based on the assumption that the knowledge of AI is the precursor of readiness to adopt these technologies in ELL.

Table 3.
Knowledge and Use of Artificial Intelligence

Variable	Options	n	%
Knowledge about AI	I know what AI is	83	52.2
	I have limited knowledge about AI	56	35.2
	I know a lot about AI	11	6.9
	I am not sure what AI is	5	3.1
	I have never heard about AI	4	2.5
Use of AI Tools	Yes	154	96.9
	No	4	2.5
	Not sure	1	0.6
Experience Using AI	Very positive	32	20.1
	Positive	90	56.6
	Neutral	33	20.8
	Negative	1	0.6
	Very negative	0	0
	I have not used AI	3	1.9

Note. Own elaboration.

The statistics show that 96.9% of the interviewees had used at least one AI tool, with 56.6% having a positive experience (see Table 3). Such a high level of utilization implies that 10th-grade students in Florencia already know about AI technologies and are already integrating them into daily learning processes. In addition, 52.2% of students said they were aware of what AI is, compared to 35.2% only mentioned they do not know much about such tools, which also indicates a rather widespread awareness among adolescents in this situation.

These findings are in line with the growing world trend of using AI among younger readers. Alqaed (2024) also reported similar patterns in Saudi Arabia, where the majority of secondary students had the knowledge of AI and used it to aid their ELL with the help of translation, grammar-checking, and vocabulary tools. The high usage seen herein could thus be the reflection of the rising availability of AI through mobile applications as well as social media platforms that has broken the boundary between formal and informal learning sites. Moreover, the positive attitudes, which were observed between students in Florencia, find an echo in Kohnke et al. (2025), who discovered that students see generative AI tools as useful in personalized English practice and language production. The authors underline that the ability of AI to give instant feedback, increase autonomy, and self-paced learning is appreciated by learners, which explains why more than a half of the Colombian students claimed the positive experience. However, the results also show that 35.2 % of students keep only partial information about AI, which demonstrates the presence of unequal distribution of digital literacy. Polakova & Ivenz (2024) have also reported that students do not have a comprehensive understanding of the operation of AI tools and the way they can successfully make use of them even though the access to these tools has been increased.

This implies that there is a necessity of the explicit pedagogical mediation, whereby the instructors do not only teach learners the operative elements of AI, but also motivate the learners in terms of when and why to use such tools. Surprisingly, even though 96.9% of students claimed to have used AI, merely 6.9% of them indicated that they had an in-depth knowledge about it, which suggests that utilization is not necessarily equal to a profound understanding of AI. This disparity between application and insight is consistent with Peña-Acuña & Durão (2024) who found that most future educators and students use AI-based tools intuitively without necessarily understanding how they work or what their shortcomings are.

These results emphasize the need to consider AI literacy, including technical and critical consciousness, so that students are able to use these technologies in a responsible and meaningful way. Lastly, the overwhelming number of positive reports and the lack of negative ones (only 0.6%) indicate a positive environment in which AI can be incorporated into ELL. Nevertheless, to successfully introduce AI into education, as Aguilar-Cruz & Salas-Pilco (2025) argue, the access and attitudes alone are not enough because the implementation process depends on the readiness of teachers and ethical issues. As a result, the current state of students in Florencia seems to be permissive and willing to work with AI, but their efficient and sustainable use will need pedagogical assistance and digital education.

Students' perceptions of AI in ELL

This part investigates the perceptions of students about the AI as applied in ELL. These statistics are critical in building a comprehensive picture of the attitudes, motivation, and concerns of learners with the use of AI in ELL.

Table 4.
Students' perceptions of AI in ELL.

Variable	Options	n	%
Positive Aspects of AI in ELL	Helps me translate words or phrases	131	82.4
	Corrects my writing mistakes	54	34.0
	Helps me practice vocabulary and grammar	50	31.4
	Provides quick explanations of topics I don't understand	35	22.0
	Helps me improve pronunciation	35	22.0
	Motivates me because it is interactive and dynamic	13	8.2
Negative Aspects of AI in ELL	Sometimes gives incorrect or unclear answers	110	69.2
	Makes me depend too much on technology	44	27.7
	Can be difficult to use without internet	41	25.8
	Limits my creativity or personal effort	26	16.4
	Does not always adapt to my English level	18	11.3
Perceived Limitation of AI in Learning English	No	63	39.6
	Not sure	54	34.0
	Yes	42	26.4

Note. Own elaboration.

According to Table 4, a significant majority of students (82.4%) indicated the use of AI as a tool to translate words or phrases, followed by those who use it as a tool to correct writing mistakes (34%) and to train grammar and vocabulary (31.4%). The fact that translation was predominantly identified by students as a perceived advantage suggests a functional but potentially uncritical use of AI translators. This finding can be interpreted through Bowker's (2021) argument that machine translation literacy is necessary for learners to engage critically with AI translation tools and to become aware of their limitations and potential language biases.

Additionally, our results also indicate that students mostly see AI as a useful, language-support tool and not as a creative or interactive companion. These findings are consistent with the study by Alqaed (2024), which recorded that Saudi ELL students use AI primarily to translate texts and receive grammatical advice instead of to practice writing, and with the analysis of how ChatGPT could help in improving written expression in English learning through facilitating linguistic accuracy and learner autonomy. Therefore, AI seems to be seen mostly as a supportive tool that enhances the mechanical side of ELL.

Moreover, the data also show that 22% of respondents use AI to explain things or enhance pronunciation, and 8.2% of users are also motivated by its interactivity and dynamism. These trends are reflective of the findings of Kohnke (2024) & Kohnke et al. (2025), in which learners prioritized the immediacy and personalization of AI technologies, especially when the self-confidence is built through the use of instant feedback. Additionally, López-Minotta et al. (2025) revealed that AI-based systems provide rich oral expressiveness through the opportunities of flexibly practicing, which helps to reduce anxiety and increase engagement. All these findings point to the fact that AI not only adds to the cognitive dimension of learning but also to the affective one, thus encouraging students to practice independently.

However, learners also found serious impediments. Most of the respondents (69.2%) stated that AI would sometimes give wrong or vague responses, and about a quarter of them expressed an apprehension about excessive reliance on technology (27.7%) and internet addiction (25.8%). The issues bring up parallels to the cautions by Muñoz et al. (2025) regarding the risk of poor quality of learning and academic dishonesty when inaccuracies and blind use of generative AI, like ChatGPT, are used. Moreover, 16.4 % have indicated that AI restricts the process of creativity or individual effort, which can also be supported by Dwivedi et al. (2023), who state that generative systems can assist in creating intellectual apathy without proper teacher assistance. Interestingly, 39.6% of students did not

feel AI limited their ELL, even though 34% were unsure, possibly due to a transition period in AI literacy where students are aware of its benefits but do not have the critical awareness of its dangers.

Table 5.
Use of AI Tools in ELL

Variable	Options	n	%
AI tools used for English learning	ChatGPT	91	57.2
	Duolingo (with AI features)	41	25.8
	Translators or AI-based apps (Google Translate, DeepL)	38	23.9
	Gemini	22	13.8
	Luzia	23	14.5
	Deepseek	10	6.3
	Grammarly	6	3.8
	None	34	21.4
AI helps improve my English learning	Agree	67	42.1
	Strongly Agree	28	17.6
	Neutral	58	36.5
	Disagree	4	2.5
	Strongly Disagree	2	1.3
Using AI tools motivates me to practice English	Agree	62	39.0
	Strongly Agree	19	11.9
	Neutral	64	40.3
	Disagree	8	5.0
	Strongly Disagree	6	3.8

Note. Own elaboration.

As shown in Table 5, most students (57.2% of them) reported using ChatGPT as the main tool in ELL, after which came Duolingo (25.8% of those) and AI-based translators (Google Translate or DeepL) (23.9% of them). This ChatGPT dominance is an indication that the generative conversational models have quickly found their way into the learning ecosystem of students. Similarly, Kohnke et al. (2023) found that participants use ChatGPT to translate, check their grammar, and ideate and appreciate its conversational and responsive quality.

On the perceived impact, 59.7% of students agreed or strongly agreed that AI helped them to develop the English language and 50.9% of students stated that they were more motivated to practice when they received AI tools. This affirmative position is in line with the results of Polakova & Ivenz (2024), who report that AI feedback tools promote writing accuracy and writing motivation among learners and that AI increases student engagement because it makes the learning experience more personal and instant. The Technology Acceptance Model (TAM) can also be used to explain the motivational potential that can be seen among the students. The participants also emphasized that AI tools were most interesting when they were viewed as useful in academic work and easy to operate, in particular, in the quick feedback provision and language practice assistance. These perceptions are consistent with the fundamental aspects of TAM, which are the perceived usefulness and perceived ease of use (Davis, 1989) which have been considered as key factors that influence acceptance of new technologies being adopted by users (Venkatesh et al., 2003). To this end, the satisfaction and motivation of students would probably be based on the immediate assistance and perceived gains that AI provides in the process of learning.

Additional qualitative evidence points to the fact that students see AI as an educational support and a stimulating force, but at the same time, they recognize the need to mediate and critically use it through the teacher. They support the availability of AI and its urgency, but they are aware of its limitations, especially on precision and trustworthiness (see Table 6).

Table 6.
Emerging Categories from Students' Semi-Structured Interviews on the Use of AI in ELL

Theme	Description	Example quotes
Perceived Usefulness for English Learning	Most participants viewed AI as a supportive tool for vocabulary, grammar, and translation tasks.	"AI is like a robot that helps you find information faster" (S2) "It's a tool that understands what you ask" (S1)
Motivation and Engagement	AI tools were perceived as interactive and motivating, increasing students' willingness to practice English outside class.	"I say that AI could help us with English, since English is very complicated for me and, thanks to AI, I can help myself faster and I can understand and translate things more easily" (S6) "Yes, know I have AI to help me understand English homework and practice at home" (S9)
Autonomy and Independent Learning	Students expressed that AI encourages self-study and provides feedback without depending entirely on the teacher.	"Now, I can use AI to practice pronunciation at any moment" (S8) "Before an exam, I give AI the topics and it helped to study with examples" (S3)
Challenges and Limitations	Students mentioned issues such as unreliable answers, internet dependency, and difficulty recognizing errors.	"The problems I've had are that sometimes it translates incorrectly or gives me some wrong words" (S4) "I didn't understand a worksheet, so AI gave me the answers. The teacher checked my answers and most of them were wrong" (S10)
Expectations Toward Teachers	Participants expect teachers to provide guidance on responsible and effective AI use, integrating it meaningfully in class.	"We don't use devices in class, so we don't know how to use AI properly for English" (S7) "The teachers should include AI use in the classroom, I can search and discuss the findings with the teachers" (S5)

Note. Own elaboration.

Table 6 suggests that students always stated that AI is a helpful tool to use when developing vocabulary, correcting grammar, and translating. The claim that AI is a robot that helps you find information faster is a manifestation of a functional and instrumental view of AI, which is also common among learners, as reported by Alqaed (2024) and Polakova & Klimova (2024), who discovered that simplifying linguistic tasks is the priority of AI. This image implies that AI is linked by students with effectiveness and academic support instead of more profound communication.

Students' Expectations Regarding Teachers' Integration of AI in ELL

The expectations of students on the integration of AI in ELL can be the valuable insights to understand how the students imagine the balance of human and technological mediation by teachers. The results provided in Table 7 show that students have high awareness of the potential of AI, but they also consider teachers as the important mediators in assisting them to apply these tools in purposeful, ethical and effective way.

Table 7.
Students' Expectations Toward Teachers' Integration of AI in ELL

Variable	Options	n	%
Teachers currently integrate AI in English classes	No	93	58.5
	Not sure	44	27.7
	Yes	22	13.8
Would like teachers to use AI tools to teach English	Yes	94	59.1
	Not sure	41	25.8
	No	24	15.1
Students' expectations about AI integration by teachers	Explain how to use AI to improve vocabulary and grammar	103	64.8
	Use AI for pronunciation and listening practice	77	48.4
	Use AI to help correct my writing	52	32.7
	Propose interactive activities using AI	48	30.2
	Teach how to verify the information provided by AI	29	18.2

Note. Own elaboration.

The data indicate that 58.5% of students said that AI is yet to be implemented in their English classes and only 13.8% said that it is used by teachers at the moment. Meanwhile, most (59.1%) of them said they would like to see teachers use AI tools in teaching. Such findings indicate that there is a vivid disparity between the increasing use of AI by students outside of school and its minimal use in classrooms. This trend can be explained by Talan (2021) as a pedagogical lag in the implementation of AI, in which institutional preparedness and teacher training have not been as dynamic as technological innovation. In a similar study, Umpiérrez Oroño et al. (2025) had found out that even though the use of AI tools is common among university students in Uruguay, it is not formally integrated into the curriculum because of the lack of digital infrastructure and teacher training.

The expectations of students also highlight their aspiration to have facilitated and practical learning with AI. Most (64.8%) of the teachers expected AI to be used to help students gain vocabulary and grammar, and almost half (48.4%) wanted AI to be used to enhance their pronunciation and listening exercises. This observation is also similar to López-Minotta et al. (2025), who have shown that the application of AI-based systems has a strong positive influence on the oral expression development of students as it provides them with constant pronunciation feedback and allows them to engage in verbal communication. Such preferences can be supported by Peña-Acuña & Durão (2024) because they indicated that pre-service teachers believe AI to be particularly helpful in supporting linguistic accuracy and understanding by engaging with interactive activities and pronunciation feedback. These expectations can also be interpreted as the learners realizing the potential of AI as a formative and adaptive tool, as was the case with Hwang et al. (2020), who are focused on the ability of AI to offer personalization of language learning based on the analysis of the learner input and the following modification of practice.

A smaller but also significant percentage of students (32.7%) in our study predicted that teachers would use AI to correct writing, and 30.2% proposed the application of AI in interactive classroom activities. The results indicate that learners consider AI as a source of feedback and as an agent of active learning processes. Ivanova et al. (2024) also report that students are more active when AI is applied to support collaborative and creative assignments by educators instead of as an assessment method. Their study highlights that the pedagogical usefulness of AI lies in the way in which the teachers organize the interactional learning processes that encourage engagement and innovation.

Besides this, we established that 18.2% of students wanted their teachers to educate them on how to fact-check the information given by AI and this indicates a growing realization that there was a need to be both digital and critical literate. This is one of the anxieties that both Wang et al. (2024) suggest regarding AI literacy, because students and teachers need to learn how to critically assess AI-generated content to prevent false information and dependence. Similarly, Hwang et al. (2020) emphasize that creating ethical and critical competencies is imperative to make sure that AI becomes an augmentor of human intelligence and not a replacement of it.

Combined, these results help to understand that students expect teachers to have a complex role: they should act as teachers of technology, language, and moral teachers. Although learners value the effectiveness and flexibility of AI, they still depend on teachers to make the learning process more contextual and human and justify it. This is similar to Peña-Acuña & Durão (2024) and Ivanova et al. (2024), who state that the future of AI-enhanced education is in the pedagogically competent teachers who can employ AI in the communicative, reflective, and human-centered learning environments.

These results also indicate more general institutional and policy issues that determine the implementation of AI in schools. According to Ruiz & Gallagher (2025), a rural-urban digital divide in which infrastructures and professional development opportunities are disproportionate continues to be visible in national and regional education policy in Colombia. The existence of this inequality directly influences how teachers can address the expectations of students as far as AI is used in the classroom. In this regard, previous research has shown that despite the new AI technologies, the institutional support mechanisms and methodical teacher training are lacking in most education systems to enable such AI classrooms to be operated (Aguilar-Cruz & Salas-Pilco, 2025; An & Park, 2026). Such gaps should be filled to facilitate the attainment of a balance between the expectations of the students towards AI-aided learning and teaching, as well as the willingness of the teachers to integrate AI in teaching, the commitment of the institution to leverage the opportunities of technology, and equity in accessing such opportunities.

Conclusions

The researchers discovered that most of the tenth-grade students in Florencia are already conversant with and actively use the AI tools in ELL. Their theoretical proficiency, nonetheless, is more of a performative than an analytical one as most of them engage with AI intuitively, without having a thorough perspective of the mechanisms driving it. This implies that although the students are interacting online, there is still the necessity of teaching methods that can promote AI literacy and critical awareness. The popularity of the use of AI, like ChatGPT, Duolingo, and Google Translate, shows that AI already infiltrates the informal learning process of students, helping them learn vocabulary, learn grammar, and train translation skills outside the classroom environment.

It is concluded that students view AI as a helpful partner in their ELL pursuits, as it first and foremost provides instant feedback, personalized practice opportunity, and the feeling of autonomy. They value speed of accessing explanations and having the ability to practice on their own which increases self-confidence and motivation. However, they are aware of the significant weaknesses such as inaccuracies in answers, reliance on internet connection, and chances of overdependence on technology. These results are indicative of a compromise between excitement and caution, which proves that learners are just starting to realize the pedagogical potential as well as the ethical implications of language learning mediated by AI.

Besides, the research concludes that students made clear statements about the role of teachers in integrating AI into the classroom. They expect the teachers to not just use such tools as language drills but also educate them on proper and critical use. It means that the learners regard teachers as the inseparable mediators who can connect technological material with meaningful learning experiences. The statistics also imply that although students apply AI in non-formal education, they still prefer to have human instructions to make sure that these means are implemented in pedagogically reasonable fashion that would help to develop creativity and in-depth knowledge.

All in all, the results support the importance of further incorporation of AI literacy and critical pedagogical models into the teaching of English, particularly in public schools where technology and professional growth opportunities may be limited. Further studies should explore how the perceptions of teachers and their degree of readiness affect the experience of AI among students and how AI allows facilitating not only linguistic competence but also cultural and ethical reflection. Increasing the sample to other areas could shed light on the connection between socioeconomic and geographic factors and the relationship between students and AI in language learning.

Limitations

This study presents certain limitations that should be considered. First, the research involved a limited number of participants, as data were collected only from public schools that expressed interest and willingness to participate, which restricted the inclusion of a larger or more diverse sample. Second, the study relied exclusively on individual self-reported perceptions; we consider that the incorporation of additional qualitative techniques, such as focus groups, could have generated richer insights by allowing students to collectively reflect on their experiences and learn from the perspectives of their peers. Finally, from a methodological standpoint, the research process was designed as a case study, which prioritizes in-depth understanding over broad generalization. That means, we acknowledge that future research could adopt intervention-based or alternative methodological approaches to further explore how students' perceptions of AI in ELL develop through structured and sustained pedagogical experiences.

Bibliographic references

- Acosta-Enríquez, B. G., Reyes-Pérez, M. D., Huamani Jordan, O., Carreño Saucedo, L., Padilla-Caballero, J. E. A., Fernández-Alnkairano, A. E. F., ... Alarcón Bustíos, J. M. (2025). Exploring the determinants of the sustainable use of artificial intelligence in Peruvian university teachers: A structural equation modeling analysis. *Sustainability*, 17(7), 2834. <https://doi.org/10.3390/su17072834>
- Acosta-Enríquez, B. G., Ramos Farroñán, E. V., Villena Zapata, L. I., Mogollon García, F. S., Rabanal-León, H. C., Morales Angaspilco, J. E., & Saldaña Bocanegra, J. C. S. (2024). Acceptance of artificial intelligence in university contexts: A conceptual analysis based on UTAUT2 theory. *Heliyon*, 10(19), e38315. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38315>

- Aguilar-Cruz, P. J., & Salas-Pilco, S. Z. (2025). Teachers' perceptions of artificial intelligence in Colombia: AI technological access, AI teacher professional development and AI ethical awareness. *Technology, Pedagogy and Education*, 34(2), 219–238. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2025.2451865>
- Alqaed, M. A. (2024). AI in English language learning: Saudi learners' perspectives and usage. *Advanced Education*, 2024(25), 125–142. <https://doi.org/10.20535/2410-8286.318972>
- An, H., & Park, M. (2026). AI tools and fashion design education: Instructor perspectives on student challenges and design process tool support. *Fashion and Textiles*, 13(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40691-025-00452-9>
- Andrade-Girón, D., Marín-Rodríguez, W., Sandivar-Rosas, J., Carreño-Cisneros, E., Susanibar-Ramirez, E., Zuñiga-Rojas, M., & Ángeles-Morales, J. (2025). *Generative artificial intelligence in higher education learning: A review based on academic databases*. *Iberoamerican Journal of Science Measurement and Communication*, 4(1), 1–16. <https://doi.org/10.47909/ijsmc.101>
- Arbulú Ballesteros, M. A., Acosta Enríquez, B. G., Ramos Farroñán, E. V., García Juárez, H. D., Cruz Salinas, L. E., Blas Sánchez, J. E., ... & Farfán Chilicaus, G. C. (2024). The sustainable integration of AI in higher education: Analyzing ChatGPT acceptance factors through an extended UTAUT2 framework in Peruvian universities. *Sustainability*, 16(23), 10707. <https://doi.org/10.3390/su162310707>
- Atencio-González, W. J., & Criollo-Ñato, A. E. (2025). The influence of artificial intelligence on learning English as a second language among Ecuadorian students. *Cognopolis: Revista de Educación y Pedagogía*, 47, 78. <https://doi.org/10.62574/v47qnv78>
- Bottiglieri, L. I., Irrazabal, M. F., & Ramallo, C. (2025). Educators in transition: Unpacking Argentinean teachers' attitudes towards AI in higher education. *Íkala, Revista de Lenguaje y Cultura*, 30(1). <https://doi.org/10.17533/udea.ikala.355874>
- Bowker, L. (2021). Promoting linguistic diversity and inclusion: Incorporating machine translation literacy into information literacy instruction for undergraduate students. *The International Journal of Information, Diversity, & Inclusion*, 5(3), 127–151. <https://www.jstor.org/stable/48644449>
- Cabrera-Solano, P., Ochoa-Cueva, C., & Castillo-Cuesta, L. (2025). *Enhancing EFL higher education through Fliki videos: An artificial intelligence implementation approach*. *World Journal of English Language*, 15(1), 424–443. <https://doi.org/10.5430/wjel.v15n1p424>
- Caiza, G., Villafuerte, C., & Guanuche, A. (2025). Interactive Application with Virtual Reality and Artificial Intelligence for Improving Pronunciation in English Learning. *Applied Sciences*, 15(17), 9270. <https://doi.org/10.3390/app15179270>
- Castillo-Cuesta, L., Ochoa-Cueva, C., & Cabrera-Solano, P. (2025). Pre-service teachers' perceptions of the use of artificial intelligence in an English as a foreign language learning context. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 24(10), 818–841. <https://doi.org/10.26803/ijlter.24.10.39>
- Creswell, J. W. (2012). *Educational Research: Planning, conducting and evaluating quantitative and qualitative research*. PEARSON.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- De La Torre, A., & Baldeón-Calisto, M. (2024). Generative artificial intelligence in Latin American higher education: A systematic literature review. In A. Varol, M. Karabatak, C. Varol, & E. Tuba (Eds.), *2024 12th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS)* (pp. 1–7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISDFS60797.2024.10527283>
- Dwivedi, Y. K., Kshetri, N., Hughes, L., Slade, E. L., Jeyaraj, A., Kar, A. K., Baabdullah, A. M., Koohang, A., Raghavan, V., Ahuja, M., Albanna, H., Albashrawi, M. A., Al-Busaidi, A. S., Balakrishnan, J., Barlette, Y., Basu, S., Bose, I., Brooks, L., Buhalis, D., ... Wright, R. (2023). Opinion paper: "So what if ChatGPT wrote it?" Multidisciplinary perspectives on opportunities, challenges and implications of generative conversational AI for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, 71, 102642. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102642>
- Guanuche, A., Paucar, W., Oñate, W., & Caiza, G. (2025). Immersive Haptic Technology to Support English Language Learning Based on Metacognitive Strategies. *Applied Sciences*, 15(2), 665. <https://doi.org/10.3390/app15020665>
- Hwang, G.-J., Xie, H., Wah, B. W., & Gašević, D. (2020). Vision, challenges, roles and research issues of Artificial Intelligence in Education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 1, 100001. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2020.100001>

- Insuasty, A., Velásquez Villarreal, D., & Hernandez Burgos, M. (2025). *Revolutionizing language learning: The impact of AI in EFL education*. *Journal of English Language Teaching and Applied Linguistics*, 7(6), 01–08. <https://doi.org/10.32996/jeltal.2025.7.6.1>
- Ivanova, M., Grosseck, G., & Holotescu, C. (2024). Unveiling insights: A bibliometric analysis of artificial intelligence in teaching. *Informatics*, 11(1), 10. <https://doi.org/10.3390/informatics11010010>
- Kessler, G. (2018). Technology and the future of language teaching. *Foreign Language Annals*, 51(1), 205–218. <https://doi.org/10.1111/flan.12318>
- Kohnke, L. (2024). Exploring EAP students' perceptions of GenAI and traditional grammar-checking tools for language learning. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100279>
- Kohnke, L., Moorhouse, B. L., & Zou, D. (2023). ChatGPT for language teaching and learning. *RELC Journal*, 54(2), 537–550. <https://doi.org/10.1177/00336882231162868>
- Kohnke, L., Zou, D., & Su, F. (2025). Exploring the potential of GenAI for personalised English teaching: Learners' experiences and perceptions. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8, 100371. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100371>
- López-Minotta, K. L., Chiappe, A., & Mella-Norambuena, J. (2025). Implementation of artificial intelligence to improve English oral expression. *Multidisciplinary Journal of Educational Research*, 15(1), 43–71. <https://doi.org/10.17583/remie.16188>
- Muñoz, B. C., Nassaji, H., & Bello Carrillo, F. I. (2025). ChatGPT-generated versus human direct corrective feedback on L2 writing. *System*, 134, 103805. <https://doi.org/10.1016/j.system.2025.103805>
- Nelson, A. S., Santamaría, P. V., Javens, J. S., & Ricaurte, M. (2025). Students' perceptions of generative artificial intelligence (GenAI) use in academic writing in English as a foreign language. *Education Sciences*, 15(5), 611. <https://doi.org/10.3390/educsci15050611>
- Peña-Acuña, B., & Durão, R. C. F. (2024). Learning English as a second language with artificial intelligence for prospective teachers: A systematic review. *Frontiers in Education*, 9. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1490067>
- Polakova, P., & Ivenz, P. (2024). The impact of ChatGPT feedback on the development of EFL students' writing skills. *Cogent Education*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2410101>
- Polakova, P., & Klimova, B. (2024). Implementation of AI-driven technology into education: A pilot study on the use of chatbots in foreign language learning. *Cogent Education*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2355385>
- Ricart, A. (2024). ChatGPT como herramienta para mejorar la expresión escrita en inglés como lengua extranjera. *Íkala, Revista de Lenguaje y Cultura*, 29(2). <https://doi.org/10.17533/udea.ikala.354584>
- Robayo-Pinzón, O., Rojas-Berrio, S., Rincón-Novoa, J., & Ramírez-Barrera, A. (2023). Artificial intelligence and the value co-creation process in higher education institutions. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 40(20), 1–17. <https://doi.org/10.1080/10447318.2023.2259722>
- Rojas-Paucar, W., Chávez-Garcés, E. M., Rodríguez Chávez, D. A., & Cueva Ancalla, H. (2025). *Teaching perceptions and experiences in the use of generative artificial intelligence in higher education*. *Scientific Research Journal CIDI*, 6(10), 22–37. <https://srjournalcidi.org/index.php/ojs/article/view/258>
- Ruiz, N., & Gallagher, M. (2025). Rural education imaginaries in digital education policy: An analysis of CONPES 3988 in Colombia. *International Journal of Educational Development*, 113, 103222. <https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2025.103222>
- Schunk, D. H. (2012). *Learning theories: An educational perspective* (6th ed.). Pearson.
- Talan, T. (2021). Artificial intelligence in education: A bibliometric study. *International Journal of Research in Education and Science*, 7(3), 822–837. <https://doi.org/10.46328/ijres.2409>
- Umpiérrez Oroño, S., Pérez Rodríguez, B., & Cabrera Borges, C. A. (2025). Uso de inteligencia artificial en estudiantes de enseñanza superior uruguaya. *Educación y Educadores*, 27(3), 1–20. <https://doi.org/10.5294/edu.2024.27.3.2>
- Vargas Bernuy, J. B., Nolasco-Mamani, M. A., Velásquez Rodríguez, N. C., Gambetta Quelopana, R. L., Martínez Valdivia, A. N., & Espinoza Vidaurre, S. M. (2025). Relative advantage and compatibility as drivers of ChatGPT adoption in Latin American higher education: A PLS-SEM study towards sustainable digital education. *Sustainability*, 17(18), 8329. <https://doi.org/10.3390/su17188329>
- Venkatesh, V., Morris, M., Davis, G., & Davis, F. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425–478. <https://doi.org/10.2307/30036540>
- Vera, F. (2023). Faculty members' perceptions of artificial intelligence in higher education: A comprehensive study. *Transformar*, 4(3), 55–68. <https://revistatransformar.cl/index.php/transformar/article/view/103>

- Wang, S., Wang, F., Zhu, Z., Wang, J., Tran, T., & Du, Z. (2024). Artificial intelligence in education: A systematic literature review. *Expert Systems with Applications*, 252, 124167. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124167>
- Zambrano Rodriguez, L. B., San Lucas Marcillo, S. M., & Loor Párraga, A. C. (2025). Chatbots and vocabulary learning: Perceptions from EFL university students. *UNESUM – Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 9(3), 176–185. <https://doi.org/10.47230/unsum-ciencias.v9.n3.2025.176-185>

Diversidad y composición florística del bosque semideciduo mesófilo del recinto La Cruz, Manabí, Ecuador

Diversity and floristic composition of the semi-deciduous mesophilous forest of La Cruz site, Manabí, Ecuador

Alfredo Jimenez-González¹ , Edgar Oswaldo Guachamín-Arámbulo² 
Gema Guadalupe Briones-Mero³ , Darwin Marcos Salvatierra-Pilozo⁴ 

Doctor en Ciencias Forestales, carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador.¹

Graduado de la carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador.²

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.³

Magister en Gestión y conservación del Medio Natural, carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador.⁴

ISSN 2619-2608

DOI: <https://doi.org/10.34069/RA/2026.17.02>

Cómo citar:

Jimenez-González, A., Guachamín-Arámbulo, E.O., Briones-Mero, G.G., & Salvatierra-Pilozo, D.M. (2026). Diversidad y composición florística del bosque semideciduo mesófilo del recinto La Cruz, Manabí, Ecuador. *Revista Científica Del Amazonas*, 9(17), 19-30. <https://doi.org/10.34069/RA/2026.17.02>

Recibido: 17 de diciembre de 2025

Aceptado: 6 de abril de 2026



Resumen

El presente estudio evaluó la diversidad florística y la composición estructural del bosque semideciduo mesófilo del recinto La Cruz, parroquia La América, provincia de Manabí, Ecuador, con el objetivo de caracterizar su estado sucesional y aportar información ecológica base para su conservación y manejo sostenible. Se establecieron cinco parcelas temporales de 20 × 20 m, en las cuales se registraron todos los individuos arbóreos y arbustivos leñosos con diámetro a la altura del pecho (DAP) ≥ 10 cm. Se calcularon parámetros florísticos (abundancia, frecuencia, dominancia relativa e Índice de Valor de Importancia) e índices de diversidad (Shannon, Simpson, Pielou y Fisher-Alpha), además de variables estructurales como densidad, área basal, distribución diamétrica, estratificación vertical e Índice de Complejidad Estructural. Se registraron 109 individuos correspondientes a 28 especies, 26 géneros y 17 familias botánicas. Las especies dominantes fueron *Quararibea cordata*, *Guazuma ulmifolia*, *Triplaris cumingiana* y *Laurus nobilis*, que definen la arquitectura del dosel. La densidad total alcanzó 545 individuos·ha⁻¹ y el área basal 23,10 m²·ha⁻¹. La distribución diamétrica en forma de "J" invertida y el valor del Índice de Complejidad Estructural (11,04) evidencian regeneración continua y una fase intermedia de sucesión, indicando un bosque secundario estructuralmente consolidado con diversidad moderada.

Palabras clave: complejidad estructural, sucesión secundaria, bosque estacional tropical, diversidad alfa, restauración ecológica.

Abstract

This study evaluated the floristic diversity and structural composition of the semi-deciduous mesophytic forest located in La Cruz locality, La América parish, Manabí province, Ecuador, with the objective of characterizing its successional status and providing baseline ecological information for conservation and sustainable management. Five temporary sampling plots of 20 × 20 m were established, in which all tree and woody shrub individuals with diameter at breast height (DBH) ≥ 10 cm were recorded. Floristic parameters (relative abundance, frequency, dominance, and Importance Value Index) and diversity indices (Shannon, Simpson, Pielou, and Fisher-Alpha) were calculated, together with structural variables such as density, basal area, diameter distribution, vertical stratification, and Structural Complexity Index. A total of 109 individuals belonging to 28 species, 26 genera, and 17 botanical families were recorded. The dominant species were *Quararibea cordata*, *Guazuma ulmifolia*, *Triplaris cumingiana*, and *Laurus nobilis*, which define the canopy architecture. Total density reached 545 individuals·ha⁻¹ and basal

area $23.10 \text{ m}^2\text{-ha}^{-1}$. The inverted "J"-shaped diameter distribution and the Structural Complexity Index value (11.04) indicate continuous regeneration and an intermediate successional stage, suggesting a structurally consolidated secondary forest with moderate diversity.

Keywords: structural complexity, secondary succession, seasonal tropical forest, alpha diversity, ecological restoration.

Introducción

Los bosques semidecíduos mesófilos constituyen ecosistemas de alta relevancia ecológica en las regiones tropicales debido a su contribución a la regulación hídrica, la conservación de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos esenciales (Murphy & Lugo, 1986). A escala global, los bosques tropicales estacionales desempeñan funciones clave como sumideros de carbono, mantenimiento de procesos de polinización, reciclaje de nutrientes y regulación del microclima, influyendo directamente en la estabilidad ecosistémica (Murphy & Lugo, 1986; Matsuo et al., 2021). Sin embargo, estos ecosistemas se encuentran entre los más amenazados debido a la expansión agropecuaria, la tala selectiva y la fragmentación del paisaje (Tadeo-Noble et al., 2024).

En el litoral ecuatoriano, particularmente en la provincia de Manabí, los remanentes de bosque seco y semidecíduo cumplen funciones estratégicas como reservorios de especies nativas y reguladores microclimáticos. No obstante, la presión antrópica ha reducido significativamente su extensión y conectividad ecológica (Aguirre Mendoza & Geada-López, 2017). Estudios regionales han documentado que la fragmentación modifica la composición florística y afecta los procesos de regeneración natural, incidiendo en la complejidad estructural del bosque (Aguirre Mendoza et al., 2021).

El análisis de la composición florística y la estructura forestal constituye una herramienta fundamental para comprender la dinámica sucesional y el estado de conservación de estos ecosistemas (Magurran, 2004). La caracterización de patrones de diversidad, dominancia y complejidad vertical permite evaluar procesos de resiliencia y estabilidad ecológica (Matsuo et al., 2021). En bosques tropicales secos y semidecíduos, indicadores como el Índice de Valor de Importancia (IVI) y los índices de Shannon, Simpson y Fisher-Alpha han demostrado ser robustos para estimar la estructura interna y el grado de madurez sucesional (Curtis & McIntosh, 1951).

Investigaciones desarrolladas en el suroccidente del Ecuador han evidenciado variaciones florísticas asociadas a gradientes altitudinales y edáficos (Aguirre et al., 2006; Aguirre Mendoza & Geada-López, 2017), patrones consistentes con estudios comparativos en bosques tropicales secos de América Latina (Fajardo-Gutiérrez & González-Melo, 2019). Asimismo, los análisis estructurales en ecosistemas semidecíduos han mostrado que las distribuciones diamétricas en forma de "J" invertida reflejan procesos activos de regeneración y estabilidad poblacional (Murphy & Lugo, 1986; Matsuo et al., 2021).

A pesar de estos avances, la información específica sobre la estructura y composición de los bosques semidecíduos del sur de Manabí continúa siendo limitada, lo que dificulta la planificación de estrategias de manejo y restauración basadas en evidencia empírica regional (Aguirre Mendoza & Geada-López, 2017; Fajardo-Gutiérrez & González-Melo, 2019). La escasez de estudios estructurales locales restringe la comprensión de los patrones sucesionales y de regeneración en estos remanentes forestales (Matsuo et al., 2021). En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar los patrones de diversidad y la composición florística del bosque semidecíduo mesófilo del recinto La Cruz, aportando información comparativa que contribuya al conocimiento ecológico y a la gestión sostenible de los bosques estacionales del litoral ecuatoriano (Murphy & Lugo, 1986).

Revisión de literatura

La composición florística y la estructura de los bosques tropicales reflejan la interacción entre historia de disturbio, condiciones edáficas y procesos sucesionales que determinan su dinámica y resiliencia ecológica (Feinsinger, 2004; Magurran, 2004). En bosques tropicales estacionales, la diversidad y la organización estructural han sido identificadas como componentes clave de la estabilidad ecosistémica y del funcionamiento del sistema, particularmente en contextos de fragmentación y recuperación secundaria (Murphy & Lugo, 1986).

A escala global, estudios en bosques tropicales secundarios han demostrado que la heterogeneidad estructural y la diferenciación vertical influyen directamente en la disponibilidad de luz, la regeneración natural y la acumulación de biomasa (Matsuo et al., 2021). En ecosistemas estacionales de América Latina, la sucesión intermedia suele caracterizarse por la coexistencia de especies pioneras y secundarias tempranas que configuran comunidades con complejidad creciente, aunque aún distante de la estructura de bosques maduros (Fajardo-Gutiérrez & González-Melo, 2019; Murphy & Lugo, 1986).

En el contexto ecuatoriano, los bosques secos y semidecíduos del suroccidente presentan patrones estructurales comparables a los observados en otros bosques estacionales tropicales. En la provincia de Loja, se han documentado comunidades con valores intermedios de diversidad y área basal, asociados a procesos de regeneración secundaria posteriores a disturbios antrópicos (Aguirre Mendoza & Geada-López, 2017; Aguirre Mendoza et al., 2021). Estos estudios evidencian que la dominancia de especies adaptadas a la estacionalidad constituye un rasgo recurrente en sistemas en recuperación.

El análisis florístico cuantitativo, particularmente mediante el Índice de Valor de Importancia (IVI), continúa siendo una herramienta central para interpretar la jerarquía estructural y la dominancia ecológica en comunidades forestales (Curtis & McIntosh, 1951). Su aplicación en distintos contextos tropicales ha permitido comparar patrones de sucesión y estructura entre regiones geográficas diversas (Barrios Calderón et al., 2022; Matsuo et al., 2021), consolidándose como un enfoque metodológico estandarizado en estudios de ecología forestal.

De manera complementaria, los índices de diversidad como Shannon, Simpson y Fisher-Alpha permiten evaluar la heterogeneidad y la equidad en la distribución de abundancias (Magurran, 2004). En bosques tropicales secundarios, valores intermedios de diversidad han sido asociados a fases sucesionales donde coexisten múltiples grupos funcionales, favoreciendo la resiliencia ecológica y la estabilidad estructural (Fajardo-Gutiérrez & González-Melo, 2019).

La evaluación de variables dendrométricas como diámetro, área basal y estratificación vertical constituye un componente esencial para estimar la madurez estructural y la dinámica poblacional del bosque. La presencia de distribuciones diamétricas en forma de "J" invertida ha sido ampliamente interpretada como indicativa de regeneración continua en bosques tropicales secundarios (Murphy & Lugo, 1986; Aguirre Mendoza et al., 2021). Asimismo, la heterogeneidad vertical se relaciona con la regulación microclimática y el funcionamiento ecosistémico en bosques en transición estructural (Matsuo et al., 2021; Tadeo-Noble et al., 2024).

La integración de indicadores florísticos, estructurales y de diversidad permite situar los bosques semidecíduos del litoral ecuatoriano dentro del marco comparativo de los bosques tropicales estacionales, facilitando la interpretación de su estado sucesional y su potencial de recuperación ecológica.

Metodología

La investigación tuvo un enfoque ecológico, descriptivo y cuantitativo, orientado a caracterizar la composición florística y la estructura del bosque semidecíduo mesófilo del recinto La Cruz, parroquia La América, cantón Jipijapa, provincia de Manabí. Se desarrolló bajo un diseño no experimental de campo, mediante observación directa y registro sistemático de variables estructurales y florísticas en unidades de muestreo representativas.

El estudio se basó en un muestreo sistemático intencional dirigido a zonas con cobertura vegetal continua y mínima intervención antrópica, con el propósito de reflejar condiciones ecológicas representativas del ecosistema. Este enfoque es consistente con lineamientos metodológicos aplicados en estudios de diversidad vegetal tropical (Feinsinger, 2004; Fajardo-Gutiérrez & González-Melo, 2019).

Diseño de muestreo

Se establecieron cinco parcelas temporales de 20 × 20 m (0,04 ha), distribuidas bajo un esquema aleatorio-estratificado para capturar la heterogeneidad ambiental asociada a gradientes de pendiente, cobertura y exposición solar. El tamaño y configuración de las parcelas se fundamentan en metodologías estandarizadas para inventarios

florísticos en bosques tropicales secos y estacionales ampliamente empleadas en América Latina (Murphy & Lugo, 1986).

Este diseño es consistente con metodologías aplicadas en bosques secos y estacionales tropicales de América Latina (Fajardo-Gutiérrez & González-Melo, 2019), lo que garantiza comparabilidad regional e internacional.

Se consideraron únicamente especies arbóreas y arbustivas leñosas, excluyendo lianas, herbáceas y epífitas, conforme a protocolos estructurales utilizados en estudios de bosques tropicales secundarios (Murphy & Lugo, 1986).

Identificación y cuantificación de especies

En cada parcela se registraron todos los individuos con DAP ≥ 10 cm, utilizando cinta diamétrica y GPS para georreferenciar los puntos de muestreo. La identificación taxonómica se realizó en campo y fue confirmada mediante comparación con material de referencia en el Herbario Nacional del Ecuador (QCNE).

La nomenclatura científica fue verificada utilizando bases taxonómicas internacionales reconocidas: Catalogue of Life (Bánki et al., 2024), Tropicos (Tropicos, 2025), GBIF (2025) y Plants of the World Online (Royal Botanic Gardens, Kew, 2025).

Cálculo de parámetros florísticos

Se calcularon los parámetros estructurales básicos, abundancia relativa (AR), frecuencia relativa (FR), dominancia relativa (DR) e Índice de Valor de Importancia (IVI), siguiendo la metodología clásica propuesta por Curtis & McIntosh (1951), ampliamente utilizada en estudios de ecología forestal para evaluar la importancia ecológica de las especies dentro de una comunidad.

El IVI integra métricas de abundancia, frecuencia y dominancia, permitiendo estimar el peso estructural de cada especie en el ensamblaje forestal, enfoque que continúa siendo aplicado en investigaciones contemporáneas sobre bosques tropicales secos y semidecíduos (Murphy & Lugo, 1986; Fajardo-Gutiérrez & González-Melo, 2019).

Asimismo, se estimaron los índices de diversidad Shannon-Wiener (H'), Simpson ($1-D$), Pielou (J') y Fisher-Alpha, los cuales permiten evaluar la heterogeneidad, equidad y sensibilidad a especies raras dentro de la comunidad vegetal (Magurran, 2004). Estos índices se calcularon para cada parcela y para el conjunto total, con el fin de comparar la diversidad alfa y la distribución interna de abundancias entre sitios.

Estructura del bosque: distribución diamétrica, densidad y estratificación vertical

Medición de variables estructurales

Se midieron el diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total y la posición en el dosel. El DAP se registró a 1,30 m del suelo ($D_{1,30}$) y la altura se midió con clinómetro Suunto y cinta métrica. Estas variables permitieron caracterizar la estructura poblacional y estimar el área basal (AB) de cada especie mediante la Ecuación 1:

$$AB = \frac{\pi D^2}{4} \quad (1)$$

Este procedimiento es estándar en inventarios forestales tropicales y ha sido ampliamente utilizado en estudios de estructura en bosques secos y estacionales (Murphy & Lugo, 1986).

Densidad y distribución diamétrica

La densidad de individuos se estimó mediante la Ecuación 2:

$$D = \frac{N}{A} \quad (2)$$

donde N es el número de individuos y A el área de muestreo (m^2). Cada parcela abarcó $400 m^2$ (0,04 ha), por lo que la densidad por hectárea se obtuvo aplicando un factor de expansión de 25.

La estructura diamétrica se analizó agrupando los individuos en clases de 10 cm no superpuestas (10–19,99; 20–29,99; 30–39,99; 40–49,99; ≥ 50 cm), criterio ampliamente adoptado en estudios de estructura poblacional en bosques tropicales (Barrios Calderón et al., 2022).

Se elaboraron histogramas de frecuencia para evaluar la forma de la distribución poblacional y se ajustaron modelos Weibull y log-normal para caracterizar la dinámica estructural del bosque, enfoques comúnmente empleados en análisis de sucesión secundaria y heterogeneidad estructural (Matsuo et al., 2021).

Estratificación vertical

La vegetación arbórea se clasificó en tres estratos estructurales con base en la altura total de los individuos:

- Estrato bajo: $< 5,0$ m
- Estrato medio: $5,0$ – $15,0$ m
- Estrato alto: $> 15,0$ m

Esta estratificación permitió describir la organización vertical del bosque y analizar la distribución de individuos en el gradiente altitudinal interno del dosel, enfoque ampliamente empleado en estudios estructurales de bosques tropicales (Murphy & Lugo, 1986; Matsuo et al., 2021).

Se calculó el Índice de Complejidad Estructural de Holdridge (ICH) como indicador sintético de diversidad vertical, considerando la proporción de individuos y la altura promedio por estrato. Este índice complementa los análisis de densidad y dominancia al integrar información horizontal y vertical de la comunidad vegetal, y ha sido aplicado en estudios estructurales en América Latina (Barrios Calderón et al., 2022).

Procesamiento estadístico

El procesamiento estadístico se realizó utilizando el software PAST versión 4.13 (Hammer et al., 2001) y Microsoft Excel 2021 para el cálculo de índices ecológicos y la generación de gráficos estructurales. Los resultados se analizaron de forma comparativa con investigaciones desarrolladas en bosques secos y semideciduos de América Latina, con el fin de contextualizar los patrones estructurales observados (Fajardo-Gutiérrez & González-Melo, 2019; Aguirre Mendoza & Geada-López, 2017).

Resultados y Discusión

El estrato arbóreo del bosque semideciduo mesófilo, definido por individuos con $D_{1,30} \geq 10$ cm, estuvo conformado por 109 árboles pertenecientes a 28 especies, distribuidas en 26 géneros y 17 familias botánicas. Esta riqueza representa una diversidad taxonómica moderada dentro del contexto de bosques estacionales tropicales y sugiere un ensamblaje en fase intermedia de sucesión, donde coexisten especies pioneras y secundarias bajo procesos de reorganización estructural posteriores a disturbios (Murphy & Lugo, 1986; Fajardo-Gutiérrez & González-Melo, 2019). En términos ecológicos, este tipo de composición indica que el sistema ha superado etapas tempranas dominadas por pocas especies oportunistas, aunque aún no alcanza la complejidad florística típica de bosques maduros.

La Tabla 1 muestra variaciones en riqueza y diversidad entre parcelas, lo que evidencia heterogeneidad espacial dentro del bosque. Las parcelas 1 y 2 registraron los mayores valores de Shannon ($H' > 2,5$) y equidad ($J' > 0,96$), indicando comunidades florísticamente más balanceadas. En contraste, la parcela 4 presentó menor riqueza ($S = 6$) y diversidad ($H' = 1,533$), lo que sugiere dominancia local de pocas especies y una condición estructural más temprana.

Tabla 1.

Riqueza, abundancia e índices de diversidad por parcela (DAP $\geq$ 10 cm)

Parcela	N individuos	Riqueza (S)	Shannon (H')	Simpson (1-D)	Equidad (J')	Fisher-Alpha
1	23	14	2,548	0,915	0,965	5,81
2	24	15	2,600	0,917	0,960	6,23
3	28	12	2,276	0,875	0,916	4,77
4	18	6	1,533	0,741	0,855	3,21
5	23	12	2,318	0,885	0,933	4,92
Total	109	28	2,999	0,936	0,900	7,65

Nota. Durante el muestreo se registraron además especies arbustivas y herbáceas menores a 10 cm de D_{1,30}, las cuales no fueron incluidas en los análisis estructurales por no cumplir el criterio de inclusión establecido para el estrato arbóreo.

A escala general, el bosque presentó una diversidad total ($H' = 2,999$) y una equidad elevada ($J' = 0,900$). En bosques tropicales estacionales, valores cercanos a $H' \approx 3$ suelen asociarse con comunidades secundarias en consolidación, donde la coexistencia de múltiples especies reduce la dominancia extrema y favorece la estabilidad estructural relativa (Murphy & Lugo, 1986; Matsuo et al., 2021). La alta equidad observada sugiere una distribución relativamente uniforme de abundancias entre especies y una baja dominancia de pocos taxones dentro de la comunidad, patrón característico de ensamblajes florísticos estructuralmente balanceados (Magurran, 2004). La variabilidad entre parcelas refleja la influencia de factores microambientales y topográficos, que generan mosaicos sucesionales internos y contribuyen a la heterogeneidad del ensamblaje forestal.

Dominancia taxonómica por familia

En términos taxonómicos, las familias Malvaceae, Fabaceae y Meliaceae concentraron aproximadamente el 40 % de la riqueza total (Figura 1), lo que evidencia una estructura familiar típica de bosques estacionales tropicales. Este patrón ha sido reportado en remanentes del sur del Ecuador, donde Fabaceae y Malvaceae suelen figurar entre las familias más diversas debido a su plasticidad ecológica y tolerancia a condiciones de estacionalidad hídrica (Aguirre Mendoza et al., 2021; Aguirre Mendoza & Geada-López, 2017).

La predominancia de Fabaceae resulta ecológicamente significativa, ya que muchas de sus especies presentan fijación biológica de nitrógeno y adaptaciones fisiológicas a periodos de sequía, lo que les permite actuar como facilitadoras en etapas sucesionales intermedias (Murphy & Lugo, 1986; Fajardo-Gutiérrez & González-Melo, 2019). De manera similar, Malvaceae incluye especies pioneras y secundarias ampliamente distribuidas en bosques tropicales secundarios, contribuyendo a la recuperación estructural del dosel y al cierre progresivo del sistema.

Desde una perspectiva funcional, la dominancia de estas familias sugiere la acción de filtros ambientales asociados a la estacionalidad climática y a las condiciones edáficas locales. En bosques tropicales secundarios, este tipo de ensamblaje refleja procesos de selección ecológica donde predominan especies con estrategias de rápido crecimiento, tolerancia al estrés hídrico y capacidad competitiva en ambientes abiertos o parcialmente perturbados (Matsuo et al., 2021).

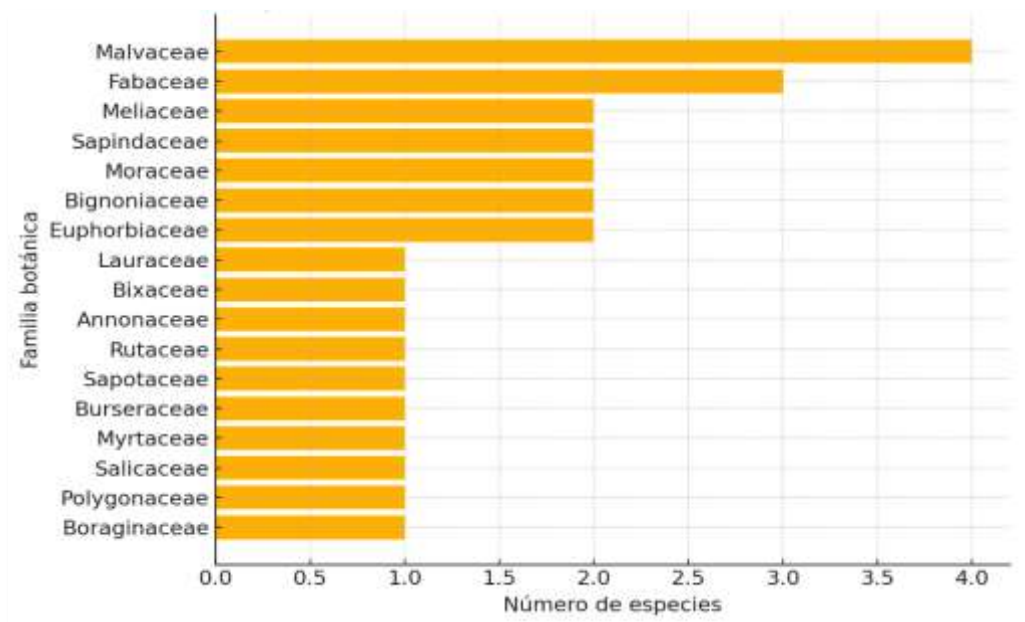


Figura 1. Número de especies por familia botánica en el bosque semideciduo mesófilo del recinto La Cruz (DAP ≥ 10 cm).

Especies dominantes según Índice de Valor de Importancia (IVI)

El análisis del Índice de Valor de Importancia (IVI), calculado a partir de los valores de abundancia, frecuencia y dominancia relativas (Tabla 2), permitió identificar las especies con mayor peso ecológico dentro de la comunidad arbórea. Tras la depuración de especies no leñosas, se consideraron 28 taxones que conforman el estrato estructural del bosque.

Tabla 2.

Especies con mayor Índice de Valor de Importancia (IVI), después de depuración taxonómica

Especie	N ind.	AR (%)	FR (%)	DR (%)	IVI
<i>Quararibea cordata</i>	11	10,09	8,77	15,51	34,37
<i>Guazuma ulmifolia</i>	9	8,26	7,02	14,47	29,75
<i>Triplaris cumingiana</i>	12	11,01	5,26	11,47	27,74
<i>Laurus nobilis</i>	12	11,01	5,26	11,46	27,73
<i>Gyranthera micrantha</i>	9	8,26	5,26	7,68	21,2
<i>Hevea brasiliensis</i>	5	4,59	5,26	4,73	14,58
<i>Sapindus saponaria</i>	6	5,5	3,51	4,25	13,26
<i>Cordia alliodora</i>	5	4,59	3,51	4,64	12,74
<i>Jacaranda</i> sp.	4	3,67	5,26	1,67	10,6
<i>Inga</i> spp.	6	5,5	3,51	1,24	10,25

Las especies *Quararibea cordata*, *Guazuma ulmifolia*, *Triplaris cumingiana* y *Laurus nobilis* presentaron los valores más altos de IVI, destacándose como componentes arquitectónicos del dosel y subdosel. En particular, la dominancia de *Quararibea cordata* (IVI = 34,37) y *Guazuma ulmifolia* (IVI = 29,75) refleja su papel estructurador dentro de la comunidad y su influencia en la configuración del dosel.

Desde una perspectiva ecológica, la concentración del IVI en un número reducido de especies es un patrón frecuente en bosques secundarios, donde la reorganización estructural posterior a disturbios favorece taxones con alta plasticidad ecológica, rápido crecimiento y tolerancia a la estacionalidad climática (Murphy & Lugo, 1986; Fajardo-Gutiérrez & González-Melo, 2019). En este contexto, la dominancia no implica necesariamente simplificación del sistema, sino una jerarquización funcional en la que ciertas especies estructurales consolidan la arquitectura del bosque mientras otras contribuyen a mantener la diversidad interna.

Dentro de este grupo dominante, *Triplaris cumingiana* y *Laurus nobilis*, con valores similares de IVI (27,74 y 27,73), muestran una distribución asociada a microhábitats con mayor disponibilidad hídrica y mejor drenaje, lo que sugiere diferenciación ecológica dentro del ensamblaje forestal y refuerza la influencia de filtros ambientales locales en la organización de la comunidad.

El patrón de IVI observado en La Cruz indica una comunidad en consolidación estructural, donde la dominancia jerárquica coexiste con niveles moderados de diversidad y equidad. Este equilibrio es característico de bosques en fase intermedia de sucesión, en los que la competencia por luz y espacio comienza a definir la estratificación vertical sin alcanzar aún la complejidad de sistemas maduros (Murphy & Lugo, 1986; Matsuo et al., 2021).

Estructura del bosque: distribución diamétrica, densidad y estratificación vertical

La estructura del bosque semidecíduo mesófilo del recinto La Cruz evidenció variaciones en densidad y área basal entre las cinco parcelas evaluadas (Tabla 3). En conjunto, el estrato arbóreo registró 109 individuos en 0,20 ha, lo que equivale a una densidad estimada de 545 individuos·ha⁻¹.

El área basal total alcanzó 23,10 m²·ha⁻¹, valor que se sitúa dentro del rango documentado para bosques tropicales secundarios en fase intermedia de sucesión. En el sur del Ecuador se han reportado densidades entre 450 y 600 individuos·ha⁻¹ y áreas basales cercanas a 20–25 m²·ha⁻¹ en comunidades semidecíduas en regeneración (Aguirre Mendoza & Geada-López, 2017; Aguirre Mendoza et al., 2021). En términos ecológicos, estos valores reflejan procesos activos de acumulación de biomasa y consolidación estructural posteriores a disturbios antrópicos (Murphy & Lugo, 1986; Fajardo-Gutiérrez & González-Melo, 2019).

Más allá de la comparación regional, la combinación de densidades intermedias con áreas basales moderadas es consistente con trayectorias sucesionales típicas de bosques tropicales secundarios, donde el incremento progresivo de biomasa aérea precede a la diferenciación completa del dosel superior (Matsuo et al., 2021). En este contexto, La Cruz representa un sistema en consolidación, con capacidad de recuperación estructural pero aún distante de los niveles de acumulación de biomasa observados en bosques maduros.

Tabla 3.

Densidad y área basal del estrato arbóreo por parcela (DAP ≥ 10 cm)

Parcela	Área (ha)	N individuos	Densidad	Área basal	Área basal
			(ind·ha ⁻¹)	(m ²)	(m ² ·ha ⁻¹)
1	0,04	23	575	0,98	24,5
2	0,04	24	600	1,01	25,25
3	0,04	28	700	1,03	25,75
4	0,04	18	450	0,68	17
5	0,04	23	575	0,92	23
Total	0,2	109	545	4,62	23,1

Las parcelas 1, 2 y 3 presentaron los mayores valores de densidad y área basal, lo que sugiere mayor acumulación de biomasa y estabilidad estructural local. En contraste, la parcela 4 exhibió el valor mínimo de área basal (17,00 m²·ha⁻¹), coherente con su menor riqueza florística y predominancia de individuos de menor diámetro, lo que indica una etapa sucesional relativamente más temprana.

La variabilidad entre parcelas puede atribuirse a diferencias microambientales y topográficas, como pendiente, disponibilidad hídrica y exposición solar, que influyen en la distribución espacial, el crecimiento y la productividad del bosque (Lozada et al., 2014). Estos gradientes locales actúan como filtros ambientales que favorecen la coexistencia de especies con distintas estrategias funcionales, incrementando la heterogeneidad estructural del ecosistema.

Distribución diamétrica

La distribución diamétrica del bosque semidecíduo mesófilo del recinto La Cruz mostró una estructura característica de comunidades en proceso de regeneración, con mayor concentración de individuos en las clases diamétricas

inferiores. Los árboles se agruparon en intervalos consecutivos de 10 cm de amplitud (10–19,99; 20–29,99; 30–39,99; 40–49,99; y ≥ 50 cm $D_{1,30}$), definidos de forma no superpuesta para evitar duplicidades en la clasificación.

Las dos primeras clases (10–19,99 cm y 20–29,99 cm) concentraron más del 80 % de los individuos registrados, lo que evidencia una estructura predominantemente juvenil, con alta proporción de árboles de pequeño y mediano diámetro. A partir de la clase 30–39,99 cm se observa una disminución progresiva en la frecuencia, que se acentúa en las clases superiores (≥ 40 cm), donde se registraron únicamente seis individuos.

Este patrón configura una curva en forma de "J" invertida, ampliamente descrita en bosques tropicales secundarios con reclutamiento continuo y mortalidad compensada por el ingreso de nuevos individuos (Murphy & Lugo, 1986; Fajardo-Gutiérrez & González-Melo, 2019). Desde una perspectiva demográfica, este comportamiento sugiere estabilidad poblacional relativa y potencial de persistencia, siempre que las condiciones ambientales y el régimen de disturbio no se intensifiquen.

En remanentes del sur del Ecuador, Aguirre Mendoza et al. (2021) reportan distribuciones similares en bosques secos secundarios de Zapotepamba y Bramaderos, con predominio de individuos jóvenes y baja proporción de árboles mayores a 50 cm de $D_{1,30}$. Este patrón también ha sido documentado en bosques estacionales tropicales de América Latina, donde la escasa representación de grandes diámetros suele asociarse a procesos históricos de aprovechamiento selectivo, fragmentación o disturbios recurrentes (Murphy & Lugo, 1986) (Figura 2).

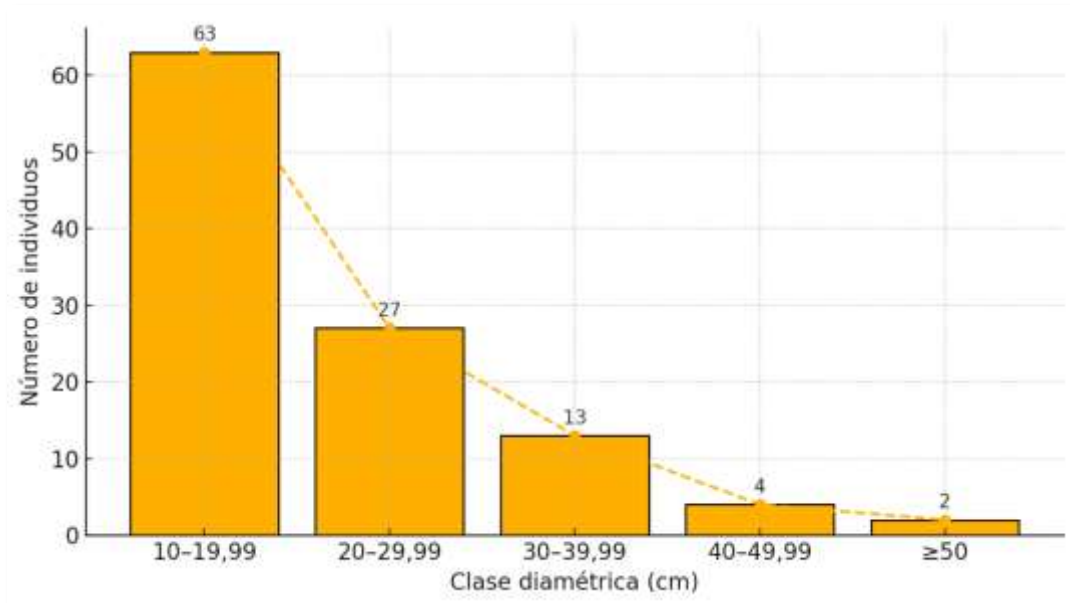


Figura 2. Distribución diamétrica del bosque ($D_{1,30} \geq 10$ cm) en el bosque semideciduo mesófilo del recinto La Cruz, parroquia La América, cantón Jipijapa, provincia de Manabí, Ecuador.

La reducida proporción de árboles de gran porte (≥ 50 cm $D_{1,30}$) indica que el dosel aún se encuentra en proceso de consolidación estructural y que la acumulación de biomasa de larga permanencia es limitada. El predominio de especies secundarias y pioneras de rápido crecimiento, como *Guazuma ulmifolia*, *Triplaris cumingiana* y *Cordia alliodora*, refuerza la interpretación de un estadio sucesional intermedio, en el que la competencia por luz y espacio comienza a estructurar el ensamblaje vertical (Aguirre Mendoza et al., 2021; Matsuo et al., 2021).

Desde una perspectiva ecológica más amplia, la estructura diamétrica observada sugiere que el bosque posee alta capacidad de regeneración, pero aún no alcanza la complejidad estructural ni la estabilidad de biomasa propias de sistemas maduros. En este sentido, su dinámica actual refleja una trayectoria de recuperación activa que podría consolidarse hacia estados más complejos si se mantienen condiciones de protección y manejo sostenible.

Estructura vertical

El análisis de la estratificación vertical permitió identificar tres niveles estructurales bien definidos (bajo, medio y alto), lo que evidencia una organización vertical diferenciada del bosque y permite interpretar su grado de desarrollo arquitectónico (Tabla 4).

Tabla 4.
Distribución de individuos por estratos de altura

Estrato	Rango (m)	N individuos	Porcentaje (%)
Estrato bajo	< 5 m	18	16,51
Estrato medio	5–15 m	63	57,8
Estrato alto	> 15 m	28	25,69
Total	—	109	100

El estrato medio concentró el 57,8 % de los individuos registrados, constituyéndose como el componente dominante del bosque. Este predominio indica una fase de consolidación estructural en la que los árboles de altura intermedia configuran el dosel principal y sostienen la mayor parte de la biomasa activa del sistema. En términos sucesionales, este patrón sugiere una etapa intermedia en la que la competencia vertical por luz y espacio incrementa la diferenciación estructural y favorece la complejidad interna del bosque. Resultados comparables han sido documentados en bosques secos y semidecuidos del sur del Ecuador (Aguirre Mendoza et al., 2021; Muñoz Chamba et al., 2022) y en selvas estacionales latinoamericanas, donde la expansión del estrato medio se asocia con procesos de regeneración avanzada posteriores a disturbios antrópicos (Tadeo-Noble et al., 2024).

El estrato alto (25,69 %) estuvo conformado por especies dominantes como *Quararibea cordata*, *Guazuma ulmifolia*, *Triplaris cumingiana* y *Laurus nobilis*, las cuales actúan como especies arquitectónicas responsables de la configuración del dosel superior. Estas especies presentan elevados valores de IVI y contribuyen significativamente a la cobertura, acumulación de biomasa aérea y regulación del microambiente forestal (Aguirre Mendoza & Geada-López, 2017; Barrios Calderón et al., 2022). La presencia de este estrato superior, aunque menos representado que el medio, indica que el bosque ha superado etapas tempranas de sucesión y mantiene una estructura vertical funcional.

Por su parte, el estrato bajo (16,51 %) estuvo compuesto principalmente por individuos en crecimiento, vinculados al reclutamiento observado en las clases diamétricas menores. Aunque su proporción es relativamente menor, este nivel representa la base demográfica que garantiza la continuidad sucesional del sistema. Es importante considerar que la baja representación de árboles menores a 5 m está influenciada por el criterio metodológico de inclusión ($D_{1,30} \geq 10$ cm), lo cual limita el registro de brinzales y plántulas, situación común en inventarios estructurales arbóreos (Feinsinger, 2004).

Desde una perspectiva ecológica comparativa, la estructura vertical observada en el recinto La Cruz es consistente con la reportada para bosques secos y semidecuidos en recuperación del suroccidente ecuatoriano y otras regiones tropicales estacionales, donde el predominio de los estratos medio y alto refleja procesos de regeneración estructural progresiva (Fajardo-Gutiérrez & González-Melo, 2019; Aguirre Mendoza et al., 2021). No obstante, la proporción relativamente baja de individuos en el estrato superior sugiere que la consolidación de árboles de gran porte aún es limitada, lo que podría incidir en la capacidad de almacenamiento de carbono y en la estabilidad estructural a largo plazo si no se mantienen condiciones adecuadas de conservación.

Complejidad estructural del bosque

El Índice de Complejidad Estructural (ICH) se empleó como indicador sintético de la organización vertical del bosque, integrando la proporción de individuos y la altura promedio de cada estrato. Este índice complementa los parámetros de densidad y área basal, permitiendo evaluar de manera integrada la heterogeneidad arquitectónica y el grado de diferenciación vertical del ecosistema (Barrios Calderón et al., 2022).

Los resultados del ICH (Tabla 5) evidencian una diferenciación vertical marcada, con predominio del estrato medio (57,8 % de los individuos) y una contribución importante del estrato alto (25,69 %), mientras que el estrato bajo

representó el 16,51 %. Esta distribución indica que la mayor contribución a la complejidad estructural proviene de individuos de porte intermedio, responsables de la configuración del dosel principal y de la mayor parte de la biomasa aérea activa.

Tabla 5.

Distribución estructural por estratos y cálculo del Índice de Complejidad Estructural (ICH)

Estrato	Rango (m)	N individuos	Proporción (%)	Altura promedio (m)	Componente del ICH
Bajo	< 5 m	18	16,51	3,1	0,51
Medio	5–15 m	63	57,80	10,9	6,30
Alto	> 15 m	28	25,69	16,5	4,23
Total ICH	—	109	100	—	11,04

Nota. El ICH corresponde a la sumatoria de (proporción × altura promedio) para cada estrato.

El valor total del ICH (11,04) es coherente con bosques tropicales secundarios en fase intermedia de sucesión, donde la estratificación vertical ya es evidente, aunque la representación de árboles de gran diámetro y estratos superiores aún es limitada (Murphy & Lugo, 1986; Fajardo-Gutiérrez & González-Melo, 2019). El mayor aporte al índice correspondió al estrato medio (6,30), seguido del estrato alto (4,23) y del estrato bajo (0,51), lo que confirma que la complejidad arquitectónica actual depende principalmente de la consolidación del dosel intermedio.

Desde una perspectiva ecológica más amplia, una complejidad estructural intermedia sugiere que el bosque ha recuperado parcialmente su diferenciación vertical tras disturbios históricos, pero aún no alcanza los niveles de heterogeneidad espacial y estratificación profunda propios de bosques maduros. En términos funcionales, esto implica una capacidad creciente —aunque todavía limitada— para el almacenamiento de carbono, la regulación microclimática y la generación de nichos verticales para fauna asociada. Patrones similares han sido reportados en bosques secos del sur del Ecuador (Aguirre Mendoza & Geada-López, 2017; Aguirre Mendoza *et al.*, 2021) y en bosques tropicales estacionales de América Latina, donde la expansión progresiva del estrato alto constituye un indicador clave de maduración estructural.

En este contexto, el ICH obtenido posiciona al bosque del recinto La Cruz como un sistema en consolidación arquitectónica, con diferenciación vertical funcional pero aún en transición hacia mayores niveles de complejidad estructural. Este estado intermedio representa una ventana crítica para la conservación, ya que la protección del dosel actual podría permitir la evolución natural hacia fases de mayor estabilidad ecológica.

Conclusiones

El bosque semidecíduo mesófilo del recinto La Cruz presenta una composición de 28 especies arbóreas y una estructura dominada por *Quararibea cordata*, *Guazuma ulmifolia*, *Triplaris cumingiana* y *Laurus nobilis*. Los valores de diversidad ($H' = 2,999$), densidad ($545 \text{ ind} \cdot \text{ha}^{-1}$), área basal ($23,10 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$), la distribución diamétrica en “J” invertida y el ICH (11,04) indican un bosque secundario en fase intermedia de sucesión, con diferenciación vertical definida y regeneración activa.

Como contribución científica, el estudio proporciona información estructural y florística actualizada para un remanente del sur de Manabí escasamente documentado, estableciendo parámetros comparables para el monitoreo y la restauración de bosques semidecíduos del litoral ecuatoriano.

Entre sus limitaciones se reconocen la escala espacial del muestreo y el criterio de inclusión ($\text{DAP} \geq 10 \text{ cm}$), que limita el análisis de la regeneración temprana y la dinámica poblacional completa. Se recomienda desarrollar estudios de monitoreo permanente, incorporar individuos juveniles ($< 10 \text{ cm}$) y evaluar variables edáficas y de conectividad del paisaje para profundizar en los procesos sucesionales y funcionales del ecosistema.

Referencias Bibliográficas

Aguirre Mendoza, Z. H., Chamba Valarezo, M., Díaz López, M., & Pacheco Pineda, E. (2021). Composición florística y estructura de un remanente de bosque seco en la Estación Experimental Zapotepamba, Loja, Ecuador.

- Bosques Latitud Cero, 11(1), 97–112.
<https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/877>
- Aguirre Mendoza, Z., & Geada-López, G. (2017). Estado de conservación de los bosques secos de la provincia de Loja, Ecuador. *Arnaldoa*, 24(1), 207–228.
<https://doi.org/10.22497/arnaldoa.241.24107>
- Aguirre, Z., Kvist, L. P., & Sánchez, O. (2006). Bosques secos en Ecuador y su diversidad. En M. Moraes, B. Øllgaard, L. P. Kvist, F. Borchsenius & H. Balslev (Eds.), *Botánica Económica de los Andes Centrales* (pp. 162–187). La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.
<https://www.beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdf/Capitulo%2016.pdf>
- Bánki, O. S., Roskov, Y., Döring, M., Ower, G., Vandepitte, L., Hobern, D., Remsen, D., & Schalk, P. (2024). *Catalogue of Life: 2024 Annual Checklist*. Species 2000 & ITIS Catalogue of Life.
<https://www.catalogueoflife.org>
- Barrios Calderón, R. de J., Pérez Pérez, J. E., Torres Velázquez, J. R., & Aguirre Cadena, J. F. (2022). Estructura y composición florística de un bosque de Pinus–Quercus en El Porvenir, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(73), 50–74.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i73.1252>
- Curtis, J. T., & McIntosh, R. P. (1951). An upland forest continuum in the prairie–forest border region of Wisconsin. *Ecology*, 32(3), 476–496.
<https://doi.org/10.2307/1931725>
- Fajardo-Gutiérrez, F., & González-Melo, A. (2019). Patrones de sucesión secundaria en un bosque seco tropical interandino de Colombia: Implicaciones para la restauración ecológica. *Caldasia*, 41(1), 12–27.
<https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n1.65859>
- Feinsinger, P. (2004). *El diseño de estudios de campo para la conservación de la biodiversidad*. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia: Editorial FAN.
<https://www.sidalc.net/search/Record/KOHA-OAI-FCF:9191/Description>
- Global Biodiversity Information Facility (GBIF). (2025). *GBIF Backbone Taxonomy*.
<https://www.gbif.org/dataset/d7dddbf4-2cf0-4f39-9b2a-bb099caae36c>
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1–9.
https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf
- Lozada, J., Soriano, P., & Costa, M. (2014). Relaciones suelo–vegetación en una toposecuencia del Escudo Guayanés, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 62(1), 385–401.
<https://doi.org/10.15517/rbt.v62i1.11388>
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Oxford, England: Blackwell Publishing.
https://www2.ib.unicamp.br/profs/thomas/NE002_2011/maio10/Magurran%202004%20c2-4.pdf
- Matsuo, T., Martínez-Ramos, M., Bongers, F., van der Sande, M. T., & Poorter, L. (2021). Forest structure drives changes in light heterogeneity during tropical secondary forest succession. *Journal of Ecology*, 109(8), 2871–2884. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13680>
- Muñoz Chamba, L. F., Rojas, A., Muñoz, J., & Aguirre, Z. (2022). Estructura poblacional y estado de la regeneración de tres especies forestales en los bosques andinos del sur de Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 12(1), 1–14.
<https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/1309>
- Murphy, P. G., & Lugo, A. E. (1986). Ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17, 67–88. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.17.110186.000435>
- Royal Botanic Gardens, Kew. (2025). *Plants of the World Online (POWO)*. <https://powo.science.kew.org>
- Tadeo-Noble, A. E., García Moya, E., Valdez Hernández, J. I., López Mata, L., Luna Cavazos, M., Santos Posadas, H. M. D. L., & Hernández Stefanoni, J. L. (2024). Patrones de estructura y diversidad de selva mediana subperennifolia bajo condiciones de gestión forestal. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 15(81), 133–159.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i81.1424>
- Tropicos (2026). *Missouri Botanical Garden*. <https://tropicos.org>

Experiencias escolares para la acción climática y la reconstrucción civilizatoria: una sistematización pedagógica desde el piedemonte amazónico colombiano

School experiences for climate action and civilizational reconstruction: a pedagogical systematization from the Colombian Amazonian foothills

Donovan Godoy-Lozada¹  , César Duván Franco-Agredo²  , Laura Sofia Solano-Charo³  ,
Jazly Daniela Lemos-Pimentel⁴  

Doctor en Ciencias de la Educación, Universidad de la Amazonia, Florencia (Caquetá), Colombia. Grupo de Investigación CAPREA.¹

Docente líder ambiental I.E. Bello Horizonte, Florencia (Caquetá), Colombia.²

Líder ambiental estudiantil I.E. Bello Horizonte, Florencia (Caquetá), Colombia.³

Líder ambiental estudiantil I.E. Bello Horizonte, Florencia (Caquetá), Colombia.⁴

ISSN 2619-2608

DOI: <https://doi.org/10.34069/RA/2026.17.03>

Cómo citar:

Godoy-Lozada, D., Franco-Agredo, C.D., Solano-Charo, L.S., & Lemos-Pimente, J.D.
(2026). Experiencias escolares para la acción climática y la reconstrucción civilizatoria:
una sistematización pedagógica desde el piedemonte amazónico colombiano. *Revista
Científica Del Amazonas*, 9(17), 31-42. <https://doi.org/10.34069/RA/2026.17.03>

Recibido: 20 de enero de 2026

Aceptado: 6 de abril de 2026



Resumen

El objetivo de este artículo es sistematizar y analizar experiencias pedagógicas desarrolladas en la Institución Educativa Bello Horizonte (IBEHO) en Florencia, Caquetá, orientadas a fortalecer la acción climática y la formación integral desde la educación para el desarrollo sostenible. La investigación se enmarca en un enfoque cualitativo de carácter interpretativo, bajo la modalidad de sistematización de experiencias con elementos de investigación-acción. La metodología se organizó en cuatro fases: diagnóstico participativo y sensibilización; implementación de acciones formativas mediante huertas escolares y familiares, reforestación, reciclaje y análisis básico de calidad del agua; articulación con aliados institucionales; y evaluación reflexiva con participación de estudiantes y familias. Participaron 117 estudiantes, cinco familias, cuatro docentes, el docente PTA y el equipo directivo. Entre los resultados se destacan seis huertas activas, más de 600 árboles sembrados, 40 sesiones interdisciplinarias, incremento del 30% en la asistencia escolar y del 40% en la motivación estudiantil, así como transformaciones en hábitos de consumo y prácticas de cuidado ambiental. La experiencia evidencia que una educación ambiental territorializada puede incidir en dinámicas escolares y comunitarias, aportando a procesos de transformación cultural y reconstrucción ética del vínculo entre vida, territorio y comunidad.

Palabras clave: Acción climática, reconstrucción civilizatoria, educación para el desarrollo sostenible, gestión del agua, promotores ambientales escolares, piedemonte andino-amazónico.

Abstract

The aim of this article is to systematize and analyze pedagogical experiences developed at Institución Educativa Bello Horizonte (IBEHO) Florencia, Caquetá, aimed at strengthening climate action and comprehensive education within the framework of Education for Sustainable Development. The study is grounded in a qualitative, interpretative approach, adopting the systematization of experiences with elements of action research. The methodology was organized into four phases: participatory diagnosis and awareness-building; implementation of formative actions through school and family gardens, reforestation, recycling, and basic water quality analysis; articulation with institutional partners; and reflective evaluation involving students and families. Participants included 117 students, five families, four teachers, the PTA teacher, and the school leadership team. Key results include six active gardens, more than 600 trees planted, 40 interdisciplinary sessions, a 30% increase in school attendance, and a 40% rise in student motivation, as well as transformations in consumption habits and environmental care practices. The

experience demonstrates that territorially grounded environmental education can influence school and community dynamics, contributing to cultural transformation and the ethical reconstruction of the relationship between life, territory, and community.

Keywords: Climate Action, civilizational reconstruction, education for sustainable development, water management, school environmental promoters, andean-amazon foothills.

Introducción

El departamento del Caquetá, localizado en la zona de transición ecológica del piedemonte andino-amazónico, representa un territorio de gran relevancia biogeográfica, climática y socioambiental (Kairuz Fonseca, 2020). Es un espacio estratégico con ecosistemas de alta montaña, bosques húmedos tropicales, sistemas ribereños y una de las mayores reservas de agua dulce del país (Pardo-Rozo, 2022). Tal diversidad biológica y cultural posiciona a la región como un punto clave para la conservación, regulación climática y conectividad ecológica de la Amazonía (Ministerio de Ambiente, 2025b). No obstante, las dinámicas de uso del suelo, la presión sobre los bosques, las transformaciones productivas, y el crecimiento poblacional han generado tensiones ambientales significativas (Acosta, 2025). En este contexto, se hace imprescindible el diseño de respuestas de educación ambiental, particularmente en el piedemonte, donde comunidades rurales, urbanas y campesinas enfrentan de manera directa los efectos de la deforestación, la degradación de las fuentes hídricas y el cambio climático, con repercusiones en los modos de vida de niños, jóvenes y familias.

A pesar de la creciente incorporación de la educación ambiental en instituciones educativas del piedemonte amazónico, persiste una brecha entre el conocimiento impartido en la escuela y la adopción efectiva de hábitos sostenibles por parte de estudiantes y sus familias, lo que limita el impacto formativo frente a los desafíos socioambientales del territorio. En el caso de la Institución Educativa Bello Horizonte (IBEHO) de Florencia, Caquetá, se identificó una desconexión entre el aprendizaje científico y las prácticas cotidianas de los estudiantes, evidenciada en hábitos de consumo poco saludables, escasa participación en acciones ambientales y debilitamiento del vínculo emocional con el entorno.

Ante esta situación, la institución propone trascender la educación ambiental tradicional mediante una pedagogía orientada al desarrollo sostenible, concebida como un proceso de autocomprensión, empatía y reconstrucción civilizatoria. Desde esta perspectiva, la conservación ambiental se entiende como consecuencia del cuidado de la propia vida; por ello, acciones como disminuir el consumo de ultraprocesados, promover la movilidad activa, producir alimentos orgánicos y compartir saberes con la comunidad se configuran como prácticas formativas que articulan ética, territorio y sostenibilidad.

En el contexto amazónico, resulta necesario analizar experiencias pedagógicas contextualizadas que integren acción climática, educación ambiental y participación comunitaria, con el fin de aportar evidencias sobre su potencial para transformar hábitos sostenibles. Este campo continúa siendo escasamente documentado en la literatura educativa regional, especialmente en lo relacionado con procesos escolares articulados a dinámicas familiares y territoriales. En esta perspectiva, "Experiencias escolares IBEHO para la acción climática y la reconstrucción civilizatoria" sistematiza una práctica educativa que vincula escuela, familias y comunidad en la transformación de hábitos de vida, bajo el principio de que formar integralmente implica aprender a convivir consigo mismo, con los otros y con la naturaleza.

Desde esta mirada, el estudio se orienta a promover una educación humanista que articule hábitos de vida, empatía social y conciencia ecológica, configurando un horizonte ético que fortalece el tejido social y la sostenibilidad territorial, en coherencia con la estrategia CRESE (Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 2023). La experiencia se sustenta en referentes pedagógicos y normativos asociados a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, la Política Nacional de Educación Ambiental y el Plan Nacional de Desarrollo "Colombia Potencia Mundial de la Vida" (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2025a; DNP, 2023; ONU, 2022), integrando el accionar escolar a marcos nacionales e internacionales de sostenibilidad sin perder su anclaje territorial, al igual, que en articulación con actores territoriales estratégicos, fortaleciendo el carácter interinstitucional de la experiencia.

En coherencia con los desafíos socioecológicos del piedemonte andino-amazónico, la experiencia se inspira en autores como Edgar Morin (2000), quien afirma que la crisis planetaria actual es simultáneamente ecológica, cognitiva y civilizatoria, y solo puede abordarse mediante una educación capaz de transformar las formas de pensar, sentir y habitar el mundo. Del mismo modo, Enrique Leff (2004, citado en García & Priotto, 2009, pág. 25) sostiene que la educación ambiental debe asumir una dimensión ética y política orientada a reconstruir las relaciones entre sociedad y naturaleza. Bajo estos referentes, la propuesta educativa de IBEHO no solo busca enseñar contenidos ambientales, sino cultivar en la acción climática y civilizatoria basada en el cuidado de la vida, la interdependencia y la responsabilidad ecológica cotidiana, integrando escuela, familia y territorio en un proceso formativo transformador.

La experiencia se articula con el Proyecto Educativo Institucional y con las políticas nacionales de educación ambiental, en coherencia con los marcos internacionales de educación para el desarrollo sostenible, lo que sitúa la propuesta pedagógica en una perspectiva formativa más amplia. Desde el punto de vista metodológico y didáctico, se fundamenta en el aprendizaje significativo de Ausubel, la educación experiencial de Kolb y la ecopedagogía desarrollada por Gutiérrez y Freire, configurando un modelo en el que el aprendizaje supera la transmisión de contenidos para convertirse en una experiencia de transformación personal, social y ambiental (Verdeja Muñiz, 2020; Rodríguez Cepeda, 2018; Dimas et al., 2017; Viera Torres, 2003).

Este sustento teórico-práctico orienta procesos de mejoramiento institucional continuo y posiciona a la escuela como un espacio estratégico para fortalecer la formación integral en contextos socioambientales complejos. En este marco, el presente estudio se propone analizar y sistematizar la experiencia educativa desarrollada en la Institución Educativa Bello Horizonte, con el propósito de examinar su incidencia en la formación de hábitos sostenibles, la conciencia ecológica y la construcción de vínculos comunitarios, desde una perspectiva cualitativa contextualizada en el piedemonte andino-amazónico.

Metodología

El estudio se inscribe en una investigación cualitativa de enfoque interpretativo, desarrollada bajo la modalidad de sistematización de experiencias con elementos de investigación-acción y estudio de caso único. Para su implementación, se contó con el acompañamiento de aliados estratégicos como Servaf, la Universidad de la Amazonia, el Plan Departamental del Agua y la Secretaría de Ambiente, quienes aportaron soporte técnico, escenarios de aprendizaje y validación contextual de las acciones desarrolladas, las cuales ampliaron la comprensión práctica de los contenidos abordados en el aula. Así, la elección metodológica responde a la necesidad de comprender, desde un contexto territorial específico, los procesos formativos implementados en la Institución Educativa Bello Horizonte y su incidencia en la transformación de prácticas, significados y hábitos asociados al cuidado ambiental.

Por lo anterior, la sistematización permitió reconstruir de manera crítica la experiencia pedagógica, identificar sus fundamentos conceptuales, estrategias de implementación y resultados observables, mientras que el componente de investigación-acción facilitó la reflexión permanente sobre la práctica educativa y su ajuste progresivo en función de las dinámicas escolares y comunitarias. En este marco, el territorio no se asume únicamente como escenario físico, sino como categoría contextual de análisis, entendiendo que las prácticas educativas y los procesos de apropiación ambiental están condicionados por las características socioambientales del piedemonte andino-amazónico.

Ubicación

La experiencia pedagógica se desarrolla en la Institución Educativa Bello Horizonte (IBEHO), ubicada en las coordenadas 1°37'48.1"N 75°35'39.0"W en el área urbana de Florencia, Caquetá, en el piedemonte andino-amazónico colombiano. Este territorio se caracteriza por una alta pluviosidad anual, humedades relativas superiores al 80 %, una intensa dinámica ecosistémica y una estrecha relación entre comunidades urbanas y rurales. Su posición geográfica lo convierte en un espacio estratégico para la educación ambiental, dada la presencia de sistemas hídricos, relictos de bosque húmedo tropical y zonas intervenidas que evidencian procesos de degradación y transformación del paisaje (Figura 1). En este entorno se implementa la experiencia, articulando escuela, familias y comunidad para promover prácticas de acción climática y formación integral.

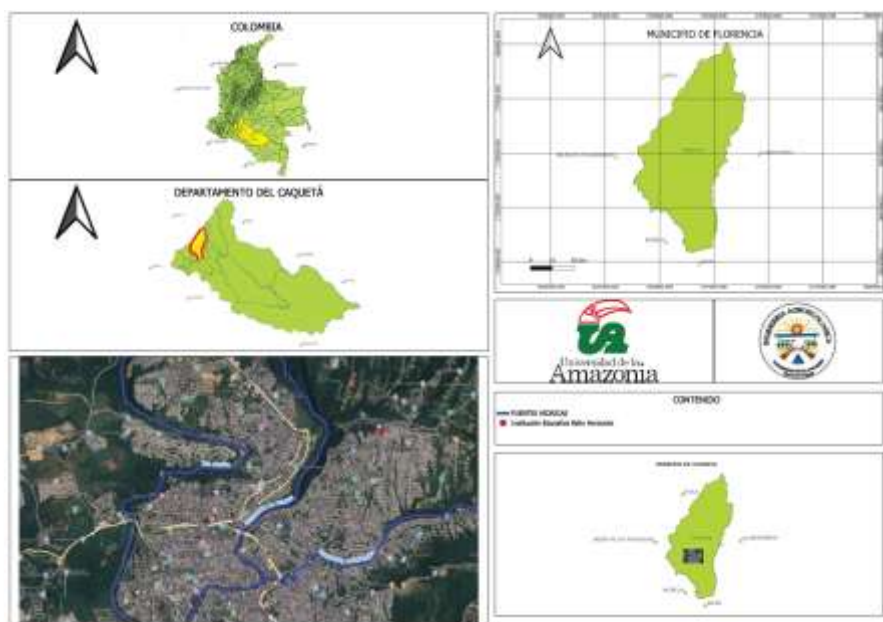


Figura 1. Ubicación de la Institución Educativa Bello Horizonte.
Fuente: Rojas Muñoz, 2025

La figura 1, además de la descripción del sitio donde se desarrolló las acciones ambientales, permite comprender el contexto territorial que enmarca la experiencia pedagógica. En coherencia con el enfoque cualitativo adoptado, el territorio se asume como categoría contextual de análisis, entendiendo que las prácticas educativas, los hábitos estudiantiles y las dinámicas comunitarias están condicionadas por las características socioambientales del piedemonte andino-amazónico. La ubicación de la institución en una zona urbano-rural de transición, con problemáticas asociadas a la vulnerabilidad social y a la contaminación de la quebrada La Perdiz, constituye un elemento interpretativo relevante para comprender la pertinencia y el alcance de la experiencia pedagógica.

Por otra parte, este entorno configura un escenario socioambiental complejo, caracterizado por condiciones de vulnerabilidad social, económica y familiar que inciden en las dinámicas escolares. En este sentido, el territorio no constituye un dato accesorio, sino una categoría contextual que explica la pertinencia de una propuesta formativa orientada a la acción climática y a la reconstrucción ética del vínculo entre comunidad y entorno natural.

Fases complementarias

La experiencia pedagógica se estructura bajo una lógica más vivencial donde el saber desarrolla habilidad de conservación de la vida, el compartir y apostar al bien común en los territorios. Por eso, se hace énfasis en la integración de componentes pedagógicos, comunitarios y ambientales, con el bien común a nivel mundial: la acción climática y la conservación de los recursos naturales. La experiencia es innovadora porque reconfigura el sentido tradicional de la educación ambiental, trascendiendo la enseñanza de conceptos ecológicos para convertirla en una pedagogía orientada a la vida, donde aprender implica reconocer cómo cada acción cotidiana contribuye al equilibrio personal, social y ambiental. Su carácter innovador no radica en la incorporación de tecnologías o metodologías fragmentadas, sino en el cambio de paradigma educativo que propone: pasar de "enseñar sobre el ambiente" a educar desde la vida cotidiana, promoviendo prácticas sostenibles, relaciones armónicas y una cultura de paz.

La propuesta integra de manera inédita tres dimensiones que usualmente se trabajan por separado:

1. La formación de hábitos saludables y conscientes (alimentación, ejercicio y consumo responsable).
2. La acción climática y ambiental tangible, expresada en proyectos de huertas, reciclaje y reforestación.
3. La dimensión socioemocional y ética, donde cada acto cotidiano se interpreta como una forma de cuidar la vida propia y la del entorno.

Participantes

La implementación de la experiencia pedagógica contó con la participación organizada de distintos actores de la comunidad educativa. En total, 117 estudiantes participaron de manera directa en las actividades formativas, integrándose a los procesos de observación, acción y reflexión que estructuran la metodología. Asimismo, cinco familias se vincularon activamente a las actividades de huerta y sostenibilidad, permitiendo extender el proceso educativo al espacio doméstico.

El componente docente estuvo conformado por cuatro maestros de Ciencias Naturales, Ciencias Sociales, Lenguaje y Artística, quienes trabajaron de manera articulada para integrar los contenidos y asegurar la coherencia pedagógica del proceso. El PTA ejerció el rol de coordinador metodológico, orientando la planeación, el acompañamiento y la ejecución de las acciones. Finalmente, los directivos docentes garantizaron las condiciones institucionales necesarias: tiempos, espacios y recursos para el desarrollo y la continuidad de la experiencia.

Técnicas e instrumentos de recolección de información

La recolección de información se realizó mediante diversas técnicas cualitativas coherentes con el carácter participativo del estudio. Para ello, se emplearon registros de campo elaborados por los docentes durante las jornadas pedagógicas, actas de reuniones con familias y aliados institucionales, diarios reflexivos de estudiantes, entrevistas semiestructuradas a docentes y padres de familia, así como observación participante en actividades como huertas escolares, jornadas de reforestación y análisis básico de calidad del agua. Adicionalmente, se sistematizaron evidencias fotográficas, registros de asistencia, informes de seguimiento institucional y productos académicos elaborados por los estudiantes. En consecuencia, estos instrumentos permitieron documentar tanto dimensiones observables (número de huertas, participación familiar, asistencia) como transformaciones formativas relacionadas con actitudes, hábitos y significados construidos en torno al cuidado de la vida y el entorno.

Para valorar los cambios en la motivación estudiantil frente a las actividades ambientales y sustentar el incremento del 40% reportado, se diseñó y aplicó un instrumento de percepción de motivación ambiental al inicio y al cierre del año académico. Este instrumento consistió en un cuestionario estructurado que incluyó ítems relacionados con:

- El interés por las ciencias naturales y la investigación.
- La disposición para la participación en actividades de campo (huertas y reforestación).
- La valoración del aprendizaje asociado al cuidado del entorno amazónico.

Las respuestas se registraron mediante una escala de valoración de cinco niveles (desde "Muy en desacuerdo" hasta "Muy de acuerdo"). Los datos obtenidos fueron comparados entre ambos momentos de aplicación y contrastados con registros de participación estudiantil y observaciones docentes en jornadas comunitarias. Esta triangulación permitió verificar que el aumento en el interés académico se tradujo en una acción ciudadana efectiva y medible en el territorio.

Procedimientos de análisis, seguimiento y valoración

El análisis de la información se desarrolló de manera continua mediante reuniones periódicas de reflexión colectiva, siguiendo los principios de la investigación-acción educativa. Este proceso no se limitó a la revisión descriptiva de actividades, sino que implicó la organización sistemática de los datos recopilados y su interpretación a la luz de los objetivos del estudio. En su desarrollo, se inició con la organización de la información mediante una lectura comprensiva para identificar unidades de significado relacionadas con hábitos sostenibles, conciencia ecológica, participación comunitaria y transformación de prácticas cotidianas. Posteriormente, estas unidades se agruparon en categorías temáticas emergentes y se contrastaron con los referentes teóricos del estudio, estableciendo relaciones entre la experiencia pedagógica y los procesos de cambio observados.

Así, en coherencia con este procedimiento, el seguimiento de la experiencia se estructuró en tres niveles de monitoreo:

1. **Nivel pedagógico:** seguimiento a aprendizajes, actitudes y hábitos estudiantiles en el aula y en el hogar.

2. **Nivel comunitario:** observación del impacto en las familias vinculadas, especialmente en huertas domésticas, reciclaje y consumo responsable.
3. **Nivel institucional y territorial:** acompañamiento de aliados estratégicos (Servaf, Universidad de la Amazonia, Plan Departamental del Agua y Secretaría de Ambiente), quienes brindaron apoyo técnico y retroalimentación contextual.

Operacionalización de indicadores

Con el fin de fortalecer la valoración de resultados, se definieron dos tipos de indicadores complementarios (Tabla 1):

Tabla 1.

Relación de los indicadores observables e indicadores formativos.

Indicadores Observables	Indicadores Formativos
- Número de huertas creadas y mantenidas. - Volumen aproximado de residuos reciclados y materiales reutilizados. - Participación de familias y aliados. - Variación en asistencia escolar.	- Interés por las ciencias naturales. - Motivación y compromiso estudiantil. - Transformación de hábitos personales y familiares. - Desarrollo de valores como empatía y trabajo colaborativo.

Fuente: Elaboración propia, 2025

Por lo tanto, los indicadores observables se obtuvieron a partir de registros institucionales, actas y listados de participación, permitiendo identificar incrementos y tendencias durante el periodo de implementación. Por su parte, los indicadores formativos fueron interpretados a partir de entrevistas, diarios reflexivos, observación participante y contrastación entre actores. Para ello, se debe considerar que cuando se mencionan incrementos o variaciones (por ejemplo, aumento de participación familiar), estos corresponden a comparaciones entre el diagnóstico inicial y los registros consolidados al cierre del periodo académico.

Criterios de interpretación y rigor

Para garantizar coherencia interpretativa, se aplicó triangulación de fuentes (estudiantes, docentes y familias) y de evidencias (registros escritos, observaciones y datos institucionales). El análisis se orientó a comprender los significados construidos por los participantes más que a establecer generalizaciones estadísticas, respetando el carácter contextual del estudio. Asimismo, se procuró mantener consistencia entre los objetivos planteados, las acciones implementadas y los resultados interpretados.

En conjunto, el diseño metodológico adoptado permitió analizar la experiencia educativa desde su complejidad contextual, integrando dimensiones pedagógicas, comunitarias y territoriales. La sistematización cualitativa no se orientó únicamente a describir acciones implementadas, sino a comprender los sentidos formativos, los cambios observados y las dinámicas de apropiación ambiental emergentes en la comunidad educativa. Este enfoque posibilitó articular la reflexión teórica con la práctica escolar concreta, garantizando coherencia entre el objetivo del estudio y los procedimientos empleados para su análisis.

Limitaciones del estudio

Dado que esta investigación se desarrolla como un estudio de caso único en una institución educativa del piedemonte andino-amazónico, sus hallazgos deben entenderse desde las particularidades territoriales, sociales y culturales que configuran este contexto. Factores como la vulnerabilidad socioeconómica, la relación entre lo urbano y lo rural, y las condiciones ambientales propias de la región inciden directamente en los procesos formativos y en la sostenibilidad de las transformaciones observadas.

Al estar fundamentado en un enfoque cualitativo e interpretativo, este estudio prioriza la comprensión de los significados y de los cambios en la subjetividad construidos colectivamente, más que la generalización estadística a otros contextos educativos. En esta línea, se reconoce como una limitación metodológica el número reducido de núcleos familiares vinculados (n=5) frente a la población estudiantil (n=117). Sin embargo, la profundidad de los

cambios observados en estos hogares –como la implementación de prácticas de compostaje y huertas de autoconsumo– permite evidenciar el potencial del modelo en una escala piloto.

En consecuencia, esta experiencia no busca presentar un modelo universal ni replicable de forma mecánica. Más bien, propone una lectura situada sobre cómo la escuela, en diálogo con su territorio, puede aportar a la acción climática y a la reconstrucción del vínculo entre comunidad y naturaleza. A partir de ello, se abre la posibilidad de futuras investigaciones que amplíen y fortalezcan la participación familiar en este tipo de procesos.

Resultados y discusión

La experiencia generó avances verificables en los niveles institucional, pedagógico, comunitario y familiar. En coherencia con la operacionalización metodológica presentada, los resultados se organizan en indicadores de insumo, proceso y resultado, los cuales permiten identificar transformaciones tanto materiales como formativas en el territorio escolar (tabla 2).

Tabla 2.

Indicadores de insumo, proceso y resultado de la experiencia

Categoría	Indicador	Evidencia
Insumo	Movilización de actores	117 estudiantes, 5 familias, 4 docentes, docente PTA y 2 directivos docentes
	Articulación interinstitucional	Servaf, Universidad de la Amazonia, Secretaría de Ambiente, PDA y JAC
	Escenarios transformados	2 sedes con huertos y puntos de reforestación
	Materiales reaprovechados	Más de 20.000 botellas reutilizadas
Proceso	Huertas activas	6 huertas (1 institucional y 5 familiares) con monitoreo quincenal
	Reforestación	Más de 600 árboles sembrados
	Integración curricular	40 sesiones interdisciplinarias
	Ciencia escolar aplicada	4 visitas técnicas con PDA y Servaf
	Vida saludable	Talleres familiares trimestrales
Resultado	Asistencia escolar	+30 % (comparativo semestral)
	Motivación escolar	+40 % (encuestas inicial-final + participación voluntaria en jornadas comunitarias)
	Participación familiar	De 1 a 5 familias activas en un año
	Cambios de hábitos	Reducción de ultraprocesados y mayor movilidad activa
	Orientación vocacional	8 estudiantes con interés en Biología, Agroecología o Ciencias Ambientales
Impacto	Transformación cultural	Coherencia entre hábitos escolares y cotidianos
	Rol docente	Integración transversal en planes de aula
	Vínculo escuela-comunidad	Hogares como espacios intergeneracionales
Sostenibilidad	Clima escolar	Disminución de conflictos menores y mayor cooperación
	Institucionalización	Inclusión en PRAE, PMI y planes de área
	Proyección 2026	Expansión a 12 hogares y fortalecimiento de compostaje
Transferencia	Liderazgo compartido	Corresponsabilidad entre docentes y comunidad
	Laboratorios vivos	5 hogares como nodos comunitarios
	Replicabilidad	6 docentes orientados
	Producción académica	Artículo en elaboración
	Divulgación digital	Promedio de 1.000 visualizaciones por publicación
	Reconocimiento territorial	Referente en redes municipales PRAE

Fuente: Elaboración propia, 2025

Los indicadores cuantitativos se ven fortalecidos por las voces de los propios actores, recogidas en diarios de campo y en talleres de evaluación reflexiva. Estas narrativas permiten comprender con mayor profundidad los cambios observados. En relación con la motivación y la asistencia, la huerta y las actividades de reforestación se consolidaron como verdaderas “aulas vivas”, capaces de transformar el sentido de asistir a la escuela en una experiencia significativa. Asimismo, la sistematización evidenció un impacto importante en la construcción de proyectos de vida orientados hacia la sostenibilidad y la ciencia con pertinencia territorial. El contacto directo con el entorno, junto con el uso de herramientas técnicas, favoreció que los estudiantes comenzaran a imaginar su futuro profesional desde

su propia realidad local, reconociendo en su territorio no una limitación, sino una oportunidad. En este sentido, un estudiante expresó:

"Aprendí a utilizar un microscopio y lo estoy utilizando como una herramienta de investigación para mi futura carrera de biología" (Estudiante de Media, Relato de Sistematización, 2024).

Por otro lado, la experiencia permitió dignificar la labor del campo y fortalecer el relevo generacional con un enfoque técnico-ambiental. La conexión entre **el** saber familiar y el escolar se evidencia en el siguiente testimonio:

"Aprendí a cuidar los alimentos en las huertas. Mi papá tiene una finquita y ya con esto me gustaría poder estudiar agroecología, para profundizar más en este tema del campo y cuidar del suelo y las aguas" (Estudiante de Secundaria, Encuentro de Evaluación Reflexiva, 2024).

Estos hallazgos muestran que la estrategia IBEHO va más allá de la enseñanza ambiental tradicional. En la práctica, logra que el estudiante se reconozca como investigador de su propio entorno y como actor comprometido con la protección de los servicios ecosistémicos del piedemonte amazónico. En cuanto a la transformación de hábitos y la acción climática, la sistematización permitió evidenciar un cambio significativo en la manera en que los estudiantes perciben su entorno. Se pasa de una visión centrada en el aprovechamiento extractivo a una perspectiva orientada al cuidado y la corresponsabilidad. En este proceso, los diarios de campo del docente PTA registran que:

"El cambio más notable no es solo la siembra de los 600 árboles, sino la apropiación del territorio. Los estudiantes ahora identifican especies nativas y cuestionan el uso de plásticos en sus hogares, trasladando el aprendizaje del aula a la estructura familiar" (Registro de Observación Participante, Fase 3).

La vinculación de las familias que reportó un incremento significativo se evidencia en la creación de huertas caseras. Una de las madres participantes relató durante la fase de evaluación:

"En la casa botábamos los residuos, pero mi hijo llegó con la idea de la composta y ahora tenemos una pequeña huerta. La escuela nos enseñó que nosotros también somos parte de la solución al cambio climático, a este calor" (Madre de familia, Entrevista Grupal, 2024).

Estos testimonios dejan ver que la reconstrucción civilizatoria que propone el modelo IBEHO no se queda en el plano teórico. Por el contrario, cobra vida en las experiencias de los estudiantes, quienes empiezan a reconocerse a sí mismos como agentes de cambio en el piedemonte amazónico, fortaleciendo así su relación con el entorno y su responsabilidad frente a él. En relación con la motivación escolar, se evidenció un incremento importante del 40%. Este resultado no solo surge del contraste entre las encuestas iniciales y finales, sino que también se respalda en un hecho clave: la creciente participación voluntaria de los estudiantes en jornadas comunitarias durante los fines de semana, lo que refleja un compromiso que trasciende el aula.

Los datos presentados evidencian que la experiencia no se limitó a una suma de actividades, sino como un proceso progresivo de apropiación pedagógica ambiental en diálogo con el territorio. Asimismo, permite evidenciar que la experiencia trasciende la lógica de proyecto puntual para consolidarse como proceso formativo territorial. Como respaldo, los insumos muestran capacidad de movilización institucional; los procesos reflejan apropiación pedagógica sostenida; los resultados evidencian variaciones verificables en asistencia, motivación y hábitos de vida; mientras que los indicadores de impacto, sostenibilidad y transferencia permiten comprender la dimensión civilizatoria del proceso. De esta manera, el incremento en motivación y participación no se interpreta únicamente como mejora académica, sino como señal de reconexión entre escuela, vida cotidiana y entorno socioambiental.

En conjunto, estos hallazgos sugieren que cuando la acción climática se integra a la vida cotidiana —a través de prácticas concretas como huertas, reforestación y evaluación del agua— y se articula con las condiciones territoriales y sociales, la escuela puede configurarse como un nodo de transformación ética y comunitaria, más allá del cumplimiento curricular. De esta manera, los resultados obtenidos en la experiencia pedagógica IBEHO evidencian un proceso de transformación que supera la ejecución de actividades, para consolidarse como un cambio cultural dentro de la institución y las familias participantes. En términos generales, los indicadores muestran avances consistentes en participación, motivación, hábitos saludables y apropiación ambiental, lo que sugiere que la

metodología basada en la vida cotidiana y la acción comunitaria resulta pertinente para promover aprendizajes significativos.

Este comportamiento coincide con planteamientos de la educación ambiental crítica, que señalan que el aprendizaje se fortalece cuando los estudiantes perciben utilidad inmediata en su vida diaria (Bueno Lugo et al., 2023; Díaz-Ruiz et al., 2022). En particular, la motivación escolar mostró un incremento del 40%, evidenciado a partir de las encuestas de percepción aplicadas al inicio y al final del año académico. Este resultado se vio reforzado por los registros de participación voluntaria en jornadas comunitarias, donde se observó una mayor disposición de los estudiantes para involucrarse activamente, lo que aporta consistencia al cambio identificado en el marco de la experiencia.

Asimismo, la articulación con familias y entidades externas fortaleció la dimensión comunitaria del aprendizaje. El paso de una familia vinculada a cinco durante el primer año según actas de seguimiento y registros de participación familiar junto con la consolidación de huertas domésticas activas evidencia una ampliación progresiva del alcance pedagógico hacia el ámbito doméstico. Más que afirmar una transferencia automática, los datos permiten señalar una tendencia de apropiación comunitaria de las prácticas promovidas por la escuela. Esta dinámica sugiere que la corresponsabilidad entre escuela y hogar puede contribuir a la continuidad de los aprendizajes, en la medida en que las acciones formativas trascienden el espacio escolar.

Los indicadores también muestran variaciones en hábitos personales y familiares, tales como reducción del consumo de productos ultraprocesados y aumento de prácticas físicas o recreativas, reportadas en diarios reflexivos y entrevistas semiestructuradas. Si bien estos cambios no pueden atribuirse exclusivamente a la intervención educativa dado el carácter contextual y multifactorial del estudio su recurrencia en distintas fuentes y momentos de registro sugiere un entorno pedagógico favorable para la transformación progresiva de prácticas cotidianas. Por otra parte, la participación estudiantil en ejercicios de investigación escolar, como el monitoreo de algas perifíticas y la observación de ecosistemas locales, fortaleció la apropiación de la ciencia como herramienta para comprender el territorio. Así, el interés vocacional manifestado por al menos ocho estudiantes, consignado en encuestas finales y conversaciones orientadoras, permite identificar indicios de impacto formativo a mediano plazo, sin que ello implique una proyección determinista de trayectorias futuras.

Por otra parte, los resultados institucionales, como la resignificación de espacios escolares, la articulación curricular entre áreas y el reconocimiento comunitario, muestran que la experiencia no solo produjo aprendizajes individuales sino transformaciones estructurales. Estos cambios refuerzan la idea de que la sostenibilidad de la propuesta depende de su capacidad de integrarse al currículo, al PRAE y a la cultura institucional, y no únicamente de actividades puntuales. De esta forma, los hallazgos indican que la experiencia IBEHO contribuye a la formación de una comunidad escolar más consciente, participativa y orientada hacia el cuidado del territorio. Aunque se requieren procesos de evaluación longitudinal para confirmar la permanencia de los cambios observados, los resultados iniciales permiten afirmar que el enfoque pedagógico basado en la vida cotidiana, la interdisciplinariedad y la corresponsabilidad comunitaria ofrece una ruta efectiva para la educación ambiental en contextos amazónicos.

En estudios previos sobre educación ambiental crítica se ha señalado que la incorporación de prácticas contextualizadas favorece la apropiación del aprendizaje cuando los estudiantes perciben utilidad inmediata en su vida cotidiana (Díaz-Ruiz et al., 2022; Bueno Lugo et al., 2023). De manera similar, en la experiencia IBEHO se observaron incrementos en motivación, participación y vinculación familiar asociados a prácticas concretas como huertas, reforestación y monitoreo del agua. Sin embargo, a diferencia de investigaciones centradas exclusivamente en intervenciones curriculares o proyectos extracurriculares aislados, el caso analizado integra dimensión pedagógica, comunitaria y territorial de forma simultánea, lo que amplía el alcance formativo más allá del aula.

Mientras que García & Priotto (2009) describen el surgimiento de nuevas racionalidades socioambientales como resultado de procesos de educación ambiental prolongados, en IBEHO estas transformaciones emergen en un contexto de vulnerabilidad socioambiental propio del piedemonte andino-amazónico, donde la relación urbano-rural y la presión sobre ecosistemas hídricos configuran desafíos particulares. En este escenario, la sostenibilidad no se presenta únicamente como contenido normativo, sino como práctica cultural que se construye en la cotidianidad escolar y familiar, en línea con lo planteado por Valcárcel-Resalt Castillo (2021), quien sostiene que los procesos formativos adquieren mayor estabilidad cuando logran integrarse a los hábitos y sentidos compartidos de la

comunidad. Este elemento territorial introduce una variable diferenciadora: la acción climática no se aborda únicamente como contenido educativo, sino como respuesta situada a problemáticas locales concretas, lo que puede explicar la expansión progresiva hacia el ámbito familiar.

En este sentido, las transformaciones reportadas mejoras en hábitos, fortalecimiento de la corresponsabilidad y apropiación del territorio no deben interpretarse como resultados lineales ni universalizables, sino como manifestaciones contextualizadas de un proceso formativo que articula ética, práctica cotidiana y reconstrucción del vínculo entre comunidad y naturaleza. Coincidiendo con Freire (2004), la educación adquiere carácter político cuando posibilita la acción colectiva; no obstante, el caso IBEHO aporta un matiz adicional: dicha acción se materializa en prácticas ecológicas concretas que reconfiguran la vida escolar como espacio de aprendizaje civilizatorio.

De esta manera, más que demostrar un modelo replicable, la experiencia sugiere que la sostenibilidad puede consolidarse como práctica cultural cuando la escuela se reconoce como nodo territorial y cuando las acciones formativas dialogan con las condiciones sociales y ambientales específicas del contexto. Este aporte amplía la discusión sobre educación para el desarrollo sostenible al situarla no solo en el plano curricular, sino en el ámbito de la reconstrucción ética y comunitaria en territorios de transición ecológica como el piedemonte andino-amazónico.

En síntesis, la experiencia ambiental sistematizada en IBEHO permite ampliar la discusión sobre educación para el desarrollo sostenible al evidenciar que la acción climática escolar adquiere mayor profundidad cuando se articula con prácticas cotidianas, dinámicas familiares y condiciones territoriales específicas. Más que confirmar postulados teóricos existentes, la experiencia aporta una lectura situada desde el piedemonte andino-amazónico, donde la escuela opera como nodo de articulación entre conocimiento, ética y comunidad. Si bien los hallazgos no son generalizables en términos universales, sugieren que los procesos formativos orientados a la sostenibilidad alcanzan mayor estabilidad cuando se integran a la vida cotidiana y se sostienen mediante corresponsabilidad institucional y comunitaria. Este matiz territorial y civilizatorio constituye el principal aporte del estudio al campo de la educación ambiental contemporánea.

Conclusiones

La experiencia desarrollada en la Institución Educativa Bello Horizonte (IBEHO) evidencia que la acción climática puede consolidarse como eje articulador del proceso formativo cuando se integra a la vida cotidiana, al territorio y a la dinámica familiar. Para ello, los resultados muestran variaciones verificables en participación, asistencia y vinculación comunitaria, así como transformaciones progresivas en hábitos y percepciones ambientales. Así, más que constituir un modelo replicable de manera automática, el estudio aporta una lectura situada sobre cómo la escuela puede fortalecer la corresponsabilidad y la apropiación del entorno en contextos del piedemonte andino-amazónico.

No obstante, al tratarse de un estudio cualitativo de caso único, los hallazgos deben interpretarse dentro de las condiciones específicas del contexto institucional y territorial analizado. Las transformaciones reportadas se sustentan en procesos interpretativos y comparativos propios del enfoque adoptado, por lo que no permiten establecer relaciones causales generalizables ni proyecciones deterministas a otros escenarios educativos. También, indicar que la articulación interinstitucional de Servaf, el Plan Departamental del Agua, la Universidad de la Amazonia y la Junta de Acción Comunal permitió ampliar las oportunidades pedagógicas, desarrollar investigación escolar y legitimar la experiencia como un esfuerzo territorial por la acción climática y la construcción de ciudadanía.

Como proyección, la experiencia abre líneas de continuidad relacionadas con el seguimiento longitudinal de los cambios de hábitos, el análisis de trayectorias vocacionales emergentes y la ampliación de la red de familias vinculadas. Futuras investigaciones podrían explorar comparativamente experiencias similares en otros territorios amazónicos o de transición ecológica, con el fin de identificar patrones comunes y variables diferenciales que permitan fortalecer políticas de educación para el desarrollo sostenible con enfoque territorial.

En conjunto, el estudio sugiere que cuando la sostenibilidad se incorpora como práctica pedagógica cotidiana y se sostiene mediante articulación institucional y comunitaria, la escuela puede desempeñar un papel relevante en la formación de sujetos comprometidos con el cuidado de la vida y del entorno.

Recomendaciones

Como líneas de continuidad, se sugiere realizar seguimiento longitudinal a los cambios de hábitos y a las trayectorias académicas de los estudiantes que manifestaron interés en áreas ambientales, así como ampliar el análisis comparativo con otras instituciones de contextos similares. Asimismo, en términos de mejora y sostenibilidad del proyecto, se proponen las siguientes recomendaciones concretas:

1. **Establecer un sistema anual de medición estandarizada** de motivación y hábitos sostenibles, aplicando instrumentos comparables al inicio y cierre de cada año escolar para fortalecer la trazabilidad de resultados.
2. **Ampliar la red de familias vinculadas** de cinco a al menos doce hogares para 2026, consolidando un protocolo de seguimiento trimestral con indicadores claros de participación.
3. **Implementar un registro digital sistemático** de asistencia, producción de huertas y actividades ambientales que permita análisis acumulativos a mediano plazo.
4. **Formalizar un semillero escolar de investigación ambiental**, con metas anuales de participación estudiantil y producción académica.
5. **Fortalecer alianzas territoriales mediante convenios formales**, garantizando al menos dos actividades técnicas semestrales con entidades ambientales.

Referencias bibliográficas

- Acosta, K. (2025). *La crisis ambiental que pone en jaque las regiones de Colombia*. Fundación Llano Adentro. <https://fundacionllanoadentro.com/2025/07/14/la-crisis-ambiental-que-pone-en-jaque-las-regiones-de-colombia/>
- Bueno Lugo, A. F., Velásquez Sarria, J. A., & Ruiz Lozano, R. (2023). Pensamiento crítico en educación ambiental en niños y niñas de la Institución Educativa Colegio de San Simón, Ibagué. *Revista UNIMAR*, 41(1), 150-166. <https://doi.org/10.31948/Rev.unimar/unimar41-1-art9>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2023). *Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026: Colombia, potencia mundial de la vida*. Recuperado de <https://www.dnp.gov.co/plan-nacional-desarrollo/pnd-2022-2026>
- Díaz-Ruiz, M., Giraldo Gómez, Y. V., & Molina, M. C. (2022) Formación en Educación Ambiental crítica en una comunidad de aprendizaje de maestros. *Revista de Educación Ambiental y Sostenibilidad* 4(1), 1302. https://doi.org/10.25267/Rev_educ_ambient_sostenibilidad.2022.v4.i1.1302
- Dimas S. P., Peña, M. A., & Herrán, B. C. (2017). Ecopedagogía y buen vivir: los caminos de la sustentabilidad. *Praxis*, 13(1), 84 - 92. <http://dx.doi.org/10.21676/23897856.2065>
- Freire, P. (2004). *Pedagogía de la autonomía*. Sao Paulo: Paz e Terra.
- García, D., & Priotto, G. (2009). *Educación ambiental: Aportes políticos y pedagógicos en la construcción del campo de la Educación Ambiental*. Unidad de Coordinación de Educación Ambiental. <https://web.ua.es/es/giecryal/documentos/educacion-ambiental.pdf>
- Kairuz Fonseca, M. (2020). *Diversidad florística en el piedemonte amazónico: efectos del grado de fragmentación y la conectividad*. (tesis de grado) Universidad de los Andes. Disponible en: <https://hdl.handle.net/1992/48879>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2025a). *Política de educación ambiental*. Recuperado de <https://acortar.link/5LN2gt>
- Ministerio de Ambiente. (2025b). *Histórico: Se firma acuerdo por la conservación de la Amazonía en la selva de Caquetá*. <https://www.minambiente.gov.co/historico-se-firma-acuerdo-por-la-conservacion-de-la-amazonia-en-la-selva-de-caqueta/>
- Ministerio de Educación Nacional de Colombia. (2023). *Educación CRESE: Ciudadana, para la reconciliación, antirracista, socioemocional y para el cambio climático*. Recuperado de <https://acortar.link/byGWNq>
- Morin, E. (2000). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro* (M. Vallejo-Gómez, Trad.). UNESCO.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2022). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Pardo-Rozo, Y. Y. (2022). Valoración del servicio ecosistémico de regulación hídrica en el Piedemonte Amazónico, Caquetá, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 25(1). <http://doi.org/10.31910/rudca.v25.n1.2022.1608>
- Rodríguez Cepeda, R. (2018). Los modelos de aprendizaje de Kolb, Honey y Mumford: implicaciones para la educación en ciencias. *Sophia*, 14(1), 51-64. <https://doi.org/10.18634/sophiaj.14v.1i.698>

- Rojas Muñoz, S. (2025). *Mapa de la Institución Educativa Bello Horizonte* [Mapa]. Florencia, Colombia: I.E. Bello Horizonte.
- Valcárcel-Resalt Castillo, T. (2021). BONA, C. (2021). Humanizar la educación. Barcelona: Plaza Janes, 225 páginas, ISBN 978-84-01-02231-9. Contextos Educativos. *Revista De Educación*, (28), 321–322. <https://doi.org/10.18172/con.5092>
- Verdeja Muñiz, M. (2020). El legado pedagógico de Paulo Freire: una pedagogía de la esperanza que nos invita a realizar una lectura crítica del mundo y soñar con las posibilidades de transformación en un mundo ético y profundamente solidario. *Voces de la educación*, 50–67. Recuperado a partir de <https://www.revista.vocesdelaeducacion.com.mx/index.php/voces/article/view/320>
- Viera Torres, T. (2003). El aprendizaje verbal significativo de Ausubel. Algunas consideraciones desde el enfoque histórico-cultural. *Universidades*, (26), 37-43. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37302605>

Evaluación de un modelo predictivo de Competencia Digital Docente usando técnicas de aprendizaje automático

Evaluation of a predictive model of Teachers' Digital Competence using Machine Learning techniques

Wiston Forero-Corba¹  , Francisca Negre-Bennasar²  , Francisco José Perales López³  

Doctor en Tecnología Educativa, Facultad de Educación, *Universitat de les Illes Balears* (UIB), Palma de Mallorca, España.¹

Doctora en Ciencias de la Educación, Facultad de Educación, *Universitat de les Illes Balears* (UIB), Palma de Mallorca, España.²

Doctor en Informática, Facultad Escuela Politécnica Superior, *Universitat de les Illes Balears* (UIB), Palma de Mallorca, España.³

ISSN 2619-2608

DOI: <https://doi.org/10.34069/RA/2026.17.04>

Cómo citar:

Forero-Corba, W., Negre-Bennasar, F., & Perales López, F.J. (2026). Evaluación de un modelo predictivo de Competencia Digital Docente usando técnicas de aprendizaje automático. *Revista Científica Del Amazonas*, 9(17), 43-63.

<https://doi.org/10.34069/RA/2026.17.04>

Recibido: 12 de enero de 2026

Aceptado: 20 de mayo de 2026



Resumen

La Competencia Digital Docente (CDD) se define como el conjunto de habilidades y destrezas digitales que los docentes aplican en los procesos de enseñanza-aprendizaje. El aprendizaje automático (ML), rama de la inteligencia artificial, emplea técnicas para identificar y predecir patrones en grandes volúmenes de datos. Los estudios sobre CDD resultan esenciales para las instituciones educativas, pues impactan en el desarrollo integral de los estudiantes y orientan a los directivos en la implementación de acciones de formación que fortalezcan las capacidades digitales de su planta docente. El objetivo de este trabajo es evaluar un modelo de predicción de la CDD considerando dimensiones pedagógicas, comunicativas, investigativas, tecnológicas y de gestión. La metodología adoptó un enfoque mixto, descriptivo y no experimental, sustentado en la Investigación Basada en Diseño. La muestra incluyó 128 docentes de una institución educativa en Bogotá y 53 docentes de 41 instituciones colombianas. Los resultados evidenciaron que el nivel de CDD es limitado en los docentes del país. Las conclusiones destacan la alta efectividad del uso de técnicas inteligentes para la predicción de la CDD y plantean propuestas que pueden orientar futuras investigaciones en el ámbito educativo.

Palabras clave: aprendizaje automático, competencia digital docente, evaluación, inteligencia artificial, tecnología educativa.

Abstract

Teachers' Digital Competence (TDC) is defined as the set of digital skills and competencies that teachers apply in teaching and learning processes. Machine learning (ML), a branch of artificial intelligence, uses techniques to identify and predict patterns in large volumes of data. Studies on TDC are essential for educational institutions, as they impact students' holistic development and guide administrators in implementing training initiatives that strengthen the digital capabilities of their teaching staff. The objective of this study is to evaluate a TDC prediction model considering pedagogical, communicative, research, technological, and management dimensions. The methodology adopted a mixed-methods, descriptive, and non-experimental approach, grounded in Design-Based Research. The sample included 128 teachers from an educational institution in Bogotá and 53 teachers from 41 Colombian institutions. The results showed that the level of TDC is limited among the country's teachers. The conclusions highlight the high effectiveness of using intelligent techniques to predict TDC and propose recommendations that can guide future research in the field of education.

Keywords: machine learning, teachers' digital competence, evaluation, artificial intelligence, educational technology.

Introducción

La Competencia Digital Docente (CDD) es una condición importante para la integración efectiva de las tecnologías en la educación (Cattaneo et al., 2022). Definimos la CDD como la comprensión, desarrollo y aplicación de conocimientos, aptitudes, habilidades y estrategias propias de los docentes acerca del amplio mundo digital existente mediante procesos de enseñanza-aprendizaje desde su práctica profesional. Según Cabero-Almenara, & Palacios-Rodríguez (2020), la aplicación efectiva de estas competencias permite a los docentes solucionar problemas y retos educativos presentes en la actual sociedad.

Aplicar la CDD a la praxis académica no solo requiere de una formación inicial de los sistemas digitales, con el avance tecnológico exponencial a su paso, requiere de una formación continua durante el ejercicio docente. No obstante, esta formación continua requiere en algunos momentos de recursos tecnológicos que en ocasiones las instituciones educativas no poseen y se convierte en una limitante no solo en los procesos de enseñanza, sino también en los procesos de actualización docente. Esteve et al. (2018) plantean el interrogante de cómo el docente utiliza la tecnología disponible para llevar a cabo su misión de la forma más idónea posible, afirmando que no se habla de una competencia digital genérica ya que depende del contexto educativo al que se enfrente.

A pesar de la existencia de estos marcos normativos y del reconocimiento de la importancia de la CDD, persiste una brecha metodológica y práctica en su evaluación. Tradicionalmente, la medición de la CDD se ha basado en instrumentos de autopercepción y encuestas estáticas que, si bien son útiles, pueden presentar sesgos de subjetividad y no escalan eficientemente ante grandes volúmenes de datos. En el contexto específico de Colombia, aunque se cuenta con el Marco de Competencias TIC (Ministerio de Educación Nacional, 2013), las instituciones carecen de herramientas predictivas automatizadas y basadas en datos empíricos que permitan diagnosticar de manera ágil y objetiva el nivel de sus docentes. Esta carencia de instrumentos de evaluación dinámicos e inteligentes dificulta la toma de decisiones oportunas y el diseño de planes de formación continua realmente adaptados a las falencias reales del profesorado.

Por consiguiente, la presente investigación se justifica desde tres dimensiones fundamentales. A nivel científico, el estudio aporta evidencia empírica sobre la eficacia comparativa de diferentes algoritmos de ML aplicados a la evaluación educativa, consolidando un área de conocimiento emergente en la intersección entre la inteligencia artificial y la pedagogía. A nivel pedagógico, la validación de un modelo predictivo robusto permitirá a las instituciones identificar de forma temprana y precisa las necesidades formativas de los docentes en sus cinco dimensiones (comunicativa, de gestión, investigativa, pedagógica y tecnológica), facilitando la creación de rutas de aprendizaje personalizadas. Finalmente, a nivel contextual, este trabajo ofrece una solución tecnológica innovadora y adaptada a la realidad colombiana, optimizando los recursos institucionales y promoviendo una cultura de evaluación continua que impacte directamente en la calidad de los procesos de enseñanza-aprendizaje.

En respuesta a esta problemática, el objetivo principal de este trabajo es evaluar un modelo de predicción de la CDD de los docentes colombianos con técnicas de ML. El modelo se basó en el Marco de competencias TIC para el desarrollo profesional docente colombiano que se centra en los aspectos pedagógicos, comunicativos, investigativos, tecnológicos y de gestión.

A partir de todo ello, se formulan las siguientes preguntas de investigación (PI):

PI1: ¿Cómo se relacionan las predicciones de la CDD obtenidas por cada técnica?

PI2: ¿Cuál de las técnicas de ML utilizadas en el modelo de predicción de CDD demostró mayor efectividad?

PI3: ¿Cuáles son las diferencias entre los resultados obtenidos del modelo de predicción de CDD en docentes de diferentes niveles educativos?

PI4: ¿Cómo varían los niveles de CDD entre docentes de distintas instituciones?

Marco Teórico o Revisión de literatura

Marcos de evaluación de la CDD

Los diferentes contextos educativos ante sus diversas necesidades han llevado a la creación y enriquecimiento de diferentes modelos y marcos de la evaluación de la CDD. No obstante, Durán et al. (2019) afirman que la competencia digital va mucho más allá de usar tecnologías digitales, haciendo énfasis en la importancia de variables o dimensiones necesarias en cualquier contexto como la investigación y la gestión.

España actualmente se reglamenta bajo el Marco Europeo de Competencia Digital del Profesorado DigCompEdu (Redecker, 2020), el cual es un marco de referencia europea que ayuda a visualizar no solo el nivel de CDD sino además del estudiante. El nivel de CDD está ampliamente relacionado con su formación académica y con el nivel educativo en el que enseña. Este marco a nivel internacional es altamente conocido pudiéndose aplicar en otros contextos educativos fuera de la Unión Europea.

Sin embargo, Latinoamérica por su parte, no tiene constituido un marco común de referencia, cada país o región maneja su propio marco, por ejemplo, en México se implementa la Agenda Digital Educativa (Secretaría de Educación Pública, 2020) que tiene como objetivo potencializar las tecnologías de información y comunicación (TIC) para mejorar y transformar el sistema educativo.

Asimismo, en Chile se aplica el marco de Competencias y Estándares TIC para la profesión docente en Chile (Ministerio de Educación, 2011), el cual define el nivel de la CDD a partir de las dimensiones técnica, pedagógica, de gestión, desarrollo y responsabilidad profesional, social, ética y legal.

Por otra parte, en Colombia se rige por el marco de Competencias TIC para el desarrollo profesional docente colombiano (Ministerio de Educación Nacional, 2013) donde la CDD comprende las dimensiones: comunicativa, de gestión, investigativa, pedagógica y tecnológica.

No obstante, existen propuestas de diseños de marcos que son globales y pueden ser aplicados en diferentes contextos como por ejemplo el Marco de competencias docentes en materia de TIC de la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2019), un ejemplo claro es la investigación de González Fernández (2021) que aplica este marco de referencia en una investigación en docentes de México.

A pesar de las diferencias de los marcos, éstos suelen tener una misma finalidad y es generar alto impacto en los procesos significativos de enseñanza-aprendizaje, mejorando la calidad educativa a través de los resultados académicos de los estudiantes y el fortalecimiento de la profesión docente.

Inteligencia Artificial y Aprendizaje Automático en la evaluación de la CDD

García-Ruiz et al. (2023) plantean la necesidad de investigar mecanismos que ayuden a predecir y evaluar la CDD de manera fiable y efectiva. Es así como, gracias a tecnologías emergentes como el Big Data y campos de Inteligencia Artificial (IA) como el aprendizaje automático (ML, por sus siglas en inglés *Machine Learning*) o aprendizaje profundo (*Deep Learning*), nace la posibilidad de investigar e innovar en modelos para la predicción de la evaluación de la CDD (Forero-Corba & Negre Bennasar, 2024b).

El aprendizaje automático es una rama de la IA que genera predicciones de datos masivos usando diversas técnicas inteligentes (Tarik et al., 2021). Estudios previos han mostrado variables predictoras de los niveles de CDD, por ejemplo, Zhao (2024) construye un modelo de predicción de la CDD utilizando datos empíricos de docentes de secundaria en China. Por su parte, Cabero-Almenara et al. (2022) a partir de modelos de ecuaciones estructurales predijeron los niveles de CDD de los docentes universitarios en base al marco común DigCompEdu. Asimismo, Antonietti et al. (2022) usando modelos de ecuaciones estructurales, predicen la percepción y la actitud de los docentes frente a las tecnologías digitales (TD). Finalmente, Gómez et al. (2022) proponen la medición de niveles de CDD a partir de simulaciones virtuales.

Galindo-Domínguez et al. (2024) afirman que futuras intervenciones basadas en IA se deben aplicar para mejorar dimensiones clave de la CDD como la gestión de la información, la creación de contenidos digitales y la resolución de problemas en los procesos de enseñanza. A pesar de que la implementación de la IA puede ser lenta por procesos administrativos y políticos de cada país (Moreno Padilla, 2019), responder a esta realidad supone explorar el desarrollo de la CDD hacia una certificación auténtica de los docentes (Martín-Párraga et al., 2022).

Metodología

La investigación se realizó entre los años 2022 y 2025 con un enfoque mixto, descriptivo y no experimental. Este estudio está centrado en la Investigación Basada en Diseño (IBD) (De Benito & Salinas, 2016) ya que la implementación y evaluación de un entorno enriquecido con ML genera procesos educativos innovadores y soluciones reales ante las dinámicas de la práctica educativa actual. Para el análisis cuantitativo de la investigación utilizamos el *Software Orange Data Mining* versión 3.38.1 y el *Software IBM SPSS Statistics* versión 29, mientras que para el análisis cualitativo se analizó con el *Software NVIVO* versión 14.

Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación (Figura 1) se basó en el modelo IBD apoyado por el modelo ADDIE (Esquivel Gámez, 2014), debido a que se caracteriza por la iteración de sus fases, evidenciando así un proceso continuo de revisión y reformulación del estudio.

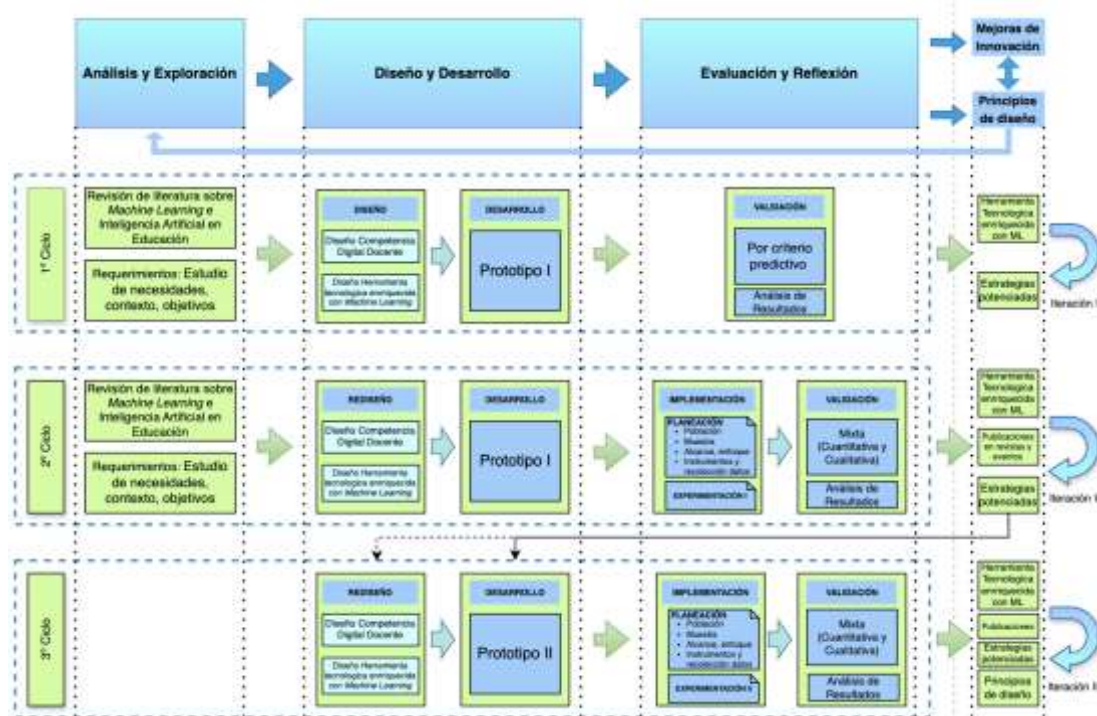


Figura 1. Modelo IBD tipo ADDIE aplicado en la investigación

Fuente: Adaptado del modelo IBD en De Benito & Salinas (2016) y modelo ADDIE en Esquivel Gámez (2014).

La siguiente Tabla 1 describe explícitamente como se implementó cada fase del modelo ADDIE dentro del estudio:

Tabla 1.
Descripción del modelo ADDIE dentro del Modelo IBD

Fase ADDIE	Modelo IBD	Actividades
Análisis	Análisis y Exploración	Revisión de literatura, estudio de necesidades, contexto y objetivos.
Diseño	Diseño y Desarrollo	Diseño de la CDD y de la herramienta enriquecida con Machine Learning.
Desarrollo	Diseño y Desarrollo	Creación del Prototipo I y posteriormente del Prototipo II.
Implementación	Evaluación y Reflexión	Aparece explícitamente en el 2º y 3º ciclo: Planeación y Experimentación I y II.
Evaluación	Evaluación y Reflexión	Validación por criterio predictivo, análisis de resultados y validación mixta.

Fuente: Elaboración propia.

Para garantizar la rigurosidad científica y la trazabilidad del estudio, el flujo metodológico se estructuró y ejecutó operativamente en tres ciclos iterativos de revisión y reformulación continua. El primer ciclo abarcó el análisis exploratorio de literatura, el levantamiento de requerimientos del contexto y estudio de necesidades; el segundo ciclo se centró en el diseño de la herramienta enriquecida con aprendizaje automático, el desarrollo del Prototipo I y su validación inicial por criterio predictivo; y el tercer ciclo consistió en el rediseño hacia el Prototipo II, su implementación en campo y la validación mixta de los resultados obtenidos.

La replicabilidad técnica del componente cuantitativo y cualitativo se asegura mediante la estandarización en la recolección y procesamiento de datos, detalladas en la sección ***Técnicas e Instrumentos de recogida de información.***

Modelo enriquecido con técnicas de aprendizaje automático

El modelo aplicado en esta investigación fue el propuesto por Forero-Corba & Negre Bennasar (2024a) el cual es un modelo de predicción para la evaluación de la CDD usando técnicas de ML. Se aplica el *Software Orange Data Mining* versión 3.38.1 debido a su capacidad para integrar diversas técnicas de análisis de datos y aprendizaje automático en una interfaz visual intuitiva, lo que facilita la validación del modelo sin requerir conocimientos avanzados en programación (Caglayan, 2019), permitiendo así un enfoque más accesible y replicable en la investigación educativa.

Este modelo contempla el análisis de cinco competencias digitales esenciales para el docente colombiano: comunicativa, de gestión, investigativa, pedagógica y tecnológica.

Asimismo, el modelo contempla tres niveles progresivos de evaluación que facilitan la identificación del avance y la consolidación de las competencias en cada etapa del proceso formativo. Estos niveles se denominan: Explorador, Integrador e Innovador.

Población objetivo

La población de estudio estuvo confirmada por 186 docentes de una institución educativa de la Ciudad de Bogotá D.C, Colombia. La institución educativa (la cual llamaremos institución principal) es de carácter pública, bilingüe, laica y mixta. Se encuentra ubicada en la localidad 19 de Ciudad Bolívar, al sur de la ciudad y cuenta con aproximadamente 4000 estudiantes en los niveles de preescolar, primaria y secundaria.

Determinación de la muestra

La muestra total del estudio se estructuró en dos grupos con abordajes metodológicos complementarios. El primer grupo estuvo conformado por 128 docentes de la institución principal, quienes desempeñan sus labores en los niveles de preescolar, primaria y secundaria; este segmento fue analizado bajo un enfoque cuantitativo. En segundo lugar, con el objetivo de profundizar en los hallazgos, se evaluó a un grupo de 53 docentes pertenecientes a otras 41 instituciones educativas de diversas regiones de Colombia (denominadas en este estudio como otras instituciones).

Esta submuestra integra tanto entornos urbanos como rurales y abarca todos los niveles de enseñanza preescolar, primaria y secundaria. Dado que este segundo grupo no posee representatividad estadística a nivel poblacional, sus resultados se abordaron mediante un análisis cualitativo.

Para los 128 docentes de la institución principal, se realizó un muestreo probabilístico aleatorio simple debido a que reduce el sesgo de selección, posibilita hacer generalizaciones sobre la población y estimar el error con un cierto grado de confianza (Ahmed, 2024).

Se calculó la muestra mediante las fórmulas para muestras finitas: (1) fórmula de Cochran y (2) fórmula de Yamane, tal como se especifican en la Tabla 2.

Tabla 2.

Fórmulas para muestras finitas

Fórmula de Cochran	Fórmula de Yamane
$n = N \frac{[Z_{\alpha}^2 pq]}{e^2 (N - 1) + Z_{\alpha}^2 pq}$	$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Tamaño de la población

Z_{α} = Nivel de confianza

e = Error de estimación máximo aceptado

p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado

$q = (1 - p)$ = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

Para determinar la muestra, usamos: $N = 186$ que es la población objetivo, $Z_{\alpha} = 1,96$ con nivel de confianza del 95%, $e=5\%$ como error de estimación máximo aceptado, mientras que $p = 0.5$ y $q = 0.5$ ya que no tenemos investigaciones previas con la misma población objetivo sobre CDD, por ello se le da el mismo peso.

Finalmente, el cálculo del tamaño de la muestra n es:

- Fórmula Cochran: $n = 125,54 \approx 126$
- Fórmula Yamane: $n = 126,96 \approx 127$

Con base en cuenta los resultados anteriores, la muestra con la fórmula de Cochran comparada con la fórmula de Yamane son casi iguales, lo que confirma que nuestra investigación tuvo que usar una muestra mínima de 126 participantes para que se cumpliera el grado de confianza. La Figura 2 muestra el número de participantes seleccionados por nivel educativo.

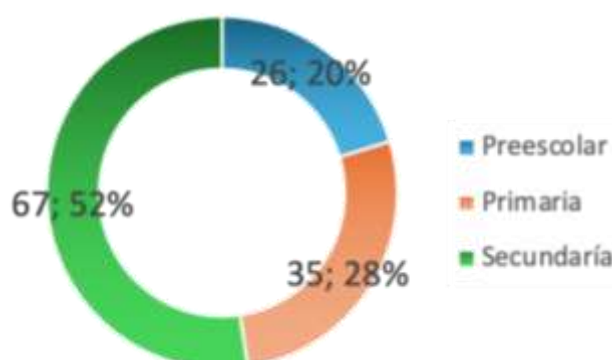


Figura 2. Número de participantes seleccionados por nivel educativo.

Fuente: Elaboración propia.

Técnicas e Instrumentos de recogida de información

El modelo de predicción docente seleccionado plantea como instrumento de recogida de información una rúbrica de evaluación ya validada de 25 ítems. Esta rúbrica se aplicó, ya que sirve para medir y evaluar la CDD del docente colombiano en cualquier nivel educativo.

Las variables de este estudio se estructuraron a partir de una rúbrica de evaluación validada (Mantilla Contreras, 2022) compuesta por 25 ítems. Esta rúbrica se aplicó, ya que sirve para medir y evaluar el desempeño docente en cinco dimensiones fundamentales del marco colombiano: comunicativa, de gestión, investigativa, pedagógica y tecnológica para el docente colombiano en cualquier nivel educativo. La aplicación de las respuestas del cuestionario estuvo dada de forma digital utilizando el formulario *Google Forms*.

La codificación de los datos se realizó en dos niveles: para las variables de entrada (descriptores), se empleó una escala numérica del 1 al 4, donde cada valor corresponde a los niveles de progresión N1 (Principiante), N2 (Medio), N3 (Experto) y N4 (Transformador). Por otro lado, la variable objetivo (el nivel de CDD) se codificó de forma categórica para clasificar a los docentes en los niveles Explorador, Integrador o Innovador.

En cuanto al procesamiento operativo de información, los datos recolectados mediante *Google Forms* se consolidaron en archivos de formato .csv para su tratamiento en el software *Orange Data Mining* versión 3.38.1. El flujo de análisis incluyó el uso del widget *Feature Statistics* para determinar características estadísticas como la media $\bar{X}$, la moda $\hat{X}$ y la dispersión S^2 de las variables, mientras que las proyecciones visuales de los patrones de datos se generaron mediante el widget *Scatter Plot*. Para asegurar la validez técnica externa de las predicciones y mitigar el riesgo de sobreajuste (*overfitting*), se aplicó un método de validación cruzada (*cross-validation* en inglés, método muy conocida en el campo de la IA para validar modelos) con particiones de ($k = 3$) y ($k = 10$). Posteriormente, el rendimiento de las nueve técnicas de aprendizaje automático supervisado se evaluó y cuantificó a través del Área Bajo la Curva (AUC por sus siglas en inglés *Area Under the ROC Curve*), que sirve como medio de comparación entre modelos de clasificación. Estos valores se obtuvieron usando el widget *Test and Score* de *Orange Data Mining*. Finalmente, Para medir el rendimiento de las técnicas por cada nivel de CDD, se utilizó el widget *Confusion Matrix* con partición de ($k = 10$), también de *Orange Data Mining*.

Para la recolección de información en ambos grupos, se utilizó una rúbrica de evaluación administrada a través de la plataforma *Google Forms*. En el caso específico de las "otras instituciones", y dado que este grupo no posee representatividad estadística a nivel poblacional, los datos se sometieron a un análisis cualitativo. Para ello, se empleó la técnica de codificación jerárquica, utilizando como herramienta de soporte el software *NVIVO* en su versión 14, lo que permitió una exploración detallada de las dimensiones de la CDD en diversos contextos geográficos del país.

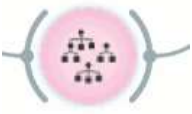
También se resalta la importancia de estimar las diferencias significativas de la CDD entre los docentes de zonas urbanas y rurales de las otras instituciones, para ello, utilizamos el Software *IBM SPSS Statistics* versión 29.

Técnicas de aprendizaje automático

El modelo predictivo propuesto se aborda como un problema de clasificación supervisada, dado que el objetivo es asignar a cada docente una etiqueta categórica predefinida (Explorador, Integrador o Innovador) basada en sus respuestas empíricas. Para garantizar una evaluación exhaustiva del rendimiento algorítmico, este modelo utiliza nueve técnicas de ML, todas ellas en el conjunto de aprendizaje supervisado ya que las predicciones se realizan a partir de datos etiquetados (Segura et al., 2022). Esta diversidad metodológica permite mitigar los sesgos individuales de cada algoritmo y determinar empíricamente el comportamiento de cada técnica de ML aplicada en las competencias digitales en el contexto del docente colombiano.

La Tabla 3 representa la técnica ML utilizada, seguida de su nombre y por último su definición.

Tabla 3.
Técnicas de aprendizaje automático utilizadas en el modelo

N	Abreviatura	Técnica
1	kNN	 kNN
2	LR	 Logistic Regression
3	DS	 Tree
4	RF	 Random Forest
5	NB	 Naive Bayes
6	GB	 Gradient Boosting
7	SVM	 SVM
8	SGD	 Stochastic Gradient Descent
9	NN	 Neural Network

Fuente: Basado y adaptado de Forero-Corba y Negre Bennasar (2024a, p. 24).

Consideraciones éticas

La presente investigación estuvo dada bajo la Ley 1581 de 2012 (Departamento Administrativo de la Función Pública, 2012) por la cual se dictan las disposiciones generales para la protección de datos personales en territorio colombiano. Los datos recopilados se utilizaron única y exclusivamente para temas académicos e investigativos.

Resultados y discusión

A continuación, se presentan los hallazgos empíricos derivados de la implementación del modelo predictivo para evaluar la CDD utilizando técnicas de ML. Estos resultados se estructuran y discuten secuencialmente para dar respuesta directa a las cuatro preguntas de investigación planteadas.

PI1: ¿Cómo se relacionan las predicciones de la CDD obtenidas por cada técnica?

En esta pregunta de investigación, con la Figura 3 y las Tablas 4 y 5, se desea conocer cómo se relacionan las predicciones de la CDD obtenidas por cada técnica.

La Figura 3 muestra de forma gráfica la predicción de la CDD para cada técnica.

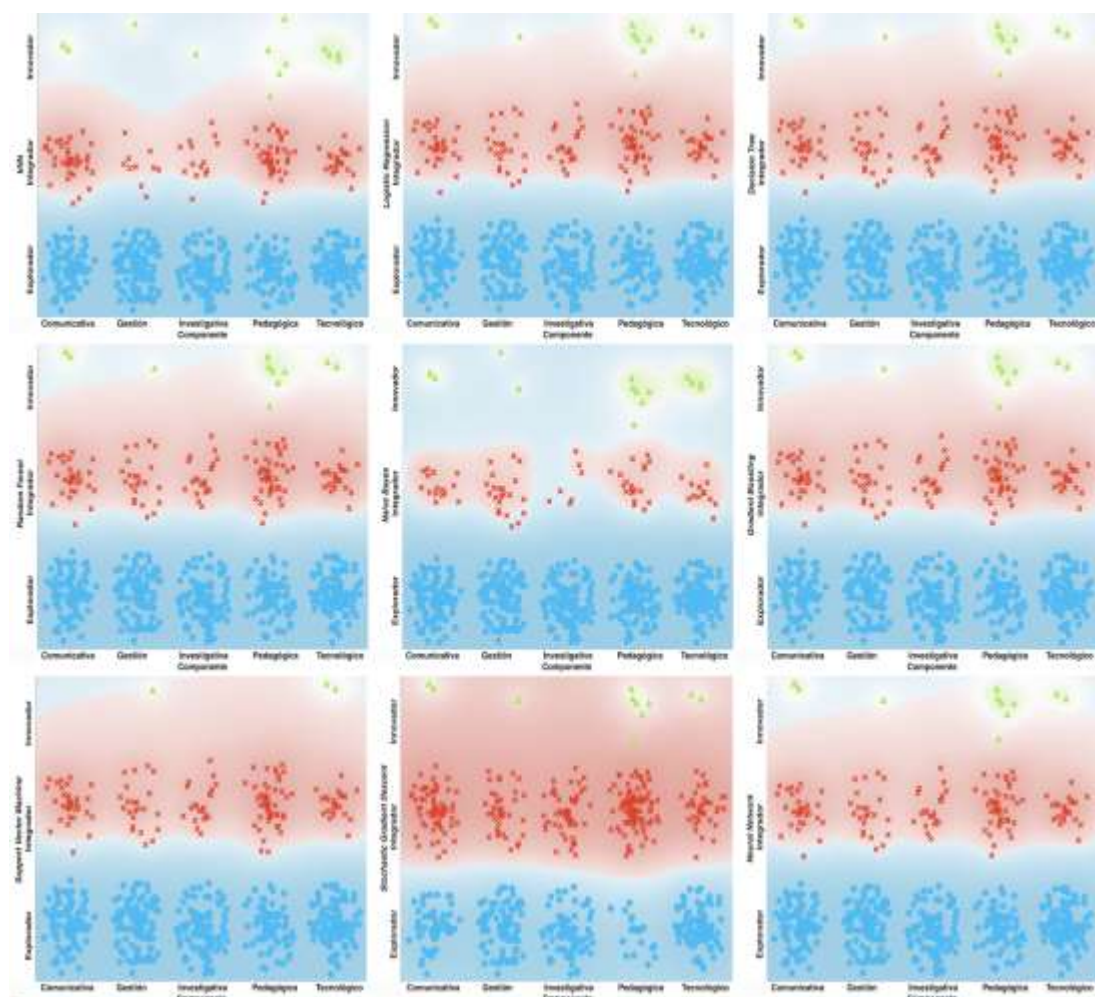


Figura 3. Gráficas de predicción de la CDD con técnicas ML

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Símbolos niveles de CDD: Explorador ●, Integrador ✕, Innovador ▲

En las nueve gráficas de la Figura 3, se observa una concentración densa de instancias en la zona inferior (azul), correspondiente al nivel Explorador, con una dispersión mínima hacia los niveles superiores en casi todas las técnicas. Los patrones de separación entre clases muestran fronteras nítidas entre Explorador e Integrador, pero poca presencia (puntos aislados) en el nivel Innovador.

La Tabla 4 muestra las características estadísticas para cada técnica. Las características están definidas como $\bar{X}$ (media), $\hat{X}$ (moda) y S^2 (dispersión).

Tabla 4.
Características estadísticas de las técnicas ML

N	Técnica ML	$\bar{X}_{Explorador}$	$\bar{X}_{Integrador}$	$\bar{X}_{Innovador}$	$\hat{X}$	S^2
1	kNN	0.770	0.211	0.020	Explorador	0.603
2	LR	0.748	0.234	0.017	Explorador	0.619
3	DT	0.755	0.228	0.017	Explorador	0.619
4	RF	0.751	0.231	0.017	Explorador	0.619
5	NB	0.707	0.725	0.018	Explorador	0.470
6	GB	0.755	0.228	0.171	Explorador	0.619
7	SVM	0.749	0.246	0.246	Explorador	0.580
8	SGD	0.580	0.409	0.010	Explorador	0.759
9	NN	0.755	0.228	0.017	Explorador	0.619

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4 se evidencia cómo la mayor parte de los docentes están en promedio ubicados en el nivel Explorador, que se evidencia también de forma gráfica en la Figura 3, lo que requiere un alto compromiso en los procesos de capacitación y actualización docente por parte de directivos. Ser consciente que la autonomía juega un papel importante en el desarrollo de habilidades digitales, como corrobora el estudio de Instefjord y Munthe (2017) en Noruega, el desarrollo de las competencias digitales docentes depende en gran medida de la iniciativa y el esfuerzo individual de cada profesor.

La Tabla 5 muestra la distribución gráfica de los niveles de los descriptores según rúbrica seleccionada: Nivel Principiante (N1), Nivel Medio (N2), Nivel Experto (N3) y Nivel Transformador (N4). También muestra las características estadísticas para los descriptores usados en la rúbrica. Las características están definidas como $\bar{X}$ (media) y S^2 (dispersión).

Tabla 5.
Distribución de los descriptores

Descriptores	Distribución (N1, N2, N3, N4)				$\bar{X}_{descriptor}$	S^2
Descriptor 1					1.75	0.43
Descriptor 2					1.65	0.43
Descriptor 3					1.68	0.42
Descriptor 4					1.66	0.44
Descriptor 5					1.66	0.43
Descriptor 6					1.71	0.43
Descriptor 7					1.65	0.44

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5 se evidencia la distribución de las respuestas de los docentes por cada descriptor, evidenciando que la autopercepción de los docentes de la institución principal frente a lo evaluado en la rúbrica se ubicó, en su gran mayoría, entre los niveles N1 y N2. La Figura 7 confirma de forma cualitativa que la distribución de competencias también se organiza, mayoritariamente, entre los niveles N1 y N2.

PI2: ¿Cuál de las técnicas de ML utilizadas en el modelo de predicción de CDD demostró mayor efectividad?

En esta pregunta de investigación, se desea identificar la técnica más eficiente para calcular el rendimiento promedio final entre todas las evaluadas.

La Tabla 6 muestra el cálculo del AUC validación cruzada por con $k = 3$ y $k = 10$, donde k es el número de particiones iguales en las que se divide el conjunto de datos de entrenamiento.

Tabla 6.
Rendimiento de las técnicas ML

N	Técnica ML	AUC ($k = 3$)	AUC ($k = 10$)
1	GB	1.000	1.000
2	DS	0.956	1.000
3	LR	0.796	0.999
4	SVM	0.560	0.971
5	RF	0.399	0.999
6	SGD	0.256	0.869
7	NN	0.372	0.999
8	kNN	0.277	0.626
9	NB	0.099	0.809
	Promedio	0.524	0.919

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 7 muestra el cálculo del AUC con validación cruzada $k = 10$, donde k es el número de particiones iguales en las que se divide el conjunto de datos de entrenamiento.

Tabla 7.
Rendimiento de las técnicas ML por nivel de CDD con ($k = 10$)

N	Técnica ML	Explorador	Integrador	Innovador
1	GB	100%	100%	100%
2	DS	100%	100%	100%
3	LR	100%	100%	99%
4	SVM	100%	99.1%	96.9%
5	RF	100%	100%	99.9%
6	SGD	100%	94.1%	99.9%
7	NN	100%	100%	99.9%
8	kNN	69.6%	88.3%	76.3%
9	NB	92.9%	100%	64.3%
	Promedio	95.8%	97.9%	92.9%

Fuente: Elaboración propia.

PI3: ¿Cuáles son las diferencias entre los resultados obtenidos del modelo de predicción de CDD en docentes de diferentes niveles educativos?

En esta pregunta de investigación, con la Figura 4 se desea conocer a nivel las diferencias entre los resultados obtenidos del modelo de predicción de CDD en docentes de diferentes niveles educativos.

La Figura 4 muestra de forma gráfica los resultados de la predicción de la CDD utilizando la técnica de GB (mejor técnica de predicción según la Tabla 6) para los niveles educativos de preescolar, primaria y secundaria.

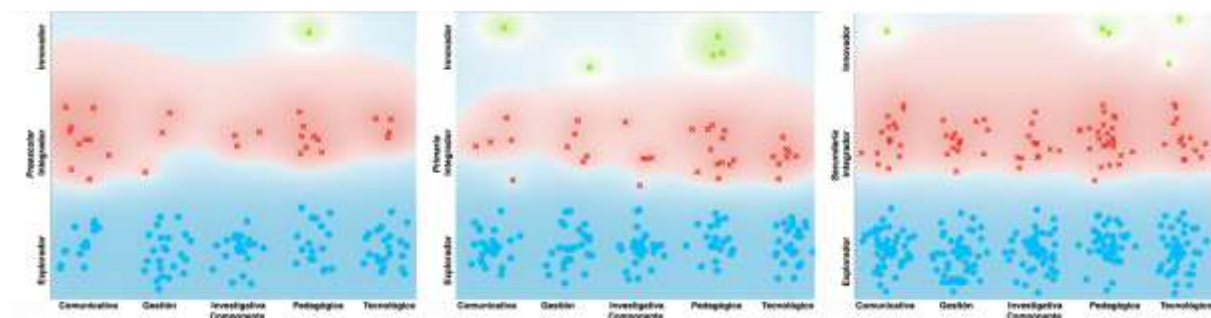


Figura 4. Gráficas de predicción de la CDD para preescolar, primaria y secundaria.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Símbolos niveles de CDD: Explorador ●. Integrador ✕. Innovador ▲

En la Figura 4, el patrón revela que en preescolar la concentración en el nivel base es más homogénea y compacta, sugiriendo una brecha más marcada frente al nivel Innovador que en secundaria.

La Figura 4 establece la necesidad de implementar acciones que fortalezca la CDD ya que en los tres niveles educativos (preescolar, primaria y secundaria) se evidencia escases de habilidades digitales en el nivel innovador, especialmente en preescolar.

PI4: ¿Cómo varían los niveles de CDD entre docentes de distintas instituciones?

En esta pregunta de investigación, con las Figuras 5, 6, 7 y 8 y la Tabla 8, se desea presentar el comportamiento y variación de los niveles de CDD entre docentes de distintas instituciones.

La Figura 5 muestra el diagrama de exploración obtenido a partir de las respuestas dadas por los docentes. En ella se observa las principales temáticas analizadas de los resultados obtenidos de forma cualitativa.

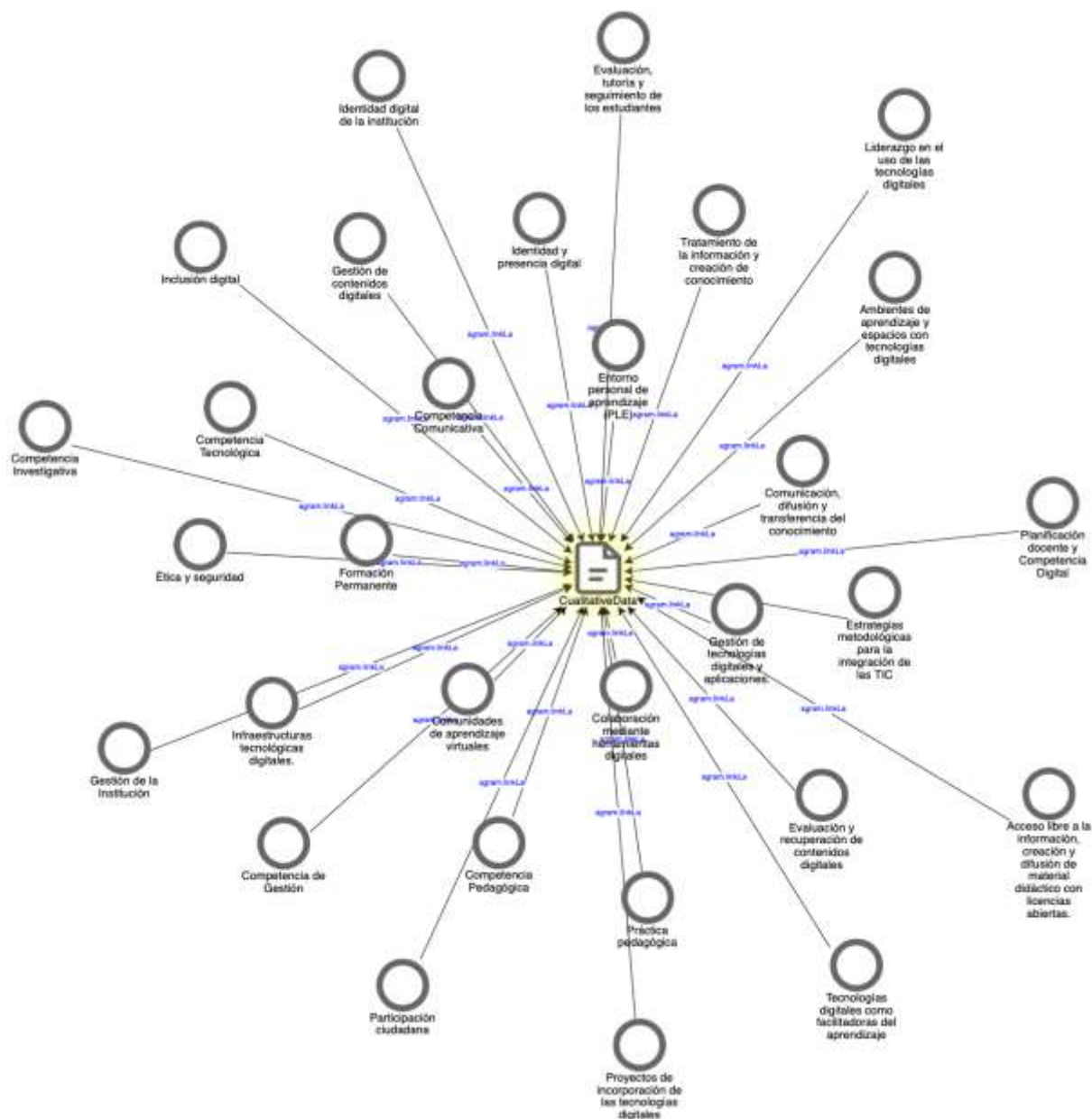


Figura 5. Diagrama de exploración
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 6 muestra el diagrama jerárquico obtenido a partir de las respuestas dadas por los 128 docentes de la institución principal.



Figura 6. Diagrama jerárquico para los docentes de la institución principal

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 7 muestra el diagrama jerárquico obtenido a partir de las respuestas dadas por los docentes de otras instituciones.



Figura 7. Diagrama jerárquico para los docentes de otras instituciones

Fuente: Elaboración propia.

Los diagramas jerárquicos de las Figuras 6 y 7, muestran una tendencia de autopercepción más elevada en docentes de otras instituciones, con una ramificación más extensa hacia niveles expertos (N3 y N4) en comparación con la institución principal, donde el patrón se concentra en niveles iniciales.

La Figura 8 muestra de forma gráfica los resultados de la predicción de la CDD de la Institución principal vs. Otras instituciones, utilizando la técnica de *Gradiente Boosting GB* (mejor técnica de predicción según la Tabla 6).

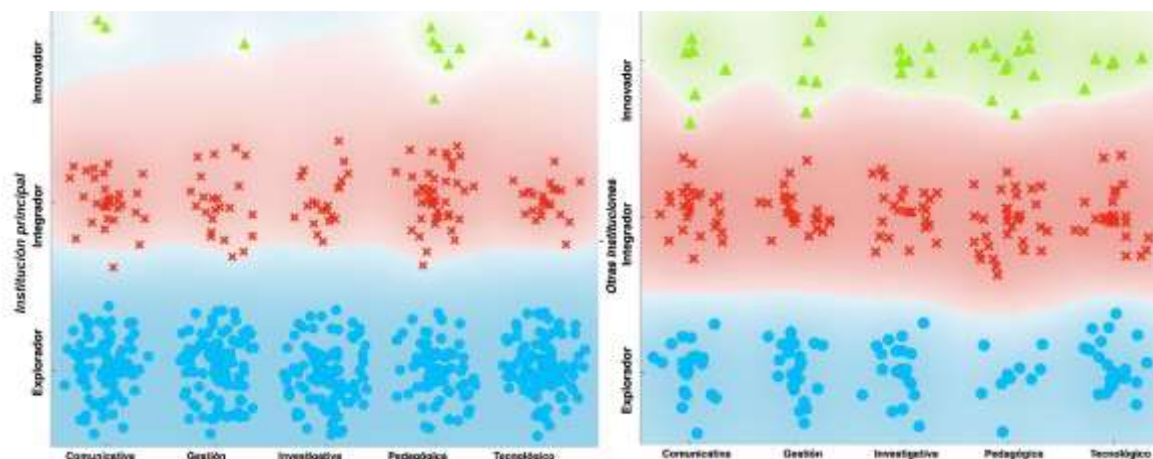


Figura 8. Gráficas de predicción de la CDD de la Institución principal vs. Otras Instituciones.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 8, se observa un patrón de dispersión notablemente distinto entre ambos grupos analizados. Mientras que en la institución principal los datos se agrupan de forma densa en la franja inferior (color azul), revelando que la gran mayoría de los docentes se sitúan en el nivel Explorador, en las otras instituciones se aprecia una migración de los puntos hacia las franjas superiores (colores rojo y verde). Este patrón indica una mayor presencia de instancias en el nivel Innovador fuera de la institución base, donde los resultados de predicción son comparativamente más bajos.

La relación entre la Figura 6 y la Figura 7, muestra de forma cualitativa que los docentes de otras instituciones tienen mejor autopercepción en sus habilidades digitales ya que hay mayor presencia de niveles N3 y N4, especialmente en competencias tecnológicas y de gestión. Esta idea se apoya considerablemente con la gráfica de la Figura 8, donde se observa que los resultados de la predicción de la CDD de la institución principal son bajos con respecto a las otras instituciones, ya que hay mayor concentración de instancias en el nivel innovador. Este hallazgo sugiere una intervención inmediata en la mejora de la autopercepción de los docentes de la institución principal frente a sus competencias digitales, especialmente en competencias comunicativas, pedagógicas y de investigación.

La Tabla 8 presenta los resultados estadísticos de 53 docentes encuestados, pertenecientes a 41 instituciones educativas clasificadas como urbanas o rurales.

Tabla 8.

Estadísticas de grupo

Competencia	Grupo	N	Media	Desviación estándar	Desviación error promedio	$\alpha = Sig$
Pedagógica	Urbano	27	2.2870	.76806	.14781	.088
	Rural	26	2.3942	.61308	.12023	
Tecnológica	Urbano	27	2.1356	.58848	.11325	.966
	Rural	26	2.1212	.61082	.11979	
Comunicativa	Urbano	27	2.1204	.63689	.12257	.158
	Rural	26	2.1635	.76466	.14996	
Gestión	Urbano	27	2.0793	.66521	.12802	.541
	Rural	26	1.9619	.57264	.11230	
Investigativa	Urbano	27	2.0833	.72058	.13868	.654
	Rural	26	2.0096	.63828	.12518	

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 8 compara las medias de las otras instituciones educativas de zonas urbanas y rurales. En este análisis, el ámbito urbano demuestra un mejor desempeño en las competencias tecnológica, de gestión e investigación, mientras

que el ámbito rural sobresale en las competencias pedagógica y comunicativa. No obstante, es importante señalar que estas diferencias no alcanzan significancia estadística en ninguna de las competencias ya que $\alpha > .05$

En esta investigación se realizó un estudio de caso real donde se predijo a partir de nueve técnicas de ML, la CDD de un centro educativo. Los resultados muestran que se puede predecir la CDD con alta efectividad tal como se evidencia en la Tabla 6, donde el rendimiento promedio de las nueve técnicas es del 91.9%. No obstante, para profundizar en el desempeño real del modelo, se analizó en la Tabla 7, la precisión y sensibilidad por cada nivel de CDD de forma individual. Los resultados indican que el nivel Explorado obtuvo un rendimiento del 95.8%, el nivel Integrador de 97.9% y el nivel Innovador de 92.9%. Esta consistencia en las métricas transversales demuestra que el sistema identifica con similar rigor tanto a los niveles de CDD con mayor presencia de instancias como a los minoritarios, validando la robustez de las técnicas seleccionadas para la predicción de la CDD.

Investigaciones previas evidencian la alta efectividad de aplicar técnicas inteligentes, como es el caso de Hounque et al. (2022) donde evaluó con técnicas de ML el rendimiento académico en un 99% o de Misol Gerlache et al. (2022) donde se predijo situaciones educativas con una precisión superior al 96%. Esto demuestra que los resultados suman de manera significativa a investigaciones relacionadas sobre una comprensión más detallada y profunda del análisis de la CDD o técnicas de ML.

Además, esta investigación implementa nueve técnicas de ML, significativamente más que otras investigaciones, por ejemplo, la investigación Caglayan (2019) implementa tan solo tres técnicas y la investigación Yamamoto & Alverson (2022) aplica solo dos. Esto permite obtener resultados más precisos, adaptables y generalizables a diferentes contextos educativos.

En comparación con (Zhao, 2024), el estudio presenta diferencias relevantes en la muestra ya que el contexto y los instrumentos utilizados son diferentes; mientras Zhao analiza docentes de secundaria en China con variables centradas en la brecha digital, esta investigación se enfoca en docentes colombianos de distintos niveles educativos y utiliza una rúbrica de autopercepción alineada con el marco nacional de CDD (Ministerio de Educación Nacional, 2013), lo que introduce particularidades culturales y metodológicas que limitan la comparabilidad directa de resultados.

En contraste con los anteriores estudios previos mencionados, que reportan altas tasas de efectividad de modelos de aprendizaje automático en contextos educativos, los resultados obtenidos en esta investigación requieren una interpretación más crítica ya que el mejor desempeño de técnicas como GB, DT y LR puede explicarse no solo por su capacidad para modelar relaciones no lineales o manejar interacciones entre variables, sino también por la estructura específica del conjunto de datos, caracterizado por una distribución concentrada en el nivel Explorador y posibles patrones redundantes derivados del instrumento. En este sentido, es necesario reconocer que la rúbrica utilizada, basada en autopercepción, actúa como fuente de etiquetas, lo cual puede introducir sesgos cognitivos como sobreestimación o subestimación de habilidades y afectar tanto la calidad de los datos como la capacidad real de generalización del modelo.

Los valores elevados de AUC obtenidos, en algunos casos cercanos a 1.000, deben interpretarse con cautela. Este comportamiento puede estar influenciado por la estructura del conjunto de datos, derivado de una rúbrica estandarizada que genera patrones consistentes entre variables, así como por la posible concentración de instancias en determinados niveles de la CDD. Si bien la validación cruzada aplicada mitiga parcialmente el riesgo de sobreajuste, se reconoce la necesidad de validar el modelo en con variables adicionales ya sean contextuales, sociodemográficas, a nivel de trayectoria docente real certificada, etc., para confirmar su estabilidad, capacidad de generalización y aplicabilidad en otros contextos educativos.

Tras responder las cuatro preguntas de investigación PI1, PI2, PI3 y PI4, se evidencia que las técnicas inteligentes no solo permiten realizar predicciones sobre la CDD, sino que también aportan beneficios adicionales que trascienden el análisis directo de los resultados. Estos beneficios, aunque indirectos, representan un valor significativo para futuras investigaciones en el ámbito educativo, especialmente cuando se trabaja con grandes volúmenes de datos y se busca optimizar la toma de decisiones. En este sentido, la Tabla 9 sintetiza doce beneficios potenciales derivados de la implementación de técnicas inteligentes en educación, los cuales refuerzan la pertinencia de su aplicación y abren

nuevas oportunidades para el desarrollo de modelos predictivos más robustos y aplicables en diversos contextos académicos.

Tabla 9.
Beneficios de las técnicas inteligentes en Educación

N	Beneficio	Justificación	Tomado de
1	Rendimiento académico	A partir de modelos de IA se puede evaluar eficazmente el rendimiento académico del estudiante.	(Baashar et al., 2022)
2	Personalización del aprendizaje	Una herramienta con técnicas inteligentes permite facilitar la selección del itinerario académico de las instituciones educativas para garantizar el rendimiento de los estudiantes.	(Houngue et al., 2022)
3	Deserción Escolar	La detección del abandono no sólo funciona con las variables de inscripción, sino que mejora después de los resultados del primer semestre. Técnicas de aprendizaje automático obtiene los mejores resultados.	(Segura et al., 2022)
4	Diseño Currículo	Las unidades didácticas han sido diseñadas y mejoradas desde una perspectiva práctica de la IA, aumentando su fiabilidad y aplicabilidad como apoyo docente.	(Bellas et al., 2022)
5	Alfabetización Digital	La alfabetización digital con técnicas IA refleja la nueva brecha digital de la competencia TIC de los docentes.	(Zhao, 2024)
6	Retroalimentación	Las aplicaciones novedosas pueden proporcionar apoyo para realizar un seguimiento y recopilar datos, evaluar el rendimiento y proporcionar una retroalimentación significativa al alumno.	(Bacos, 2020)
7	Robótica social	Identificación continua de las funciones y comportamiento de los robots sociales en el aula de clase.	(Ceha et al., 2022)
8	Escalabilidad	El análisis de datos mediante virtualización reduce el coste de la infraestructura e introduce mayor seguridad, movilidad, escalabilidad, agilidad y alta disponibilidad.	(Rahman Alzoubaidi et al., 2021)
9	Orientación profesional	Recomendación con técnicas de aprendizaje automático a los alumnos que acaban de obtener su GCSE a seleccionar su campo de estudio.	(Houngue et al., 2022)
10	Habilidades del siglo XXI	Los retos de la IA son predictores significativos de la adquisición de habilidades del siglo XXI	(Segbenya et al., 2023)
11	STEM	El análisis de datos está transformando las disciplinas STEM y juega un papel crucial en impulsar la participación de las mujeres en carreras tecnológicas.	(Cheng et al., 2021)
12	Objetivos de Desarrollo Sostenible	Modelos IA como componentes fundamentales para el cumplimiento de objetivos y desarrollo sostenible de las Naciones Unidas.	(Haleem et al., 2022)

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

El estudio realizado en el centro educativo evidenció que la predicción de la CDD mediante nueve técnicas de ML alcanzó una alta efectividad, con un promedio del 91,9%.

La investigación sobre CDD es importante para las instituciones, ya que de su evaluación dependen el aprendizaje, trayectoria, dirección y comportamiento de los alumnos. Este estudio sobre CDD es fundamental para las instituciones educativas ya que no solo impacta en el desarrollo integral de los estudiantes, sino que también guía a los directivos docentes en la implementación de acciones concretas para capacitar su planta docente y elevar el nivel de CDD.

Las instituciones educativas, tanto los docentes como los directivos docentes deben estar preparados para adaptar la tecnología a sus prácticas educativas y así facilitar la identificación de necesidades formativas sobre CDD.

El potencial que tienen las técnicas inteligentes y en especial, las técnicas con ML para realizar esta tarea respecto a

la CDD, resulta fundamental como paso estratégico hacia la reducción de la brecha digital y escolar, la cual, durante los últimos años, ha sido un reto para los expertos del sector educativo en cualquier nivel escolar.

Diferentes tipos de rúbricas o instrumentos de la evaluación de la CDD son cuestionados por autores como Claro et al. (2024). Estos autores señalan que la diversidad en la forma en que se operacionalizan las CDD resulta en el desarrollo o uso de diferentes instrumentos que evalúan constructos distintos, lo que impide una comparación consistente de los resultados.

Una de las dificultades más frecuentes en la evaluación de competencias y habilidades complejas como las CDD es la falta de estandarización en los instrumentos utilizados y esto no solo afecta la validez y fiabilidad de los resultados, sino que también complica la creación de un marco común que permita evaluar de manera efectiva y comparativa el nivel de competencia en distintos contextos educativos de Colombia, por lo que este estudio se presenta como una valiosa referencia para los profesionales educativos y los diseñadores de políticas públicas en Colombia.

Sin embargo, Lázaro-Cantabrana et al. (2018) aluden a que los docentes deben tener actitud proactiva en relación con su práctica educativa, donde la actualización docente no debe quedar a expensas de las políticas educativas independientemente del modelo o marco de referencia.

La relación entre CDD e IA son importantes en el fortalecimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS y de las habilidades del siglo XXI. Simuț et al. (2024) afirman que existen una relación positiva y significativa entre las actitudes de los maestros hacia la IA y el desarrollo de competencias, con el impacto más pronunciado en las competencias de gestión educativa.

Al conocer todos los datos a profundidad de los factores y variables significativas en el desarrollo de CDD, el implementar técnicas inteligentes puede ser un salto hacia una propuesta de universalidad de una herramienta capaz de evaluar la CDD ya que características como la retroalimentación y escalabilidad permiten que se adapte a diferentes contextos y usuarios, dando propuesta de mejora en la evaluación de la CDD.

Rodríguez et al. (2021) afirman que los futuros docentes en formación no disponen de herramientas que les ayuden a autoevaluar su propia competencia y obtener feedback instantáneo sobre cómo evoluciona su CDD, por ello, este modelo al ser retroalimentable a nivel de datos tal como afirma Forero-Corba & Negre Bennasar (2024a), puede permitir en futuras investigaciones generar ese feedback de manera instantánea ya que independiente del tamaño de la muestra a estudiar, puede proponer recomendaciones precisas y efectivas.

La confiabilidad del estudio se sustenta en el uso de una rúbrica ya validada (Mantilla Contreras, 2022) específicamente para el contexto docente colombiano. No obstante, la validez del modelo se fortalece mediante el cálculo del AUC, obteniendo un rendimiento promedio de efectividad del 91,9% entre las nueve técnicas de ML aplicadas. Este enfoque técnico responde a las críticas sobre la falta de estandarización en la evaluación de la CDD (Claro et al., 2024), proporcionando un mecanismo de comparación consistente que reduce la subjetividad inherente a los instrumentos de autopercepción. La triangulación con un análisis cualitativo mediante codificación jerárquica en NVIVO refuerza la solidez de los hallazgos obtenidos en la fase cuantitativa.

Limitaciones y futuras investigaciones

Aunque el análisis de grandes datos permite predicciones precisas, la evaluación de la CDD se ve limitada por sesgos en las variables disponibles. Datos como salario, edad o carga laboral, cruciales para un análisis efectivo, chocan con estándares éticos, especialmente al usar IA, frenando una evaluación profunda y real.

Las variables usadas estuvieron basadas en la rúbrica de 25 preguntas, no obstante, para un análisis real del valor de predicción de la CDD, es crucial implementar variables adicionales, como sugiere Cattaneo et al. (2022), quienes han identificado variables importantes y poco consideradas en rubricas que evalúan el desarrollo de la CDD como las demográficas, la carga laboral, factores personales, la actitud hacia la tecnología y la frecuencia de uso de las herramientas digitales, promoviendo una evaluación real de la CDD.

Se podrían explorar estudios longitudinales sobre el desarrollo de estas competencias a lo largo de la carrera docente y en diversos entornos, incluidos los rurales y urbanos. Otra posible línea de investigación sería el uso de tecnologías emergentes, como la IA, para mejorar la personalización y la eficiencia en la evaluación de las CDD.

Para futuros estudios de investigadores sin experiencia en programación pueden usar Orange Data Mining para analizar grandes conjuntos de datos y obtener resultados predictivos valiosos. Su interfaz visual facilita la creación de modelos complejos sin necesidad de escribir código.

Referencias Bibliográficas

- Ahmed, S. K. (2024). How to choose a sampling technique and determine sample size for research: A simplified guide for researchers. In *Oral Oncology Reports* (Vol. 12). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.oor.2024.100662>
- Antonietti, C., Cattaneo, A., & Amenduni, F. (2022). Can teachers' digital competence influence technology acceptance in vocational education? *Computers in Human Behavior*, 132. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107266>
- Baashar, Y., Hamed, Y., Alkaws, G., Fernando Capretz, L., Alhussian, H., Alwadain, A., & Al-amri, R. (2022). Evaluation of postgraduate academic performance using artificial intelligence models. *Alexandria Engineering Journal*, 61(12), 9867–9878. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.03.021>
- Bacos, C. A. (2020). Machine Learning and Education in the Human Age: A Review of Emerging Technologies. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 944, 536–543. https://doi.org/10.1007/978-3-030-17798-0_43
- Bellas, F., Guerreiro-Santalla, S., Naya, M., & Duro, R. J. (2022). AI Curriculum for European High Schools: An Embedded Intelligence Approach. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 33(2), 399–426. <https://doi.org/10.1007/s40593-022-00315-0>
- Cabero-Almenara, J., & Palacios-Rodríguez, A. (2020). Marco Europeo de Competencia Digital Docente «DigCompEdu». Traducción y adaptación del cuestionario «DigCompEdu Check-In». *Edmetic*, 9(1), 213–234. <https://doi.org/10.21071/edmetic.v9i1.12462>
- Cabero-Almenara, J., Barroso-Osuna, J., Llorente-Cejudo, C., & Palacios-Rodríguez, A. (2022). Validación Del Marco Europeo De Competencia Digital Docente Mediante Ecuaciones Estructurales. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 27(92), 185–208. <https://ojs.rmie.mx/index.php/rmie/article/view/140>
- Caglayan, C. (2019). Comparison of the Code-based or Tool-based Teaching of the Machine Learning Algorithm for the First-Time Learners. *1st International Informatics and Software Engineering Conference: Innovative Technologies for Digital Transformation, IISec 2019 - Proceedings, November 2019*. <https://doi.org/10.1109/UBMYK48245.2019.8965519>
- Cattaneo, A. A. P., Antonietti, C., & Rauseo, M. (2022). How digitalised are vocational teachers? Assessing digital competence in vocational education and looking at its underlying factors. *Computers and Education*, 176, 104358. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104358>
- Ceha, J., Law, E., Kulić, D., Oudeyer, P. Y., & Roy, D. (2022). Identifying Functions and Behaviours of Social Robots for In-Class Learning Activities: Teachers' Perspective. *International Journal of Social Robotics*, 14(3), 747–761. <https://doi.org/10.1007/s12369-021-00820-7>
- Cheng, J., Chae, M. H. C., & Feng, R. (2021). Stem education-career pathway for emerging forensic analytics: Innovative professional development in multimodal environments. *Journal of Higher Education Theory and Practice*, 21(8), 115–130. <https://doi.org/10.33423/JHETP.V21I8.4509>
- Claro, M., Castro-Grau, C., Ochoa, J. M., Hinostroza, J. E., & Cabello, P. (2024). Systematic review of quantitative research on digital competences of in-service school teachers. *Computers and Education*, 215. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.105030>
- De Benito, B., & Salinas, J. M. (2016). La Investigación Basada en Diseño en Tecnología Educativa Design-Based Research in Educational Technology. *Revista Interuniversitaria de Investigación En Tecnología Educativa*, 44–59. <https://doi.org/10.6018/riite2016/260631>
- Departamento Administrativo de la Función Pública. (2012). *Ley 1581 de 2012. In Ley de protección de datos personales*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49981>
- Durán, M. C., Prendes, M. P. E., & Gutiérrez, I. P. (2019). Teaching Digital Competence Certification: a proposal for university teachers. *RIED-Revista Iberoamericana de Educacion a Distancia*, 22(1), 187–205. <https://doi.org/10.5944/ried.22.1.22069>

- Esquivel Gámez, I. (2014). *Los Modelos Tecno-Educativos, revolucionando el aprendizaje del siglo XXI*. Editorial Lulu Digital.
- Esteve, F., Castañeda, L., Adell, J., & Baynat, S. (2018). Un modelo holístico de competencia docente para el mundo digital. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 91(32.1), 105–116. <https://recyt.fecyt.es/index.php/RIFOP/issue/view/3377>
- Forero-Corba, W., & Negre Bennasar, F. (2024a). Diseño y simulación de un modelo de predicción para la evaluación de la competencia digital docente usando técnicas de Machine Learning. *EduTec, Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 89, 18–43. <https://doi.org/10.21556/edutec.2024.89.3201>
- Forero-Corba, W., & Negre Bennasar, F. (2024b). Técnicas y aplicaciones del Machine Learning e Inteligencia Artificial en educación: una revisión sistemática. *RIED-Revista Iberoamericana de Educacion a Distancia*, 27(1), 209–253. <https://doi.org/10.5944/ried.27.1.37491>
- Galindo-Domínguez, H., Delgado, N., Campo, L., & Losada, D. (2024). Relationship between teachers' digital competence and attitudes towards artificial intelligence in education. *International Journal of Educational Research*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2024.102381>
- García-Ruiz, R., Buenestado-Fernández, M., & Ramírez-Montoya, M. S. (2023). Assessment of Digital Teaching Competence: Instruments, results and proposals. Systematic literature review. *Educacion XX1*, 26(1), 273–301. <https://doi.org/10.5944/educxx1.33520>
- Gómez, R., Palacios, A., Moreno-Mediavilla, D., & Barreras, Á. (2022). Teacher competences in the use of STEM virtual simulations: design and validation of a measurement instrument (CDUSV). *Bordon. Revista de Pedagogia*, 74(4), 85–102. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.94154>
- González Fernández, M. O. (2021). Digital skills of the high school teacher in the face of emergency remote teaching. *Apertura*, 13(1), 6–19. <https://doi.org/10.32870/Ap.v13n1.1991>
- Haleem, A., Javaid, M., Qadri, M. A., & Suman, R. (2022). Understanding the role of digital technologies in education: A review. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 275–285. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.05.004>
- Houngue, P., Hountondji, M., & Dagba, T. (2022). An Effective Decision-Making Support for Student Academic Path Selection using Machine Learning. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(11), 727–734. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2022.0131184>
- Instefjord, E. J., & Munthe, E. (2017). Educating digitally competent teachers: A study of integration of professional digital competence in teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 67, 37–45. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2017.05.016>
- Lázaro-Cantabrana, J. L., Gisbert-Cervera, M., & Silva-Quiroz, J. E. (2018). Una Rubrica Para Evaluar La Competencia Digital Del Profesor Universitario En El Contexto Latinoamericano a Rubric To Evaluate the Digital Competence of the University. *EDUTEC Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, (63), 1–14. <https://doi.org/10.21556/edutec.2018.63.1091>
- Mantilla Contreras, M. A. (2022). *Modelo de formación para el desarrollo de competencias digitales en docentes de una universidad del nororiente colombiano* (Tesis doctoral) Universitat de les Illes Balears. <http://hdl.handle.net/10803/688326>
- Martín-Párraga, L., Llorente-Cejudo, C., & Cabero-Almenara, J. (2022). Analysis of teachers' digital competencies from assessment frameworks and instruments. *International Journal of Educational Research and Innovation*, 2022(18), 62–79. <https://doi.org/10.46661/ijeri.7444>
- Ministerio de Educación. (2011). *Competencias y Estándares TIC para la Profesión Docente*. 1–98. <https://bibliotecadigital.mineduc.cl/bitstream/handle/20.500.12365/2151/mono-964.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Educación Nacional. (2013). *Competencias TIC para el desarrollo profesional docente*. Imprenta Nacional de Colombia. https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-339097_archivo_pdf_competencias_tic.pdf
- Misol Gerlache, H. A., Moreno Ger, P., & de la Fuente Valentín, L. (2022). Towards the Grade's Prediction. A Study of Different Machine Learning Approaches to Predict Grades from Student Interaction Data. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 7(4), 196–204. <https://doi.org/10.9781/ijimai.2021.11.007>
- Moreno Padilla, R. D. (2019). La llegada de la inteligencia artificial a la educación. *Revista de Investigación En Tecnologías de La Información*, 7(14), 260–270. <https://doi.org/10.36825/riti.07.14.022>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2019). *Marco de competencias docentes en materia de TIC*. UNESCO Publishing. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000371024>

- Rahman Alzoubaidi, A., Alzoubaidi, M., Abu Mahfouz, I., Alkhamis, T., Fuad Salim AL-Asali, F., & Alzoubaidi, M. (2021). Virtual desktop infrastructure in higher education institution: an application of home and mobile computing environment. *Azerbaijan Journal of High Performance Computing*, 4(1), 29–38. <https://doi.org/10.32010/26166127.2021.4.1.29.38>
- Redecker, C. (2020). *Marco europeo para la competencia digital de los educadores: DigCompEdu*. Secretaría General Técnica del Ministerio de Educación y Formación Profesional. <https://sede.educacion.gob.es/publiventa/d/24685/19/0>
- Rodríguez, M. U., Cantabrana, J. L. L., & Cervera, M. G. (2021). Validation of a tool for self-evaluating teacher digital competence. *Educacion XX1*, 24(1), 353–373. <https://doi.org/10.5944/educXX1.27080>
- Secretaría de Educación Pública. (2020). *Agenda digital educativa*. https://siteal.iiep.unesco.org/sites/default/files/sit_accion_files/10313.pdf
- Segbenya, M., Bervell, B., Frimpong-Manso, E., Otoo, I. C., Andzie, T. A., & Achina, S. (2023). Artificial intelligence in higher education: Modelling the antecedents of artificial intelligence usage and effects on 21st century employability skills among postgraduate students in Ghana. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100188>
- Segura, M., Mello, J., & Herná, A. (2022). *Machine Learning Prediction of University Student Dropout: Does Preference Play a Key Role? Mathematics*, 10(18), 3359. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/math10183359>
- Simuț, R., Simuț, C., Bădulescu, D., & Bădulescu, și A. (2024). Artificial Intelligence and the Modelling of Teachers' Competencies. *Amfiteatru Economic*, 26(65), 187–206. <https://doi.org/10.24818/EA/2024/65/181>
- Tarik, A., Aissa, H., & Yousef, F. (2021). Artificial intelligence and machine learning to predict student performance during the COVID-19. *Procedia Computer Science*, 184, 835–840. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.03.104>
- Yamamoto, S. H., & Alverson, C. Y. (2022). From high school to postsecondary education, training, and employment: Predicting outcomes for young adults with autism spectrum disorder. *Autism and Developmental Language Impairments*, 7. <https://doi.org/10.1177/23969415221095019>
- Zhao, W. (2024). A study of the impact of the new digital divide on the ICT competences of rural and urban secondary school teachers in China. *Heliyon*, 10(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29186>

Defender la vida en territorios de postconflicto: educación para la justicia ecológica en Los Alpes, Medina, Cundinamarca

Defending life in post-conflict territories: Education for ecological justice in los Alpes, Medina, Cundinamarca

Rubiela Rocío López Rodríguez  

Licenciada en Química, Universidad Pedagógica Nacional; Magíster en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Colombia; Doctoranda en Educación, Universidad Pedagógica Nacional. Secretaria de Asuntos Pedagógicos de la Asociación de Educadores de Cundinamarca ADEC, Colombia.¹

ISSN 2619-2608

DOI: <https://doi.org/10.34069/RA/2026.17.05>

Cómo citar:

López Rodríguez, R.R. (2026). Defender la vida en territorios de postconflicto: educación para la justicia ecológica en Los Alpes, Medina, Cundinamarca. *Revista Científica Del Amazonas*, 9(17), 64-78. <https://doi.org/10.34069/RA/2026.17.05>

Recibido: 5 de mayo de 2026
Aceptado: 18 de junio de 2026



Resumen

Este artículo estudia la experiencia pedagógica *Senti-pensarnos con la Tierra*, desarrollada en la vereda Los Alpes, Medina (Cundinamarca), con el fin de comprender cómo las prácticas educativas y comunitarias orientadas a la defensa del territorio contribuyen a la formación de subjetividades ecológicas en contextos atravesados por el conflicto armado y las disputas extractivas. La investigación se realizó desde una perspectiva cualitativa crítico-social y biográfico-narrativa, utilizando entrevistas en profundidad, observación, grupos de discusión y análisis documental apoyado en el software ATLAS.ti. Los hallazgos evidencian que las experiencias de movilización socioecológica fortalecen procesos de resistencia campesina, de reconstrucción del tejido comunitario y de defensa del agua frente a las amenazas derivadas de la expansión petrolera y las violencias ecológicas presentes en el territorio. De igual modo, se dio cuenta de una transición paulatina de racionalidades antropocéntricas a miradas ecocéntricas basadas en el cuidado de la vida, la recuperación de saberes ancestrales y la justicia ecológica. El presente artículo es un resultado parcial de la investigación doctoral *Hacia una Educación con Justicia Ecológica*. Aproximaciones desde experiencias pedagógicas, desarrollada en el Doctorado Interinstitucional en Educación de la Universidad Pedagógica Nacional.

Palabras clave: justicia ecológica, movilización socioecológica, educación ambiental crítica, defensa territorial, conflicto socioambiental.

Abstract

This article analyzes the pedagogical experience *Senti-pensarnos con la Tierra*, developed in Los Alpes, Medina (Cundinamarca, Colombia), with the aim of understanding how educational and community-based practices focused on territorial defense contribute to the formation of ecological subjectivities in contexts shaped by armed conflict and extractive disputes. The research was conducted through a qualitative critical-social and biographical-narrative approach, using in-depth interviews, observation, focus groups, and documentary analysis supported by the software ATLAS.ti. The findings reveal that socioecological mobilization processes strengthen peasant resistance, community reconstruction, and the defense of water resources against threats associated with oil expansion and ecological violence within the territory. Likewise, the study identified a gradual transition from anthropocentric rationalities toward ecocentric perspectives grounded in the care of life, the recovery of ancestral knowledge, and ecological justice. This article constitutes a partial result of the doctoral research *Toward an Education with Ecological Justice: Approaches from Pedagogical Experiences*, developed within the Interinstitutional Doctorate in Education at the Universidad Pedagógica Nacional.

Keywords: ecological justice, socioecological mobilization, critical environmental education, territorial defense, socio-environmental conflict.

Introducción

Los problemas ecológicos que actualmente atraviesan distintos territorios del planeta ya no se pueden explicar solamente como consecuencias aisladas del deterioro ambiental o del uso indiscriminado de los recursos naturales. Atrás de problemas como la contaminación de los recursos hídricos, la expansión de la frontera extractiva, la destrucción de los bosques o la acelerada pérdida de biodiversidad, se encuentran disputas históricas relacionadas con las formas en que la modernidad occidental organizó las relaciones entre sociedad y naturaleza. En América Latina, esas tensiones se vuelven todavía más complejas en los lugares donde se cruzan guerra, despojo, economías extractivas y ausencia de Estado, porque allí los impactos ecológicos se entrecruzan con procesos de desplazamiento, miedo, fragmentación comunitaria y violencia prolongada. En este tipo de situaciones los ecosistemas dejan de ser simples escenarios sobre los cuales se da la lucha para pasar a ser también víctimas directas de sus impactos materiales y simbólicos.

Enfrentando estas realidades, son muchas comunidades campesinas y rurales las que han comenzado a construir procesos organizativos y pedagógicos orientados a proteger el territorio, defender el agua y recuperar formas colectivas de vida muy debilitadas por la guerra y por los modelos económicos basados en la explotación intensiva de la naturaleza. Más que acciones orientadas solo a la conservación ambiental, estas experiencias configuran apuestas educativas y políticas que ponen en jaque las nociones hegemónicas de desarrollo y disputan las formas tradicionales de entender la relación entre humanidad, territorio y vida. Desde este punto de vista, la educación para la justicia ecológica se plantea como un proyecto ético y político que es capaz de cuestionar las racionalidades antropocéntricas que históricamente han legitimado la mercantilización de los ecosistemas y la explotación de los territorios rurales.

En este marco, el presente artículo aborda la experiencia pedagógica Senti-pensarnos con la Tierra, desarrollada en la vereda Los Alpes del municipio de Medina (Cundinamarca). El interés central es entender cómo las prácticas comunitarias y educativas construidas en este territorio han contribuido a fortalecer procesos de defensa territorial, reconstrucción comunitaria y formación de sensibilidades ecológicas, en medio de escenarios atravesados por la violencia armada y las amenazas extractivas. El objetivo del estudio es visibilizar experiencias rurales situadas que, desde contextos históricamente marginados, han comenzado a gestar formas alternativas de habitar el territorio sustentadas en el cuidado, la reciprocidad y la defensa integral de la vida.

El texto se divide en cuatro grandes momentos. Se parte de una discusión teórica sobre las relaciones entre ecología política, justicia ecológica, violencia territorial y educación popular en América Latina. A continuación, se detalla el proceso metodológico seguido en la investigación, sustentado en una perspectiva cualitativa de índole crítico-social y biográfico-narrativa. En los apartados siguientes de resultados y de discusión, se analizan las tensiones territoriales producto del conflicto armado y del avance extractivo, las memorias comunitarias de la violencia ecológica, las formas de movilización socio-ecológica construidas para la defensa del agua y del territorio y las transformaciones éticas y pedagógicas emergentes de la experiencia educativa. Por último, se plantean algunas reflexiones sobre las potencialidades de la educación para la justicia ecológica como opción de reconstrucción territorial y de defensa de la vida en contextos atravesados por múltiples manifestaciones de violencia contra la naturaleza.

Marco Teórico

Ecología política y conflictos socioecológicos

La ecología política latinoamericana se ha configurado como un campo de pensamiento crítico, orientado a plantear las formas históricas en que la modernidad capitalista configuró una relación instrumental con la naturaleza, sometiendo territorios, ecosistemas y comunidades a dinámicas de acumulación económica y expansión extractiva. Desde este ángulo la crisis ecológica contemporánea rebasa la comprensión reduccionista que la reduce a un problema técnico o ambiental y se sitúa en el centro de una crisis civilizatoria atravesada por las relaciones de poder, desigualdad y despojo territorial. En este sentido, la degradación de los ecosistemas, el agotamiento de los bienes comunes y la intensificación de los conflictos socioambientales son expresiones de una racionalidad moderna que parte de la separación ontológica entre humanidad y naturaleza.

Enrique Leff (2004) señala que la racionalidad económica dominante ha introducido una concepción cosificante de la naturaleza, reducida a condición de recurso explotable, al mismo tiempo que ha invisibilizado las complejas tramas ecológicas y culturales que sostienen la vida. Para el autor, la crisis ecológica es efecto de un modelo civilizatorio basado en la expansión ilimitada del capital, cuya lógica instrumental ha roto los lazos entre sociedad y naturaleza, marginando los saberes ecológicos y comunitarios a los dictados productivos del mercado. Por lo tanto, la devastación ecológica no es sólo degradación física de los ecosistemas, es la expresión de una crisis de racionalidad que afecta las propias formas de habitar el mundo.

Al respecto, Héctor Alimonda (2011) señala que América Latina ha sido históricamente constituida como espacio de apropiación colonial de la naturaleza. Con el concepto de colonialidad de la naturaleza el autor muestra cómo los territorios latinoamericanos fueron incorporados al mundo moderno como periferias extractivas, para proveer materias primas a los núcleos del poder mundial. Con esta lógica, la minería, el petróleo, el agronegocio y otras formas actuales de extractivismo no son fenómenos aislados o coyunturales, sino continuidades históricas de una matriz colonial que transforma los ecosistemas en mercancía y los territorios en claves de acumulación. De este modo, la violencia sobre la naturaleza se relaciona con procesos de subordinación política, de racismo, de exclusión social que afectan particularmente a las comunidades campesinas, indígenas y rurales.

Desde otra arista de análisis, Joan Martínez Alier (2004) introduce la categoría de conflictos ecológico-distributivos, para referirse a las disputas derivadas del acceso desigual a los bienes naturales y de la distribución asimétrica de los impactos en la biósfera. Estos conflictos demuestran que los beneficios económicos de la actividad extractiva tienden a concentrarse en algunos grupos empresariales y estatales, trasladando los costos ecológicos y sociales a las comunidades históricamente marginadas. En este sentido, las luchas territoriales por la defensa del agua, de la tierra o de la biodiversidad expresan disputas sobre formas divergentes de valorar la naturaleza: por un lado, la racionalidad económica que la concibe como objeto rentable y explotable, y, por otro lado, las visiones comunitarias y territoriales que la reconocen como una condición esencial para la reproducción material, cultural y simbólica de la vida.

Siguiendo estos planteamientos, Maristella Svampa (2019) señala que el avance del neoextractivismo en América Latina profundizó la reprimarización económica de la región y consolidó nuevas geografías de conflicto socioecológico. La autora entiende que el extractivismo contemporáneo no es una mera forma económica basada en la explotación intensiva de los recursos naturales, sino que conforma una lógica territorial que se alimenta del despojo, de la mercantilización de los ecosistemas y de la fragmentación de las dinámicas comunitarias. De allí surgen diversas formas de movilización socioecológica que articulan resistencias territoriales, memorias colectivas y prácticas pedagógicas orientadas a la defensa de la vida. Estas experiencias no sólo disputan la posesión material de los territorios, sino también las racionalidades políticas y epistemológicas que legitiman la devastación ambiental en nombre del "desarrollo".

Los aportes de la ecología política latinoamericana, tomados en su conjunto, hacen posible entender que los conflictos socioecológicos son escenarios donde confluyen disputas económicas, territoriales, culturales y ontológicas en torno a la naturaleza. Estas conflictividades, que van más allá de simples controversias ambientales, son la expresión de tensiones profundas entre proyectos civilizatorios antagónicos: la expansión de un modelo extractivista basado en la acumulación y la mercantilización de la vida, por un lado, y la emergencia de resistencias comunitarias que reivindican relaciones ecológicas basadas en el cuidado, la interdependencia y la defensa territorial, por el otro. Desde este ángulo, las movilizaciones socioecológicas pueden ser leídas como expresiones contemporáneas de lucha contra las múltiples formas de violencia ecológica que atraviesan los territorios latinoamericanos.

Justicia ecológica y derechos de la naturaleza

Pensar hoy la justicia ecológica implica reconocer que la crisis ambiental rebasa ampliamente los límites de una discusión que se centre solamente en la conservación de recursos o en la mitigación de impactos ecológicos. Se empieza a cuestionar no sólo la forma en que las sociedades administran la naturaleza, sino la propia racionalidad histórica que convirtió al mundo natural en objeto de apropiación, explotación y sacrificio bajo las promesas del desarrollo moderno. O sea, la devastación ecológica actual no puede disociarse de una forma particular de

comprender la relación humanidad-naturaleza, construida sobre la idea de superioridad humana y sobre la reducción de la vida a valor económico.

Desde este punto de vista, Eduardo Gudynas (2015) resalta que gran parte de las propuestas institucionales de sostenibilidad siguen atrapadas en una lógica fuertemente antropocéntrica. Si bien incluyen preocupaciones ambientales, continúan pensando en la naturaleza principalmente en términos de su utilidad para las sociedades humanas. El problema de fondo, dice el autor, es que incluso las políticas de conservación se justifican muchas veces porque aseguran agua, energía, estabilidad climática o recursos futuros para las personas, pero pocas veces reconocen que la naturaleza tiene valores propios, independientes de cualquier beneficio económico o funcionalidad humana. Por eso Gudynas propone avanzar hacia perspectivas ecocéntricas donde la vida, en todas sus formas, adquiera relevancia ética por sí misma.

La profundidad de esta discusión se hace todavía más presente en los planteamientos de Brian Baxter (2005), en particular cuando se cuestionan las fronteras morales que la modernidad estableció entre la humanidad y la naturaleza. Para Baxter, las teorías tradicionales de la justicia han limitado el ámbito de la consideración ética al reino humano, excluyendo a las otras especies y a los ecosistemas. Sin embargo, esta separación se vuelve insostenible en un contexto en el que la destrucción ambiental muestra hasta qué punto la existencia humana depende de complejas relaciones ecológicas de interdependencia. Con su propuesta de justicia interespecie no se trata de simplemente "extender derechos" a otros seres vivos de manera abstracta, sino de desmontar aquella jerarquía ontológica que históricamente legitimó la dominación sobre el mundo natural.

En ese sentido, Bellver Capella (1997) señala que las perspectivas ecocéntricas introducen un cambio radical con respecto a las formas modernas de entender la naturaleza. Mientras el antropocentrismo clásico sólo valoraba lo que satisficiera las necesidades del hombre, el ecocentrismo cambia la atención hacia la conservación de los procesos ecológicos que permiten la vida del planeta. Lo que importa aquí no es sólo proteger ciertos recursos naturales, sino poner en entredicho los fundamentos epistemológicos que permitieron la transformación de los ecosistemas en mercancía. La naturaleza deja de ser, entonces, un escenario exterior al hombre, para entenderse como una trama vital de la cual forma parte la humanidad.

Estas discusiones encuentran una expresión particularmente significativa en América Latina, a partir de los debates sobre derechos de la naturaleza desarrollados por Alberto Acosta (2011). Para el autor, el reconocimiento jurídico de la naturaleza como sujeto de derechos es mucho más que una innovación constitucional; es una fractura política y civilizatoria con las nociones tradicionales de desarrollo. Desde este punto de vista, los mundos vitales de los pueblos indígenas andinos aportan elementos fundamentales para comprender la vida a partir de relaciones de reciprocidad y equilibrio más que a partir de la lógica de apropiación. La naturaleza no está subordinada al ser humano, sino integrada en una comunidad más amplia de existencia compartida. En ese sentido, reconocer derechos a la naturaleza implica disputar también las racionalidades extractivistas que siguen organizando gran parte de las economías latinoamericanas.

Las perspectivas biocéntricas y ecocéntricas, vistas en conjunto, permiten entender que la justicia ecológica no se trata sólo de ampliar el campo de protección ambiental, sino que implica cuestionar de forma profunda las formas históricas mediante las cuales la modernidad separó a la humanidad del resto de la vida. Lo que se debate no es solo la gestión de los ecosistemas sino las bases éticas y políticas sobre las que se sustenta la relación contemporánea con los territorios. De ahí que la defensa de la naturaleza comience a configurarse también como defensa de las propias condiciones que hacen posible la continuidad de la vida en un planeta crecientemente atravesado por múltiples formas de devastación.

Violencia ecológica y necropolítica territorial

Las violencias que atraviesan numerosos territorios latinoamericanos no pueden ser comprendidas solamente desde las categorías tradicionales del conflicto armado o de la confrontación política entre actores humanos. Hay una dimensión menos visible pero profundamente devastadora que se despliega lentamente sobre ríos, bosques, montañas, especies y comunidades enteras: una violencia que erosiona ecosistemas, altera formas históricas de habitar el territorio y deteriora progresivamente las condiciones que sostienen la vida. En muchos casos, sus efectos no son inmediatos ni espectaculares, sino que avanzan silenciosamente, sedimentándose en los cuerpos, las aguas,

los suelos y las memorias colectivas hasta transformar de manera irreversible las dinámicas ecológicas y comunitarias.

A este fenómeno Rob Nixon (2011) lo denomina violencia lenta, precisamente porque apunta a aquellas formas de destrucción de la biósfera cuya temporalidad difusa dificulta su reconocimiento público y político. A diferencia de las violencias explosivas de la guerra convencional, la violencia lenta se opera de forma acumulativa, dispersa y aparentemente imperceptible. La contaminación de las fuentes de agua, la deforestación progresiva, el deterioro de los suelos o la pérdida paulatina de la biodiversidad no suelen producir imágenes inmediatas de devastación; sin embargo, configuran procesos prolongados de desgaste ecológico que terminan afectando de manera profunda las posibilidades de existencia de las comunidades humanas y no humanas. Nixon señala que estas modalidades de destrucción tienden a recaer con mayor fuerza sobre las poblaciones periféricas, rurales y empobrecidas, cuyos territorios se convierten en zonas de sacrificio para las economías extractivas.

En América Latina estas dinámicas se tornan particularmente complejas en contextos atravesados por conflictos armados y disputas territoriales. El dominio sobre corredores estratégicos, fuentes de agua, depósitos mineros o zonas con alta biodiversidad ha transformado a muchos ecosistemas en teatros de lucha y de imposición. No se trata solo de una ocupación militar del espacio, sino de la imposición de formas específicas de administración de la vida y de la muerte sobre los territorios. Aquí, los planteamientos de Achille Mbembe (2011) son especialmente relevantes al proponer la noción de necropolítica para explicar cómo ciertos regímenes de poder deciden qué vidas valen la pena ser protegidas y cuáles pueden ser expuestas a condiciones permanentes de precariedad, destrucción o desaparición.

Mbembe desarrolla esta categoría desde escenarios coloniales y bélicos, pero sus reflexiones nos permiten comprender cómo ciertos territorios se convierten en espacios donde la devastación ecológica y la violencia social se entrelazan de modo inseparable. La destrucción de la naturaleza deja así de ser un efecto colateral del conflicto y se convierte en parte de una lógica de control territorial basada en la administración diferencial de la vida. Hay territorios donde la contaminación, el despojo o el deterioro ecosistémico parecen aceptarse como costos del desarrollo económico, la seguridad o la explotación de recursos estratégicos. En estos escenarios las comunidades rurales quedan atrapadas entre múltiples formas de violencia: armada, económica, ecológica.

Las investigaciones del Centro Nacional de Memoria Histórica (2019) han demostrado, precisamente, cómo el conflicto armado colombiano afectó profundamente a ecosistemas y territorios de comunidades campesinas, indígenas y afrodescendientes. La siembra de minas antipersonas, la expansión de economías ilegales, la explotación extractiva, los desplazamientos forzados y la apropiación violenta de tierras, transformaron no solo las dinámicas sociales de las comunidades, sino también las relaciones ecológicas que históricamente sostenían la vida en los territorios. En muchas regiones, la guerra ha alterado ciclos hídricos, destruido bosques, fracturado prácticas agrícolas y debilitado formas comunitarias de cuidado natural construidas a lo largo de generaciones.

Sin embargo, reducir estas afectaciones a simples “impactos ambientales” sería insuficiente. Lo que brota en estos territorios es una forma de violencia que incide a la vez sobre los cuerpos, los ecosistemas y las memorias colectivas. La devastación ecológica no está separada del sufrimiento humano, sino que está profundamente articulada con él. Allí donde el río se contamina se rompen también prácticas culturales, formas de subsistencia, y vínculos simbólicos con el territorio. Donde se termina el bosque no solo se apagan especies, sino también memorias, lenguajes y formas de existir comunitariamente.

Desde este punto de vista, el concepto de ecocidio resulta pertinente para denominar aquellas dinámicas sistemáticas de destrucción ambiental que ponen gravemente en riesgo la continuidad de la vida en determinados territorios. El ecocidio no solo refleja un daño puntual sobre la naturaleza, sino que expresa la consolidación de modelos de ocupación y explotación territorial que se basan en la devastación de los ecosistemas como condición para la acumulación económica y el control político. Así, las luchas territoriales y las movilizaciones socioecológicas surgen no sólo como resistencias frente al extractivismo, sino como disputas éticas y políticas por la defensa integral de la vida en contextos atravesados por múltiples formas de violencia.

Educación popular y movilización socioecológica

Las movilizaciones socioecológicas que surgen en diferentes territorios latinoamericanos, no pueden ser leídas como simples respuestas organizativas frente al extractivismo o las múltiples formas de violencia que atraviesan las comunidades rurales. También en su interior se organizan procesos pedagógicos estrechamente relacionados con la producción de significados sobre la vida, el territorio y la naturaleza. Donde las comunidades defienden un río, resisten la apropiación extractiva de sus territorios, o reconstruyen memorias agrícolas, allí se producen aprendizajes colectivos, formas de conciencia crítica y experiencias de reconfiguración subjetiva que desbordan los límites de la educación institucionalizada. De este modo, la defensa del territorio se constituye en un espacio de formación política, ética y ecológica.

En este horizonte, la educación popular latinoamericana aporta elementos fundamentales para la comprensión de la dimensión pedagógica de las resistencias socioecológicas. Como decía Paulo Freire (2005), detrás de toda práctica educativa existe una lectura del mundo y una postura frente a las estructuras de opresión que atraviesan la existencia humana. Desde este ángulo la educación no puede entenderse como una simple y neutral transmisión de contenidos, pues es un espacio de disputa por las formas de denominar, interpretar y transformar la realidad. La conciencia crítica se genera, precisamente, cuando los sujetos consiguen percibir las relaciones de dominación que conforman sus condiciones de vida y se asumen como sujetos de procesos colectivos de transformación.

Aunque Freire no desarrolló una pedagogía ecológica en los términos actuales, su pensamiento es indispensable para entender las experiencias educativas territoriales en articulación con la defensa de la vida. La lectura crítica del mundo que hace el autor permite interpretar las problemáticas ambientales, no como hechos aislados o meramente técnicos, sino como expresiones históricas de relaciones de poder, de explotación y exclusión. La educación popular se vuelve ecológica cuando las comunidades comienzan a problematizar las formas en que el extractivismo, el despojo territorial y la devastación de los ecosistemas impactan sus modos de existencia.

Por tal motivo, Moacir Gadotti (2002) afirma que la ecopedagogía es la extensión crítica de la tradición Freireana a los desafíos de la crisis planetaria actual. Gadotti cree que la cuestión ambiental no se puede limitar a incluir contenidos ecológicos de forma superficial en el currículo escolar, sino que implica una profunda transformación en la forma de concebir la relación entre la humanidad y la naturaleza. De este modo, la ecopedagogía propone una educación orientada al cuidado de la vida, la ética planetaria y la construcción de nuevas formas de habitar el mundo, a partir de la interdependencia ecológica. No se trata de enseñar ambiente sino de formar sensibilidades capaces de reconocerse como parte de una más amplia comunidad de vida.

Las pedagogías territoriales que emergen en contextos de movilización socioecológica, sin embargo, no se configuran sólo a partir de elaboraciones teóricas formales, sino también desde prácticas comunitarias, memorias locales y saberes contruidos históricamente en relación con los territorios. En este punto, Lucie Sauvé (2014) advierte que la educación ambiental crítica debe desprenderse de los enfoques conservacionistas centrados en cambiar los comportamientos individuales. Según la autora, los problemas ecológicos se entrelazan con otras dimensiones políticas, económicas, culturales y éticas, por lo que se requieren procesos educativos orientados a la comprensión crítica de las relaciones entre la sociedad y la naturaleza. Bajo este enfoque, la educación ambiental sólo tiene sentido cuando fortalece las capacidades de las comunidades para interpretar los conflictos territoriales, defender sus modos de vida y participar colectivamente en la transformación de las condiciones que producen devastación ecológica.

Estas reflexiones encuentran un horizonte más amplio en los planteamientos de Boaventura de Sousa Santos (2010), sobre todo cuando él propone la necesidad de construir una ecología de saberes, capaz de cuestionar las jerarquías epistemológicas producidas por la modernidad occidental. Según Santos las racionalidades hegemónicas invisibilizaron en gran medida los conocimientos territoriales, campesinos e indígenas al considerarlos formas de producir conocimiento inferiores o no válidas. Las experiencias de resistencia socioecológica, sin embargo, demuestran que muchas comunidades han construido históricamente formas complejas de relación con la naturaleza, basadas en el cuidado, la reciprocidad y la defensa colectiva del territorio. Las pedagogías territoriales, entonces, no sólo difunden contenidos ambientales sino que confrontan las formas legítimas de conocer y habitar el mundo.

En este sentido, una de las rutas más importantes que experimentan las vivencias de movilización socioecológica es la construcción de subjetividades ecológicas. A medida que las comunidades participan en prácticas de defensa territorial, de reconstrucción de memorias ambientales o de cuidado colectivo de los ecosistemas, cambian las formas de entender la relación entre lo humano y lo natural. No basta con tener información de los problemas ecológicos, sino que se trata de producir nuevas sensibilidades, afectividades y posicionamientos ético-políticos ante la vida. Así, la experiencia pedagógica se vuelve un espacio de disputa entre distintas racionalidades civilizatorias: las racionalidades civilizatorias basadas en la explotación y mercantilización de la naturaleza, por un lado, y, por el otro, formas de existencia orientadas a la interdependencia, al cuidado y a la defensa integral de los territorios.

Metodología

Este trabajo de investigación, se realiza desde una perspectiva crítico-social, con el interés de comprender cómo la experiencia educativa desarrollada en la IEDR Los Alpes ha comenzado a configurar formas diferenciadas de relación con la naturaleza, un territorio atravesado por conflictos socio ecológicos. La experiencia, en vez de abordar la educación ambiental desde los enfoques centrados en la conservación o en la modificación de conductas individuales, desea interpretar las formas en que las comunidades, docentes y actores territoriales construyen sentidos colectivos sobre la defensa de la vida, el cuidado de los ecosistemas y la justicia ecológica. En este sentido, el enfoque cualitativo permite configurar las experiencias, tensiones y significados que emergen en los escenarios de intersección entre desigualdades sociales y problemáticas ambientales, disputas territoriales y memorias comunitarias. De acuerdo con Merriam (2009) la investigación cualitativa permite entender la manera en que las personas interpretan sus experiencias y construyen sentido acerca del mundo en que viven, mientras que Creswell (2013) destaca que esta metodología permite explorar fenómenos complejos desde los contextos en los que se desarrollan.

Metodológicamente, el estudio se sustenta en el enfoque biográfico-narrativo, porque los relatos, historias y trayectorias de quienes participan de estas experiencias permiten comprender la conformación de subjetividades comprometidas con la defensa territorial y el cuidado de la naturaleza. Goodson (2008) afirma que las historias de vida muestran cómo los sujetos construyen su identidad en medio de tensiones sociales e históricas. Clandinin & Connelly (2000) coinciden en que la narrativa es una forma de entender la experiencia humana desde su dimensión vivida. La investigación, mediante entrevistas, grupos focales, observación y análisis documental, pretende reconocer no sólo prácticas pedagógicas alternativas sino también las formas en que las comunidades producen lecturas críticas frente al extractivismo y construyen horizontes éticos y políticos orientados a la justicia por la naturaleza. De forma que la experiencia analizada es vista como un escenario de disputa de significados sobre el territorio, la vida y las posibilidades de transformación social.

La estrategia de análisis se construyó a partir de un proceso interpretativo para identificar las tensiones, sentidos y relaciones presentes en las narrativas de los participantes. Se procedió, en primer lugar, a una codificación temática abierta para identificar unidades de sentido asociadas a justicia ecológica, movilización socioecológica, defensa territorial, conflicto ambiental y formación de subjetividades ecológicas. Posterior, se utilizó el software ATLAS.ti para establecer relaciones de co-ocurrencia entre códigos y categorías, lo que permitió observar conexiones recurrentes en la experiencia educativa, las prácticas comunitarias y las formas de resistencia frente al extractivismo. Este proceso, no sólo estuvo orientado a la clasificación de la información, también permitió la construcción de categorías emergentes a partir de las propias voces de los participantes, reconociendo patrones narrativos, contradicciones y sentidos compartidos, los cuales configuraron la ruta metodológica del análisis y la comprensión de la experiencia.

Resultados y discusión

Pedagogías territoriales y formación para la justicia ecológica

La experiencia Senti-pensarnos con la Tierra, es una apuesta pedagógica orientada a reconstruir las relaciones entre comunidad, territorio y naturaleza, a partir de prácticas agroecológicas y saberes ancestrales vinculados al cuidado de la vida. El proyecto nace en el contexto de los Proyectos Pedagógicos Productivos (PPP) de la IERD Gazatavena, sede Los Alpes, articulando a estudiantes de primaria y bachillerato con integrantes de la comunidad Wiwa que habitan el territorio desde hace varios años. Más que una iniciativa escolar complementaria, el proceso se plantea como una respuesta crítica a las transformaciones que la agricultura industrial y las racionalidades productivistas

han impuesto sobre las comunidades rurales, en particular desde la expansión de los modelos agrícolas dependientes de agroquímicos, semillas modificadas y prácticas extractivas que han fracturado históricas formas de relación con la tierra.

El objetivo central del proyecto, entonces, es generar procesos educativos en torno a prácticas agroecológicas que potencien la soberanía alimentaria, el aprendizaje significativo y otras formas de relación con el entorno natural. La propuesta pedagógica tiene como objetivo consolidar espacios de formación alternativa dentro y fuera de la escuela donde los estudiantes y la comunidad puedan reconstruir vínculos de cuidado con el territorio y cuestionar críticamente los modelos tradicionales de producción rural. Con técnicas permaculturales se están creando huertas escolares, se produce libre de agroquímicos y se refuerzan las prácticas de medicina natural, todo en el marco de una apuesta más amplia orientada a recuperar conocimientos históricamente marginados por la modernización agrícola y las lógicas hegemónicas del desarrollo.

Las actividades realizadas en el proyecto demuestran una articulación evidente entre la práctica pedagógica, la experiencia territorial y la formación ética en relación con la naturaleza. Con la construcción de espirales medicinales, con las pacas biodigestoras, con los procesos de germinación y siembra, con las técnicas tradicionales de arado y con las jornadas de identificación de biodiversidad los estudiantes pueden establecer relaciones directas con los ciclos ecológicos y con las dinámicas vivas del territorio. Estas experiencias van más allá de la adquisición de conocimientos técnicos sobre agricultura o conservación ambiental; funcionan como espacios donde se producen aprendizajes sensibles vinculados al cuidado del agua, de los bosques y de las múltiples formas de vida presentes en el ecosistema. En este sentido, la pedagogía desarrollada en Los Alpes desplaza el énfasis desde una educación ambiental informativa hacia una experiencia formativa sustentada en la interdependencia ecológica y en la defensa integral de la vida.

Es especialmente relevante que la evaluación del proceso pedagógico no se limite a resultados académicos tradicionales, sino que incluya las transformaciones éticas, comunitarias y territoriales que van emergiendo en la experiencia. El proceso de formación queda evidenciado fundamentalmente en la apropiación de prácticas agroecológicas, en el fortalecimiento de la conciencia crítica frente a los modelos extractivistas, en la recuperación de saberes ancestrales y en la participación colectiva en actividades de cuidado ambiental. Así, la experiencia educativa comienza a generar progresivos desplazamientos desde racionalidades antropocéntricas —centradas en la explotación y productividad de la naturaleza— hacia perspectivas ecocéntricas donde el territorio, el agua y la biodiversidad adquieren valor más allá de su utilidad económica inmediata. De este modo, la escuela deja de ser únicamente un espacio de transmisión de contenidos para convertirse en un escenario de reconstrucción territorial, de formación política y de producción de sensibilidades comprometidas con la justicia ecológica.

Territorios en disputa: extractivismo, guerra y defensa del agua

Las narrativas construidas alrededor de la experiencia *Senti-pensarnos con la Tierra* permiten reconocer que el territorio de Los Alpes, en Medina (Cundinamarca), se encuentra atravesado por una compleja superposición de violencias históricas, intereses extractivos y disputas ecológicas que han transformado profundamente las dinámicas comunitarias y ecológicas de la región (Ver tabla 1). La guerra no solo fracturó el tejido social mediante desplazamientos, asesinatos y despojos; también reconfiguró las formas de ocupación y uso del territorio. La progresiva consolidación de latifundios ganaderos, la desaparición de cultivos tradicionales y la erosión de prácticas campesinas de subsistencia evidencian cómo el conflicto armado produjo alteraciones materiales y simbólicas sobre la relación entre comunidad y naturaleza. Los relatos de los pobladores evocan constantemente la imagen de un territorio que “antes estaba lleno de vida” y que, tras la violencia, comenzó a convertirse lentamente en un espacio marcado por el abandono, el miedo y la degradación ecológica. Así describe el profesor Juan Felipe Ocampo, uno de los líderes de la experiencia pedagógica, las transformaciones que marcaron a la vereda Los Alpes tras los años de violencia y deterioro territorial:

“Hace tiempo todavía se podía llegar por un puente que comunicaba la vereda, pero eso desapareció por completo. Los derrumbes fueron acabando con la montaña y quedó una parte muy afectada, toda erosionada, como si el cerro se hubiera rajado. Mucha gente allá relaciona eso con los bombardeos que hubo durante la guerra, porque después de eso comenzaron a soltarse grandes cantidades de tierra y, con el invierno y la tala de árboles, la situación empeoró cada vez más. Luego ocurrió un vendaval muy fuerte y

desde entonces entrar a Los Alpes se volvió casi imposible. Y es duro ver cómo cambió todo, porque antes era una vereda muy viva. Había muchas familias, negocios, tiendas, lugares para reunirse; se movía bastante la economía y la comunidad tenía mucha actividad. Incluso se alcanzó a hablar de la posibilidad de que el lugar llegara a convertirse en municipio. Cuando los habitantes recuerdan esos tiempos, siempre hablan de esa época con añoranza, como pensando en todo lo que se perdió." (Juan Felipe Ocampo, comunicación personal, 2025).

A estas heridas históricas se suman las tensiones derivadas de la expansión petrolera en el denominado Bloque Llanos 69. Las exploraciones sísmicas adelantadas por empresas vinculadas a la explotación de hidrocarburos profundizaron la preocupación comunitaria frente a la posible contaminación de nacederos, caños y zonas de recarga hídrica fundamentales para el piedemonte llanero. En las voces de docentes y habitantes aparece reiteradamente la sensación de amenaza frente a proyectos extractivos que avanzan sobre territorios ecológicamente sensibles mientras prometen progreso económico y desarrollo regional. Sin embargo, las comunidades perciben que detrás de esos discursos se oculta el riesgo de repetir experiencias de devastación ambiental ya ocurridas en otros departamentos petroleros del país. La defensa del agua adquiere entonces una dimensión central dentro de las luchas territoriales, pues el recurso hídrico es entendido no únicamente como bien natural, sino como condición de permanencia comunitaria, soberanía alimentaria y continuidad de la vida campesina. Andrés Toro relata cómo, en los últimos años, comenzó a crecer entre los habitantes de Los Alpes una fuerte preocupación frente al avance de proyectos relacionados con la explotación petrolera en zonas cercanas al territorio:

"Otra situación que empezó a generar mucha inquietud en la comunidad tiene que ver con todo el tema petrolero y los intereses que hay sobre esta región. Aunque las exploraciones no están exactamente encima de la vereda o de la serranía, sí hay sectores muy cercanos donde ya existen estudios y planes bastante adelantados. La gente comenta que muchas decisiones prácticamente ya vienen tomadas desde arriba, con contratos, permisos y plata destinada para esos proyectos, pero casi nunca se conversa realmente con las comunidades. Y precisamente eso preocupa, porque sienten que si la gente estuviera bien informada seguramente empezaría a organizarse y a oponerse. También genera desconfianza la manera como las empresas empiezan a entrar al territorio. Muchas veces llegan ofreciendo ayudas pequeñas: colaboraciones para la escuela, actividades comunitarias, mercados, regalos para los niños o apoyos para adultos mayores. Poco a poco se van acercando y haciendo presencia para que la comunidad se acostumbre a tenerlos ahí. Muchos habitantes sienten que eso hace parte de una estrategia para evitar resistencia cuando llegue la explotación más fuerte. Y ese miedo no sale de la nada, porque varias personas ponen de ejemplo lo que pasó en departamentos como Casanare, donde la actividad petrolera terminó cambiando totalmente el territorio, afectando el agua, la naturaleza y también la manera en que vive la gente." (Andrés Toro, comunicación personal, 2025).

Tabla 1.

Principales conflictos socioecológicos identificados en Los Alpes, Medina, Cundinamarca

Conflicto	Manifestación territorial	Consecuencias identificadas
Expansión petrolera	Exploración sísmica y proyectos extractivos	Riesgo hídrico y erosión del suelo
Concentración de tierras	Consolidación de latifundios ganaderos	Pérdida de producción campesina
Deforestación	Eliminación de cobertura vegetal	Deslizamientos y degradación ecosistémica
Militarización y guerra	Presencia de actores armados	Desplazamiento y fractura comunitaria

Violencias contra la naturaleza y memoria territorial

Los impactos ecológicos relatados por los participantes no se encuentran separados de los recuerdos de guerra ni de las vivencias de pérdida que ha experimentado la comunidad. En las narraciones sobre los derrumbes, la erosión, la desaparición de bosques y el deterioro de las fuentes de agua, persiste la sensación de que el territorio quedó marcado por una herida que no cierra. La montaña erosionada, el puente desaparecido, los caminos destruidos funcionan en

la memoria colectiva como símbolos visuales de una violencia que no terminó con la firma de acuerdos o con la salida de los actores armados, sino que permanece sedimentada en el paisaje. En varios relatos, los pobladores relacionan directamente los deslizamientos y el deterioro ambiental con los bombardeos y las dinámicas bélicas que ocurrieron durante los años más intensos del conflicto armado.

Esa violencia ecológica también se expresa en el miedo permanente frente a la contaminación del agua y a la destrucción progresiva de ecosistemas estratégicos. Según los testimonios, las comunidades ven en la exploración petrolera una amenaza que podría agravar el deterioro existente en nacederos, morichales y bosques de ribera. Pero las afectaciones ambientales no se narran solo desde el daño físico al ecosistema, aparecen estrechamente vinculadas al dolor colectivo por el desplazamiento, la pérdida de formas de vida campesina y la ruptura de vínculos comunitarios. Donde desaparecen cultivos tradicionales o se transforman los usos del suelo, se erosionan también memorias, saberes y relaciones históricas de cuidado con la tierra. Así, el territorio herido se vuelve una extensión material de las fracturas sociales que dejó la guerra y las dinámicas extractivas. De esta manera recuerda el profesor Juan Ocampo los relatos que los habitantes de Los Alpes compartieron con él cuando llegó por primera vez a la vereda:

"La gente cuenta que todo empezó a venirse abajo cuando llegó la violencia, igual que pasó en muchos otros territorios del país. Primero estuvieron los grupos guerrilleros y después entraron los paramilitares, y desde ahí la vida cambió totalmente. Antes había más cultivos, más diversidad en el campo, la gente sembraba y tenía diferentes animales, pero con el tiempo casi todo terminó reducido a la ganadería de leche y carne. Hoy usted va por allá y lo que más encuentra son potreros y ganado; ya casi no se ven cultivos, tal vez unas pocas gallinas o cerdos en algunas casas. Mucha gente terminó creyendo que esa era la única manera posible de sobrevivir en la región, aunque algunas organizaciones campesinas han intentado recuperar otras formas de producción. También cambió muchísimo el tema de la tierra. Antes había muchísimas fincas pequeñas entre Los Alpes y Cumaral, pero ahora son muy pocos dueños los que tienen enormes extensiones. Son terrenos inmensos llenos de ganado, sin árboles y prácticamente sin producir otra cosa. Mucha gente se desplazó, otros tuvieron que vender o perdieron sus tierras en medio de la violencia. Todo quedó concentrado en pocas manos y la mayoría de familias se fue. Hoy en día Los Alpes se siente como un lugar abandonado, casi como un pueblo vacío." (Juan Ocampo, comunicación personal, 2025).

Las memorias compartidas por los habitantes de Los Alpes permiten comprender que las huellas del conflicto armado no se quedan sólo en los cuerpos y en las relaciones humanas, sino también en el propio territorio. Los relatos comunitarios están llenos de imágenes de montañas fracturadas, bosques arrasados y animales afectados por la dinámica de la guerra. Estos relatos ilustran cómo la violencia armada modificó de forma profunda la relación de las comunidades con el entorno natural, dejando huellas visibles en los paisajes y en la memoria colectiva de quienes vivieron el conflicto. En este sentido, el profesor Juan Felipe Ocampo recupera uno de los testimonios recogidos en la vereda sobre los impactos de los bombardeos en la naturaleza y en la vida cotidiana del territorio:

"Elkin me contaba que hubo momentos en que los bombardeos duraban horas enteras, una tras otra, sin cesar. Dice que luego uno iba a esos lugares y lo que encontraba eran agujeros abiertos en la tierra de unos tamaños inmensos, como si la montaña hubiera explotado por dentro. Describía eso como un infierno. Me hablaba de árboles chamuscados, animales muertos, bosque destruido, humo por todas partes... también de gente herida o muriendo allí mismo. Se pueden escuchar historias de la guerra o ver cosas por televisión, pero es totalmente otra cosa oír a alguien que estuvo allá y vivió todo eso de cerca. Yo siento que esas conversaciones sólo pasan cuando ya existe mucha confianza con la comunidad, porque son recuerdos muy duros y no cualquiera se abre a contar esas cosas". (Juan Felipe Ocampo, comunicación personal, 2025).

Estos relatos hacen visible cómo la naturaleza ha sido también una víctima silenciosa del conflicto armado colombiano. No sólo la guerra provocó desplazamientos, asesinatos y fracturas comunitarias, sino también profundas afectaciones ecológicas que transformaron montañas, ríos, bosques y ecosistemas completos. Los bombardeos, la deforestación, la contaminación de los ríos y las prácticas extractivas de las economías de guerra dejaron cicatrices ambientales que siguen condicionando la vida en los territorios rurales. En escenarios como Los Alpes, la violencia armada transformó tanto las dinámicas de los seres humanos como las condiciones ecológicas que subían la vida comunitaria, configurando un tipo de violencia socioambiental donde el territorio dejó de ser solo escenario del conflicto para ser también una de sus principales víctimas.

Mobilización socioecológica como práctica de resistencia

Enfrentando las múltiples formas de violencia que atraviesan sus territorios, la comunidad de Los Alpes ha construido procesos organizativos sobre la defensa del agua, de los ecosistemas y las formas de vida campesina. La resistencia no sólo se manifiesta en forma de enfrentamiento directo frente a las empresas extractivas, además se resalta la reconstrucción cotidiana de los lazos comunitarios y reapropiación del territorio. Las movilizaciones contra las exploraciones petroleras permitieron la unión de campesinos, docentes, estudiantes y organizaciones sociales para defender los nacedores, cuencas hídricas y bosques amenazados por la sismica petrolera. La consulta popular de Cumaral, municipio vecino a Medina, y las movilizaciones regionales, reafirmaron la idea de que la defensa de la naturaleza es también la defensa de la vida y la permanencia de las comunidades sobre el territorio.

Dentro de este marco, la organización campesina tiene una dimensión que se traduce en acciones pedagógicas. Las acciones colectivas, los bloqueos, las asambleas, las redes de apoyo comunitario, producen formas de aprendizaje político y ecológico que transforman la forma en que las comunidades comprenden su relación con la naturaleza. Las dinámicas de resistencia inspiran la experiencia educativa desarrollada en la escuela, al recuperar las prácticas agroecológicas, fortalecer la soberanía alimentaria y reconstruir los saberes ancestrales vinculados al cuidado de la tierra. La movilización socioecológica no es sólo una respuesta a la amenaza extractiva sino un proceso de reconstrucción territorial donde la defensa de la naturaleza deviene inseparable de la de la memoria, la comunidad y la dignidad campesina (Ver figura 2).

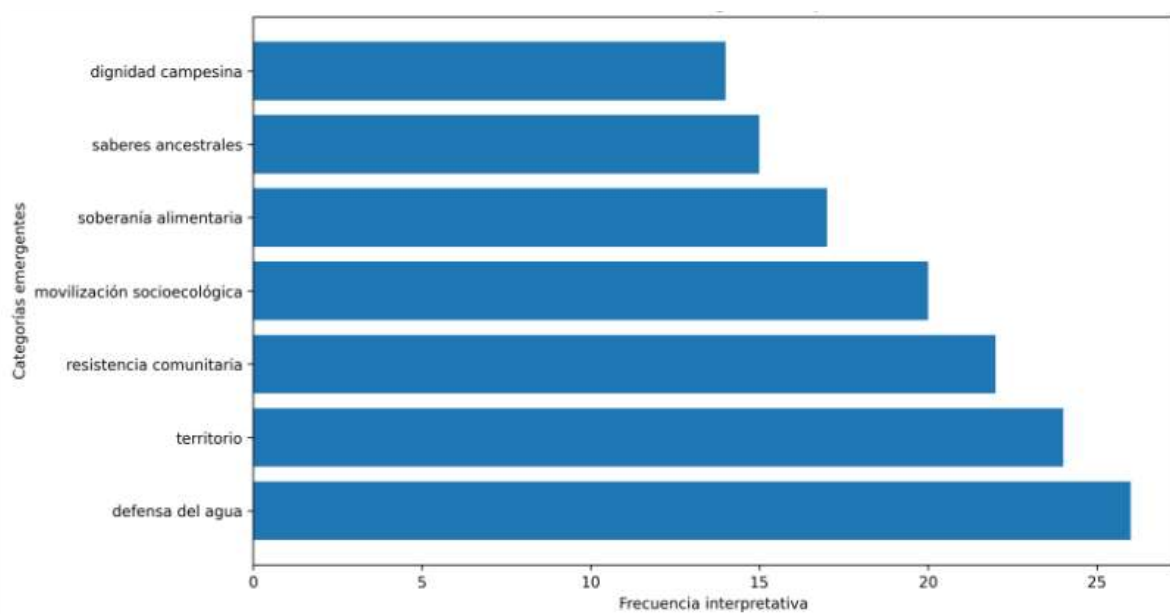


Figura 2. Mobilización socioecológica como práctica de resistencia.

La gráfica demuestra que las categorías con mayor densidad interpretativa dentro de las narrativas analizadas corresponden a la defensa del agua, del territorio y las formas de resistencia comunitaria, dentro del análisis permite reconocer que las movilizaciones socioecológicas desarrolladas en los municipios de Medina y Cumaral, no se reducen a una preocupación ambiental aislada, sino que se articulan con la defensa de las condiciones materiales, culturales y simbólicas que sostienen la vida campesina. La prioridad del agua, refleja la percepción comunitaria de que las amenazas extractivas comprometen no sólo a los ecosistemas, sino a la biodiversidad, la permanencia territorial y la soberanía alimentaria de las comunidades rurales. De igual manera, la alta recurrencia de categorías asociadas a resistencia comunitaria y movilización socioecológica, señala que las respuestas frente al extractivismo, han conducido a procesos organizativos capaces de fortalecer vínculos colectivos, reconstruir memorias territoriales y afianzar formas de acción política en defensa de la naturaleza. Categorías como saberes ancestrales y dignidad campesina presentan menor frecuencia relativa, su presencia es significativa porque muestra que las dinámicas de resistencia se basan en reivindicaciones ecológicas y en procesos de recuperación cultural, reafirmación identitaria y resignificación ética de la relación entre la comunidad y toda forma de vida.

Formación para la justicia ecológica y defensa de la vida

La experiencia de Senti-pensarnos con la Tierra nos muestra que la educación para la justicia ecológica rebasa ampliamente los enfoques tradicionales de educación ambiental centrados en contenidos informativos o en prácticas conservacionistas aisladas. En este proceso pedagógico emerge una apuesta orientada a la reconstrucción de la relación entre comunidad y naturaleza, desde horizontes éticos sustentados en el cuidado, la reciprocidad y la defensa de la vida. La recuperación de técnicas de permacultura, el trabajo en huertos escolares, las espirales medicinales, y las prácticas de reconocimiento de la biodiversidad, configuran espacios donde los y las estudiantes y la comunidad comienzan a relacionarse con la tierra desde otras sensibilidades que las racionalidades productivistas contemporáneas.

La comprensión espiritual y relacional de la naturaleza es fortalecida por la existencia de conocimientos indígenas wiwa y por el diálogo con las prácticas tradicionales campesinas que cuestionan las formas de dominación modernas sobre los ecosistemas. Ya no se considera a la tierra como objeto de explotación, sino como objeto de cuidado, de aprendizaje y de pertenencia colectiva. Las experiencias pedagógicas analizadas demuestran una transición progresiva desde miradas antropocéntricas —centradas en la utilidad económica de la naturaleza— hacia racionalidades ecocéntricas donde la biodiversidad, el agua y los territorios se valoran por sí mismos. Estas prácticas, más que instruir acerca de contenidos ecológicos, generan transformaciones sensibles y éticas en la manera de habitar el territorio, configurando subjetividades comprometidas con la defensa integral de la vida.

La experiencia de Senti-pensarnos con la Tierra nos muestra que la educación para la justicia ecológica no se reduce a los enfoques conservacionistas centrados en la transmisión de contenidos ambientales o en prácticas pedagógicas descontextualizadas. En este proceso se abre una disputa mucho más profunda sobre las formas de comprender la relación entre el ser humano, el territorio y la naturaleza. Como advierte Freire (2005), toda práctica educativa conlleva una determinada lectura del mundo. En este sentido, las prácticas de permacultura, la intervención en las huertas escolares, las espirales medicinales, el reconocimiento de la biodiversidad conforman escenarios pedagógicos donde estudiantes y comunidad van reconstruyendo vínculos de reciprocidad con la tierra, poniendo en discusión las racionalidades productivistas que se sustentan en la explotación intensiva de los ecosistemas. Para Gadotti (2002), esas experiencias demuestran que la ecopedagogía no es sólo enseñar sobre el ambiente, sino producir nuevas formas de sensibilidad ética frente a la vida y frente a la crisis planetaria contemporánea.

Desde este punto de vista, el análisis de co-ocurrencias que se muestra en la Figura 3, permite identificar las relaciones más significativas entre las categorías emergentes construidas durante el proceso investigativo, poniendo de relieve cómo las tensiones entre conflicto armado, extractivismo, justicia ecológica y movilización socio-ecológica atraviesan las narrativas comunitarias. La estrecha relación entre las categorías demanda de justicia social, conflicto armado y daño ecológico revela que las comunidades no perciben la devastación ambiental como un hecho aislado, sino como parte de una estructura histórica de violencia territorial. Como plantea Nixon (2011), la violencia ecológica se despliega lentamente sobre los territorios, sedimentándose en los ecosistemas y comunidades hasta alterar profundamente las condiciones materiales y simbólicas de la vida. De igual forma, la simultaneidad de categorías asociadas a naturaleza víctima, violencia y comprensión de la crisis ecológica, demuestra que las afectaciones ambientales son leídas colectivamente desde memorias de guerra, despojo y degradación territorial.

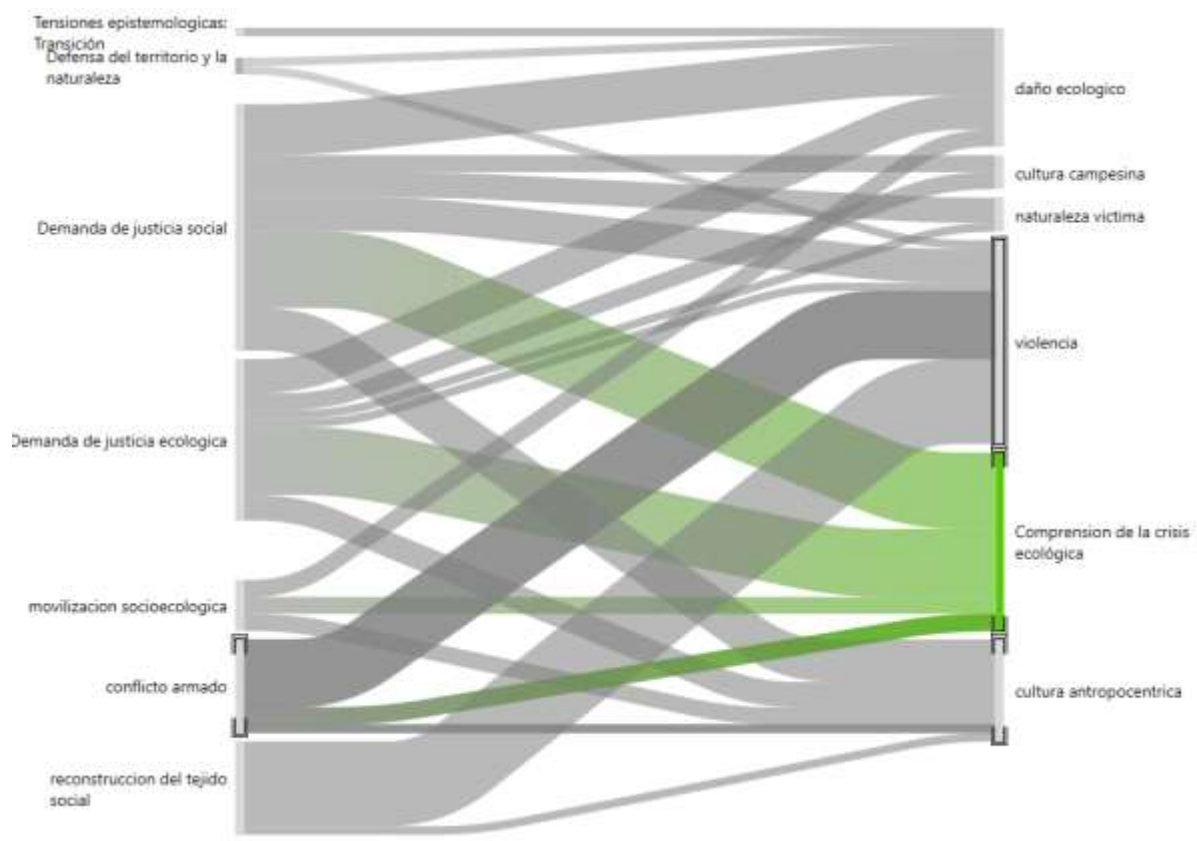


Figura 3. Relaciones de co-ocurrencia entre la conflictividad territorial, la justicia ecológica y el entendimiento de la crisis ecológica.

La gráfica muestra, además, que las categorías relacionadas con la movilización socioecológica, la defensa del territorio y la demanda de justicia ecológica están estrechamente vinculadas a procesos de comprensión crítica de la crisis ambiental contemporánea. Esto señala que las experiencias organizativas y pedagógicas desarrolladas en Los Alpes consolidan formas de conciencia ecológica que van más allá de la visión tradicional antropocéntrica. Como señala Gudynas (2015) empieza a aparecer una comprensión de la naturaleza basada en el valor intrínseco y no sólo en la funcionalidad económica. La tensión observada entre cultura antropocéntrica y las categorías de justicia ecológica permite reconocer un tránsito paulatino hacia racionalidades ecocéntricas donde el agua, la biodiversidad y el territorio adquieren relevancia ética y política propia. Haciendo cuenta de Boaventura de Sousa Santos (2010), estas experiencias evidencian, además, la emergencia de una ecología de saberes donde conocimientos campesinos, prácticas ancestrales y pedagogías territoriales compiten con las formas hegemónicas de entender el desarrollo y la naturaleza. Las experiencias analizadas conforman escenarios de transformación sensible y política más que procesos educativos convencionales, desde los cuales se reconstruyen otras maneras de habitar y defender la vida.

Conclusiones

La experiencia pedagógica Senti-pensarnos con la Tierra deja ver que las problemáticas ecológicas que atraviesan territorios rurales como Los Alpes difícilmente pueden comprenderse como simples deterioros ambientales aislados del contexto histórico y social donde ocurren. Este territorio muestra una trama compleja donde la guerra, el extractivismo, la concentración de la tierra y la degradación ecosistémica se entrelazan hasta alterar profundamente las formas de vida comunitarias. Las huellas del conflicto armado no se quedaron sólo en la memoria de quienes vivieron la violencia, sino que también perduran en las montañas erosionadas, en los bosques fragmentados, en los caminos destruidos y en las transformaciones productivas que cambiaron radicalmente la relación histórica entre la comunidad y la naturaleza. La guerra no sólo expulsó familias o fracturó vínculos sociales: transformó el propio territorio y debilitó las prácticas de cuidado construidas a lo largo de generaciones. En ese sentido, la naturaleza deja

de ocupar el lugar pasivo de escenario del conflicto para revelarse también como víctima silenciosa de las distintas formas de devastación territorial.

De igual manera, la investigación permite reconocer que las respuestas construidas por la comunidad frente a estas amenazas han ido configurando procesos organizativos donde la defensa del agua, la recuperación de saberes campesinos y el fortalecimiento de los vínculos colectivos adquieren un rol central. Las movilizaciones frente a la expansión petrolera indican que la defensa territorial no se reduce a impedir físicamente el avance extractivo sobre determinados ecosistemas, implica, al mismo tiempo, defender memorias, prácticas culturales, formas de producción y sentidos de pertenencia profundamente ligados al territorio. La resistencia socioecológica aparece entonces menos como una reacción coyuntural y más como un proceso continuo de reconstrucción comunitaria frente a las dinámicas históricas de despojo. En Los Alpes defender el agua es, a fin de cuentas, defender la posibilidad misma de permanecer en el territorio y de sostener formas campesinas de existencia cada vez más amenazadas.

Por otra parte, desde las prácticas pedagógicas desarrolladas en la experiencia analizada, puede observarse que la educación para la justicia ecológica puede llegar a ser un espacio concreto de transformación ética y sensible frente a las racionalidades antropocéntricas dominantes. Las huertas escolares, las prácticas agroecológicas, los diálogos con saberes ancestrales y las pedagogías del cuidado no funcionan solamente como estrategias didácticas sobre temas ambientales, sino, más bien, como experiencias capaces de reconfigurar las maneras en que estudiantes y comunidad comprenden su relación con la tierra. Poco a poco van surgiendo otras sensibilidades donde el agua, la biodiversidad y los ecosistemas dejan de ser valorados sólo por su utilidad económica y empiezan a ser reconocidos como condiciones esenciales para la continuidad de la vida. En este caso, lo pedagógico no se limita a la transmisión de conocimientos: transforma formas de sentir, de habitar y de relacionarse con el territorio.

En conclusión, el estudio permite asegurar que las experiencias educativas rurales situadas poseen una enorme capacidad para contribuir a procesos de reconstrucción territorial en contextos marcados por múltiples violencias socioambientales. En los lugares donde persisten las amenazas extractivas, las memorias de guerra y las profundas desigualdades históricas, la educación para la justicia ecológica se presenta como una posibilidad de articulación entre la defensa territorial, la reconstrucción comunitaria y la formación de subjetividades comprometidas con el cuidado integral de la vida. Más que proponer soluciones técnicas frente a la crisis ambiental, las experiencias analizadas abren horizontes alternativos para pensar otras formas de relación entre humanidad y naturaleza, disputando las racionalidades que históricamente han legitimado la explotación de los territorios rurales en nombre del desarrollo y del progreso.

Referentes Bibliográficos

- Acosta, A. (2011). *La naturaleza con derechos: De la filosofía a la política*. Abya-Yala.
- Alimonda, H. (2011). *La naturaleza colonizada: Ecología política y minería en América Latina*. CLACSO.
- Baxter, B. (2005). *A theory of ecological justice*. Routledge.
- Bellver Capella, V. (1997). *Ecología: De las razones a los derechos*. Comares.
- Centro Nacional de Memoria Histórica. (2019). *La naturaleza herida: Violencia y devastación ambiental en el conflicto armado colombiano*. CNMH.
- Clandinin, D. J., & Connelly, F. M. (2000). *Narrative inquiry: Experience and story in qualitative research*. Jossey-Bass.
- Creswell, J. W. (2013). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (3.^a ed.). Sage.
- Freire, P. (2005). *Pedagogía del oprimido* (2.^a ed.). Siglo XXI Editores.
- Gadotti, M. (2002). *Pedagogía de la Tierra*. Siglo XXI Editores.
- Goodson, I. (2008). *Investigating the teacher's life and work*. Sense Publishers.
- Gudynas, E. (2015). *Derechos de la naturaleza: Ética biocéntrica y políticas ambientales*. Ediciones Abya-Yala.
- Leff, E. (2004). *Racionalidad ambiental: La reapropiación social de la naturaleza*. Siglo XXI Editores.
- Martínez Alier, J. (2004). *El ecologismo de los pobres: Conflictos ambientales y lenguajes de valoración*. Icaria Editorial.
- Mbembe, A. (2011). *Necropolítica*. Melusina.
- Merriam, S. B. (2009). *Qualitative research: A guide to design and implementation*. Jossey-Bass.
- Nixon, R. (2011). *Slow violence and the environmentalism of the poor*. Harvard University Press.
- Santos, B. de S. (2010). *Descolonizar el saber, reinventar el poder*. Ediciones Trilce.

- Sauvé, L., (2014). Educación ambiental y ecociudadanía. Dimensiones claves de un proyecto político-pedagógico. *Revista Científica*, 18(1), 12-23. <https://doi.org/10.14483/23448350.5558>
- Svampa, M. (2019). *Las fronteras del neoextractivismo en América Latina: Conflictos socioambientales, giro ecoterritorial y nuevas dependencias*. CALAS.

Efecto de la masa de grano y volteo en la calidad fisicoquímica y sensorial del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonía Colombiana

Effect of bean mass and turning frequency on the physicochemical and sensory quality of cocoa (*Theobroma cacao* L.) in the Colombian Amazon

Laura Isabela Muñoz Marín¹   Pijeidi Londoño Peña²   Camila Andrea Jurado Noguera³  
Cesar Hernando Bolívar Herrera⁴   Juan Pablo Narváez-Herrera⁵  

Tecnóloga en Producción Agroindustrial, Institución Universitaria del Putumayo – UniPutumayo. Semillero de Investigación Victoria Amazónica, Mocoa, Putumayo, Colombia.¹

Tecnóloga en Producción Agroindustrial, Institución Universitaria del Putumayo – UniPutumayo. Semillero de Investigación Victoria Amazónica, Mocoa, Putumayo, Colombia.²

Tecnóloga en Producción Agroindustrial, Institución Universitaria del Putumayo – UniPutumayo. Semillero de Investigación Victoria Amazónica, Mocoa, Putumayo, Colombia.³

Ingeniero Químico. Institución Universitaria del Putumayo – UniPutumayo. Semillero de Investigación Victoria Amazónica, Mocoa, Putumayo, Colombia.⁴

Zootecnista, Doctor en Ciencias Animales. Institución Universitaria del Putumayo – UniPutumayo. Semillero de Investigación Victoria Amazónica, Mocoa, Putumayo, Colombia.⁵

ISSN 2619-2608

DOI: <https://doi.org/10.34069/RA/2026.17.06>

Cómo citar:

Muñoz Marín, L.I., Londoño Peña, P., Jurado Noguera, C.A., Bolívar Herrera, C.H., & Narváez-Herrera, J.P. (2026). Efecto de la masa de grano y volteo en la calidad fisicoquímica y sensorial del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonía Colombiana. *Revista Científica Del Amazonas*, 9(17), 79-94.
<https://doi.org/10.34069/RA/2026.17.06>

Recibido: 12 de abril de 2026
Aceptado: 25 de junio de 2026



Resumen

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo de importancia económica en la Amazonía colombiana, cuya calidad depende en gran medida del manejo de la fermentación. Se evaluó el efecto de la proporción de llenado de bolsas y la frecuencia de volteo sobre la calidad fisicoquímica y sensorial del cacao clon CCN 51. Se empleó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3×3 , con tres niveles de llenado de bolsas (25, 50 y 75%) y tres frecuencias de volteo (1, 2 y 3 veces al día), para un total de nueve tratamientos y cinco repeticiones. Se analizaron pH y acidez titulable en masa fermentada y grano seco, contenido de polifenoles y perfil sensorial. Los resultados mostraron diferencias significativas en el pH de la masa fermentada y del grano seco, en la acidez titulable de la masa fermentada y en el contenido de polifenoles. El tratamiento con volteo intermedio y mayor proporción de llenado favoreció una mayor acidificación, mientras que tres volteos diarios conservaron mayor contenido de polifenoles. Sensorialmente, el cacao presentó mayor intensidad de aroma, acidez y sabor a cacao, aunque con baja complejidad aromática. Se concluye que el manejo del volteo y de la masa fermentada influye en la calidad final del cacao en sistemas de pequeña escala.

Palabras clave: acidez, fermentación, pH, polifenoles, poscosecha.

Abstract

Cocoa (*Theobroma cacao* L.) is a crop of economic importance in the Colombian Amazon, and its quality largely depends on fermentation management. This study evaluated the effect of bag filling proportion and turning frequency on the physicochemical and sensory quality of CCN 51 cocoa. A completely randomized 3×3 factorial design was used, with three bag filling levels (25, 50, and 75%) and three turning frequencies (1, 2, and 3 times per day), for a total of nine treatments with five replicates. Fermented mass pH, dried bean pH, titratable acidity in fermented mass and dried beans, polyphenol content, and sensory profile were evaluated. The results showed significant differences in fermented mass pH, dried bean pH, titratable acidity of the fermented mass, and polyphenol content. The treatment with intermediate turning frequency and higher filling proportion promoted greater acidification, whereas three turnings per day preserved higher polyphenol

content. Sensory evaluation showed greater intensity of aroma, acidity, and cocoa flavor, although with low aromatic complexity. It is concluded that turning management and fermented mass proportion influence the final quality of cocoa in small-scale fermentation systems.

Keywords: acidity, fermentation, pH, polyphenols, postharvest.

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo estratégico en las regiones tropicales por su importancia económica, alimentaria y agroindustrial, así como por su uso en las industrias de alimentos, farmacéutica y cosmética (Vázquez-Ovando, 2016). En los territorios amazónicos, además de su valor comercial, el cultivo representa una alternativa productiva relevante para pequeños productores y sistemas agroforestales, por lo que la mejora de la calidad poscosecha constituye un factor clave para incrementar su competitividad. En el departamento del Putumayo, estudios recientes han resaltado la importancia de caracterizar y fortalecer los sistemas cacaoteros locales, dada la diversidad de materiales presentes y el potencial productivo de estas regiones (Apraez Muñoz et al., 2024). La calidad final del grano depende en gran medida de las operaciones poscosecha, especialmente de la fermentación, proceso en el cual ocurren transformaciones bioquímicas y microbiológicas determinantes para la formación de compuestos precursores del aroma, sabor, color y otras propiedades del chocolate (Calvo et al., 2021; Góngora-Duarte et al., 2023).

Durante la fermentación, la degradación de azúcares del mucílago, la producción de metabolitos orgánicos, la acidificación progresiva de la masa y la oxidación de compuestos fenólicos modifican la composición del grano y condicionan su calidad fisicoquímica y sensorial (Rivera Fernández et al., 2012; Vázquez-Ovando, 2016). En este contexto, variables como pH, acidez total titulable, temperatura y contenido de polifenoles se consideran indicadores útiles para evaluar la evolución del proceso fermentativo y su efecto sobre la calidad del cacao (Portillo et al., 2011; Solórzano et al., 2021). Estas variables no actúan de manera independiente, sino que reflejan la interacción entre la actividad microbiana, la disponibilidad de oxígeno, la retención de calor en la masa fermentada y la transformación de compuestos asociados con el desarrollo del sabor, la reducción de la astringencia y la expresión del perfil sensorial del grano. En Colombia, investigaciones recientes han mostrado que la fermentación modifica de manera importante los atributos fisicoquímicos y sensoriales del cacao, y que dichas respuestas pueden variar según el clon, el origen geográfico y las condiciones de manejo poscosecha (García-Rincón et al., 2021; López-Hernández et al., 2023; Ramírez González et al., 2024).

En el departamento del Putumayo, el cacao constituye un renglón productivo de relevancia económica y social (Agrosavia, 2016). En zonas de piedemonte y llanura amazónica, el clon CCN 51 ha adquirido importancia por su adaptabilidad, productividad y aceptación comercial (Parra Pineda & Orozco Calero, 2021). Este clon ha sido ampliamente utilizado en diferentes regiones cacaoteras del país y su comportamiento durante la fermentación puede variar según las condiciones de madurez, manejo poscosecha y localización geográfica (López-Hernández et al., 2023). No obstante, en los sistemas de producción local persisten limitaciones en el manejo poscosecha, ya que la fermentación suele realizarse en recipientes de distinta capacidad, cajones, sacos o bolsas, bajo criterios empíricos definidos por la disponibilidad de tiempo, mano de obra y volumen de cosecha. Esta variabilidad puede afectar la aireación, la temperatura de la masa, la dinámica microbiana y, en consecuencia, la homogeneidad de la fermentación y la calidad final del grano (Penagos Muñeton, 2019). En sistemas de pequeña escala, esta situación adquiere especial importancia, debido a que los bajos volúmenes de cosecha pueden dificultar la conservación de calor y limitar la estabilidad del proceso fermentativo.

Aunque estudios previos han señalado la importancia del control del pH, la acidez y los compuestos fenólicos en la fermentación del cacao (Portillo et al., 2011; Vázquez-Ovando, 2016), aún es limitada la información sobre el efecto de la relación masa-volumen en sistemas de fermentación en bolsas de pequeña escala y sobre la frecuencia de volteo en condiciones del piedemonte amazónico. Asimismo, se requiere mayor evidencia sobre cómo la interacción entre la proporción de llenado y el número de volteos diarios modifica simultáneamente la acidificación, la transformación de polifenoles y la expresión sensorial del cacao CCN 51. Este vacío restringe la formulación de criterios técnicos para estandarizar prácticas de beneficio adaptadas a los sistemas productivos regionales. Frente a esta situación, el presente estudio se propuso evaluar el efecto combinado de la proporción de llenado de bolsas de fermentación y el número de volteos diarios sobre variables fisicoquímicas y sensoriales del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN 51. Con ello, se busca generar evidencia técnica que contribuya a la estandarización

de prácticas de fermentación en sistemas de bolsa, fortaleciendo la calidad del producto, la competitividad de los productores locales y la sostenibilidad del sistema cacaotero en el piedemonte amazónico colombiano.

Revisión de literatura

La fermentación del cacao constituye una etapa crítica en el beneficio poscosecha, en la cual se desarrollan procesos bioquímicos y microbiológicos responsables de la formación de compuestos precursores del aroma y sabor del chocolate. Este proceso implica la acción sucesiva de levaduras, bacterias ácido-lácticas y bacterias ácido-acéticas, que transforman los azúcares del mucilago en etanol, ácido láctico y ácido acético, generando un incremento progresivo de la temperatura y la acidificación de la masa (Vázquez-Ovando, 2016; Calvo et al., 2021; Góngora-Duarte et al., 2023). Durante esta etapa, la difusión de metabolitos hacia el interior del grano provoca la muerte del embrión y desencadena reacciones enzimáticas que modifican la estructura de los cotiledones, favoreciendo la formación de compuestos volátiles y la oxidación de polifenoles. Este último proceso es fundamental para la reducción de la astringencia y el amargor característicos del cacao no fermentado, así como para el desarrollo del color pardo típico del grano adecuadamente fermentado (Rivera Fernández et al., 2012; Cortez et al., 2023). Por tanto, la fermentación no debe entenderse únicamente como una etapa de remoción del mucilago, sino como un proceso integral en el que interactúan microorganismos, temperatura, aireación, acidez y transformación de compuestos bioactivos, todos ellos determinantes de la calidad final del cacao.

Diversas investigaciones han identificado variables fisicoquímicas como indicadores clave del avance y la calidad del proceso fermentativo. El pH y la acidez total titulable reflejan el grado de acidificación de la masa, asociado a la producción de ácidos orgánicos, principalmente ácido acético. Valores de pH cercanos o inferiores a 5,0 suelen indicar fermentaciones más completas, mientras que valores superiores pueden estar asociados a procesos incompletos o con deficiente actividad microbiana (Portillo et al., 2011; Solórzano et al., 2021). De manera complementaria, la temperatura es un parámetro determinante, ya que influye directamente en la actividad metabólica de los microorganismos y en la velocidad de las reacciones bioquímicas. Estudios recientes han demostrado que la dinámica del pH, la acidez y la temperatura durante la fermentación se relaciona estrechamente con la sucesión microbiana y con la formación de atributos de calidad del grano, por lo que estas variables deben analizarse de manera conjunta y no como indicadores independientes (Calvo et al., 2021; Peña González et al., 2023).

Por otra parte, el contenido de compuestos fenólicos, especialmente catequinas y epicatequinas, constituye un indicador relevante tanto de la calidad funcional como sensorial del cacao. Estos compuestos presentan una disminución progresiva durante la fermentación debido a procesos de oxidación y polimerización, los cuales están estrechamente relacionados con la reducción de la astringencia y la mejora del perfil sensorial del grano (Vázquez-Ovando, 2016). Sin embargo, la conservación parcial de polifenoles también puede representar un atributo funcional de interés, debido a su relación con la capacidad antioxidante del cacao; por ello, el reto tecnológico consiste en alcanzar un equilibrio entre la transformación fenólica necesaria para mejorar el perfil sensorial y la preservación de compuestos bioactivos de valor nutricional y funcional (Hurst et al., 2011; Cortez et al., 2023).

Entre los factores operativos que condicionan la eficiencia del proceso fermentativo, la aireación de la masa juega un papel fundamental. El volteo del grano permite homogenizar la temperatura, favorecer la oxigenación del sistema y estimular la actividad de bacterias ácido-acéticas, responsables de la conversión del etanol en ácido acético. Estudios reportan que una mayor frecuencia de volteo contribuye a una fermentación más uniforme y a una mejor calidad final del grano, aunque un exceso de manipulación puede generar pérdidas de calor y afectar la dinámica microbiana (Camu et al., 2008; Afoakwa et al., 2008; Velásquez-Reyes et al., 2021). En consecuencia, el volteo no necesariamente presenta una respuesta lineal sobre la calidad; frecuencias insuficientes pueden limitar la oxigenación y la producción de ácido acético, mientras que frecuencias excesivas pueden alterar la estabilidad térmica del sistema y modificar la transformación de polifenoles y compuestos aromáticos.

Adicionalmente, la relación entre la masa de grano y el volumen del sistema fermentador influye en la retención de calor, la disponibilidad de oxígeno y la acumulación de metabolitos. Sistemas con mayor volumen de masa tienden a conservar mejor la temperatura, favoreciendo el desarrollo microbiano, mientras que volúmenes reducidos pueden generar fermentaciones incompletas debido a pérdidas térmicas (Penagos Muñeton, 2019). Este aspecto es particularmente relevante en unidades productivas de pequeña escala, donde los volúmenes de cosecha son variables y, en muchos casos, insuficientes para garantizar condiciones térmicas estables durante toda la fermentación. En

este sentido, la implementación de sistemas alternativos como bolsas plásticas perforadas o bolsas de polietileno de alta densidad han sido explorados como una opción viable para pequeños productores, aunque su comportamiento depende de la interacción entre la carga de grano y las prácticas de manejo, como la frecuencia de volteo. Investigaciones en Colombia han mostrado que el clon, el tiempo de fermentación, el manejo poscosecha y las condiciones locales pueden modificar la expresión fisicoquímica y sensorial del cacao, lo que refuerza la necesidad de validar tecnologías adaptadas a contextos regionales específicos, como la Amazonía colombiana (Horta-Téllez et al., 2019; Polanía-Hincapié et al., 2023; Ramírez González et al., 2024).

A pesar de estos avances, aún existe limitada información sobre la interacción entre la proporción de llenado en sistemas de fermentación en bolsas y la frecuencia de volteo, particularmente en condiciones del piedemonte amazónico colombiano. Esta brecha de conocimiento restringe la formulación de recomendaciones técnicas adaptadas a sistemas productivos de pequeña escala, lo que justifica la necesidad de estudios que integren variables fisicoquímicas y sensoriales en la evaluación del proceso fermentativo del cacao clon CCN 51. En este orden de ideas, analizar simultáneamente pH, acidez titulable, polifenoles y atributos sensoriales permite comprender de manera más integral cómo las decisiones de manejo durante la fermentación inciden en la calidad final del grano y en su potencial aplicación para sistemas cacaoteros amazónicos de pequeña escala.

Metodología

Tipo de estudio y ubicación geográfica. Se realizó un estudio experimental con diseño factorial completamente aleatorizado. Las mazorcas de cacao del clon CCN 51 fueron recolectadas en predios productores ubicados en la vereda San Carlos, municipio de San Miguel, Putumayo, Colombia. El área de estudio se localiza en las coordenadas 0°19'58.45" N y 76°52'49.11" O, con condiciones de clima tropical húmedo, temperatura promedio anual de 28 °C, precipitación de 3500 mm/año y altitud aproximada de 380 m s. n. m. (IDEAM, 2018). La fase experimental se desarrolló en los laboratorios de la Institución Universitaria del Putumayo - UniPutumayo, sede Aire Libre, en el municipio de Mocoa.

Material vegetal. Se recolectaron 150 mazorcas de cacao clon CCN 51, equivalentes a 28 kg de masa inicial de grano fresco con mucílago, en estado de madurez fisiológica completa. Las mazorcas fueron abiertas entre 24 y 48 h después de la cosecha y los granos fueron mezclados y homogenizados antes del montaje experimental, con el fin de reducir la variabilidad inicial entre unidades experimentales.

Diseño experimental. Se empleó un arreglo factorial 3 × 3 con dos factores: Factor A: porcentaje de llenado de las bolsas (25, 50 y 75%) y Factor B: frecuencia de volteo (1, 2 y 3 volteos diarios). Se generaron nueve tratamientos, cada uno con cinco repeticiones, para un total de 45 unidades experimentales. Cada unidad experimental correspondió a una bolsa de fermentación con una masa específica de grano, asignada de acuerdo con el porcentaje de llenado establecido para cada tratamiento. La asignación de los tratamientos a las unidades experimentales se realizó bajo un esquema completamente aleatorizado, con el fin de reducir sesgos asociados a la ubicación o manipulación de las muestras.

Sistema y condiciones de fermentación. La fermentación se realizó en bolsas de polietileno de alta densidad (HDPE) con capacidad de 6 L, dimensiones de 16 × 30 cm y perforaciones cada 5 cm para favorecer la aireación. Las bolsas fueron ubicadas sobre recipientes plásticos para recolectar el mucílago drenado y evitar el contacto directo de las unidades experimentales con el líquido exudado. El proceso fermentativo tuvo una duración de seis días bajo condiciones ambientales (25–38 °C). Los volteos se realizaron manualmente de acuerdo con la frecuencia asignada a cada tratamiento, mezclando la masa durante aproximadamente 5 minutos para favorecer la homogenización y oxigenación del sistema. Durante el proceso se procuró mantener condiciones similares de exposición ambiental entre tratamientos, con el fin de que las diferencias observadas fueran atribuibles principalmente a la proporción de llenado y a la frecuencia de volteo. Al finalizar la fermentación, los granos destinados a los análisis fisicoquímicos fueron sometidos a secado controlado a 103 °C durante 24 h para homogenizar la humedad antes de los análisis químicos. Las muestras destinadas al análisis sensorial fueron manejadas de manera independiente, con el fin de conservar sus características organolépticas.

Variables evaluadas

Parámetros fisicoquímicos en masa fermentada

pH de la masa fermentada. Se estimó mediante tiras indicadoras insertadas directamente en la masa **al finalizar el proceso fermentativo**, comparando la coloración obtenida con la escala de referencia del fabricante, de acuerdo con la metodología descrita por Portillo et al. (2011).

Acidez total titulable (ATT). Se determinó en 5 mL de mucilago filtrado mediante titulación con NaOH 0.1 N y fenolftaleína como indicador, expresando los resultados como porcentaje de ácido cítrico, de acuerdo con Penagos Muñeton (2019). La ATT fue utilizada como indicador de la acumulación de ácidos orgánicos generados durante la fermentación.

Parámetros químicos en grano seco

pH del grano seco. Se determinó en 5 g de grano descascarillado y molido, homogenizado en 100 mL de agua destilada caliente, dejando reposar la suspensión hasta alcanzar condiciones adecuadas para la lectura, con medición mediante potenciómetro, según Solórzano et al. (2021). Esta variable permitió evaluar la acidificación interna del cotiledón como resultado de la difusión de metabolitos ácidos durante la fermentación.

Acidez total titulable. Se determinó mediante titulación ácido-base en muestras de grano seco, siguiendo la metodología descrita por Penagos Muñeton (2019). Los resultados se expresaron como porcentaje de acidez titulable, permitiendo complementar la interpretación del pH del grano y estimar la incorporación de ácidos al cotiledón.

Polifenoles totales. Se cuantificaron mediante el método Folin–Ciocalteu, con lectura espectrofotométrica a 760 nm, según protocolos descritos para cacao por Vázquez-Ovando (2016). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico por g de grano seco. Esta variable fue considerada un indicador de la transformación de compuestos fenólicos durante la fermentación y de su posible relación con atributos sensoriales como amargor y astringencia.

Análisis sensorial. Se evaluó 1 kg de grano seco por tratamiento mediante un panel de 15 panelistas entrenados, utilizando escalas sensoriales de acuerdo con las Normas Técnicas Colombianas NTC 3925 y NTC 5328 (ICONTEC, 1996; ICONTEC, 2004). Se calificaron atributos como aroma, sabor a cacao, notas frutales o florales, acidez, amargor, astringencia, textura en boca y retrogusto. Las muestras destinadas al análisis sensorial fueron manejadas de forma independiente a las empleadas para los análisis de laboratorio, con el fin de conservar sus características organolépticas. Los resultados sensoriales se analizaron de manera descriptiva mediante los puntajes promedio asignados por el panel, permitiendo caracterizar el perfil organoléptico del cacao obtenido bajo las condiciones evaluadas.

Análisis estadístico. Los datos fisicoquímicos se analizaron mediante un modelo factorial 3×3 , considerando como factores fijos el porcentaje de llenado de las bolsas y la frecuencia de volteo. Se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, seguido de un análisis de varianza (ANOVA). Las diferencias entre tratamientos se evaluaron mediante la prueba de comparación múltiple de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0.05$. El análisis estadístico se realizó en el software RStudio (R Core Team, 2023).

Consideraciones éticas. El estudio no involucró experimentación con animales ni procedimientos invasivos en seres humanos. La participación en el análisis sensorial fue voluntaria, bajo criterios de consentimiento informado. Los panelistas fueron informados sobre el propósito de la evaluación y participaron únicamente en la valoración sensorial de muestras de cacao, sin exposición a procedimientos que representaran riesgo para su integridad.

Resultados y discusión

pH de la masa fermentada. El pH de la masa fermentada presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), evidenciando el efecto de la frecuencia de volteo, la proporción de llenado de las bolsas y su interacción

sobre la acidificación del sistema fermentativo (Figura 1). Este comportamiento confirma que la acidificación del mucílago no estuvo determinada por un solo factor de manejo, sino por la combinación entre la cantidad de masa fermentada disponible y el grado de aireación generado por los volteos.

Los valores más bajos de pH se registraron en el tratamiento V2-75% (5.01 ± 0.04), el cual difirió significativamente de la mayoría de los tratamientos, indicando una mayor intensidad de acidificación del mucílago. En contraste, los tratamientos V1-25% (5.79 ± 0.06) y V2-25% (5.84 ± 0.06) presentaron los valores más altos de pH, lo que sugiere una menor eficiencia fermentativa bajo condiciones de baja masa fermentada. Estos resultados coinciden con lo reportado por Portillo et al. (2011), quienes señalan que las variaciones de pH durante el tratamiento poscosecha son un indicador sensible de la evolución fermentativa del cacao, así como con Solórzano et al. (2021), quienes relacionan valores de pH más bajos con una fermentación más completa y con mejores atributos físicos y sensoriales en licor de cacao. De manera similar, Calvo et al. (2021) destacan que los cambios de pH durante la fermentación reflejan la actividad metabólica de los microorganismos y la acumulación de ácidos orgánicos, especialmente ácido acético y ácido láctico, los cuales participan en la modificación estructural y bioquímica del grano.

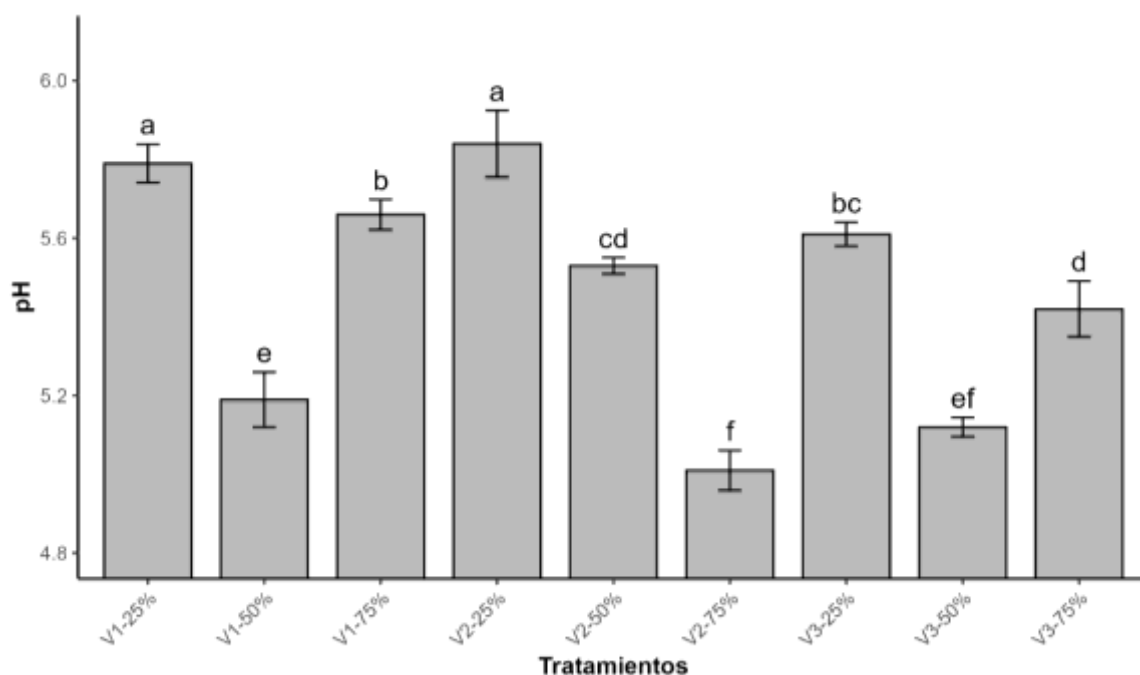


Figura 1. pH de la masa fermentada de cacao CCN 51 bajo diferentes tratamientos. Las barras representan la media $\pm$ desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Aunque no se observó una respuesta lineal en todos los tratamientos, se identificó una tendencia según la cual ciertas combinaciones de mayor llenada y volteo moderado favorecieron una mayor acidificación de la masa fermentada. En particular, el comportamiento de V2-75% sugiere que una frecuencia intermedia de volteo, combinada con una alta proporción de masa, puede generar un equilibrio adecuado entre oxigenación y conservación de calor, promoviendo la oxidación del etanol a ácido acético por acción de bacterias ácido-acéticas. Esta interpretación coincide con Penagos Muñeton (2019), quien destacó que la relación entre masa de grano y volumen del sistema fermentador influye directamente en la retención térmica y en la estabilidad del proceso fermentativo. En sistemas de pequeña escala, como los evaluados en este estudio, este aspecto adquiere especial importancia, debido a que volúmenes reducidos de grano pueden perder calor con mayor facilidad y limitar la actividad microbiana responsable de la acidificación.

Los valores relativamente bajos de pH observados en V1-50% y V3-50% sugieren que la acidificación del mucílago no dependió exclusivamente del número de volteos, sino de la interacción entre aireación, masa fermentada y dinámica térmica. En este sentido, Afoakwa et al. (2008) señalaron que la aireación es un factor determinante en la

conversión del etanol en ácido acético, mientras que Calvo et al. (2021) destacan que la dinámica de fermentación del cacao responde a interacciones complejas entre actividad microbiana, temperatura y uniformidad del sistema. Asimismo, estudios sobre el efecto del volteo han demostrado que la aireación favorece el desarrollo de bacterias ácido-acéticas; sin embargo, su efecto puede ser variable cuando la manipulación excesiva reduce la estabilidad térmica de la masa fermentada. Así, una mayor frecuencia de volteo no necesariamente implica una acidificación más eficiente si se compromete la estabilidad térmica del proceso.

Desde una perspectiva aplicada, estos resultados indican que el tratamiento V2-75% generó condiciones más favorables para la acidificación de la masa fermentada, posiblemente por combinar una mayor retención de calor con una oxigenación suficiente. En contraste, los tratamientos con 25% de llenado presentaron menor acidificación, lo cual sugiere que las masas pequeñas podrían ser menos eficientes para sostener una fermentación homogénea en sistemas de bolsa. Esta información es relevante para pequeños productores, ya que permite orientar prácticas sencillas de manejo poscosecha, como evitar volúmenes demasiado bajos de fermentación y ajustar la frecuencia de volteo para no afectar la temperatura interna del sistema.

pH del grano seco. Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, lo que evidencia que la frecuencia de volteo y la proporción de llenado de las bolsas influyeron en la intensidad de la acidificación final del grano (Figura 2). El valor más bajo se observó en el tratamiento V2-75%, mientras que los valores más altos se registraron en V2-25% y V1-25%, lo que sugiere que la combinación entre una frecuencia intermedia de volteo y una alta masa fermentada favoreció una mayor difusión de metabolitos ácidos hacia el interior del grano. Este comportamiento fue consistente con lo observado en el pH de la masa fermentada, donde el tratamiento V2-75% también presentó mayor acidificación, lo que indica una relación directa entre la dinámica ácida del mucílago y la acidificación interna del cotiledón.

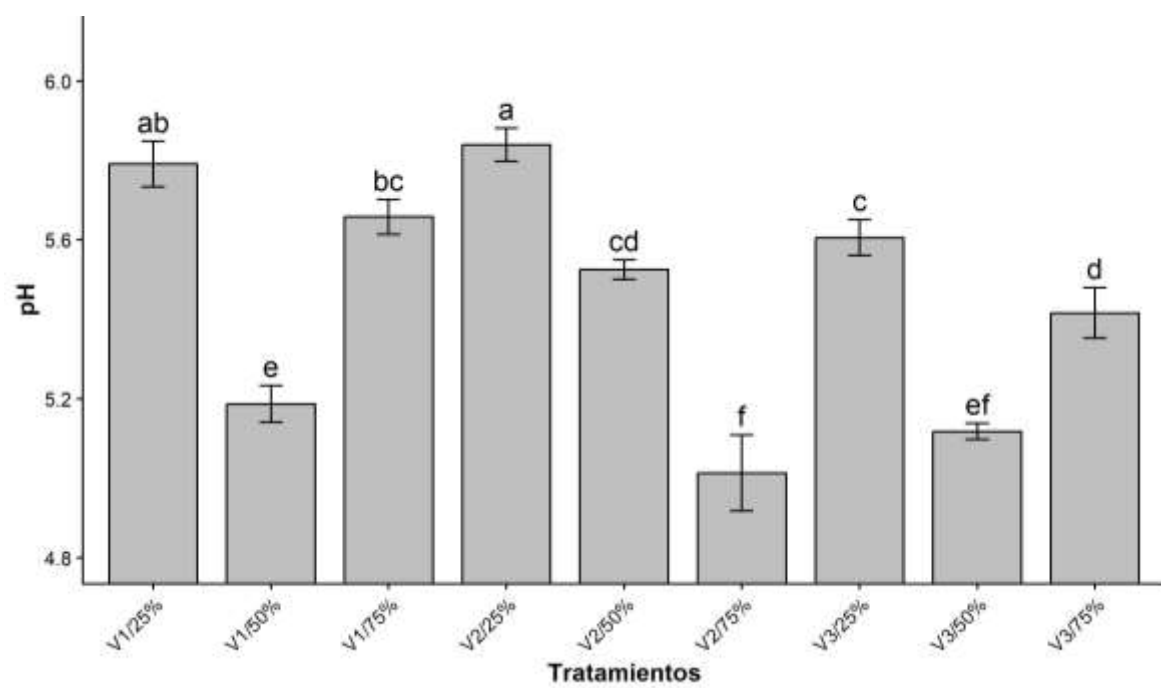


Figura 2. pH del grano seco de cacao CCN 51 bajo diferentes tratamientos. Las barras representan la media $\pm$ desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

La disminución del pH en el grano seco puede interpretarse como una consecuencia de la penetración de ácido acético desde el mucílago hacia el cotiledón durante la fermentación, proceso estrechamente relacionado con la actividad de bacterias ácido-acéticas y con la disponibilidad de oxígeno en el sistema. En este sentido, Afoakwa et al. (2008) señalaron que la conversión del etanol en ácido acético constituye una fase crítica del proceso fermentativo, ya que determina la muerte del embrión, la activación de enzimas endógenas y la posterior formación

de precursores de aroma y sabor. De forma complementaria, Portillo et al. (2011) reportaron que la acidificación es un indicador sensible de la intensidad del tratamiento poscosecha, mientras que Solórzano et al. (2021) relacionaron valores más bajos de pH con una fermentación más completa y con mejores atributos de calidad del cacao. Así, el menor pH observado en V2-75% puede interpretarse como evidencia de una fermentación más activa, en la cual la mayor masa fermentada pudo favorecer la retención de calor y la frecuencia intermedia de volteo pudo aportar oxigenación suficiente para estimular la producción de ácidos orgánicos.

La acidificación del grano no dependió exclusivamente del número de volteos, sino de la interacción entre aireación, masa fermentada y retención térmica. Aunque V2-75% presentó el menor pH, otros tratamientos como V1-50% y V3-50% también mostraron valores relativamente bajos, lo que sugiere que existen combinaciones específicas de manejo que favorecen la incorporación de compuestos ácidos al cotiledón. Esta interpretación coincide con Penagos Muñeton (2019), quien destacó que la relación entre masa de grano y volumen del sistema fermentador condiciona la evolución del proceso fermentativo y la uniformidad de sus resultados. Desde esta perspectiva, los tratamientos con menor proporción de llenado, especialmente V1-25% y V2-25%, pudieron presentar una menor eficiencia fermentativa debido a una limitada conservación de calor y a una menor estabilidad de las condiciones internas del sistema.

Asimismo, la tendencia inversa observada entre pH del grano y acidez titulable refuerza la idea de que ambos parámetros son complementarios en la evaluación de la fermentación. Un menor pH, acompañado de mayor acidez, refleja una mayor incorporación de ácidos al cotiledón y, por tanto, una fermentación más intensa. En términos de calidad, esta condición puede favorecer la formación de compuestos precursores del sabor; no obstante, un exceso de acidificación también puede afectar negativamente el perfil sensorial si no se acompaña de una adecuada transformación de compuestos fenólicos. En este sentido, Calvo et al. (2021) señalaron que la dinámica de fermentación del cacao responde a interacciones complejas entre variables microbiológicas, químicas y físicas, lo que explica la variabilidad observada entre tratamientos. Por ello, el pH del grano seco debe interpretarse en conjunto con la acidez titulable y el contenido de polifenoles, ya que una fermentación eficiente no depende únicamente de alcanzar valores bajos de pH, sino de lograr un balance entre acidificación, transformación fenólica y desarrollo de atributos sensoriales deseables.

La comparación entre el pH de la masa fermentada y el pH del grano seco permite inferir que la proporción de llenado y el volteo no solo modificaron el ambiente externo de fermentación, sino también la composición interna del grano. Este aspecto es relevante porque la acidificación del cotiledón participa en la activación de procesos enzimáticos asociados con la formación de precursores de aroma, color y sabor. Sin embargo, una acidificación excesiva o mal equilibrada podría favorecer notas ácidas intensas o limitar la expresión de atributos aromáticos más complejos. En este sentido, el tratamiento V2-75% parece representar una condición favorable para inducir una fermentación más intensa, aunque su efecto final debe analizarse de manera integrada con la respuesta sensorial y la transformación de polifenoles.

Acidez titulable en masa fermentada. La acidez titulable del mucílago presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), evidenciando el efecto de la interacción entre la frecuencia de volteo y la proporción de llenado de las bolsas sobre la dinámica fermentativa (Figura 3). Este resultado confirma que la acumulación de ácidos orgánicos en la masa no dependió únicamente del número de volteos ni del volumen de grano por separado, sino del balance entre aireación, retención térmica y actividad microbiana durante el proceso.

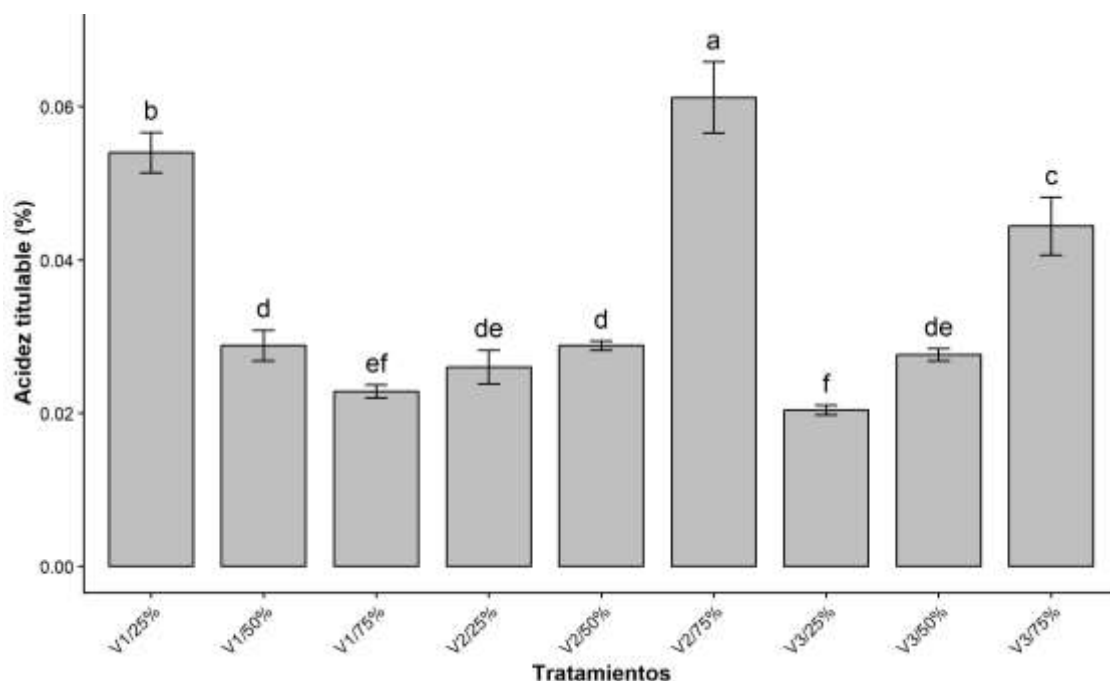


Figura 3. Acidez titulable (%) en la masa fermentada de cacao CCN 51 bajo diferentes tratamientos. Las barras representan la media $\pm$ desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

El mayor valor de acidez se registró en el tratamiento V2–75% (0.0612 ± 0.002), el cual difirió significativamente del resto de los tratamientos, indicando una mayor producción y acumulación de ácidos orgánicos bajo condiciones de alta masa fermentada y una frecuencia intermedia de volteo. Este comportamiento sugiere que la combinación entre una adecuada aireación y una mayor retención térmica favorece la actividad de bacterias ácido-acéticas responsables de la oxidación del etanol, proceso clave en la fase intermedia de la fermentación (Afoakwa et al., 2008). La respuesta observada es coherente con los resultados de pH de la masa fermentada y del grano seco, en los cuales V2–75% también presentó los menores valores, confirmando que este tratamiento generó un ambiente fermentativo más acidificado y probablemente más activo desde el punto de vista bioquímico.

En contraste, los valores más bajos de acidez se observaron en tratamientos como V3–25% y V1–75%, los cuales presentaron diferencias significativas frente a los tratamientos de mayor acidez. Estos resultados indican que condiciones de baja masa fermentada o una aireación no equilibrada pueden limitar la acumulación de ácidos en el mucílago, ya sea por una menor actividad microbiana o por pérdidas de calor que afectan la estabilidad del proceso. Este comportamiento coincide con lo reportado por Portillo et al. (2011), quienes señalan que la acidificación del mucílago depende directamente de la interacción entre temperatura y disponibilidad de oxígeno. En particular, el bajo valor observado en V3–25% puede asociarse con una posible pérdida de estabilidad térmica por la combinación de baja masa y mayor manipulación, mientras que el comportamiento de V1–75% sugiere que una masa alta, sin suficiente aireación, tampoco garantiza por sí sola una mayor producción de ácidos.

La tendencia observada indica que mayores proporciones de llenado, como 75%, no necesariamente reducen la acidez, sino que, en interacción con la frecuencia de volteo, pueden favorecer su acumulación en el mucílago. En particular, el volteo intermedio parece optimizar la oxigenación sin generar pérdidas excesivas de calor, lo cual resulta determinante para la actividad microbiana y la producción de metabolitos ácidos. Esta interpretación es consistente con Penagos Muñeton (2019), quien destaca que la relación masa–volumen influye en la estabilidad térmica y en la eficiencia del proceso fermentativo. Desde una perspectiva microbiológica, este equilibrio resulta relevante porque las levaduras y bacterias ácido-lácticas predominan en las fases iniciales, mientras que las bacterias ácido-acéticas requieren mayor disponibilidad de oxígeno para transformar el etanol en ácido acético. Por ello, una frecuencia de volteo moderada puede favorecer la transición entre fases fermentativas sin comprometer la temperatura interna de la masa.

Asimismo, la relación inversa observada entre acidez titulable y pH en la masa fermentada refuerza la coherencia de los resultados, evidenciando que los tratamientos con mayor acumulación de ácidos corresponden a aquellos con menores valores de pH. En este sentido, Calvo et al. (2021) señalan que la producción de ácidos orgánicos forma parte de un proceso complejo en el que la actividad microbiana, la aireación y la temperatura determinan la calidad final del cacao. Esta relación también permite interpretar que la acidez titulable no debe analizarse de forma aislada, sino como un indicador complementario del pH y de la posterior acidificación del cotiledón. En consecuencia, el aumento de acidez en la masa fermentada puede favorecer la difusión de ácidos hacia el grano, la muerte del embrión y la activación de reacciones enzimáticas asociadas con la formación de precursores de aroma y sabor.

Los resultados evidencian que la interacción entre masa fermentada y aireación regula la cinética de producción de ácidos, constituyéndose en un factor determinante para la optimización del proceso fermentativo en sistemas de pequeña escala. Estos resultados sugieren que, para fermentaciones en bolsas, no sería recomendable trabajar con volúmenes muy bajos de grano ni con frecuencias de volteo excesivas sin considerar la retención térmica. Por el contrario, una mayor proporción de llenado combinada con una frecuencia intermedia de volteo podría constituir una estrategia sencilla para mejorar la acidificación del mucílago y la uniformidad del proceso fermentativo en cacao CCN 51 producido en el piedemonte amazónico colombiano.

Acidez titulable en grano seco. Los resultados presentaron una variación numérica entre tratamientos; sin embargo, no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre medias ($p > 0.05$), lo que indica que la proporción de llenado de las bolsas y la frecuencia de volteo no generaron un efecto estadísticamente comprobable sobre la acidez titulable del grano seco bajo las condiciones evaluadas (Figura 4). No obstante, la variabilidad observada entre tratamientos sugiere que la transferencia de ácidos hacia el cotiledón pudo estar influenciada por la interacción entre masa fermentada, aireación y estabilidad térmica, aunque con una respuesta heterogénea dentro de cada tratamiento.

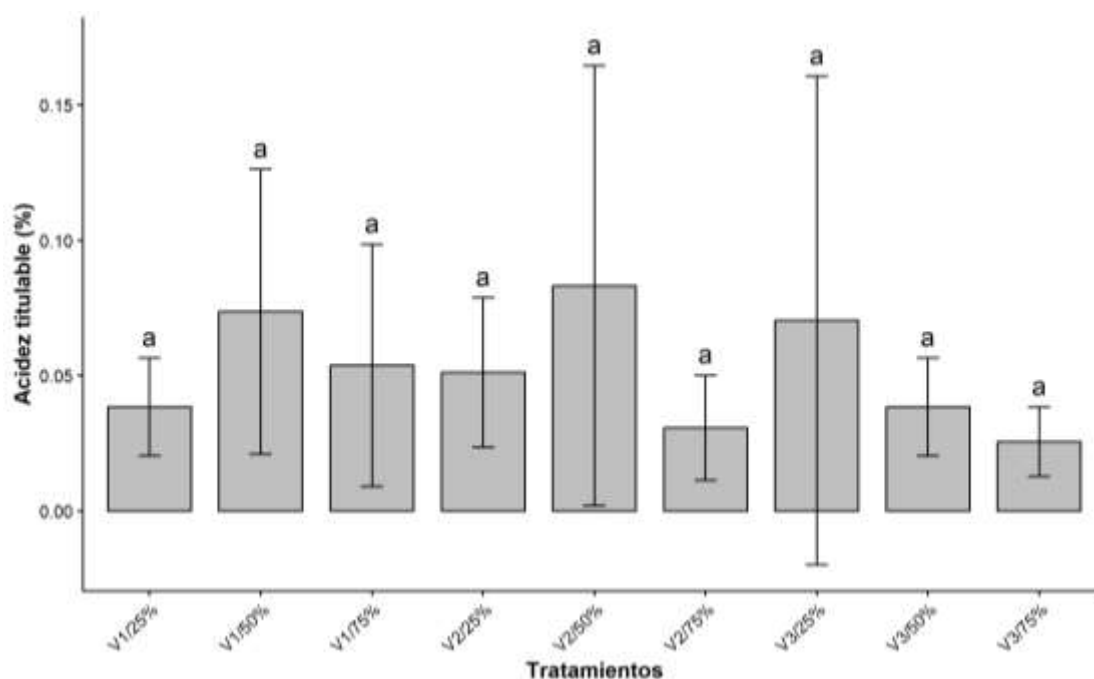


Figura 4. Acidez titulable (%) del grano de cacao bajo diferentes tratamientos. Las barras representan la media $\pm$ desviación estándar. Letras iguales indican ausencia de diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

A pesar de la ausencia de diferencias significativas, los valores más altos se observaron en tratamientos como V2-50%, mientras que otros tratamientos presentaron valores relativamente menores. Esta tendencia numérica podría indicar que ciertas combinaciones intermedias entre masa fermentada y aireación favorecieron un balance entre la producción de ácidos en el mucílago y su posterior difusión hacia el interior del grano. Sin embargo, debido

a la ausencia de significancia estadística, esta interpretación debe asumirse como una tendencia y no como un efecto concluyente. Este comportamiento coincide con lo planteado por Penagos Muñeton (2019), quien destacó que la relación entre masa de grano y volumen del sistema fermentador influye en la estabilidad térmica y en la evolución del proceso fermentativo.

Desde el punto de vista microbiológico, la acumulación de ácido en el grano no depende únicamente de la producción de metabolitos en la masa fermentada, sino también de la aireación del sistema, ya que el volteo favorece la oxidación del etanol a ácido acético por acción de bacterias ácido-acéticas (Afoakwa et al., 2008). En este sentido, la mayor acidez numérica observada en algunos tratamientos intermedios sugiere que no siempre una mayor masa implica una mayor acidificación del cotiledón, sino que existe una interacción entre retención de calor, disponibilidad de oxígeno y eficiencia de difusión de metabolitos. Este tipo de respuesta no lineal también ha sido señalado por Calvo et al. (2021), quienes indican que la dinámica de fermentación del cacao depende de múltiples factores físicos, químicos y microbiológicos que actúan de forma simultánea.

Adicionalmente, la tendencia inversa entre acidez titulable y pH observada en este estudio concuerda con lo reportado por Portillo et al. (2011) y Solórzano et al. (2021), quienes señalan que la acidificación del grano constituye un indicador importante de la intensidad del proceso fermentativo y del desarrollo de atributos de calidad. Sin embargo, en este caso, el pH del grano seco mostró una respuesta más sensible entre tratamientos que la acidez titulable, lo que sugiere que ambos indicadores, aunque complementarios, pueden responder con diferente grado de precisión a los cambios ocurridos durante la fermentación.

Polifenoles. El contenido de polifenoles totales presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), evidenciando un efecto marcado de la frecuencia de volteo y de la proporción de llenado sobre la transformación de compuestos fenólicos durante la fermentación (Figura 5). Este resultado indica que las condiciones de manejo del sistema fermentativo no solo afectaron la acidificación de la masa y del grano, sino también la conservación o degradación de compuestos bioactivos asociados con la calidad funcional y sensorial del cacao.

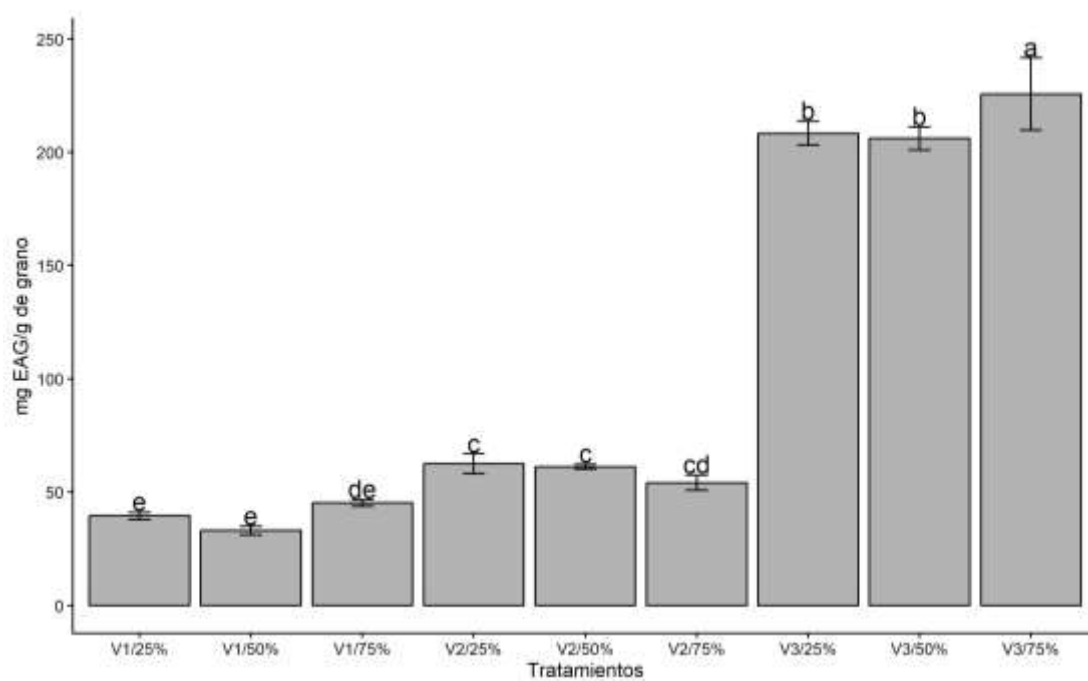


Figura 5. Contenido de polifenoles totales en grano de cacao CCN 51 bajo diferentes tratamientos de fermentación. Las barras representan la media $\pm$ desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los valores más altos se registraron en los tratamientos con tres volteos diarios (V3), particularmente en V3-75%, que presentó la mayor concentración de polifenoles y difirió significativamente del resto de los tratamientos. De

manera similar, V3–25% y V3–50% también mostraron valores elevados. En contraste, los tratamientos con menor frecuencia de volteo (V1), especialmente V1–25% y V1–50%, presentaron los contenidos más bajos, mientras que los tratamientos intermedios (V2) mostraron concentraciones moderadas, configurando un patrón transicional en la dinámica de transformación fenólica. Este comportamiento sugiere que el número de volteos tuvo un papel determinante en la conservación de polifenoles, aunque su efecto estuvo condicionado por la proporción de llenado de las bolsas.

Estos resultados sugieren que una mayor frecuencia de volteo no necesariamente favoreció la oxidación de compuestos fenólicos. Por el contrario, bajo las condiciones evaluadas, el incremento del volteo parece haber estado asociado con una mayor conservación de polifenoles en el grano. Esto podría indicar que una mayor manipulación de la masa modificó la dinámica térmica del sistema fermentativo y redujo la eficiencia de las reacciones de oxidación y polimerización catalizadas por enzimas como el polifenol oxidasa, las cuales normalmente contribuyen a la disminución de la astringencia y al desarrollo del perfil sensorial del cacao (Afoakwa et al., 2008; Vázquez-Ovando et al., 2016). En este sentido, la aireación inducida por el volteo puede favorecer ciertos procesos fermentativos, como la actividad de bacterias ácido-acéticas, pero no necesariamente garantiza una mayor degradación de polifenoles si se altera la estabilidad térmica o la continuidad de las reacciones oxidativas.

La respuesta observada confirma que la relación entre aireación, acidificación y transformación de compuestos fenólicos no es lineal. Mientras el tratamiento V2–75% favoreció una mayor acidificación de la masa fermentada y del grano, los tratamientos V3 mostraron una mayor conservación de polifenoles. Esto indica que las condiciones que intensifican la acidificación no siempre coinciden con aquellas que promueven una mayor transformación fenólica. En este sentido, Vázquez-Ovando et al. (2016), Calvo et al. (2021) y Cortez et al. (2023) señalan que la dinámica de fermentación depende de la interacción entre múltiples factores, entre ellos la aireación, la temperatura, la actividad enzimática, la composición del grano y la uniformidad del sistema, lo que puede generar respuestas diferenciales en la degradación de compuestos fenólicos.

La mayor conservación de polifenoles puede tener una doble interpretación. Por un lado, representa un atributo funcional de interés, debido a la asociación de estos compuestos con la capacidad antioxidante del cacao. Por otro lado, una menor transformación fenólica durante la fermentación puede relacionarse con mayor persistencia de amargor y astringencia, atributos que pueden afectar la aceptabilidad sensorial si se expresan con alta intensidad. Por tanto, los tratamientos con tres volteos podrían conservar un mayor potencial funcional, pero también requerir ajustes de manejo para mejorar la transformación sensorial del grano.

En contraste, los menores valores observados en V1 sugieren una mayor transformación o pérdida de compuestos fenólicos durante la fermentación. No obstante, una menor concentración de polifenoles no debe interpretarse automáticamente como mejor calidad, ya que la calidad final depende del equilibrio entre reducción de astringencia, desarrollo de aroma, acidez adecuada y expresión del sabor a cacao. En consecuencia, los resultados indican que la frecuencia de volteo es una variable crítica en la transformación de polifenoles y que, bajo las condiciones evaluadas, tres volteos diarios favorecieron su conservación, con posibles implicaciones sobre la calidad funcional y sensorial del cacao CCN 51.

Análisis sensorial. El análisis realizado con un panel de 15 evaluadores sobre las muestras seleccionadas con tres volteos evidenció un perfil organoléptico caracterizado por una alta intensidad en atributos como aroma (15 puntos), acidez (13 puntos) y sabor a cacao (12 puntos), lo que sugiere un producto con características sensoriales favorables y acordes con un cacao fermentado de perfil básico bien definido (Figura 6). La selección de estas muestras respondió a su apariencia de fermentación y a su comportamiento fisicoquímico general.



Figura 6. Perfil sensorial del cacao CCN 51 evaluado. Los valores representan las puntuaciones promedio obtenidas para cada atributo sensorial.

Adicionalmente, se registraron puntuaciones intermedias en amargor (12 puntos), complejidad (10 puntos), astringencia (9 puntos) y textura en boca (8 puntos). Aunque el amargor y la astringencia fueron perceptibles, su intensidad no predominó sobre el perfil global, lo que indica un equilibrio sensorial aceptable. Esta interpretación resulta relevante si se considera que los tratamientos con tres volteos presentaron contenidos elevados de polifenoles, lo cual podría asociarse con cierta persistencia de sensaciones astringentes, aunque sin comprometer la aceptabilidad general del producto. En este sentido, la presencia moderada de amargor y astringencia puede interpretarse como una consecuencia parcial de la conservación de compuestos fenólicos durante la fermentación, especialmente en tratamientos donde el volteo frecuente pudo limitar su oxidación o polimerización completa.

En contraste, atributos como el retrogusto (2 puntos) y las notas frutales o florales (0 puntos) presentaron baja intensidad, indicando un desarrollo limitado de compuestos aromáticos secundarios. Este comportamiento sugiere que, aunque el proceso fermentativo permitió consolidar un perfil sensorial dominado por aroma, acidez y sabor a cacao, no fue suficiente para promover una mayor complejidad aromática. La ausencia de notas frutales o florales puede estar relacionada con las condiciones propias del clon CCN 51, la escala de fermentación, la dinámica de aireación y la posible limitación en la formación o retención de compuestos volátiles asociados con perfiles aromáticos más complejos.

Estos resultados son coherentes con el comportamiento fisicoquímico observado durante la fermentación. La presencia de una acidez sensorial relativamente alta coincide con la formación de ácidos orgánicos durante el proceso, mientras que la persistencia de amargor y astringencia moderados puede relacionarse con una transformación incompleta de compuestos fenólicos. En este sentido, Afoakwa et al. (2008) y Vázquez-Ovando et al. (2016) señalan que la fermentación regula simultáneamente la generación de precursores de aroma y la oxidación de polifenoles, dos procesos determinantes en la calidad sensorial final del cacao. Por tanto, el perfil sensorial obtenido refleja el equilibrio alcanzado entre acidificación, conservación de polifenoles y desarrollo de atributos primarios del cacao.

La integración de los resultados fisicoquímicos y sensoriales permite señalar que los tres volteos diarios favorecieron la conservación de polifenoles y permitieron obtener un perfil sensorial aceptable, caracterizado por aroma, acidez y

sabor a cacao; sin embargo, también se evidenció una complejidad aromática limitada. Esto sugiere que una mayor frecuencia de volteo puede ser útil para mantener ciertos compuestos bioactivos, pero no necesariamente garantiza el desarrollo de notas sensoriales diferenciadas o de mayor persistencia.

El perfil sensorial obtenido refleja un cacao con buena expresión de atributos primarios, especialmente aroma y sabor a cacao, pero con margen de mejora en el desarrollo de notas aromáticas más complejas y en la persistencia del sabor. Esto sugiere que la optimización de las condiciones de fermentación, particularmente en la combinación entre masa fermentada y frecuencia de volteo, podría mejorar no solo la calidad fisicoquímica, sino también la complejidad sensorial del producto final. Estos resultados son relevantes para pequeños productores que emplean sistemas de fermentación en bolsas, ya que muestran que el manejo del volteo puede influir no solo en la acidificación y en el contenido de polifenoles, sino también en la expresión sensorial del cacao CCN 51.

Como limitaciones del estudio, se reconoce que no se realizó seguimiento continuo de la temperatura interna de la masa ni caracterización microbiológica de las fases fermentativas. Asimismo, el análisis sensorial tuvo un alcance descriptivo y se aplicó a muestras seleccionadas, por lo que sus resultados deben interpretarse como una aproximación al perfil organoléptico y no como una comparación estadística entre todos los tratamientos. Futuras investigaciones deberían validar estos resultados en condiciones de finca, incorporar mediciones de temperatura, dinámica microbiana, ácidos orgánicos específicos, compuestos volátiles y análisis sensorial comparativo entre tratamientos, con el fin de establecer protocolos de fermentación más precisos para sistemas de pequeña escala en la Amazonía colombiana.

Conclusiones

La fermentación del cacao CCN 51 en sistemas de bolsa estuvo influenciada por la interacción entre la frecuencia de volteo y la proporción de llenado, con una respuesta no lineal del sistema. La combinación de una frecuencia intermedia de volteo y alta masa fermentada favoreció una mayor acidificación de la masa fermentada y del grano seco, mientras que la mayor frecuencia de volteo se asoció con una mayor conservación de polifenoles, lo que sugiere una menor transformación fenólica bajo estas condiciones. En términos sensoriales, las muestras evaluadas presentaron buena expresión de aroma, acidez y sabor a cacao, aunque con baja complejidad aromática. En consecuencia, la optimización del proceso fermentativo debe orientarse hacia un balance entre aireación y proporción de masa fermentada, como criterio técnico para mejorar la calidad fisicoquímica y sensorial del cacao en sistemas de pequeña escala. Estos resultados aportan información útil para la estandarización de prácticas poscosecha en sistemas de fermentación en bolsa, especialmente para pequeños productores de cacao CCN 51 del piedemonte amazónico colombiano.

Referentes Bibliográficas

- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Ryan, A. (2008). Flavor formation and character in cocoa and chocolate: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(9), 840–857. <https://doi.org/10.1080/10408390701719272>
- Apraéz Muñoz, J. J., Burgos Jiménez, G., & Burbano Ijaji, E. J. (2024). Caracterización morfoagronómica in situ de cacao nativo (*Theobroma cacao* L.) de Puerto Asís, Putumayo, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 16(1), 81–102. <https://doi.org/10.22490/21456453.7569>
- Calvo, A. M., Botina, B. L., García, M. C., Cardona, W. A., Montenegro, A. C., & Criollo, J. (2021). Dynamics of cocoa fermentation and its effect on quality. *Scientific Reports*, 11, 16746. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95703-2>
- Camu, N., González, Á., De Winter, T., Van Schoor, A., De Bruyne, K., Vandamme, P., Takrama, J. S., Addo, S. K., & De Vuyst, L. (2008). Influence of turning and environmental contamination on the dynamics of populations of lactic acid and acetic acid bacteria involved in spontaneous cocoa bean heap fermentation in Ghana. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(1), 86–98. <https://doi.org/10.1128/AEM.01512-07>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA. (2016). *PECTIA: Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector Agropecuario colombiano 2017–2027*. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12759>

- Cortez, D., Quispe-Sanchez, L., Mestanza, M., Oliva-Cruz, M., Yoplac, I., Torres, C., & Chavez, S. G. (2023). Changes in bioactive compounds during fermentation of cocoa (*Theobroma cacao*) harvested in Amazonas-Peru. *Current Research in Food Science*, 6, 100494. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100494>
- García-Rincón, P. A., Núñez-Ramírez, J. M., & Bahamón-Monje, A. F. (2021). Características fisicoquímicas y sensoriales de almendras fermentadas de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) con adición de probióticos en el Centro de Investigaciones Amazónicas, CIMAZ Macagual (Caquetá, Colombia). *Ingeniería y Competitividad*, 23(2), e21210885. <https://doi.org/10.25100/iyv.v23i2.10885>
- Góngora-Duarte, A.F., Morales-Espitia, F.J., Trujillo-González, J.M., & Torres-Mora, M.A. (2023). Caracterización de los procesos en el beneficio del cacao (*Theobroma cacao* L.) en producciones a pequeña escala en el municipio de Guamal del Piedemonte llanero colombiano. *Tecnológicas*, 26(57), e201. <https://doi.org/10.22430/22565337.2633>
- Horta-Téllez, H. B., Sandoval-Aldana, A. P., García-Muñoz, M. C., & Cerón-Salazar, I. X. (2019). Evaluation of the fermentation process and final quality of five cacao clones from the department of Huila, Colombia. *DYNA*, 86(210), 233–239. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.75814>
- Hurst, W. J., Krake, S. H., Bergmeier, S. C., Payne, M. J., Miller, K. B., & Stuart, D. A. (2011). Impact of fermentation, drying, roasting and Dutch processing on flavan-3-ol stereochemistry in cacao beans and cocoa ingredients. *Chemistry Central Journal*, 5, 53. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-5-53>
- Instituto Colombiano de Normas Técnica y Certificación, ICONTEC. (2004). *Análisis sensorial. Directrices para el uso de escalas de respuesta cuantitativas* (NTC 5328).
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC. (1996). *Análisis sensorial. Metodología. Guía general* (NTC 3925).
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2018). *Metodología de la operación estadística variables meteorológicas*. <https://www.ideam.gov.co/transparencia/datos-abiertos/seccion-de-datos-abiertos>
- López-Hernández, M. del P., Melo-Martínez, S. E., & Criollo-Núñez, J. (2023). Efecto del estado de madurez, genotipo y localización geográfica sobre las características fisicoquímicas del grano de cacao durante la fermentación. *Ingeniería y Competitividad*, 25(3), e-20412503. <https://doi.org/10.25100/iyv.v25i2.12503>
- Parra Pineda, M. A., & Orozco Calero, A. (2021). *Alternativas de comercialización para el cacao en el marco de la sustitución de cultivos de uso ilícito en San Miguel, Putumayo*. Una mira desde la Asociación de Productores de Cacao La Florida (ASOPROCAF). <https://hdl.handle.net/20.500.14625/30674>
- Penagos Muñeton, A. (2019). *Estandarización del proceso de fermentación de cacao (Theobroma cacao L.) en función de la relación entre la masa de grano y el volumen del cajón fermentador* (Tesis de grado), Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76069>
- Peña González, M. A., Ortiz Urgiles, J. P., Santander Pérez, F. A., Lazo Vélez, M. A., & Caroca Cáceres, R. S. (2023). Physicochemical changes during controlled laboratory fermentation of cocoa (CCN-51) with the inclusion of fruits and on-farm inoculation. *Brazilian Journal of Food Technology*, 26, e2023013. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.01323>
- Polanía-Hincapié, P. A., Suárez, J. C., Hernández, H. E., Ramón-Triana, V. Y., Cuéllar-Álvarez, L. N., & Casanoves, F. (2023). Influence of fermentation time on the chemical and functional composition of different cocoa clones from southern Colombia. *Fermentation*, 9(11), 982. <https://doi.org/10.3390/fermentation9110982>
- Portillo, E., Labarca, M., Grazziani, L., Cros, E., Assemat, S., Davrieux, F., & Boulager, R. (2011). Influencia de las condiciones del tratamiento poscosecha sobre la temperatura y acidez en granos de cacao Criollo (*Theobroma cacao* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 28(Supl. 1), 646–660. https://www.revfacagronluz.org.ve/indsupl_2011.html
- R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1370298755636824325>
- Ramírez González, A. F., Gutiérrez García, G. A., Polanía-Hincapié, P. A., López, L. J., & Suárez, J. C. (2024). Fermentation and its effect on the physicochemical and sensory attributes of cocoa beans in the Colombian Amazon. *PLOS ONE*, 19(10), e0306680. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0306680>
- Rivera Fernández, R. D., Barrera Álvarez, A. E., Guzmán Cedeño, A. M., Medina Quinteros, H. N., Casanova Ferrín, L. M., Peña Galeas, M. M., & Nivela Morante, P. E. (2012). Efecto del tipo y tiempo de fermentación en la calidad física y química del cacao (*Theobroma cacao* L.) tipo Nacional. *Ciencia y Tecnología*, 5(1), 7–12. <https://doi.org/10.18779/cyt.v5i1.120>
- Solórzano, C. Y. E., Franco, K. J. B., García, D. A. T., Escobar, Á. O. F., Navarrete, Y. T., & Vera, J. (2021). Efecto de la fermentación de cacao (*Theobroma cacao* L.), variedad nacional y trinitario, en cajas de maderas no

- convencionales sobre la calidad física y sensorial del licor de cacao. *Revista de Investigación Talentos*, 8(2), 42–55. <https://doi.org/10.33789/talentos.8.2.153>
- Vázquez-Ovando, A., Ovando-Medina, I., Adriano-Anaya, L., Betancur-Ancona, D., & Salvador-Figueroa, M. (2016). Alcaloides y polifenoles del cacao, mecanismos que regulan su biosíntesis y sus implicaciones en el sabor y aroma. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 66(3), 239–254. <https://doi.org/10.37527/2016.66.3.010>
- Velásquez-Reyes, D., Gschaedler, A., Kirchmayr, M., Avendaño-Arrazate, C., Rodríguez-Campos, J., Calva-Estrada, S. de J., & Lugo-Cervantes, E. (2021). Cocoa bean turning as a method for redirecting the aroma compound profile in artisanal cocoa fermentation. *Heliyon*, 7(8), e07694. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07694>

Responsabilidad Social Universitaria e Investigación Acción Participativa para la soberanía alimentaria desde un huerto agroecológico universitario. México

University Social Responsibility and Participatory Action Research for food sovereignty through a university agroecological garden. Mexico

Edwin Gabriel Garduño de Jesus¹  , Laura Reyes Montes²  

Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; Becario de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) desarrollando una estancia de investigación posdoctoral en el Centro de Investigación en Ciencias Sociales y Humanidades (CICSyH) de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx), México.¹

Doctora en Antropología Social; Profesora-Investigadora de Tiempo Completo de la Facultad de Antropología de la UAEMéx, México.²

ISSN 2619-2608

DOI: <https://doi.org/10.34069/RA/2026.17.07>

Cómo citar:

Garduño de Jesus, E.G., & Reyes Montes, L. (2026). Responsabilidad Social Universitaria e Investigación Acción Participativa para la soberanía alimentaria desde un huerto agroecológico universitario. México. *Revista Científica Del Amazonas*, 9(17), 95-112.
<https://doi.org/10.34069/RA/2026.17.07>

Recibido: 3 de febrero de 2026
Aceptado: 12 de junio de 2026



Resumen

En las últimas décadas la presencia y expansión global del modelo agrícola industrial ha generado múltiples problemáticas que amenazan al planeta, a sus bienes y a sus cohabitantes al buscar imponer la implementación de su modo productivista mediante su paquete tecnológico, lo cual, contribuye a la degradación socioambiental y al desuso y abandono de prácticas y conocimientos agrícolas y ecológicos. En este panorama la Universidad desde su capacidad de acción e incidencia ecosocial, tiene un papel fundamental para la promoción y expansión de sistemas agrícolas sostenibles. El objetivo del artículo es analizar los resultados de un ejercicio de Responsabilidad Social Universitaria (RSU) en pro de la soberanía alimentaria a partir de un proyecto de Investigación Acción Participativa (IAP) mediante la implementación de un huerto agroecológico en un espacio universitario. La práctica socioeducativa se realizó durante dos semestres escolares del 2024, se basó en la IAP y en los métodos cualitativos como la observación y la entrevista. Los hallazgos incorporan y argumentan los beneficios subjetivos percibidos por las y los integrantes del proceso de IAP a partir de la aplicación de principios agroecológicos y para la escalabilidad de la soberanía alimentaria dentro del campo reflexivo y de incidencia de la RSU.

Palabras clave: Agroecología, Investigación acción participativa, Responsabilidad Social, Soberanía, Universidad.

Abstract

In recent decades, the global presence and expansion of the industrial agricultural model have generated numerous problems that threaten the planet, its resources, and its inhabitants by seeking to impose its production-oriented approach through its technological package, which contributes to socio-environmental degradation and the disuse and abandonment of agricultural and ecological practices and knowledge. In this context, the university, through its capacity for action and eco-social advocacy, plays a fundamental role in promoting and expanding sustainable agricultural systems. The objective of this article is to analyze the results of a University Social Responsibility (USR) initiative in support of food sovereignty, based on a Participatory Action Research (PAR) project involving the establishment of an agroecological garden on a university campus. The socio-educational initiative took place over two academic semesters in 2024 and was based on PAR and qualitative methods such as observation and interviews. The findings incorporate and discuss the subjective benefits perceived by the participants in the PAR process resulting from the application of agroecological principles and for the scalability of food sovereignty within the reflective and advocacy sphere of USR.

Keywords: Agroecology, Participatory Action Research, Social Responsibility, Sovereignty, University.

Introducción

Los sistemas agrícolas ecológicos han sido determinantes en la provisión sostenible de alimentos, sin embargo, en las últimas décadas algunos procesos de la agricultura tradicional han sido desplazados por la visión mercantilista promovida por la agroindustria global (Barros, 2021). Esta perspectiva al priorizar la obtención y acumulación del capital económico sobre la vida, genera impactos socioambientales negativos cuya repercusión mundial perjudica las condiciones de vida de sus cohabitantes (García & Bermúdez, 2021) y daña el patrimonio biocultural local, como los saberes y prácticas ecológicas tradicionales, así como la cultura alimentaria que le integran (Verzeñassi, Zamorano, Fernández y Keppl, 2023).

Para la agroindustria la naturaleza y la sociedad son elementos mercantiles (Castillo et al., 2017; Giraldo & Rosset, 2016) y, en su esquema de expansión global, actores como la sociedad civil, el Estado y la Universidad han tenido un papel fundamental (Shiva, 2021); el primero al sustituir las prácticas agrícolas tradicionales sostenibles por el uso del paquete tecnológico de la agricultura convencional; el segundo, mediante la implementación de políticas públicas que promueven y distribuyen dicho paquete, y; el tercero, al formar profesionales especializados para su implementación (Altieri et al., 2021).

En este contexto, y en busca de justicia socioambiental, el movimiento social internacional de la soberanía alimentaria, promueve la reflexión crítica y proactiva, que cuestione y busque reorientar el actuar de las partes involucradas en las cadenas agroalimentarias hacia alternativas de producción y consumo agroecológico local. Por ello, el objetivo del artículo es analizar los resultados de un ejercicio de Responsabilidad Social Universitaria (RSU) en pro de la soberanía alimentaria a partir de un proyecto de Investigación Acción Participativa (IAP) mediante la implementación de un huerto agroecológico al interior de la Facultad de Antropología de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx).

El artículo se divide en cuatro apartados, inicialmente se abordan los fundamentos conceptuales y sus vínculos; de la agroecología a la soberanía alimentaria y desde la RSU a la IAP, como vías de incidencia específica en el entorno socioambiental inmediato; posteriormente se describen los detalles del proceso metodológico de la implementación del huerto con base en la IAP; para a continuación, presentar la sección de Resultados y discusión, donde se abordan los pormenores de la experiencia de IAP desde el huerto agroecológico en paralelo a sus implicaciones y potencial desde la soberanía alimentaria; por último se exponen las conclusiones.

Revisión de literatura

Soberanía alimentaria, contribuciones desde la agroecología

La soberanía alimentaria representa un movimiento social de alcance global, cuyos ideales y acciones se oponen a la lógica agroindustrial, para en su lugar promover la escalabilidad de sistemas alimentarios libres, informados, locales, accesibles y agroecológicos (La Vía Campesina, 2021). Esta última característica, como una vía para la integración objetiva, y desde una perspectiva ecológica, de conocimientos y prácticas tradicionales con tecnologías y conocimientos científicos (Wezel, Bellon, Doré, Francis, Vallod y David, 2009) a fin de procurar acciones sinérgicas con las condiciones y ritmos naturales del contexto en particular (Confederación Nacional de la Agricultura, CNA de Portugal, 2021; Norberg, 2021), por ejemplo, por medio del cuidado y la coexistencia de especies animales y vegetales al interior y exterior de los agroecosistemas (Pérez & Garduño, 2023), lo cual, en conjunto, resulta conveniente para la biodiversidad y sostenibilidad agroecosistémica y alimentaria (Balcazar et al., 2023).

La agroecología empata con los ideales de la soberanía alimentaria, al coincidir con la voluntad de millones de personas alrededor del mundo, cuyo fin en común es detener la expansión del modelo agroalimentario industrial a gran escala, no solo para mitigar sus efectos dañinos (Confederación Nacional de la Agricultura, CNA de Portugal, 2021), también para promover la lucha por la justicia en el acceso y gestión de bienes ecosociales como la tierra, el agua y el patrimonio biocultural, a partir de la revaloración y reconfiguración de los modos agrícolas productivos (Rosset et al., 2020) que prioricen vínculos de cuidado consciente con el entorno y permitan ejercer la libertad para decidir cómo, cuándo y para quien sembrar (La Vía Campesina, 2021).

Los huertos al igual que otro tipo de agroecosistemas tradicionales cumplen un extraordinario papel para la integración, discusión, adaptación, implementación, retroalimentación y socialización de prácticas y saberes que son responsables con el ambiente natural y la vida de las comunidades locales (González et al., 2025; Valdez et al., 2024; Cueto & Fontalvo, 2024; Nazarea et al., 2003), por ello, la agroecología procura crear sistemas alimentarios sostenibles que regeneren el ambiente, promuevan la biodiversidad y garanticen una soberanía alimentaria justa y económicamente viable para las personas que los gestionan.

En suma, la producción con principios agroecológicos funge como catalizador de bienestar individual y colectivo (Ferguson et al., 2024), donde cuestiones externas –entorno inmediato- y aspectos internos –como la inteligencia emocional, la compasión y la conciencia- están correlacionados con el grado de incidencia a nivel socioambiental, confluyendo constantemente lo micro y lo macro (Wamsler et al., 2018). Por ello, la soberanía alimentaria busca la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios desde acciones locales y colectivas, sin limitar su incidencia al contexto en específico y más bien buscar su visibilidad, discusión y replicabilidad, tal es el caso que aquí se analiza, donde particularmente se considera que la Universidad debe ser socioambientalmente corresponsable en la generación de convergencias productivas basadas en la agroecología.

Responsabilidad Social Universitaria (RSU) y su pertenencia en la producción agroecológica

La responsabilidad social concierne una serie de acciones y cuidados consientes, que involucran a los agentes que con sus actividades generan impactos socioambientales (Garbizo et al., 2021; Vallaes, 2021). En el caso específico de la Universidad, la RSU en un primer momento, implica una autocrítica ecuanime para develar “los impactos negativos que se producen en su quehacer interno [...] en los ámbitos administrativos, académicos, de formación, cognición, de gobernanza, participación social e investigación” (Espino, 2023, p. 235). El autodiagnóstico en la RSU es un proceso esencial que debe reconocer objetivamente los impactos nocivos generados para atender sus causas desde acciones éticas.

Con la finalidad de visibilizar y exigir el deber ser de la Universidad desde un enfoque crítico, Aranda (2015) plantea el confrontamiento de dos perspectivas, una “ingenua” que concibe a la Universidad como un espacio de conocimientos universales, abiertos y accesibles, cuyo sentido es contribuir al bienestar de su entorno próximo; y otra, un tanto distante y más “realista” donde se prioriza la formación de trabajadores con el perfil que el mercado capitalista demanda, al mismo tiempo que contribuye a la reproducción de injusticias basadas en la explotación socioambiental.

En ambas perspectivas el cuestionamiento del quehacer universitario requiere considerar los impactos que generan sus funciones esenciales de formación, investigación, vinculación y gestión (Vallaes, 2021). Por ello, desde la RSU se apela por la atención y ocupación a las demandas y problemáticas actuales, como sucede con la agricultura industrial y sus efectos nocivos, para coadyuvar en el desarrollo de propuestas colectivas que consideren múltiples saberes desde la apertura al diálogo con y para la sociedad (Argueta, 2016).

La Universidad al asumir su responsabilidad social debe reconocer sus obligaciones y ejercer su capacidad de formación de nuevas generaciones que estén comprometidas con el cuidado del ambiente, la alimentación y la sociedad (Vallaes, 2021), lo cual, implica un compromiso con el cambio consiente, sistemático y estratégico; cuya viabilidad está respaldada por múltiples casos en América Latina que involucran la participación y el trabajo de agentes como, el Instituto Internacional de la UNESCO para la Educación Superior en América Latina y el Caribe (IESALC-UNESCO), el Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO), la Unión de Responsabilidad Social Universitaria Latinoamericana (URSULA); y en México, con la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES) y el Observatorio Mexicano de Responsabilidad Social Universitaria (OMERSU) (Carrillo et al., 2023).

Por lo tanto, la RSU busca promover la conciencia para la generación de acciones benéficas, fundamentadas, sistemáticas y vinculadas, con repercusiones hacia el interior y el exterior de la Universidad (Espino, 2023; Olvera et al., 2022; Garbizo et al., 2021). En este sentido, la RSU en la producción de alimentos no es ajena, y desde sus funciones sustanciales de formación, investigación, vinculación y gestión, puede desempeñar un rol activo en la promoción de sistemas agroecológicos que contribuyan a la escalabilidad de la soberanía alimentaria; donde

estrategias pedagógicas alternativas como la metodología de la IAP (Alonso et al., 2024) resultan pertinentes desde acciones que involucren a la comunidad universitaria, a personas productoras agroecológicas locales y al Estado.

Investigación Acción Participativa (IAP) como estrategia de incidencia socioeducativa

La IAP es una estrategia metodológica inmersiva cuya esencia se fundamenta en la investigación aplicada; implica la creación de espacios para el co-aprendizaje horizontal a fin de promover cambios benéficos en las condiciones de vida de los agentes involucrados, por medio de la creación de contextos sociales basados en la justicia y la sostenibilidad; no solo para la generar nuevos conocimientos, también para impulsar cambios positivos en su propia realidad y su entorno inmediato que impulsen su empoderamiento (Zapata & Rondán, 2016; Fals, 1993).

Esta perspectiva cuestiona el impacto social de la investigación científica, para priorizar la aplicación práctica de conocimientos, desde y con las personas involucradas en el proceso; busca trascender y evitar la pasividad individual y colectiva por medio de la formación e impulso de agentes de cambio autónomos, que procuren la democratización del conocimiento y la responsabilidad a partir de la proactividad organizada (Alonso et al., 2024; Balcazar, 2003; Fals, 1993) que propicie el diálogo y la corresponsabilidad, por lo que, al igual que la soberanía alimentaria, la agroecología y la RSU, se nutre y construye colectivamente desde la reflexión y la práctica.

La IAP no es un proceso lineal (Alonso et al., 2024); sin embargo, suele iniciar por un agente externo, quien idealmente debe promover el pensamiento crítico para la detección de las necesidades propias de las y los involucrados (Balcazar, 2003; Fals, 1993); lo cual, implica un proceso de negociación; para posteriormente delimitar y definir el objetivo de la intervención, además de identificar el grupo de trabajo; que iniciará con las labores del diagnóstico de la situación, así como con el desarrollo de una propuesta de trabajo sistemática y acorde al objetivo, donde se puntualicen actividades, finalidades y responsabilidades (Alonso et al., 2024; Zapata & Rondán, 2016). En todo el proceso, la gestión y asesorías con grupos o agentes externos, representa una estrategia que la IAP fomenta para buscar solventar las carencias surgidas en el proceso (Balcazar, 2003).

Asimismo, con la finalidad de ampliar los alcances de las experiencias de implementación de la IAP, Alonso et al. (2024) y Fals (1993) destacan como elementos trascendentales del proceso, la capacidad decisiva, de colaboración y de compromiso asumido por los actores internos y externos implicados en cada proyecto; además de los aspectos de adaptabilidad correlacionados con la capacidad de respuesta ante contextos y entornos cambiantes (Zapata & Rondán, 2016). En este sentido, la Universidad a través de la asunción de su responsabilidad social puede contribuir activa y significativamente por medio de sus funciones sustanciales (Andía et al., 2022).

Metodología

El ejercicio socioeducativo se realizó durante dos semestres escolares de febrero a diciembre del 2024 en la Facultad de Antropología de la UAEMéx, con base en la IAP y métodos cualitativos de la etnografía, como la observación y la entrevista, propios de la antropología aplicada (Fals, 1993). El objetivo se centró en involucrar a estudiantes en el proceso de la IAP, como herramienta para el desarrollo de conciencia enfocada a la acción, específicamente en materia agroalimentaria y desde la perspectiva de la soberanía alimentaria, a través de la implementación de un huerto en un espacio universitario, considerando los principios agroecológicos. El criterio de selección de las y los participantes fue por conveniencia. Asimismo, los resultados producto de las observaciones y las entrevistas fueron discutidos y validados durante todo el proceso entre las estudiantes involucradas y el equipo de investigación.

Como primera actividad, el coordinador del proyecto, en calidad de agente externo (Balcazar et al., 2023), y la dirección de la Facultad, como agente interno (Alonso et al., 2024), acordaron en febrero de 2024 —previa presentación de la propuesta en agosto de 2023— la implementación del huerto agroecológico. Para ello, se autorizó el uso de un espacio al interior de la Facultad y se propuso la vinculación de la "Brigada Venados", con el propósito de articular esfuerzos entre actores potencialmente afines. Esta decisión respondió a los principios de colaboración y construcción colectiva promovidos por la Responsabilidad Social Universitaria y la Investigación Acción Participativa (Alonso et al., 2024).

Se continuó con el autodiagnóstico inicial (Alonso et al., 2024) y, a partir del diálogo con los integrantes de la Brigada involucrados, se identificó la necesidad de contar con asesoría técnica especializada para la implementación del

huerto agroecológico. En respuesta a esta necesidad, el coordinador del proyecto invitó a tres productores agroecológicos locales vinculados a las iniciativas Grupo Zarframex, Quica y Sabe Tierra Huerto, quienes compartieron sus conocimientos y experiencias sobre el establecimiento y manejo de sistemas agroecológicos.

Su asistencia a la Facultad fue individual durante los meses de mayo y junio del mismo año y consistió en una conversación libre a partir de preguntas precisas y orientadoras de las y los asistentes, las cuales abordaron los requerimientos básicos para su implementación, el potencial de los huertos agroecológicos y los criterios a considerar para la selección de especies por cultivar; la duración aproximada fue de una hora. Las tres sesiones se grabaron en audio, previo consentimiento informado.

La información obtenida a partir de las tres entrevistas abiertas se transcribió para proceder con un análisis inductivo; se organizó y categorizó en: a) Importancia de los huertos agroecológicos y su pertinencia en la Facultad; b) Trayectoria y contexto del productor; c) Aspectos esenciales y sugerencias específicas a considerar en la implementación; y, d) Identificación de cultivos viables. Lo anterior, en coherencia y como aporte a la soberanía alimentaria al procurar visibilizar, valorar y difundir conocimientos y prácticas ecológicas específicas de personas productoras locales a fin de buscar su implementación, como referente para que otras experiencias se sumen a la transformación ética de los sistemas agroalimentarios (La Vía Campesina, 2021).

Aunque el análisis de las entrevistas permitió identificar categorías relacionadas con la importancia de los huertos agroecológicos, las trayectorias de los productores, los criterios técnicos de implementación y la selección de cultivos, el principal aporte del proceso consistió en evidenciar la convergencia de saberes entre actores provenientes de contextos académicos y productivos. Las coincidencias encontradas en torno a la necesidad de recuperar prácticas agroecológicas, fortalecer la producción local y promover formas de agricultura más sostenibles muestran que la soberanía alimentaria trasciende la dimensión técnica de la producción y se configura como un proceso social basado en la construcción colectiva del conocimiento. En este sentido, la incorporación de productores locales fortaleció el diálogo de saberes propio de la Investigación Acción Participativa y enriqueció la formación universitaria desde experiencias contextualizadas.

Durante el proceso para colaborar en el proyecto con la Brigada y garantizar su participación, se buscó llegar a un acuerdo de trabajo con las y los interesados, sin embargo, la falta de liderazgo definido en su interior, así como la diferencia de visiones y formas de trabajo, dieron como resultado que decidieran no participar en la investigación aplicada, lo cual se aceptó y respetó. Lo sucedido propició la reorganización las estrategias de trabajo y la búsqueda de otro espacio y grupo de participantes. Esta situación es coincidente con la perspectiva de Alonso et al. (2024) y Balcazar (2003) en el sentido de los retos, compromisos y adaptabilidad que las experiencias de IAP implican por su naturaleza social dinámica.

Desde una perspectiva analítica, este episodio constituye uno de los principales hallazgos del estudio, pues evidencia que los procesos de Investigación Acción Participativa no dependen exclusivamente de una adecuada planificación metodológica, sino también de factores organizacionales y relacionales, como el liderazgo compartido, la construcción de consensos y el compromiso sostenido de los participantes. La necesidad de reconfigurar el equipo de trabajo no representó un fracaso del proceso investigativo; por el contrario, permitió poner en práctica la flexibilidad metodológica propia de la IAP y reafirmó que la transformación social se construye mediante procesos dinámicos de negociación y adaptación permanente. En este sentido, la experiencia aporta elementos relevantes para comprender que las iniciativas de Responsabilidad Social Universitaria requieren fortalecer previamente las capacidades organizativas y participativas de los actores involucrados para garantizar la sostenibilidad de las acciones desarrolladas.

En continuidad, a la autoridad universitaria se le presentó una nueva alternativa para solucionar el problema y dar continuidad al proyecto, por lo que se planteó extender la invitación a otro grupo de estudiantes que cursaban en ese momento la asignatura de Antropología Aplicada³ de la Licenciatura en Antropología Social.

Así, en el mes de septiembre 2024, aceptaron y se integraron tres estudiantes mujeres, quienes expresaron su interés y compromiso para llevar a cabo el proceso de investigación acción participativa en el marco del desarrollo del proyecto del huerto agroecológico. También, fue autorizado el uso de otro espacio seleccionado a partir de recorridos

³ Unidad de Aprendizaje. Impartida por la Doctora Laura Reyes Montes.

conjuntos previos, cuyas características de tamaño y ubicación cubrían los requisitos ecológicos para su desarrollo, al tener sombra, retención relativa de humedad, luz solar, especies arbóreas y disponibilidad de agua potable (Figura 1). Se acordó con las estudiantes que las actividades se desarrollarían una vez por semana, durante las dos horas correspondientes a la asignatura y como parte de su evaluación en la segunda fase del semestre (octubre a noviembre de 2024).



Figura 1. Área destinada para la implementación del huerto agroecológico
Fuente: Edwin G. Garduño. Septiembre 2024.

Consecuentemente, se continuó con la elaboración de la propuesta de trabajo sistemática y estratégica (Alonso et al., 2024) con base en las asesorías recibidas, la experiencia práctica y la disponibilidad de las y los integrantes del grupo de trabajo -tres estudiantes, tres productores, dos investigadores-. Lo cual, contribuyó al uso eficiente del tiempo y bienes disponibles (Garduño, 2020; 2016).

Resultados y discusión

Los resultados del ejercicio de RSU muestran y discuten los aspectos clave de la experiencia de implementación del huerto en el espacio universitario desde de las distintas etapas de la IAP (Alonso et al., 2024; Fals, 1993): a) *Autodiagnóstico inicial*, donde se develó y discutió la problemática en relación a la producción agrícola y la importancia e implicaciones de los huertos agroecológicos universitarios; b) *Planificación y diseño*, fase que identificó al equipo de trabajo colaborador y fomentó la reflexión sobre las implicaciones de la implementación del huerto; c) *Ejecución*, etapa integrada por los distintos procesos agrícolas con base en investigación, reflexión, análisis y discusión; d) *Observación y adecuación*, fase transversal de adecuaciones para procurar la continuidad del ejercicio socioeducativo; e) *Retroalimentación y expectativas*, proceso donde a partir de los aprendizajes obtenidos se fundamentaron nuevas líneas de acción basadas en las necesidades de las y los involucrados.

En cada etapa del ejercicio de IAP las estudiantes aprendieron sobre los principios agroecológicos y los aplicaron en la implementación del huerto, ello, con base en lecturas especializadas, procesos de observación participante y descripciones de las actividades en sus respectivos diarios de campo. Asimismo, la integración del equipo de trabajo -tres estudiantes, tres productores, dos investigadores- fue idónea para el desarrollo de las actividades en el pequeño espacio inutilizado y aprovechado para el huerto. Adicionalmente, las tres entrevistas, así como las visitas realizadas a los productores en sus respectivos agroecosistemas, fueron relevantes, ya que, a partir del diálogo de saberes, se

obtuvo información y experiencias fundamentales con aplicación en las diferentes fases de implementación, gestión y continuidad del huerto.

a) Autodiagnóstico inicial

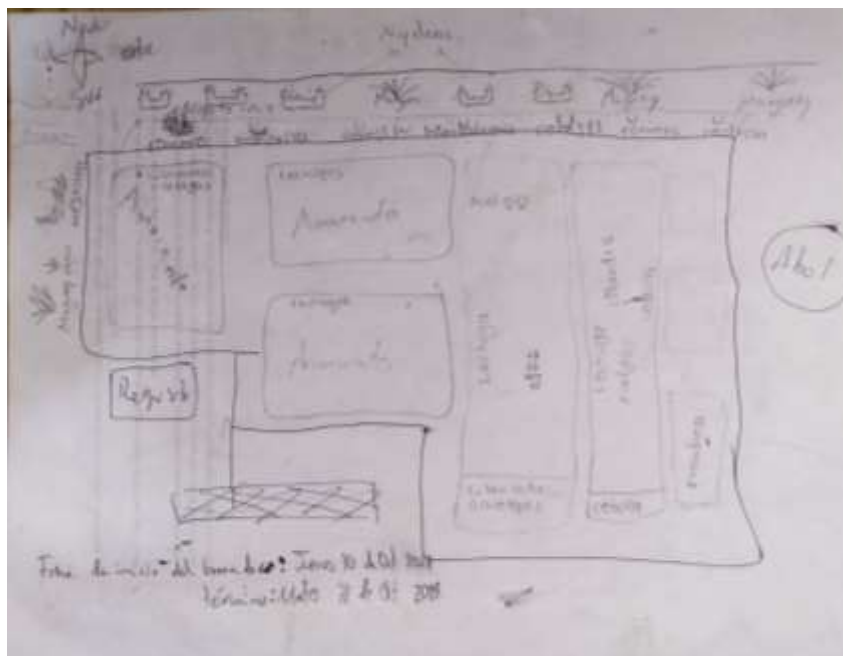
Esta etapa se basó en el juicio autocrítico del equipo de trabajo y las recomendaciones de los productores locales invitados en relación a sus prácticas, experiencias y sugerencias técnicas compartidas, cuya convergencia destacó la importancia de los huertos agroecológicos universitarios como espacios con múltiples y expansivos beneficios ecosociales, al brindar cuidados, aprendizajes y alimentos producto del trabajo invertido; lo cual, es coincidente con iniciativas similares (Valdez et al., 2024; Barrón & Muñoz, 2015) al favorecer la vinculación, colaboración y coaprendizajes con más personas y agentes afines (Cueto & Fontalvo, 2024), además de propiciar espacios recreativos y para la coexistencia de la vida (González et al., 2025; Valdez et al., 2024).

Así, y en coherencia con las prácticas de la agroecología, se acordó el uso de abonos naturales y de herramientas manuales no contaminantes como pico, pala y azadón -estás últimas disponibles en la Facultad-, para excluir insumos tóxicos o de síntesis química, así como el uso de maquinaria proveniente de la agroindustria (Confederación Nacional de la Agricultura, CNA de Portugal, 2021; Shiva, 2021; Nazarea et al., 2003). Lo anterior, como una medida consciente y consensuada para no dañar el ecosistema y procurar el cuidado de las partes involucradas, de quien consume y de más especies vivas; acciones fundamentales para contribuir a la sostenibilidad agroecosistémica (Valdez et al., 2024).

b) Planificación y diseño

De acuerdo con los asesores solidarios el diseño del huerto es una etapa primordial no necesariamente valorada ni considerada, sin embargo, coincidieron en la importancia de la correcta y estratégica selección de especies, idealmente acorde a las necesidades sociales y condiciones disponibles. Por ello, de manera colectiva se diseñó el borrador del huerto (Figura 2) y se acordaron las especies por cultivar de acuerdo a las preferencias del equipo de trabajo y a las características de origen, disponibilidad, necesidades naturales y compatibilidad entre sí; esto último, también al considerar que desde el enfoque agroecológico, es de vital importancia para la prosperidad de policultivos que, en conjunto con una adecuada fertilización orgánica, contribuye a la salud integral del agroecosistema, previniendo la proliferación de plagas (Altieri et al., 2021).

La planificación participativa del huerto evidenció que las decisiones sobre la selección de especies trascendieron criterios exclusivamente productivos. Durante este proceso se discutieron aspectos relacionados con la adaptación ecológica, la complementariedad entre cultivos, las preferencias alimentarias y la disponibilidad de bienes. Esto confirma que la planificación agroecológica constituye un proceso de construcción colectiva donde convergen criterios ambientales, sociales y culturales, fortaleciendo los principios de la soberanía alimentaria desde la toma compartida de decisiones.



c) Ejecución

Se acondicionó el suelo (Figura 3) añadiendo 400 k⁴ de materia orgánica composteada y seca de estiércol de borrego -aprox. 25 k por m²- (Figura 4). Posteriormente se regó el área y se dejó reposar hasta la siguiente sesión con la intención de contribuir al proceso natural de integración de los componentes del suelo, de acuerdo a lo documentado por la Confederación Nacional de la Agricultura, CNA de Portugal, (2021) y Norberg (2021). Esta práctica agroecológica sirvió para elaborar las primeras tres camas de cultivo de aproximadamente 1 m², donde se sembraron semillas de amaranto⁵ (Figura 5).



Figura 3. Primeras labores de preparación del suelo
Fuente: Edwin G. Garduño. Octubre 2024.

⁴ Donados por Grupo Zarframex.

⁵ Donadas por la Inq. Candelaria Gutiérrez.



Figura 4. Espacio con abono orgánico añadido
Fuente: Harumi I. Pérez. Octubre 2024.



Figura 5. Estudiantes regando la primera cama de cultivo
Fuente: Edwin G. Garduño, octubre 2024.

Posteriormente con la finalidad de seguir contribuyendo a la biodiversidad agroecológica (Balcazar et al., 2023; Boege, 2021) y en el marco de la RSU en su perspectiva de vinculación de la Universidad con el exterior (Cueto & Fontalvo, 2024; Garbizo et al., 2021; Vallaeys, 2021), se gestionó la obtención de cultivos en el Sistema Municipal para el Desarrollo Integral de la Familia de Toluca (DIF Toluca) a través de su programa HortaDIF⁶; cuyas especies son producto de prácticas de la agricultura convencional -como el uso de semillas transgénicas- y de manejos orientados hacia la transición orgánica; siendo lo que el programa gubernamental promueve.

Si bien, la incorporación de especies provenientes de la agricultura convencional es contraria a las prácticas que la agroecología promueve (Olvera et al., 2022; La Vía Campesina, 2021); para efectos del huerto universitario, se aceptó su limitada integración con la finalidad de involucrar al Estado en la discusión de las sesiones y del presente artículo, llegando a la reflexión colectiva de que la soberanía alimentaria y la RSU implican la necesidad de cuestionar el actuar del Estado como aliado clave de la agroindustria global, donde debería velar por el bienestar de la población y no ser colaborador activo en la problemática agrícola. Así, el huerto universitario sirvió como espacio de reflexión en múltiples escalas.

d) Observación y adecuación

En la primera semana se observó que se requería más tiempo para la implementación y gestión del huerto, y por iniciativa de las estudiantes, se acordó agregar un día más de trabajo desde la segunda semana; lo cual, desde la investigación se apoyó la intención y se acordó trabajar también los martes de 13 a 15 h lo cual, permitió continuar y avanzar progresivamente con las labores del huerto. En esa semana también se incorporó un estudiante voluntario (Figura 6). Los anteriores ajustes son ejemplo de la proactividad que favorece las incidencias en materia de IAP toda vez que, desde el convencimiento de los agentes involucrados y afines, gestan o adecuan las acciones de incidencia (Alonso et al., 2024; Balcazar, 2003).



Figura 6. Estudiantes sembrando plántulas de acelga y lechuga

Fuente: Edwin G. Garduño. Octubre 2024.

Asimismo, se realizó la siembra (Figura 7) de bulbos de ajo (*Allium sphaerocephalon*), semillas de cilantro (*Coriandrum sativum*) y semillas de cebolla (*Allium cepa*), compradas con una productora agroecológica local con la finalidad de incorporar especies locales y adaptadas al clima frío de la región, procuradas a través de otros ciclos

⁶ Donando 30 plántulas de acelga (*Beta vulgaris*), 20 de lechuga (*Lactuca sativa*), dos de perejil (*Apium graveolens*), dos de romero (*Salvia rosmarinus*), una de manzanilla (*Chamaemelum nobile*), una de menta (*Mentha*) y una de cedrón (*Aloysia citrodora*).

reproductivos. Lo anterior, en coherencia con la soberanía alimentaria como una vía para el fomento de flujos económicos para quienes trabajan en pro de la agroecología (La Vía Campesina, 2021).



Figura 7. Estudiantes trabajando en el huerto agroecológico
Fuente: Edwin G. Garduño. Noviembre 2024.

Adicionalmente, y en correspondencia con la conveniente vinculación de la Universidad con agentes del exterior (Garbizo et al., 2021; Vallaes, 2021), se acordaron y llevaron a cabo visitas programadas a los espacios productivos de los colaboradores solidarios (Figura 8, 9 y 10); con el objetivo de conocer otras agroecologías *in situ*. Dichas acciones, llevadas a cabo en coherencia con la RSU y la IAP como alternativas fundamentadas y concretas de incidencia ecosocial, que también propician diálogos enfocados en la construcción conjunta de alternativas de cuidado, procurando la articulación de teoría con la práctica, donde las reflexiones sean complementadas por acciones que procuren beneficios recíprocos entre agentes universitarios y externos (Rivera et al., 2021).



Figura 8. Visita al huerto de Casa Espora con la Mtra. Ireri Origel; **Figura 9.** Visita a Grupo Zarframex con el Mtro. Leonel Rodríguez; **Figura 10.** Visita a colaboradores de Quica con la Ing. Candelaria Gutiérrez.
Fuente: Edwin G. Garduño. Octubre, octubre, noviembre de 2024.

Los colaboradores anfitriones brindaron un recorrido guiado de aproximadamente 3 h donde se mantuvo un diálogo constante y acorde a los intereses personales y del equipo, dentro del marco de los procesos de aprendizaje, investigación y acción para la soberanía alimentaria. Se destacó el impacto de la agroecología como una vía asequible para el autoabasto sostenible de alimentos y también para la obtención otros beneficios intangibles, como el bienestar emocional que dichas actividades conllevan. Las anteriores características son coincidentes con la pugna por sistemas agroalimentarios participativos, dignos, accesibles, conscientes y locales, por los cuales desde La Vía Campesina (2021) se ha luchado continuamente desde hace más de 25 años y que, desde el huerto agroecológico universitario de la Facultad de Antropología, con fundamento en la RSU y la IAP, también se procuró abonar al cometido.

Así, con base en las experiencias y conocimientos surgidos desde la investigación de campo en las visitas a los productores, se continuó con la siembra de plántulas de frambuesa (*Rubus idaeus*)⁷, mismas que posteriormente fueron podadas a una altura de 10 cm sobre el nivel del suelo (Figura 11) con la intención de incentivar el crecimiento foliar y floral que eventualmente propiciara una mayor cantidad de frutos. Este tipo de conocimientos es un ejemplo de prácticas específicas y ecológicas para procurar la diversidad y suficiencia alimentaria (González et al., 2025).



Figura 11. Poda de esquejes de frambuesa
Fuente: Edwin G. Garduño. Noviembre 2024.

En los agroecosistemas la incorporación de distintas especies como las arbóreas es una estrategia que contribuye a la disponibilidad y variedad de alimentos, al mismo tiempo que vuelve más complejas las interacciones y procesos naturales, por ejemplo, atrayendo a especies animales como aves e insectos (Balcazar et al., 2023); acciones que desde la soberanía alimentaria y la agroecología, son afines, no solo para la generación de alimentos que la especie humana necesita, también para otras especies que naturalmente cohabitan el planeta y que por diversas causas, como la visión productivista, mercantilista y expansiva de la agricultura industrial, ven amenazada su existencia y hábitats (Pérez & Garduño, 2023).

En el caso de la experiencia de IAP, durante el transcurso de la implementación del huerto se observó y respetó la presencia de especies animales como lombrices de tierra (Lumbricidae), chinche (Pentatomidae), gallina ciega -larva- (Phyllophaga), mosca (*Musca domestica*), catarina (Coccinellidae), cochinilla de humedad (Oniscidea); gusano cogollero (*Helicoverpa armigera*) y grillo cara de niño (*Stenopelmatus*) (Figuras 12- 19), teniendo presente a nivel del equipo de trabajo que, la diversidad de especies animales es afín al control biológico fomentado desde la agroecología; contraria al exterminio de las mismas que el modelo agroindustrial promueve (Altieri et al., 2021; Shiva, 2021). En el huerto universitario se constató que las asociaciones de policultivos contribuyeron a la ausencia de plagas, entendiéndolas como la sobrepoblación de una especie animal que afecta el desarrollo de otras.

⁷ Donadas por Grupo Zarframex.



Figura 12. Lombrices de tierra (Lumbricidae); **Figura 13.** Chinche (Pentatomidae); **Figura 14.** Gallina ciega -larva- (Phyllophaga); **Figura 15.** Mosca (Musca domestica)

Fuentes: Paola Dávila. Octubre 2024; Edwin G. Garduño. Noviembre 2024; Paola Dávila. Octubre 2024; Marla Estrada. Noviembre 2024.



Figura 16. Catarina (Coccinellidae); **Figura 17.** Cochinilla de humedad (Oniscídea); **Figura 18.** Gusano cogollero (Helicoverpa armígera); **Figura 19.** Cara de niño (Stenopelmatus)

Fuentes: Edwin G. Garduño. Noviembre 2024; Paola Dávila. Octubre 2024; Edwin G. Garduño. Octubre 2024; Edwin G. Garduño. Noviembre 2024.

Eventualmente, se cosecharon acelgas (Figura 20 y 21), lechugas, cedrón y menta (Figura 22), aprovechadas para el consumo por integrantes del equipo de trabajo y de la comunidad universitaria, ello, como parte del acuerdo verbal al que se llegó a favor del aprovechamiento de las cosechas por quienes colaboraron en el proyecto de IAP, y en coherencia con lo promovido por el movimiento social de la soberanía alimentaria, al hacer valer el derecho de acceso a los alimentos a quien directamente se involucra en su generación (La Vía Campesina, 2021).



Figura 20. Cosecha de hojas de acelga; **Figura 21.** Tortita de acelgas en salsa verde
Fuente: Edwin G. Garduño. Noviembre 2024; Marla Estrada. Noviembre 2024.



Figura 22. Recolección de cosechas antes del periodo vacacional
Fuente: Edwin G. Garduño. Noviembre 2024.

e) Retroalimentación y expectativas

Asimismo, en la última semana de trabajo acordada se sembraron papas (*Solanum tuberosum*) (Figura 23) y pencas de nopal (*Opuntia ficus-indica* L.)⁸ en uno de los laterales del huerto con espacio disponible. Estas acciones realizaron para tratar de aprovechar el espacio y obtener cosechas permanentes, como en el caso de los nopales que sin mayores cuidados y brindan alimento durante todo el año. Lo anterior, fue realizado tomando en cuenta las recomendaciones de los productores colaboradores, así como otras experiencias de huertos agroecológicos universitarios con perspectiva hacia la soberanía alimentaria (González et al., 2025; Valdez et al., 2024; Balcazar Quiñones et al., 2023; La Vía Campesina, 2021; Barrón & Muñoz, 2015).

⁸ Ambas especies también compradas con una productora agroecológica local.



Figura 23. Siembra de papas

Fuente: Edwin G. Garduño. Noviembre 2024.

Finalmente, en diciembre antes del inicio del periodo vacacional, las estudiantes reiteraron su compromiso y entusiasmo por continuar la gestión y cuidado del huerto, al expresar su percepción de las actividades como interesantes, útiles, relajantes e incluso divertidas; características que, en conjunto, desde la soberanía alimentaria, la agroecología, la RSU y la IAP, resultan convenientes al favorecer el bienestar individual y colectivo, donde a partir del involucramiento activo en un agroecosistema local, se fomenta el sentido de pertenencia y cuidado del entorno natural del que se es parte (Norberg, 2021; Rivera et al., 2021; Giraldo & Rosset, 2016).

Consecuentemente, la directora de la Facultad ratificó el respaldo institucional para garantizar la continuidad del huerto agroecológico, cediendo el liderazgo a las estudiantes para buscar fortalecer su autonomía, favorecer el sentido de apropiación del proyecto e incentivar la incorporación de nuevos integrantes de la comunidad universitaria. Desde la perspectiva de la Responsabilidad Social Universitaria y la Investigación Acción Participativa, esta transición constituye un indicador de sostenibilidad institucional, en la medida en que la permanencia de las iniciativas depende de la capacidad de los propios participantes para asumir responsabilidades, ejercer liderazgo y dar continuidad a los procesos más allá del acompañamiento inicial del equipo investigador. En este sentido, la apropiación colectiva del proyecto representa una condición fundamental para que las acciones de intervención trasciendan el carácter puntual de una experiencia académica y se consoliden como prácticas permanentes de transformación socioambiental.

Los resultados obtenidos permiten reconocer que el valor de esta experiencia no radicó únicamente en la implementación física del huerto agroecológico, sino en la consolidación de un espacio de aprendizaje colaborativo donde confluyeron la docencia, la investigación, la vinculación y la acción comunitaria. En este sentido, el proceso evidenció el potencial de la Investigación Acción Participativa para fortalecer la Responsabilidad Social Universitaria mediante la construcción colectiva de conocimientos y la promoción de prácticas orientadas a la soberanía alimentaria. No obstante, los hallazgos corresponden a una experiencia desarrollada en un contexto institucional específico y con un número reducido de participantes, por lo que futuras investigaciones podrían ampliar el alcance del estudio mediante el seguimiento de procesos similares en otros espacios universitarios y la evaluación de sus efectos formativos y socioambientales.

Conclusiones

En el desarrollo de la experiencia socioeducativa de IAP en la Facultad de Antropología de la UAEMéx, las y los colaboradores tuvieron un papel determinante. La participación de las estudiantes fue central en la implementación

y seguimiento del huerto agroecológico universitario, su compromiso verbal y con acciones, se materializó en su puntualidad recurrente, su asistencia ininterrumpida en las múltiples actividades del proyecto, así como en su proactividad en la diversidad de diálogos al interior y exterior del huerto, como en el caso de las visitas *in situ* a los espacios de los asesores solidarios; cuyo resultado, fue expresado en un sentido renovado de conciencia alimentaria.

El respaldo institucional fortaleció la experiencia de IAP centrada en las estudiantes, coadyuvando en su formación profesional para incidir positiva y responsablemente a nivel socioambiental y en pro de la soberanía alimentaria. Dicho apoyo permitió el acceso a bienes como la tierra y agua, además de validar y respaldar la vinculación y pertinencia de la asignatura de Antropología aplicada con el objetivo de la investigación. Asimismo, al brindar a esta última, la responsabilidad y libertad para el ejercicio de la proactividad de las y los involucrados en el proceso. En el marco de la RSU la gestión universitaria no es una cuestión menor, es fundamental para incidir proactivamente desde sus demás funciones de formación, investigación y vinculación.

La experiencia de implementación del huerto agroecológico en la Facultad de Antropología de la UAEMéx da cuenta del potencial de la IAP como estrategia metodológica promotora de aprendizajes enfocados a la transformación de realidades; donde particularmente se incidió en la producción agroecológica de alimentos que el contexto actual demanda, a través de fomento del trabajo en equipo y desde la creación y fortalecimiento de redes de apoyo entre la comunidad universitaria, productores locales e institución gubernamental.

La consecución de la soberanía alimentaria implica procurar sinergias entre acciones coordinadas, colectivas y concretas, donde la Universidad, al asumir su responsabilidad social, debe contribuir en la replicabilidad de resistencias activas que nutran y fortalezcan la creación colectiva de sistemas agroecológicos; donde las personas que procuran los agroecosistemas son parte fundamental.

Referencias Bibliográficas

- Alonso, M., Rascón, M. T., & Calderón, I. (2024). *Como hacer investigación-acción participativa*. Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado. <https://laaventuradeaprender.intef.es/wp-content/uploads/2023/07/Como-hacer-investigacion-accion-participativa.pdf>
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Astier, M., Vasquez, L., Henao, A., & Infante, A. (2021). *Documentando la evidencia en Agroecología: Una perspectiva Latinoamericana*. Centro Latinoamericano de Investigaciones Agroecológicas. <http://celia.agroeco.org/wp-content/uploads/2021/07/Evidencias-agroecologicas-CELIA-Boletin-5.pdf>
- Andia Valencia, W., Villena Presentación, R., Bendezú Mejía, C., & Cruz Shuan, R. L. (2022). Responsabilidad social universitaria: perspectiva desde la gestión institucional. *Investigación y Postgrado*, 37(2), 177-193. <https://doi.org/10.56219/investigacionpostgrado.v37i2.1466>
- Aranda, J. (2015). La universidad pública en México: ¿problemas con su autonomía? En S. González, N. Esquivel y R. Mendoza (coords.). *Formación universitaria humanismo y conocimiento* (pp. 227- 270). Universidad Autónoma del Estado de México.
- Argueta Villamar, A. (2016). El diálogo de saberes, una utopía realista. *Revista Integra Educativa*, 5(3), 15-29. <http://www.scielo.org.bo/pdf/rieiii/v5n3/v5n3a02.pdf>
- Balcazar Quiñones, A. P., Moctezuma Pérez, S., Vizcarra Bordi, I., & White Olascoaga, L. (2023). Resiliencia y autoorganización del grupo mazahua de milpa intercalada con árboles frutales (MIAF). *Sociedad y Ambiente*, (26), 1-27. <https://doi.org/10.31840/sya.vi26.2757>
- Balcazar, F. E. (2003). Investigación acción participativa (iap): Aspectos conceptuales y dificultades de implementación. *Fundamentos en Humanidades*, 4(7-8), 59-77. <https://www.redalyc.org/pdf/184/18400804.pdf>
- Barrón, A., & Muñoz, J. (2015). Los huertos escolares comunitarios: fraguando espacios socioeducativos en y para la sostenibilidad. *Foro de Educación*, 13(19), 213-239. <http://dx.doi.org/10.14516/fde.2015.013.019.010> <http://forodeeducacion.com/ojs/index.php/fde/article/view/234>
- Barros, C. (2021). Usos y consumos: milpa, comida y soberanía alimentaria. En C. Méndez (coord. ed.). *Milpa pueblos de maíz Diversidad y patrimonio biocultural de México* (pp. 231-252). Secretaría de Cultura y Turismo del Gobierno del Estado de México.

- Boege, E. (2021). *Acerca del concepto de diversidad y patrimonio biocultural de los pueblos originarios y comunidad equiparable. Construyendo territorios de vida con autonomía y libre determinación*. Puebla: BUAP, INAH. <https://www.aacademica.org/eckart.boege/5>
- Carrillo López, P. L., Sáenz Aguiar, A. Y., Calvillo Gómez, G. U., & Cárdenas Ayala, M. T. Y. (2023). La responsabilidad Social Universitaria en América Latina: Un Estado del Arte para la Investigación. *Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 2443-3459. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.8866
- Castillo Sarmiento, A. Y., Suárez Gélvez, J. H., & Mosquera Téllez, J. (2017). Naturaleza y sociedad: relaciones y tendencias desde un enfoque eurocéntrico. *Luna Azul*, (44), 348-371. <https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.21>
- Confederación Nacional de la Agricultura, CNA de Portugal (2021). *Agroecología es reencuentro con la tierra, y Soberanía Alimentaria* [comunicado]. Viacampesina. <https://viacampesina.org/es/agroecologia-es-reencuentro-con-la-tierra-y-soberania-alimentaria/>
- Cueto-Espejo, E., & Fontalvo-Buelvas, J. C. (2024). Experiencias y reflexiones significativas del huerto del campus Mocambo de la Universidad Veracruzana. *Producción Agropecuaria Y Desarrollo Sostenible*, 13(1), 25-38. <https://doi.org/10.5377/payds.v13i1.20168>
- Espino Castillo, D. (2023). Reflexiones sobre la responsabilidad social universitaria. *Revista Científica Universitaria*, 12(2), 222-242. <https://doi.org/10.48204/j.centros.v12n2.a4051>
- Fals, O. (1993). La investigación participativa y la intervención social. *Revista de Estudios Sociales y de Sociología aplicada*, (92), 9-21. <https://www.caritas.es/main-files/uploads/1993/11/DS100092-INVESTIGACION-ACCION-PARTICIPATIVA-ocr.pdf>
- Ferguson, B., Morales, H., Sántiz, J., Rubio, L., Junghans, C., Hernández, C., Reyes, J., Pérez, A., & Limón, C. (2024). Aprendizajes, retos y regalos del Aula-Huerto de El Colegio de la Frontera Sur, Chiapas. En J. Fontalvo, Y. De la Cruz y O. Castro (coords.) *Huertos en instituciones de educación superior: Relatos y experiencias desde México* (pp. 26-46). Comunicación científica. <https://doi.org/10.52501/cc.191>
- Garbizo, N., Ordaz, M., & Hernández, J. (2021). Responsabilidad Social Universitaria y labor educativa: una relación necesaria en la formación de profesionales. *Revista de Educación*, 19(1), 321-333. <http://mendive.upr.edu.cu/index.php/MendiveUPR/article/view/1925>
- García, M. E., & Bermúdez, G. (2021). *Alimentarnos con dudas disfrazadas de ciencia: Nutriendo conflictos de interés en México*. El poder del consumidor. <https://elpoderdelconsumidor.org/2021/11/alimentarnos-con-dudas-disfrazadas-de-ciencia-nutriendo-conflictos-de-interes-en-mexico/>
- Garduño de Jesús, E. G. (2016). Producción agrícola sustentable en zonas urbanas. Tres casos de estudios en Toluca, Estado de México (Trabajo terminal de grado de maestría), Universidad Autónoma del Estado de México. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/106117>
- Garduño de Jesús, E. G. (2020). *Agricultura sustentable como una alternativa viable para la soberanía alimentaria* (Tesis de doctorado), Universidad Autónoma del Estado de México. Repositorio Institucional. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/109824>
- Giraldo, O. F., & Rosset, P. M. (2016). La agroecología en una encrucijada: entre la institucionalidad y los movimientos sociales. *Guaju: Revista Brasileira De Desenvolvimento Territorial Sustentável*, 2(1), 14-37. <https://doi.org/10.5380/guaju.v2i1.48521>
- González, S., Macedo, L., & Ríos, M. (2025). Un cultivo de conocimientos: caso de éxito de un huerto escolar en Tomatlán, Jalisco, México. *Revista Iberoamericana de Divulgación y Cultura Científica*, (8), 137-144. <https://drive.google.com/file/d/1RI-WpQQrnRoszg9IEkVBwnEWNks2gfDI/view>
- La Vía Campesina (2021). *Soberanía alimentaria, un manifiesto por el futuro de nuestro planeta. Declaración oficial de La Vía Campesina por los 25 años de lucha colectiva por la soberanía alimentaria*. <https://viacampesina.org/es/la-via-campesina-soberania-alimentaria-un-manifiesto-por-el-futuro-del-planeta/>
- Nazarea, V., Piniero, M., Rhoades, R., Alarcón, R., & Camacho, J. (2003). *Recolección de plantas y conocimientos ancestrales: un programa de enseñanza y capacitación*. Ediciones ABYA-YALA. https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1246&context=abya_yala
- Norberg, H. (2021). Alternatives to the global food regime: Steps toward system transformation. En A. Kassam & L. Kassam (Eds.). *Rethinking Food and Agriculture. New Ways Forward* (pp. 399- 412). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816410-5.00018-9>
- Olvera, G., Sánchez, O., Palacios, O., Medina, S., & Armendáriz, R. (2022). La Responsabilidad Social Universitaria y su implementación: una revisión panorámica. *Emerging Trends in Education*, 4(8), 107-124. <https://doi.org/10.19136/etie.a4n8A.4756>

- Pérez Hernández, Y., & Garduño de Jesús, E. (2023). Educación antiespecista y consumo ético, dos elementos esenciales para la Soberanía Alimentaria. *D'Perspectivas Siglo XXI* 10(19), 49-59. <https://doi.org/10.53436/6842TXBw>
- Rivera, M., Gallar, D., Calle, Á., & Pimentel, V. (2021). Agroecological education for food sovereignty: Insights from formal and non-formal spheres in Brazil and Spain. *Journal of Rural Studies*, 88, 138-148. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.10.003>
- Rosset, P. M., Barbosa, L. P., Val, V., & McCune, N. (2020). Pensamiento Latinoamericano Agroecológico: the emergence of a critical Latin American agroecology?, *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 45(1), 42- 64. <https://doi.org/10.1080/21683565.2020.1789908>
- Secretaría de Vinculación, Extensión y Promoción de la Empleabilidad de la UAEMéx (s.f.), *Brigadas Universitarias Multidisciplinarias*. Universidad Autónoma del Estado de México. <https://sevepe.uaemex.mx/servicios/servicio-social/ss-brigadas-universitarias-multidisciplinarias.html>
- Shiva, V. (2021). Cocreating responsible food and agriculture systems. En A. Kassam y L. Kassam (Eds.). *Rethinking Food and Agriculture. New Ways Forward* (pp. 413- 418). Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128164105000190>
- Valdez, D., Lerma, M., & Ortega, G. (2024). Construcción de un huerto agroecológico como practica sustentable para el programa de Licenciatura en Gastronomía. *Revista Yolixtli*, 3(5), 178-192 <https://www.utacapulco.edu.mx/UTANUEVA4/Revista/doc/revista5.pdf>
- Vallaey, F. (2021). *Manual de Responsabilidad Social Universitaria. El modelo URSULA: estrategias, herramientas, indicadores*. Unión de Responsabilidad Social Universitaria Latinoamericana (URSULA). <https://www.unionursula.org/wp-content/uploads/2021/06/2021-Manual-RSU-Modelo-URSULA-Esp.pdf>
- Verzeñassi, D., Zamorano, A., Fernández, F., & Keppl, G. (2023). *Pedagogías para el cuerpo-territorio: cuadernillo metodológico para espacios educativos formales y no formales*. Fundación Rosa Luxemburgo. <https://saludsocioambiental.org/cuerpo-territorio/>
- Wamsler, C., Brossmann, J., Hendersson, H., Kristjansdottir, R., McDonald, C., & Scarampi, P. (2018). Mindfulness in sustainability science, practice, and teaching. *Sustainability Science*, 13, 143-162. <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0428-2>
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., & David, C. (2009). Agroecology as a Science, a Movement and a Practice: A Review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(4), 503-515. <https://link.springer.com/article/10.1051/agro/2009004>
- Zapata, F., & Rondán, V. (2016). *La investigación acción participativa. Guía conceptual y metodológica del Instituto de Montaña*. Lima, Perú: Instituto de Montaña.

Evaluación de sustratos para la incubación y eclosión de la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*)

Evaluation of Substrates for the Incubation and Hatching of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*)

Mailyn Sanchez¹  , Adrián Riascos²  

Estudiante de ingeniería Agroecológica, Universidad de la Amazonia, Puerto Asís Putumayo, Colombia.¹
Investigador, SENA Regional Putumayo, Puerto Asís Putumayo, Colombia.²

ISSN 2619-2608

DOI: <https://doi.org/10.34069/RA/2026.17.08>

Cómo citar:

Sanchez, M., & Riascos, A. (2026). Evaluación de sustratos para la incubación y eclosión de la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*). *Revista Científica Del Amazonas*, 9(17), 113-120. <https://doi.org/10.34069/RA/2026.17.08>

Recibido: 9 de febrero de 2026

Aceptado: 15 de junio de 2026



Resumen

La mosca soldado negra (*Hermetia illucens*, Diptera: Stratiomyidae) representa una especie clave para la bioconversión de residuos en modelos de economía circular. No obstante, la eficiencia de su producción masiva está condicionada por el éxito en la fase de incubación. En este estudio se evaluó la tasa de eclosión de huevos bajo un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) con tres tratamientos y tres repeticiones por tratamiento. Las unidades experimentales consistieron en 50 huevos dispuestos en cajas Petri bajo condiciones controladas (27-30 °C y 60-70% de humedad relativa). Se compararon tres sustratos: residuos de frutas (T1), estiércol de vaca (T2) y una mezcla equilibrada de ambos (T3). Los resultados indicaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos; la mezcla (T3) alcanzó el mayor porcentaje de eclosión con un 88.67%, seguida por el sustrato de frutas (T1) con un 76%. El estiércol puro (T2) mostró un efecto inhibitorio severo con solo un 4% de eclosión. Se concluye que la incubación de la mosca soldado negra es significativamente más eficiente utilizando mezclas de residuos de frutas y estiércol de vacuno que empleando estos sustratos de forma individual, ya que la combinación equilibrada de ambos maximiza la tasa de eclosión en sistemas de producción masiva.

Palabras clave: Oviposición, sustratos orgánicos, tasa de eclosión, *Hermetia illucens*, incubación de huevos.

Abstract

The black soldier fly (*Hermetia illucens*, Diptera: Stratiomyidae) is a key species for waste valorization within circular economy frameworks. However, mass production efficiency is highly dependent on success during the incubation phase. This study evaluated the egg hatching rate using a Completely Randomized Design (CRD) with three treatments and three replicates per treatment. Experimental units consisted of 50 eggs placed in Petri dishes under controlled conditions (27-30 °C and 60-70% relative humidity). Three substrates were compared: fruit waste (T1), cow manure (T2), and a balanced mixture of both (T3). Results indicated significant differences ($p < 0.05$) between treatments; the mixture (T3) achieved the highest hatching percentage at 88.67%, followed by the fruit substrate (T1) at 76%. Pure manure (T2) exhibited a severe inhibitory effect with only 4% hatching. It is concluded that the incubation of the black soldier fly is significantly more efficient using mixtures of fruit waste and cattle manure than using these substrates individually, since the balanced combination of both maximizes the hatching rate in mass production systems.

Keywords: Oviposition, organic substrates, hatching rate, *Hermetia illucens*, egg incubation.

Introducción

El crecimiento constante de la población mundial ha intensificado la generación de residuos alimentarios (RA) (Sarker et al., 2024). De acuerdo con el Índice de Desperdicio de Alimentos del PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), en 2019 se produjeron cerca de 931 millones de toneladas de RA (Filho et al., 2022). En respuesta a esta problemática, la ONU incluyó en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 la meta 12.3, que busca promover patrones sostenibles de consumo y producción, con el fin de reducir a la mitad los RA (Kameyama et al., 2026). Esta iniciativa está alineada con la necesidad de mitigar los efectos ambientales negativos derivados de la cadena alimentaria, la gestión de estos residuos varía entre países y existen diversas tecnologías de reciclaje, como la incineración, el compostaje y la digestión anaerobia, una gestión inadecuada puede acarrear serias consecuencias para el ambiente y la salud pública (Belperio et al., 2024).

En este contexto, una alternativa con gran potencial es la valorización de los RA mediante su uso como sustrato para la cría masiva de insectos (Siddiqui et al., 2024). Esta práctica innovadora, centrada en la bioconversión mediante insectos, se enmarca dentro del modelo de economía circular, entre las especies más prometedoras se encuentra la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), cuya fase larvaria (BSFL) presenta ventajas como alta tasa de crecimiento, bajo costo y corto ciclo de vida (Siva Raman et al., 2022). Estas larvas son capaces de degradar eficientemente residuos orgánicos de alto impacto ambiental, tales como estiércol animal, residuos agroindustriales y residuos sólidos urbanos (Grassauer et al., 2023).

El interés por la cría de *H. illucens* ha crecido notablemente debido a sus beneficios en la gestión de residuos (Jiang et al., 2024). La investigación se enfoca especialmente en la fase larval, la más eficaz para el reciclaje de residuos y la generación de biomasa utilizable como alimento, en Europa, existe una regulación estricta que prohíbe el uso de productos animales (salvo leche, huevos y sus derivados) y residuos municipales en la cría industrial de insectos (Meijer et al., 2025). Sin embargo, sí se permite el uso de vegetales y subproductos derivados, el reglamento 2021/1372 ha flexibilizado ciertas restricciones, permitiendo el uso de proteínas animales en la alimentación animal y fomentando el uso de harina de insectos como opción sostenible (Muurmann et al., 2024).

Las larvas de BSFL pueden generar una biomasa altamente nutritiva, con un contenido promedio de 22 a 45 % de proteína cruda, 26 a 40 % de grasa y diversos micronutrientes (Zulkifli et al., 2022). Estas composiciones varían según el sustrato y las condiciones de cría, y por ello se han desarrollado estudios que analizan los requerimientos nutricionales, en especial los de proteínas y lípidos, ya que estos influyen en su crecimiento y fisiología (Lu et al., 2022).

La capacidad de las larvas para transformar residuos en biomasa valiosa representa una oportunidad innovadora para la gestión de residuos sólidos urbanos (Liu et al., 2022). Aunque el control ambiental no es tan estricto en la etapa larval como en la adulta, sí es importante mantener ciertas condiciones microclimáticas, especialmente en las primeras fases del ciclo biológico (Yakti et al., 2023). La temperatura, en particular, es clave para asegurar una bioconversión eficaz, para entender mejor el desarrollo larval, se han aplicado modelos de suma térmica que estiman los grados-hora o grados-día requeridos para alcanzar determinadas etapas de crecimiento (Salam et al., 2022).

Hasta ahora, la mayoría de los estudios se han enfocado en sustratos vegetales únicos para la cría de insectos (Mancini & Antonioli, 2022). En Europa, el análisis de sustratos animales es escaso debido a las restricciones regulatorias (Vale-Hagan et al., 2023). En este estudio, se buscó comparar la efectividad de distintos sustratos en la incubación de huevos de la mosca soldado negra, determinando cuáles favorecen en mayor medida la tasa de eclosión y la supervivencia embrionaria.

Metodología

Localización y Condiciones Agroecológicas

El estudio se llevó a cabo en la granja "El Mochilo", perteneciente al Centro Agroforestal y Acuícola Arapaima del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), ubicada en el municipio de Puerto Asís, departamento del Putumayo, Colombia (coordenadas geográficas: 0°35'25.6"N 76°32'05.3"W). La zona se encuentra a una altitud de 256 msnm y

corresponde a la clasificación de zona de vida de bosque húmedo tropical, caracterizada por una temperatura promedio de 25.3 °C, una humedad relativa del 85% y una precipitación anual de 3355 mm.

Unidades Experimentales y Diseño de Tratamientos

La selección de los sustratos se realizó bajo criterios de disponibilidad regional, accesibilidad económica y composición nutricional potencial para el desarrollo larvario, siguiendo los lineamientos de Hosseindoust et al. (2024).

Se evaluaron tres tratamientos, con base en diferentes fuentes orgánicas. Las proporciones exactas de los componentes (en base húmeda) para cada tratamiento se estructuraron de la siguiente manera:

Tratamiento 1 (T1): 100% residuos de frutas, compuestos en partes iguales por piña, papaya y naranja (relación 1:1:1 en peso).

Tratamiento 2 (T2): 100% estiércol vacuno fresco.

Tratamiento 3 (T3): 100% de una mezcla equitativa de todos los sustratos evaluados, integrada por residuos de piña, papaya, naranja y estiércol vacuno (relación 1:1:1:1 en peso).

Cada unidad experimental consistió en una caja de Petri estéril debidamente rotulada, la cual contenía el tratamiento de sustrato correspondiente y un lote específico de huevos. Para cada tratamiento se establecieron tres repeticiones biológicas independientes, configurando un total de 9 unidades experimentales para todo el estudio.

Tamaño de Muestra y Condiciones de Incubación

Para determinar el tamaño de la muestra, se aislaron masas de huevos de *Hermetia illucens* y se distribuyeron uniformemente de la siguiente manera: cada unidad experimental (repeticición) contó con un número exacto de 50 huevos, evaluando así un total de 150 huevos por tratamiento y un tamaño de muestra global de 450 huevos para el experimento completo.

El proceso de incubación se realizó bajo condiciones controladas. Las cajas de Petri con las unidades experimentales estuvieron a una temperatura constante mantenida entre 27 y 30 °C y una humedad relativa controlada del 60–70%, durante un periodo estricto de cinco días.

Recolección de Datos y Tasa de Eclosión

La recolección de datos se llevó a cabo mediante un monitoreo e inspección visual directa cada 24 horas durante los cinco días que duró la fase de incubación. En cada revisión diaria, se contabilizó exhaustivamente el número de larvas emergidas (eclosionadas) en cada caja de Petri empleando un estereoscopio para asegurar la precisión del conteo. Las larvas contabilizadas fueron retiradas para evitar dobles conteos.

Con los datos acumulados al término del quinto día, se calculó la variable respuesta de la tasa de eclosión (TE) mediante la aplicación de la siguiente fórmula matemática:

$$Tasa\ de\ eclosión = \left(\frac{\text{número de larvas eclosionadas}}{\text{número total de huevos}} \right) \times 100$$

Análisis Estadístico

Los datos de la tasa de eclosión se sometieron a un Análisis de Varianza (ANOVA) bajo un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA). Previo al ANOVA, se verificaron los supuestos estadísticos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. El procesamiento de los datos se ejecutó utilizando el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2012). En los casos donde se detectaron diferencias significativas ($P < 0.05$), las medias de los tratamientos se compararon y separaron mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan (Duncan, 1955).

Resultados

La eclosión es un indicador fundamental del desarrollo temprano y la viabilidad de la progenie, siendo crítico para una óptima producción masiva de *Hermetia illucens* (Bermúdez-Serrano et al., 2023). En este contexto, comprender cómo la calidad y composición del sustrato afectan la tasa y el tiempo de eclosión es vital para optimizar las condiciones de cultivo y garantizar un alto rendimiento biológico (Ahmad et al., 2022; Putra et al., 2022).

Los resultados determinaron que los sustratos con componentes vegetales combinados (T3 y T1) exhibieron las tasas de eclosión más altas, alcanzando valores de 88.67 % y 76.00 %, respectivamente. En contraste, el tratamiento basado en estiércol de vaca puro (T2) mostró una respuesta drásticamente inferior, con una tasa promedio de eclosión de tan solo 4.00 % (Tabla 1).

Tabla 1.

Tasa de eclosión de Hermetia illucens bajo diferentes tratamientos de sustratos orgánicos en Puerto Asís, Putumayo.

Tratamiento	Composición del Sustrato (100%)	Tasa de eclosión (%) ¹
T1	Naranja + Piña + Papaya	76.00 ± 2.31 ^b
T2	Estiércol vacuno	4.00 ± 1.15 ^c
T3	Estiércol vacuno+ Piña + Naranja + Papaya	88.67 ± 4.67 ^a

¹ Letras distintas en superíndice en la columna de Tasa de eclosión indican diferencias estadísticas significativas $P < 0.0001$. Valor F = 219.95; $P < 0.0001$; CV = 9.49%; EEA = 3.08%.

La comparación de medias discriminó estadísticamente a los tres tratamientos en grupos independientes. Estos resultados demuestran con claridad que el tratamiento T2 ejerció un efecto inhibitorio considerable sobre la viabilidad y desarrollo embrionario de los huevos de *H. illucens*, mientras que la combinación de sustratos orgánicos (T3) maximiza el éxito biológico en las etapas tempranas de la especie (figura 1).

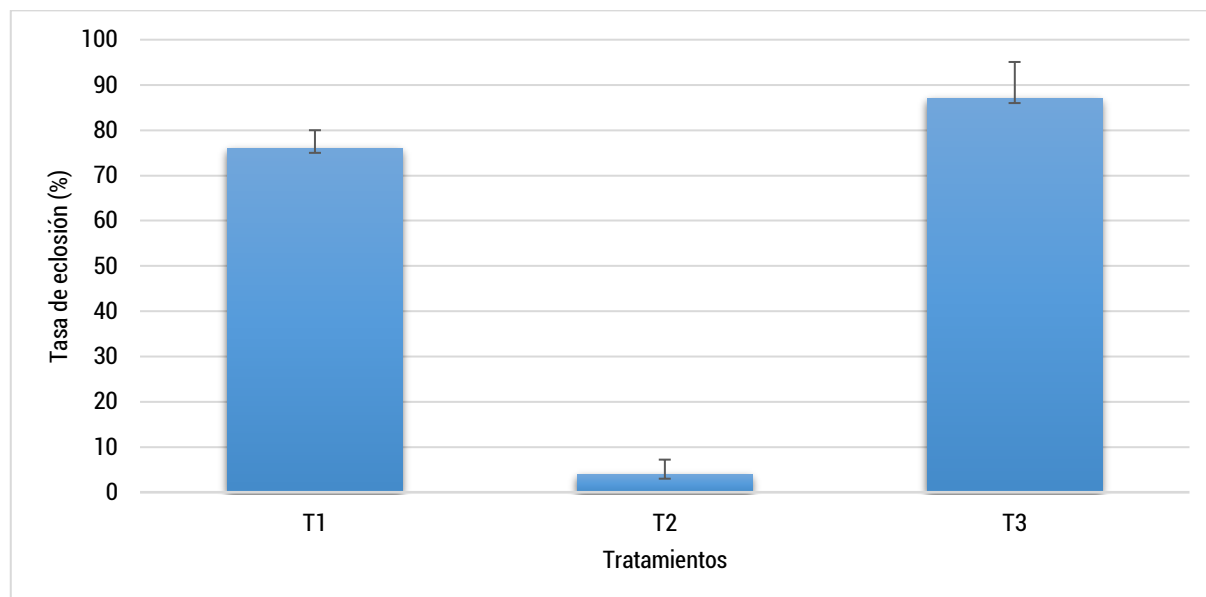


Figura 1. Eclosión de huevos de *Hermetia illucens* en tres tratamientos con componentes orgánicos.

Discusión

Los resultados obtenidos demuestran que la naturaleza y composición del sustrato ejercen un efecto directo sobre el éxito de la eclosión de *Hermetia illucens*. Al analizar el rendimiento biológico, el tratamiento con mezcla de residuos de frutas consolidó las respuestas de viabilidad embrionaria más favorables, lo cual contrasta drásticamente con la inhibición detectada en el tratamiento basado en estiércol de vaca puro. Aunque en la presente investigación se evaluó la tasa final de emergencia al concluir el periodo de incubación y no el tiempo dinámico del proceso, estos

patrones de respuesta en la viabilidad pueden correlacionarse conceptualmente con parámetros cronológicos reportados en la literatura; autores como Holeh et al. (2022) describieron tiempos medios de eclosión notablemente rápidos, de aproximadamente 3.1 días, en mezclas equilibradas de residuos orgánicos, en comparación con matrices más complejas y densas donde la eclosión puede prolongarse hasta cerca de los 5.6 días, según lo documentado por Konkol et al. (2022).

Está marcada divergencia temporal en los tratamientos, sumada a las diferencias cualitativas evidenciadas en este estudio, sugiere que la calidad del sustrato influye directamente en la embriogénesis, existiendo un microambiente donde la disponibilidad y equilibrio de nutrientes esenciales facilitan o truncan el desarrollo embrionario (Ha et al., 2024). Teóricamente, la combinación de residuos vegetales ricos en carbohidratos junto con subproductos de origen animal ofrece una matriz nutritiva más completa, favoreciendo una mejor estabilidad física y química dentro del entorno de incubación (Hariri et al., 2024; Oliveira et al., 2024).

Como hipótesis explicativa del estímulo embrionario registrado en los sustratos mixtos, y aun cuando en este experimento no se realizaron determinaciones analíticas ni caracterizaciones fisicoquímicas directas de las matrices alimenticias, la literatura científica postula que una posible explicación para la optimización de la viabilidad radica en la mayor biodisponibilidad potencial de micronutrientes como calcio, potasio y fósforo; estos elementos han sido catalogados como fundamentales para el desarrollo embrionario adecuado y la formación estructural de las larvas iniciales (Rasdi et al., 2022). Al respecto, un informe de Giraldo y Lozano (2022) destaca la superioridad en la bioconversión y el desarrollo en mezclas de desechos comparadas con sustratos individuales (Eke et al., 2023), lo cual vincula la heterogeneidad de nutrientes con mejores respuestas en producción y crecimiento. Adicionalmente, se plantea la hipótesis de que estos sustratos compuestos logran mantener, bajo las condiciones macroambientales del laboratorio, una retención de humedad óptima (Bekker et al., 2021; Bogdan et al., 2022; Lopes et al., 2025) junto con un pH relativamente neutro o ligeramente ácido; condiciones descritas por Khan et al. (2025) como altamente favorables para preservar la integridad del corion y la viabilidad general de los huevos de esta especie.

Por el contrario, los huevos expuestos al tratamiento de estiércol vacuno sufrieron una supresión severa en su éxito de eclosión, un fenómeno que coincide con las dinámicas de mortalidad y retraso embrionario descritas en sustratos limitantes por Nayak y Klüber (2025). Este comportamiento inhibitorio observado podría atribuirse a varias características físico-químicas y estructurales inherentes al material, las cuales plantean interrogantes valiosos para futuras líneas de investigación (Singh et al., 2022). En primer lugar, se teoriza que el estiércol sin procesar exhibe una alcalinidad elevada y, durante su descomposición orgánica en confinamiento, tiende a liberar compuestos microbianos volátiles y gases metabólicos, tales como aminas biógenas y azufre de hidrógeno (Ogello et al., 2025).

De acuerdo con lo reportado por Parra-Pacheco et al. (2025), estos metabolitos gaseosos poseen la capacidad de difundirse a través de las membranas del huevo, alterando el entorno bioquímico interno del embrión y bloqueando los mecanismos normales de la eclosión. Aunado a esto, el estiércol de vaca presenta una alta variabilidad en su contenido microbiano basal, con presencia inherente de microorganismos patógenos o bacterias competidoras y compuestos que potencialmente pueden degradar o colonizar negativamente la superficie del huevo, comprometiendo tanto la viabilidad del lote como el vigor larvario subsiguiente (Ramzy et al., 2022).

Las marcadas diferencias halladas en este trabajo se alinean con investigaciones previas que señalan cómo las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas generales del sustrato de soporte son decisivas para el éxito de la incubabilidad en dípteros (Schreven et al., 2022). La composición microbiana del entorno inmediato regula de forma crítica la viabilidad y el vigor inicial de las larvas emergidas (Rampure et al., 2025). A su vez, trabajos más recientes en la disciplina exhiben que la heterogeneidad del sustrato y su composición dual—es decir, el codiseño o mezcla dirigida de residuos vegetales y animales—pueden mejorar significativamente la incubabilidad (Laksanawimol et al., 2024), mitigando los efectos deletéreos de los componentes puros, optimizando el vigor larvario y asegura la viabilidad a largo plazo en colonias reproductivas de *Hermetia illucens* (Li et al., 2024).

Conclusión

La incubación de la mosca soldado negra es significativamente más eficiente utilizando mezclas de residuos de frutas y estiércol que empleando estos sustratos de forma individual. En este estudio, el estiércol de vacuno mostró la menor

tasa de eclosión, lo que evidencia la necesidad de combinarlo con residuos vegetales en proporciones equilibradas para maximizar el éxito del proceso en sistemas de producción masiva.

Referencias bibliográficas

- Ahmad, I. K., Basri, N. E. A., Jalil, N., Ain A., & Amrul, N. F. (2022). The efficiency of effective microorganism (EM) as catalyst in food waste composting using black soldier fly larvae. *E3S Web of Conferences*, 347, 04016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234704016>
- Bekker, N. S., Heidelberg, S., Vestergaard, S. Z., Nielsen, M. E., Riisgaard-Jensen, M., Zeuner, E. J., Bahrndorff, S., & Eriksen, N. T. (2021). Impact of substrate moisture content on growth and metabolic performance of black soldier fly larvae. *Waste Management*, 127, 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.028>
- Belperio, S., Cattaneo, A., Nannoni, E., Sardi, L., Martelli, G., Dabbou, S., & Meneguz, M. (2024). Assessing Substrate Utilization and Bioconversion Efficiency of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae: Effect of Diet Composition on Growth and Development Temperature. *Animals*, 14(9), 9. <https://doi.org/10.3390/ani14091340>
- Bermúdez-Serrano, I. M., Sánchez-Velázquez, O. A., Bermúdez-Serrano, I. M., & Sánchez-Velázquez, O. A. (2023). Aprovechamiento integral de la Mosca Soldado Negra: Bioconversión, sostenibilidad y desafíos emergentes. *Scientia Agropecuaria*, 14(4), 571-590. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.047>
- Bogdan, G., Ioan, S. D., Mihai, Şuteu, Elena, M. L., Vasile, M. D., & Mihaela, B. A. (2022). Particularities of the *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) Ovipositing Behavior: Practical Applications. *Insects*, 13(7), 611. <https://doi.org/10.3390/insects13070611>
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C.W. (2012). *InfoStat versión 2012*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Duncan, D. B. (1955). "Multiple Range and Multiple F Tests." *Biometrics*, 11(1), 1-42. <http://dx.doi.org/10.2307/3001478>
- Eke, M., Tougeron, K., Hamidovic, A., Tinkeu, L. S. N., Hance, T., & Renoz, F. (2023). Deciphering the functional diversity of the gut microbiota of the black soldier fly (*Hermetia illucens*): Recent advances and future challenges. *Animal Microbiome*, 5(1), 40. <https://doi.org/10.1186/s42523-023-00261-9>
- Filho, W. L., Kovaleva, M., Tsani, S., & Setti, A. F. F. (2022). Food waste and food security: A relationship analysis. *Environmental Science & Policy*, 136, 510-522. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.07.018>
- Grassauer, F., Ferdous, J., & Pelletier, N. (2023). Manure Valorization Using Black Soldier Fly Larvae: A Review of Current Systems, Production Characteristics, Utilized Feed Substrates, and Bioconversion and Nitrogen Conversion Efficiencies. *Sustainability*, 15(16), 16. <https://doi.org/10.3390/su151612177>
- Ha, S. H., Hosseindoust, A., Mun, J., Park, S., Choi, S., Park, S., & Kim, J. (2024). Impact of Substrate Type and Developmental Stage on Nutrient Composition and Convergence Efficiency of *Hermetia illucens* Larvae. *Journal of Animal Science and Technology*, 67(6), 1273-1284. <https://doi.org/10.5187/jast.2024.e96>
- Hariri, M. N., Ishak, A. R., & Rashid, R. I. M. (2024). Effect of Food Waste on The Growth Performance, Waste Reduction Efficiency and Nutritional Composition of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) Larvae. *Malaysian Applied Biology*, 53(1), 1. <https://doi.org/10.55230/mabjournal.v53i1.2713>
- Holeh, G. M., Opiyo, M. A., Brown, C. L., Sumbule, E., Gatagwu, J., Oje, E. O., & Munyi, F. (2022). Effect of different waste substrates on the growth, development and proximate composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Livestock Research for Rural Development*, 34(7), 1-11. <http://www.lrrd.org/lrrd34/7/3457hole.html>
- Hosseindoust, A., Ha, S. H., Mun, J. Y., & Kim, J. S. (2024). A metanalysis to evaluate the effects of substrate sources on the nutritional performance of black soldier fly larvae: Implications for sustainable poultry feed. *Poultry Science*, 103(2), 103299. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103299>
- Jiang, S., Sun, J., Zhu, X., Shen, K., & Zhang, Z. (2024). Co-tratamiento de flujos de residuos agroalimentarios utilizando larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens* L.): Una solución sostenible para la gestión de residuos rurales. *Journal of Environmental Management*, 370, 122373. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122373>
- Khan, J. A., Guo, X., Pichner, R., Aganovic, K., Heinz, V., Hollah, C., Miert, S. V., Verheyen, G. R., Juadjur, A., & Rehman, K. U. (2025). Evaluation of nutritional and techno-functional aspects of black soldier fly high-protein extracts in different developmental stages. *animal*, 19(4), 101463. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2025.101463>

- Konkol, D., Popiela, E., Skrzypczak, D., Izydorczyk, G., Mikula, K., Moustakas, K., Opaliński, S., Korczyński, M., Witek-Krowiak, A., & Chojnacka, K. (2022). Recent innovations in various methods of harmful gases conversion and its mechanism in poultry farms. *Environmental Research*, 214, 113825. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113825>
- Laksanawimol, P., Anukun, P., & Thancharoen, A. (2024). Use of different dry materials to control the moisture in a black soldier fly (*Hermetia illucens*) rearing substrate. *PeerJ*, 12, e17129. <https://doi.org/10.7717/peerj.17129>
- Li, C., Addeo, N. F., Rusch, T. W., Chappell, T. M., Tarone, A. M., & Tomberlin, J. K. (2024). Age and calorific restriction impact immature black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) thermal tolerance and preference. *Journal of Insects as Food and Feed*, 11(2), 259-272. <https://doi.org/10.1163/23524588-00001026>
- Liu, T., Klammsteiner, T., Dregulo, A. M., Kumar, V., Zhou, Y., Zhang, Z., & Awasthi, M. K. (2022). Black soldier fly larvae for organic manure recycling and its potential for a circular bioeconomy: A review. *Science of The Total Environment*, 833, 155122. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155122>
- Lopes, I. G., Wiklicky, V., & Lalander, C. (2025). Bioconversión de residuos acuícolas mezclados con subproductos vegetales utilizando larvas de *Hermetia illucens*: Parámetros del proceso y calidad larvaria. *Aquaculture Reports*, 43, 102961. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.102961>
- Lu, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., Archa, P., Thongpea, S., Paengkoum, S., Purba, R. A. P., & Paengkoum, P. (2022). Nutritional Composition of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* L.) and Its Potential Uses as Alternative Protein Sources in Animal Diets: A Review. *Insects*, 13(9), 9. <https://doi.org/10.3390/insects13090831>
- Kameyama, E., O'Hara, S., & Stuiver, M. (2026). Food loss and waste: A review of United Nations Voluntary National and Local Reviews. *Sustainability*, 18(1), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su18010000>
- Mancini, M. C., & Antonioli, F. (2022). Italian consumers standing at the crossroads of alternative protein sources: Cultivated meat, insect-based and novel plant-based foods. *Meat Science*, 193, 108942. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108942>
- Meijer, N., Safitri, R. A., Tao, W., & Hoek-Van den Hil, E. F. (2025). Review: European Union legislation and regulatory framework for edible insect production – Safety issues. *Animal*, 19(3) 101468. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2025.101468>
- Muurmann, A. T., Banovic, M., Gilbert, M. T. P., Sogari, G., Limborg, M. T., Sicheritz-Pontén, T., & Bahrndorff, S. (2024). Framework for valorizing waste- and by-products through insects and their microbiomes for food and feed. *Food Research International*, 187, 114358. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114358>
- Nayak, A., & Klüber, P. (2025). The hidden drivers: Unraveling the impact of density, moisture, and scale on *Hermetia illucens* rearing. *PLOS ONE*, 20(1), e0317049. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0317049>
- Ogello, E. O., Outa, N. O., Muthoka, M., Juma, F., & Hoinkis, J. (2025). Optimizing Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) production: Effects of substrate variation on biomass, nutritional quality, hatchability, fecundity, and frass quality. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1621034>
- Oliveira, C. G. de, Freitas, D. de A., Ribeiro, P. A. P., Teixeira, R. R. C., Silva, R. F. da, Gamarano, P. G., Araújo, R. D. de, Prado, V. G. L., Guilherme, H. de O., Paulino, R. R., & Costa, L. S. (2024). Impact of Replacing Fish Meal With Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Meal on Diet Acceptability in Juvenile Nile Tilapia: Palatability and Nutritional and Health Considerations for Dietary Preference. *Aquaculture Research*, 2024(1), 3409955. <https://doi.org/10.1155/2024/3409955>
- Parra-Pacheco, B., Aguirre-Becerra, H., Feregrino-Pérez, A. A., Chandrakasan, G., González-Lara, H., & García-Trejo, J. F. (2025). Use of Black Soldier Fly Larvae for Bioconversion of Tomato Crop Residues. *Sustainability*, 17(8), 3578. <https://doi.org/10.3390/su17083578>
- Putra, R. E., Aprilia, N. F., & Kinasih, I. (2022). Effect of Substrate and Strain on the Mortality Rate of the Early Larval Stage of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*). *Science Letters*, 16(2), 96-106. DOI: 10.24191/sl.v16i2.18436
- Rampure, S. M., Velayudhannair, K., & Radhakrishnan, D. K. (2025). Influence of fruit and vegetable waste substrates on the nutritional profile of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae and prepupa. *International Journal of Tropical Insect Science*, 45(1), 433-445. <https://doi.org/10.1007/s42690-025-01444-4>
- Ramzy, R. R., El-Dakar, M. A., Wang, D., & Ji, H. (2022). Conversion Efficiency of Lignin-Rich Olive Pomace to Produce Nutrient-Rich Insect Biomass by Black Soldier Fly Larvae, *Hermetia illucens*. *Waste and Biomass Valorization*, 13(2), 893-903. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01546-3>
- Rasdi, F. L. M., Ishak, A. R., Hua, P. W., Shaifuddin, S. N. M., Dom, N. C., Shafie, F. A., Abdullah, A. M., Kari, Z. A., & Atan, E. H. (2022). Growth and Development of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera:

- Stratiomyidae) Larvae Grown on Carbohydrate, Protein, and Fruit-Based Waste Substrates. *Malaysian Applied Biology*, 51(6), 6. <https://doi.org/10.55230/mabjournal.v51i6.2386>
- Salam, M., Shahzadi, A., Zheng, H., Alam, F., Nabi, G., Dezhi, S., Ullah, W., Ammara, S., Ali, N., & Bilal, M. (2022). Effect of different environmental conditions on the growth and development of Black Soldier Fly Larvae and its utilization in solid waste management and pollution mitigation. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102649. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102649>
- Sarker, A., Ahmmed, R., M. Ahsan, S., Rana, J., Kumar Ghosh, M., & Nandi, R. (2024). A comprehensive review of food waste valorization for the sustainable management of global food waste. *Sustainable Food Technology*, 2(1), 48-69. <https://doi.org/10.1039/D3FB00156C>
- Schreven, S. J., de Vries, H., Hermes, G. D., Zeni, G., Smidt, H., Dicke, M., & van Loon, J. J. (2022). Black Soldier Fly Larvae Influence Internal and Substrate Bacterial Community Composition Depending on Substrate Type and Larval Density. *Applied and Environmental Microbiology*, 88(10), e00084-22. <https://doi.org/10.1128/aem.00084-22>
- Siddiqui, S. A., Harahap, I. A., Osei-Owusu, J., Saikia, T., Wu, Y. S., Fernando, I., Perestrelo, R., & Câmara, J. S. (2024). Bioconversion of organic waste by insects – A comprehensive review. *Process Safety and Environmental Protection*, 187, 1-25. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.04.122>
- Singh, A., Marathe, D., & Kumari, K. (2022). Black Soldier Fly *Hermetia illucens* (L.): Ideal environmental conditions and rearing strategies. *Indian Journal of Entomology*, 1-6. <https://doi.org/10.55446/IJE.2022.164>
- Siva Raman, S., Stringer, L. C., Bruce, N. C., & Chong, C. S. (2022). Opportunities, challenges and solutions for black soldier fly larvae-based animal feed production. *Journal of Cleaner Production*, 373, 133802. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133802>
- Vale-Hagan, W., Singhal, S., Grigoletto, I., Totaro-Fila, C., Theodoridou, K., & Koidis, A. (2023). Edible insects in mixed-sourced protein meals for animal feed and food: An EU focus. *Food and Humanity*, 1, 1180-1187. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.09.011>
- Yakti, W., Müller, M., Klost, M., Mewis, I., Dannehl, D., & Ulrichs, C. (2023). Physical Properties of Substrates as a Driver for *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) Larvae Growth. *Insects*, 14(3), 3. <https://doi.org/10.3390/insects14030266>
- Zulkifli, N. F. N. M., Seok-Kian, A. Y., Seng, L. L., Mustafa, S., Kim, Y.-S., & Shapawi, R. (2022). Nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae processed by different methods. *PLOS ONE*, 17(2), e0263924. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263924>

