

ISSN 2953-7754



PERCEPCIÓN SOBRE LA BIODIVERSIDAD EN FINCAS AGROPECUARIAS EN LA ZONA SUR DE CARTAGO, COSTA RICA



Investiga.TEC es una publicación digital de carácter divulgativo de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC). Es una revista cuatrimestral, gratuita y dirigida al público en general, cuyo propósito es divulgar el aporte que el TEC hace a la sociedad costarricense en distintos campos de la ciencia, la tecnología, la investigación y la extensión.

Editora

Ileana León Boza

Comité Editorial

Andrés Robles Ramírez
Dagoberto Arias Aguilar
David Porras Alfaro
Ileana León Boza
Maribel Jiménez Montero

Contacto

Teléfono: +506 2550 9566

Correo electrónico:

revistainvestiga.tec@itcr.ac.cr

Apartado postal:

159-7050, Cartago, Costa Rica.

Diseño y Diagramación

Unidad de Publicaciones (TEC)



La fotografía de portada hace referencia al artículo que ofrecemos en la página 1, titulado “Percepción sobre la biodiversidad en fincas agropecuarias en la zona sur de Cartago, Costa Rica”.

Créditos de la imagen:

María A. Maglianesi

Presentación

En esta edición de la Revista Investiga.TEC reunimos una selección de artículos que muestran la diversidad de proyectos desarrollados en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, todos con un elemento común: aportar soluciones innovadoras y sostenibles a los desafíos actuales.

Abrimos con un estudio sobre la **percepción de la biodiversidad en fincas agropecuarias del sur de Cartago**, que revela la forma en que las personas agricultoras valoran la flora y fauna en sus actividades y cómo estas influyen en la producción agrícola.

Desde la ingeniería, compartimos el **análisis experimental de una aeronave de ala fija en túnel de viento**, un trabajo pionero en el país que combina impresión 3D, simulación digital y validación en laboratorio para optimizar el diseño de drones.

En el ámbito de la gestión organizacional, incluimos una **propuesta para estandarizar procesos en la Corporación Hortícola Nacional**, cuyos resultados evidencian mejoras sustanciales en eficiencia y reducción de errores.

En el campo educativo, presentamos el proyecto de extensión **“Profesionalización Docente en Primaria en el área de números”**, que fortaleció las competencias pedagógicas mediante talleres prácticos y materiales concretos para el aprendizaje.

También exploramos nuevas metodologías de enseñanza universitaria con un artículo sobre **escenarios de aprendizaje para evaluaciones cortas** en la carrera de ATI, que analiza el impacto de diferentes dinámicas en la motivación y desempeño estudiantil.

En materia energética, damos a conocer los avances del **Laboratorio de Investigación en Energía Eólica (LIENE)** en el diseño de una turbina adaptada a las condiciones del viento costarricense, con mejoras notables frente a modelos comerciales.

Finalmente, cerramos con el proyecto **ECOMAR**, una colaboración entre universidades nacionales e internacionales que permitió establecer la primera línea base sobre contaminantes emergentes en el Golfo de Nicoya y fortalecer prácticas sostenibles en comunidades costeras.

Les invitamos a descubrir en estas páginas cómo la investigación y la extensión generan conocimiento con impacto real en la sociedad costarricense.

Contenidos

Percepción sobre la biodiversidad en fincas agropecuarias en la zona sur de Cartago, Costa Rica.....	4
Del modelo digital al túnel de viento: análisis experimental de una aeronave de ala fija.....	11
Propuesta para análisis y estandarización de procesos: Planta de Procesamiento de la Corporación Hortícola Nacional	23
Profesionalización Docente en Primaria en el área de números. El caso de la Escuela República de Bolivia, Zona los Santos. II semestre 2024.....	34
Escenarios de aprendizaje para evaluaciones cortas	42
El LIENE avanza hacia una turbina eólica adaptada al viento de Costa Rica	48
ECOMAR: Un proyecto de investigación que unió a cuatro universidades públicas de Costa Rica y dos internacionales para solventar un objetivo en común	54

Percepción sobre la biodiversidad en fincas agropecuarias en la zona sur de Cartago, Costa Rica

Ximena Leonor González-Jiménez

Escuela de Ciencias Sociales
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ xgonzalez@estudiantec

Mariam Álvarez-Hernández

Escuela de Ciencias Sociales
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ mialvarez@itcr.ac.cr

María A. Maglianesi

Escuela de Agronomía,
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ mmaglianesi@itcr.ac.cr

Fecha de recepción: 24 de marzo del 2025 | Fecha de aprobación: 8 de agosto del 2025

Resumen

Conocer cómo las personas agricultoras perciben la biodiversidad es fundamental para promover prácticas agrícolas que respeten los ecosistemas locales. Además, entender sus realidades y necesidades permite enfocar los esfuerzos de conservación de manera efectiva y sostenible, fortaleciendo la relación entre agricultura y biodiversidad. Este estudio analiza cómo las personas agricultoras en el sur de Cartago perciben los cambios en el entorno natural y cómo estos influyen en sus actividades agrícolas. Para ello, se aplicaron entrevistas a propietarios de fincas agropecuarias en Cachí, Orosi, Ujarrás, y Paraíso. El 83.3% de los entrevistados coincidió en que los animales silvestres ofrecen beneficios a la actividad agrícola debido a que actúan en el control de plagas, la polinización y la dispersión de semillas. Mientras que el 93.3% afirmaron que también la flora es beneficiosa debido a la producción de sombra, oxígeno y frutos. El 66.7% de las personas reconoce la existencia de animales dañinos y el 53.3% que hay plantas o árboles que afectan sus actividades agrícolas. Los resultados reflejan cierta conciencia sobre el papel de la biodiversidad en la agricultura, así como el reconocimiento de los efectos negativos que prácticas como la deforestación y el uso de agroquímicos tienen sobre los ecosistemas.

Palabras clave: deforestación, impacto ambiental, prácticas sostenibles, servicios ecosistémicos, vida silvestre

Abstract

Understanding how farmers perceive biodiversity is essential for promoting agricultural practices that respect local ecosystems. Furthermore, understanding their realities and needs allows for effective and sustainable conservation efforts, strengthening the relationship between agriculture and biodiversity. This study analyzes how farmers in southern Cartago perceive changes in the natural environment and how these influence their agricultural activities. To this end, interviews were conducted with farm owners in Cachí, Orosi, Ujarrás, and Paraíso. Of those interviewed, 83.3% agreed that wild animals provide benefits to agricultural activities through their role in pest control, pollination, and seed dispersal. Meanwhile, 93.3% stated that flora is also beneficial due to the production of shade, oxygen, and fruit. In contrast, 66.7% of people acknowledged the presence of harmful animals, and 53.3% noted that certain plants or trees negatively affect their agricultural activities. These results reflect a certain awareness of the role of biodiversity in agriculture, as well as recognition of the negative effects that practices such as deforestation and the use of agrochemicals have on ecosystems.

Key words: deforestation, ecosystem services, environmental impact, sustainable practices, wildlife

Introducción

La biodiversidad juega un papel crucial en el funcionamiento de los ecosistemas, proporcionando servicios esenciales como la dispersión de semillas, la polinización, el control biológico de plagas y la regulación del clima. Sin embargo, las actividades humanas, incluida la agricultura, han sido responsables de la degradación de hábitats y la pérdida de biodiversidad [1]. En regiones rurales como la zona sur de Cartago, donde la agricultura es una actividad económica predominante, la relación entre las personas agricultoras y la biodiversidad es clave para la sostenibilidad de los sistemas agroproductivos.



Figura 1. Área donde se realizó el estudio, mostrando un paisaje agrícola en el área de Ujarrás, Cartago. Foto: María A. Magliaresi.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas [2], la biodiversidad representa la amplia gama de formas de vida en el planeta y los patrones naturales que crean. Lo que conocemos como biodiversidad hoy en día es el producto de 4.5 mil millones de años de evolución, además de la creciente influencia humana. Esta biodiversidad consiste en una red de vida, de la que los seres humanos son una parte esencial y de la que dependen tanto las personas como el propio planeta.

El Informe Mundial sobre el Estado de la Biodiversidad para la Alimentación y la Agricultura [3], resalta la importancia crítica de la biodiversidad para la seguridad alimentaria y la agricultura. A pesar de su valor fundamental, la biodiversidad en el sector agropecuario está disminuyendo debido a múltiples factores interrelacionados que la afectan negativamente. Aunque se está viendo un aumento en el uso de prácticas agrícolas que respetan la biodiversidad, todavía no existen marcos adecuados para asegurar su conservación y uso sostenible. A pesar de los esfuerzos positivos en algunas áreas, es esencial desarrollar y fortalecer políticas y estrategias para proteger y promover la biodiversidad en la agricultura de manera efectiva.

La percepción que las personas agricultoras tienen sobre la biodiversidad influye directamente en las decisiones que toman respecto a la adopción de prácticas de conservación. El objetivo de este estudio es analizar de qué manera las personas agricultoras del sur de Cartago perciben la biodiversidad, con el fin de comprender su influencia en la adopción de prácticas de conservación dentro de los sistemas agro productivos. Este estudio es parte del proyecto de extensión "Programa Participativo de Restauración Ecológica en la zona sur de Cartago", financiado con fondos de la Ley de Cemento (Fig. 1).

Materiales y métodos

El estudio se realizó en una población de 30 personas dedicadas a la agricultura en la zona de Paraíso, Cartago, Costa Rica, específicamente en los distritos de Paraíso, Orosi, Cachí y la localidad de Ujarrás (Fig. 1). Los participantes fueron seleccionados mediante un muestreo intencional, eligiendo personas agricultoras o cuyo trabajo esté relacionado con esta actividad. Se emplearon encuestas estructuradas con preguntas cerradas y abiertas diseñadas para explorar aspectos clave de sus prácticas agrícolas y la percepción de las especies de flora y fauna que puedan habitar en sus terrenos o lugares de trabajo. Las encuestas fueron realizadas en visitas a las fincas mediante formulario virtual en Google Forms, entre junio y septiembre de 2024, complementadas con observaciones sobre el entorno y las técnicas agrícolas utilizadas.

El perfil de la muestra entrevistada son personas que trabajan en agricultura en la zona sur de Cartago. La mayoría de los participantes fueron hombres 73.3%. En cuanto a la edad, el 36.7% del total de las personas entrevistadas tiene 55 años o más, lo que sugiere que muchos de los entrevistados poseen amplia experiencia y han vivido los cambios ambientales a lo largo de las décadas (Fig. 2). Por otro lado, el grupo de edad entre 26 y 45 años constituye un 46.6%, lo que representa una población en edad productiva y adaptada a las nuevas exigencias del entorno agrícola. El 13.3% de los agricultores tiene entre 46 y 55 años, mientras que los más jóvenes, entre 18 y 25 años, representan solo el 3.3% (Fig. 2). Esta población refleja la diversidad en el manejo de las parcelas y la adaptación a nuevas prácticas agrícolas, lo cual influye en la percepción de la biodiversidad.

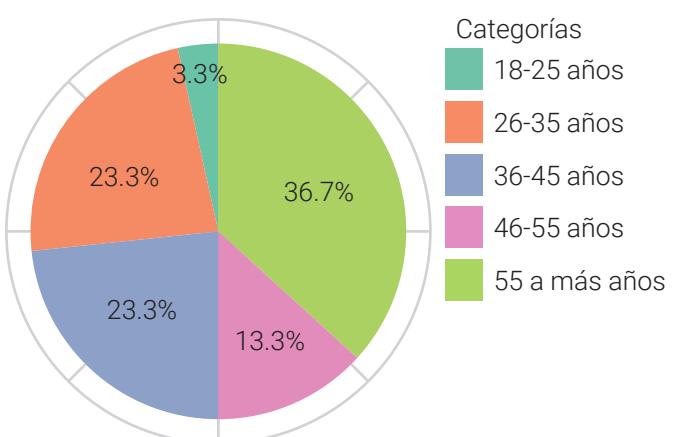


Figura 2. Distribución etaria de todas las personas entrevistadas. Fuente: propia, 2025.

Resultados

El 50% de las personas entrevistadas cultivan en parcelas ubicadas en sus propias casas de habitación, lo que sugiere un modelo de agricultura a pequeña escala, enfocado en el autoconsumo o producción limitada, también para comercializar sus hortalizas en las Ferias del Agricultor que se realizan semanalmente en diversos distritos del cantón de Paraíso. El otro 50% tiene fincas dedicadas a la agricultura, lo que indica un enfoque más productivo o comercial, con mayor extensión de tierra. Esta dualidad refleja la coexistencia de dos tipos de producción agrícola en la región: el cultivo doméstico y la producción más extensiva en fincas.

Las personas agricultoras lograron identificar una variedad de especies de flora y fauna que pueden encontrar ocasional o cotidianamente en sus fincas, lo que sugiere una relación estrecha entre la vida agro y el entorno natural. Muchos mencionan la presencia de aves, como chachalacas, tucanes y yigüirros, que no sólo son apreciadas por su belleza y canto, sino que también desempeñan un papel crucial en la polinización y control de plagas (Figura 3). Además, se identifican mamíferos como zorros pelones, pizotes y tepezcuintles, así como una variedad de reptiles, incluidos serpientes y lagartijas, que indican un ecosistema activo y diverso. De igual forma, la mención de árboles frutales, como guayabas y naranjas, sugiere que los agricultores están integrando la producción agrícola con la conservación de la flora local, aunque algunos expresan preocupación por la reducción de la diversidad en sus parcelas. Estas respuestas manifiestan una conexión consciente entre los agricultores y la biodiversidad de sus tierras.

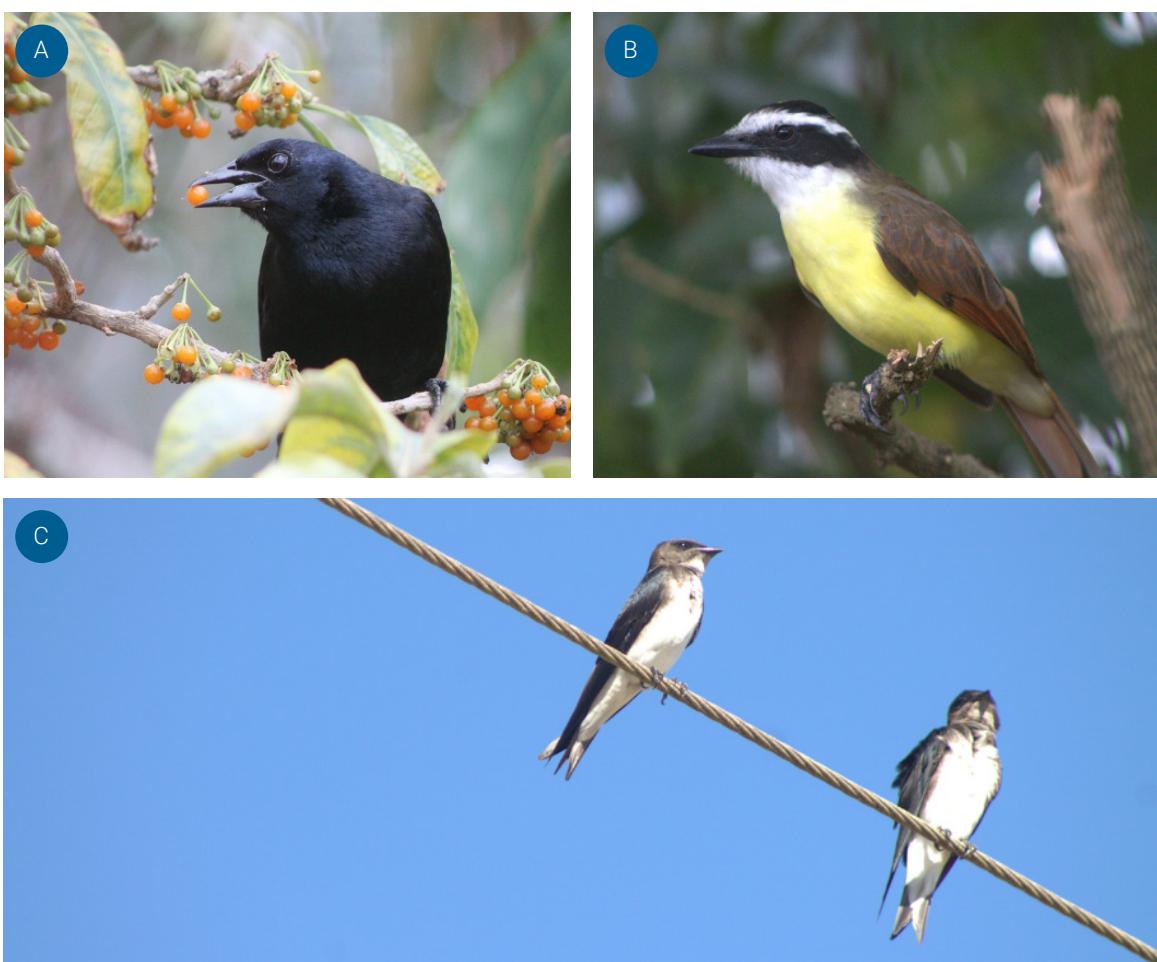


Figura 3. Especies de aves comunes en fincas agropecuarias que desempeñan funciones ecológicas esenciales, como la dispersión de semillas (A) y la regulación de poblaciones de insectos (B y C). Fotos: María A. Maglianesi.

El 83.3% de los entrevistados indicaron que los animales silvestres ofrecen beneficios a la actividad agrícola debido a que actúan en el control de plagas, la polinización y la dispersión de semillas. Los agricultores señalaron que especies como aves y ciertos insectos, contribuyen a mantener la salud de sus cultivos. Un ejemplo que brindaron es que en la zona de Ujarrás en ciertas temporadas prolifera una especie de caracol (*Succinea spp.*), la cual ocasiona daño especialmente en las plantaciones de chayote. El Gavilán Piquiganchudo (*Chondrohierax uncinatus*) actúa como principal controlador de esta plaga en las plantaciones de chayote. Las personas locales también mencionaron la importancia de la fauna para que exista un equilibrio en los ecosistemas que contribuya a mantener un entorno saludable para la producción agrícola y la salud humana en general.

En cuanto a la flora, el 93.3% de las personas entrevistadas afirmaron que también es beneficiosa para las personas debido a la producción de sombra, oxígeno y frutos. Además, mencionaron el valor medicinal de ciertas plantas, el impacto positivo de los árboles en el clima y el suelo, y su función ornamental. Algunos destacaron que las plantas contribuyen a mantener el suelo fresco, lo que es fundamental para la producción agrícola y para evitar la erosión en el suelo.

El 66.7% de las personas reconoce la existencia de animales dañinos, entre ellos, las plagas agrícolas como ciertos insectos que afectan los cultivos al alimentarse de raíces y hojas. Además, ciertas aves y mamíferos, como pizotes y mapachines, suelen causar estragos en los cultivos y animales de granja, comiéndose frutas, huevos y atacando a gallinas. Sin embargo, reconocen que algunos animales, aunque peligrosos o dañinos, forman parte del ciclo de vida natural y cumplen una función en el ambiente. Especies como las serpientes, si bien representan un riesgo para las personas, fueron vistas como parte inevitable del entorno rural en el que viven y trabajan. Otros señalaron que los daños causados por animales son resultado de la interacción entre estos y el ser humano. En este sentido, varios agricultores destacaron la importancia de aprender a convivir con estas especies, aceptando que forman parte del equilibrio natural de la vida en el campo, y que no se debe recurrir a eliminarlos.

El 53.3% de los agricultores indicó que hay plantas o árboles que afectan sus actividades agrícolas, como la maleza que suele competir con los cultivos al absorber nutrientes y agua, además de atraer animales que pueden ser peligrosos, como serpientes. También se mencionaron plantas específicas, como el árbol "revienta caballo" (*Melia azedarach*), que representa un riesgo para los animales, "el bejuco" (*Mikania micrantha*) o el "zacate estrella" (*Paspalum notatum*) que crecen de manera descontrolada, extendiéndose rápidamente por toda la finca y dificultando el manejo de los cultivos. Aunque estas plantas no siempre causan un daño directo, los agricultores afirman que deben dedicar tiempo y esfuerzo en su control, lo que afecta la productividad.

El 100% de las personas entrevistadas coincidieron en que las actividades humanas afectan a la fauna silvestre, señalando diversas prácticas que contribuyen a esta problemática, como la deforestación, especialmente para la creación de potreros para ganadería y cultivos. La deforestación es considerada una de las principales causas, ya que elimina hábitats y reduce los espacios naturales para los animales. El uso de agroquímicos como el Gramoxone 24, también fue ampliamente señalado como dañino, tanto para la fauna como para las personas que trabajan en el campo y por la contaminación del agua.

El 80% de los agricultores consideran que las actividades humanas afectan la flora, entre estas, la tala de árboles fue señalada como una práctica que no solo destruye la vegetación, sino que también aumenta la temperatura ambiental y afecta el ecosistema en general. El uso de plaguicidas, insecticidas y herbicidas fue identificado como otro factor clave y recurrente que daña tanto a las plantas "malas" como a las "buenas", afectando el crecimiento de cultivos y plantas nativas, además de tener efectos colaterales en la biodiversidad. En contraste, el 20% de los entrevistados no percibe efectos negativos significativos en la flora de sus fincas, en parte debido al tamaño reducido de sus parcelas o porque implementan prácticas de cuidado, como la reforestación y el mantenimiento de vegetación nativa.

Discusión

Este estudio muestra que los agricultores de la zona sur de Cartago tienen una conciencia significativa sobre el impacto de sus actividades en la biodiversidad, reconociendo los beneficios que la fauna y flora aportan a la agricultura, como el control de plagas, la polinización y la protección del suelo. El 83.3% destacó los beneficios de la fauna, mientras que el 93.3% valoró la flora por su aporte en alimentos, sombra y mejora del suelo. Sin embargo, el 80% de los entrevistados también señaló que la deforestación y el uso de agroquímicos están afectando negativamente los ecosistemas.

Con el paso del tiempo se han venido percibiendo cambios considerables en cuanto al entorno en que se desarrollan las actividades agrícolas, incluyendo impactos sobre especies de flora y fauna. Según el Informe Planeta Vivo del año 2020 realizado por World Wildlife Fund [4], en la región latinoamericana ha ocurrido una disminución en la población de especies de flora y fauna de un 94%, esta realidad se ve reflejada en la vida cotidiana en las zonas rurales de la zona sur de Cartago, donde los agricultores coinciden en que han observado una disminución en la población de animales, particularmente aves y ciertos insectos, lo que sugiere un deterioro en la diversidad biológica de sus fincas. Este fenómeno lo atribuyen, en gran medida, a la deforestación y el uso de pesticidas en fincas cercanas.

En un estudio realizado en Esparza [5], Costa Rica, se aborda la percepción de los ganaderos sobre los beneficios de los servicios ecosistémicos y la importancia de los sistemas silvopastoriles en la ganadería. Entre estos beneficios, se identificaron la provisión de sombra y forraje, la protección de suelos y agua, y la conservación de la biodiversidad. A su vez, un estudio realizado en Guanacaste, destaca la función de elementos del paisaje, principalmente cercas vivas, que actúan como corredores para las aves silvestres aumentando la conectividad en los paisajes rurales, lo que las convierte en una herramienta fundamental para la conservación de las aves [6]. En diversas regiones de Costa Rica se promueven incentivos, como los pagos por servicios ambientales, para motivar la integración de prácticas sostenibles en paisajes dominados por actividades productivas. Sin embargo, a pesar de estas iniciativas, aún persisten prácticas que dañan la biodiversidad, especialmente entre los agricultores con fincas extensas para la producción comercial de exportación [7].

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, se sugiere la adopción de prácticas agroecológicas que minimicen el impacto de las actividades agrícolas en los ecosistemas, tales como la rotación de cultivos, el uso de fertilizantes orgánicos y la implementación de agroforestería. Estas prácticas contribuirían a mejorar la biodiversidad, la salud del suelo y la sostenibilidad a largo plazo [8]. Además, se recomienda fomentar el control biológico de plagas mediante la preservación de especies que actúan como controladores naturales, y promover la reducción del uso de pesticidas, lo que podría ser acompañado de programas de capacitación y apoyo técnico a las personas agricultoras. Otra acción clave es la reforestación y la conservación de áreas naturales dentro de las fincas, creando corredores biológicos que permitan la preservación de la fauna local y mejoren las condiciones del suelo.

Agradecimiento

A las personas entrevistadas que estuvieron anuentes a colaborar con el estudio, cuya disposición y conocimientos fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Bibliografía

- [1] D. Tilman, F. Forest, y L. Cowles, "Biodiversity and Ecosystem Functioning," *The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, vol. 45, pp. 471-493, 2014. [En línea]. Disponible: https://web.archive.org/web/20160331114838id_/http://sustainingnature.org/wp-content/uploads/2015/12/Tilman_eta2014AREES.pdf.
- [2] United Nations, "UNEP and Biodiversity," *Environment Programme*, 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.unep.org/unep-and-biodiversity>.
- [3] FAO, *The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture*, FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments, 2019. [En línea]. Disponible: <http://www.fao.org/3/CA3129EN/CA3129EN.pdf>.
- [4] WWF, *Informe Planeta Vivo 2020: Revertir la curva de la pérdida de biodiversidad*, Resumen, 2020. [En línea]. Disponible: https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/ipv_2020_resumen_1.pdf.
- [5] C. Rizo-Chavarría, C. Cascante-Carvajal, A. Imbach-Hermida y D. Tobar-López, "Percepción de productores ganaderos sobre la provisión de servicios ecosistémicos en la actividad ganadera, Esparza, Costa Rica," *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 19, no. 45, pp. 38-46, 2022. [En línea]. Disponible: <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/6324/6085>.
- [6] Magliañesi, M. A. 2021. Live fences have greater diversity of bird assemblages than gallery forests in human-modified ecosystems. *Ornitología Neotropical* 32, 68-74. <https://www.neotropicalbirdclub.org/table-of-contents-of-nb32/>
- [7] Wilson, M. C., & Chen, X.-Y. (2020). The effects of agricultural intensification on biodiversity and ecosystem services: A meta-analysis. *Ecology Letters*, 23(4), 676-686. <https://doi.org/10.1111/ele.13462>
- [8] Raveloaritiana, E., & Wanger, T. C. (2024). Decades matter: Agricultural diversification increases financial profitability, biodiversity, and ecosystem services over time. *Ecology Letters*, 27(3), 456-468. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.05599>

Sobre los autores

Ximena Leonor González-Jiménez

Gestora de Turismo sostenible del TEC, Diplomado en Turismo del Colegio Universitario de Cartago.

Mariam Álvarez-Hernández

Filósofa (Universidad de Costa Rica) y Doctora en Ciencias de la Educación en la Universidad Católica de Costa Rica. Labora en la Escuela de Ciencias Sociales del TEC, como docente adjunta, investigadora y extensionista. <https://orcid.org/0000-0002-6897-0404>

Maria A. Magliañesi

Bióloga (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina) con una maestría en Manejo y Conservación de Vida Silvestre (Universidad Nacional, Costa Rica) y un doctorado en Recursos Naturales (Universidad de Goethe, Alemania). Catedrática de la Universidad Estatal a Distancia. Docente, investigadora y extensionista, Escuela de Agronomía del TEC. <https://orcid.org/0000-0002-4053-6956>

Del modelo digital al túnel de viento: análisis experimental de una aeronave de ala fija

Leonardo David Capponi-Pinto

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ lcapponi@outlook.com

Javier López-Solís

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

Fabricio Coto-Vilchez

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

Fecha de recepción: 4 de abril del 2025 | Fecha de aprobación: 13 de agosto del 2025

Resumen

Este artículo presenta los resultados del proyecto de investigación estudiantil titulado “Análisis de sustentación, resistencia y empuje aerodinámico de una aeronave no tripulada de ala fija pequeña en el túnel de viento de la Universidad de Costa Rica”, inscrito en la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica. La investigación se centró en una aeronave no tripulada de ala fija diseñado en Costa Rica, con el objetivo de comparar resultados teóricos, obtenidos mediante simulaciones por computadora, con datos experimentales medidos en un túnel de viento. Para ello, se fabricó un modelo a escala utilizando impresión 3D y se sometió a pruebas para analizar tres fuerzas clave: sustentación, resistencia aerodinámica y empuje. Esta comparación permitió validar el desempeño de la aeronave antes de construirla a escala real. Además, se evaluaron distintas configuraciones de hélice, y se encontró que las de tres palas ofrecieron mejor rendimiento. El estudio marca un avance pionero en la validación experimental de drones en Costa Rica y resalta el valor del uso de túneles de viento para optimizar su diseño y desempeño.

Palabras clave: Dron, aeronave no tripulada, túnel de viento, sustentación, resistencia, empuje, simulación, validación experimental, impresión 3D, diseño aerodinámico.

Abstract

This article presents the results of the student research project titled “*Analysis of lift, drag, and thrust of a small, fixed wing unmanned aerial vehicle in the wind tunnel of the University of Costa Rica*”, registered with the Vice-Rectory for Research and Outreach of the Costa Rica Institute of Technology. The research focused on a fixed-wing unmanned aerial vehicle (UAV) designed in Costa Rica, with the objective of comparing theoretical results—obtained through computer simulations—with experimental data measured in a wind tunnel. To achieve this, a scaled model was fabricated using 3D printing and tested

to analyze three key aerodynamic forces: lift, drag, and thrust. This comparison allowed for performance validation of the UAV prior to constructing it at full scale. Additionally, various propeller configurations were evaluated, and it was found that three-blade propellers delivered better performance. The study represents a pioneering step in the experimental validation of drones in Costa Rica and highlights the value of wind tunnel testing to optimize their design and performance.

Keywords: Drone, unmanned aerial vehicle, wind tunnel, lift, drag, thrust, simulation, experimental validation, 3D printing, aerodynamic design.

Introducción

Históricamente, Costa Rica ha dependido de la importación de tecnología aeronáutica. No obstante, el impulso de certificaciones como AS9100 ha permitido que empresas nacionales se integren en la manufactura global de componentes aeroespaciales [1]. Paralelamente, avances en diseño digital, impresión 3D y laboratorios de simulación han fortalecido un ecosistema tecnológico que combina capacidades en software embebido, IoT y manufactura aditiva [2] [3]. Hoy, investigadores tienen nuevas herramientas para crear y probar sus propios prototipos, tal como se muestra en este proyecto.

Un equipo de investigadores del Instituto Tecnológico de Costa Rica comparó simulaciones por computadora con pruebas reales en un túnel de viento (Figura 1. Proceso de toma de datos para validación experimental, llevado a cabo por los investigadores, en el túnel de viento de las instalaciones de la Universidad de Costa Rica.

Fuente: Laboratorio de Transferencia de Calor de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica.). La aeronave no tripulada de ala fija, previamente diseñada por Leonardo Capponi como parte de su proyecto de graduación [4], fue el centro del estudio de este trabajo, enfocado en tres fuerzas clave del vuelo: sustentación, resistencia aerodinámica y empuje.



Figura 1. Proceso de toma de datos para validación experimental, llevado a cabo por los investigadores, en el túnel de viento de las instalaciones de la Universidad de Costa Rica.

Fuente: Laboratorio de Transferencia de Calor de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica.

Este proyecto es una de las primeras iniciativas formales en el país que, valida el diseño teórico de una aeronave (Fig.2) mediante análisis en túnel de viento, marcando un paso importante hacia el desarrollo de talento local en ingeniería aeroespacial.



Figura 2. Configuración de estudio de la aeronave.

Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo de la aeronave

La sustentación, la resistencia y el empuje son tres fuerzas fundamentales que determinan si una aeronave puede volar de forma eficiente [5]. En esta investigación, se propuso comprender cómo actúan estas fuerzas en una aeronave no tripulada de ala fija diseñada localmente (Figs 3 y 4). y evaluar si los cálculos obtenidos por simulación computacional coincidían con los datos reales medidos en laboratorio. [6]

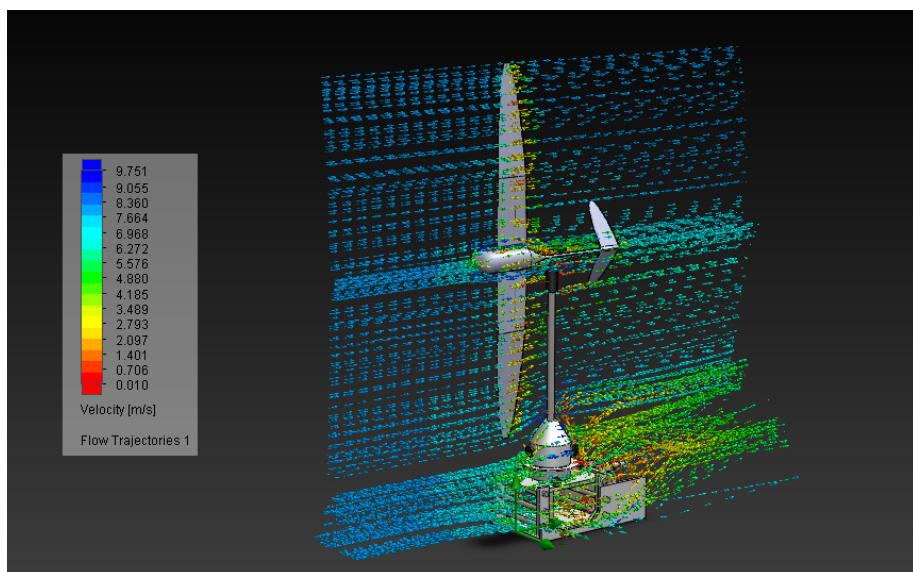


Figura 3. Visualización de velocidad del flujo.

Fuente: Elaboración propia por medio de SolidWorks Flow Simulation.

Para ello, se emplearon dos programas especializados de simulación aerodinámica: SolidWorks Flow Simulation y Flow5. Estos softwares permiten observar cómo se comporta el aire al moverse alrededor del avión, estimando así las fuerzas generadas sobre sus alas, estabilizadores y fuselaje, bajo diferentes condiciones de vuelo [7], [8].

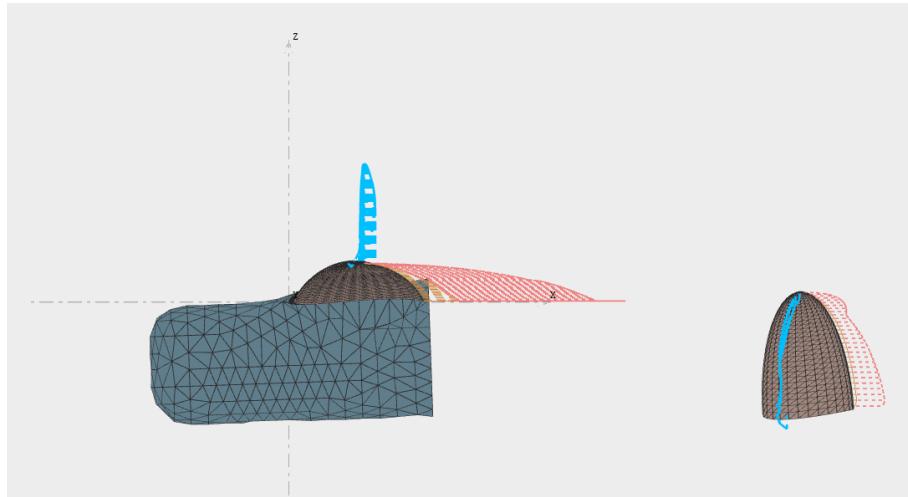


Figura 4. Visualización de fuerzas de sustentación y resistencia.

Fuente: Elaboración propia por medio de Flow5.

Estas simulaciones se realizaron en condiciones controladas, variando el ángulo de ataque y la velocidad, con el objetivo de predecir el comportamiento del modelo en vuelo. La simulación fue clave para optimizar el diseño antes de fabricar el modelo físico. En particular, se utilizaron modelos de flujo estacionario, comparando fuerzas netas de sustentación (Fig. 4) y resistencia con datos teóricos [9].

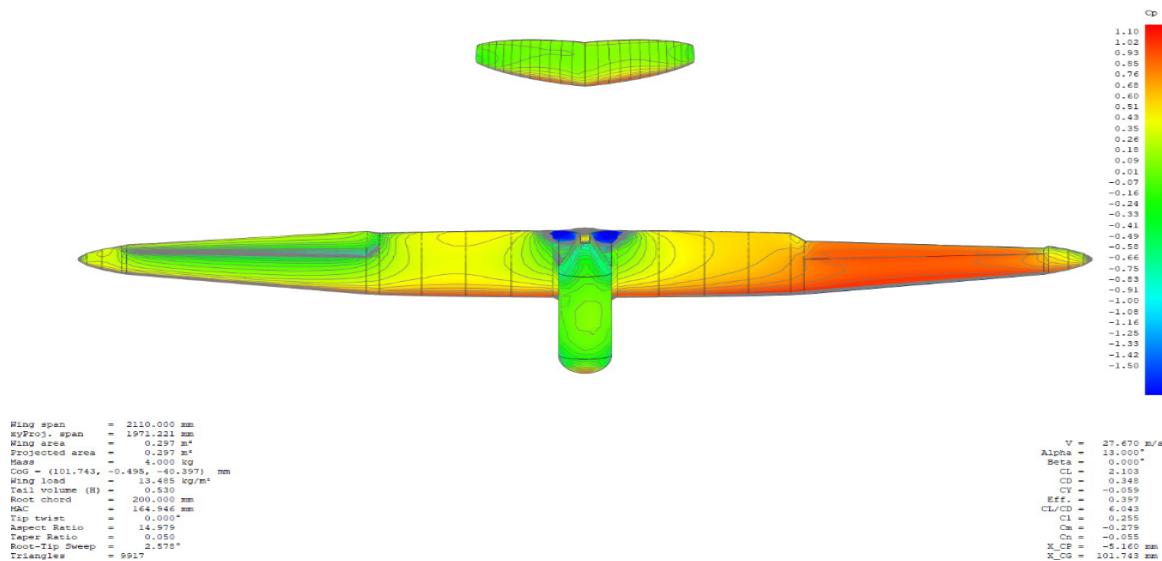


Figura 5. Visualización de resultantes de fuerzas sobre la superficie de la aeronave.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenidos los resultados teóricos, se construyó un modelo físico a escala 1:3 utilizando impresión 3D, permitiendo replicar el diseño con precisión (Fig. 6). Las piezas fueron impresas por secciones, ensambladas y reforzadas para resistir las pruebas experimentales. Esta metodología es respaldada por estudios recientes que demuestran la viabilidad de usar modelos impresos en pruebas aerodinámicas [10].

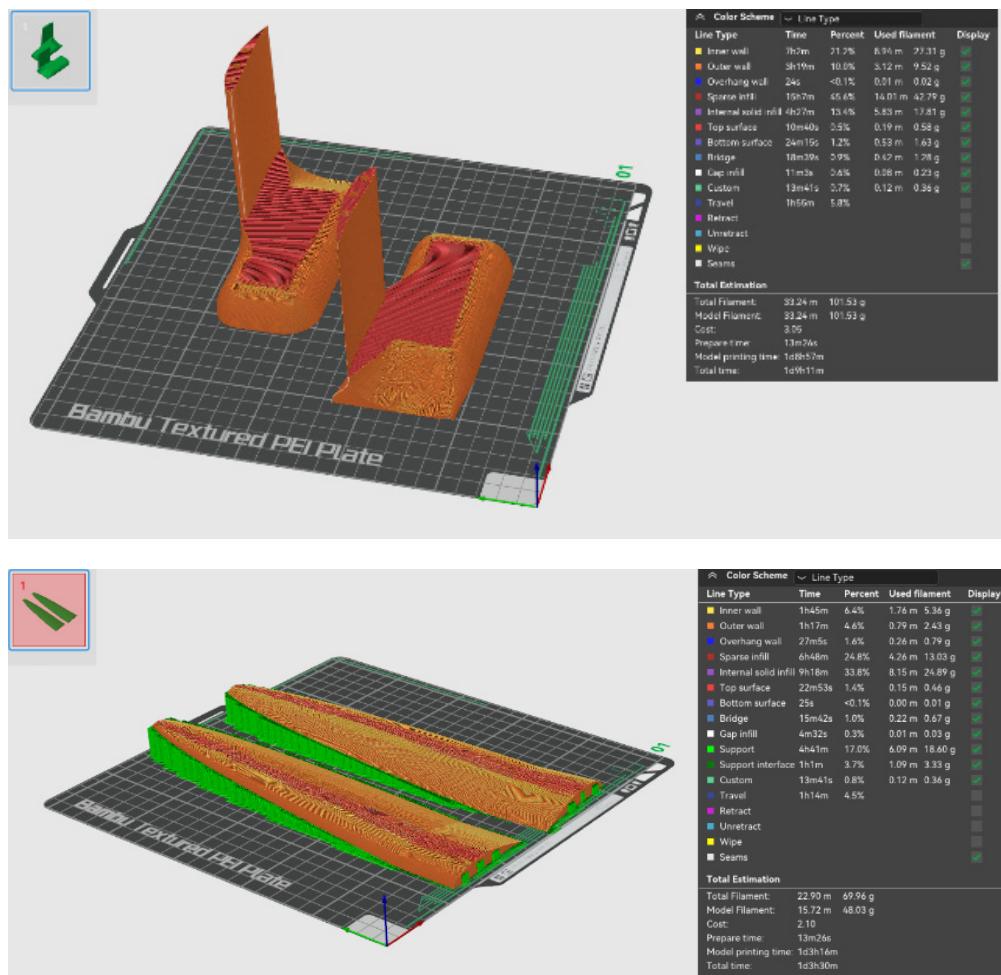


Figura 6. Preparación para impresión 3D de las piezas del modelo a escala

Fuente: Elaboración propia

La fase de ensamblaje se realizó con lijado, masilla y pintura aplicados previamente, para minimizar imperfecciones que pudieran afectar la aerodinámica. También se instalaron puntos de fijación para su montaje en el túnel de viento (Fig. 7).

Listo el modelo, se llevó al túnel de viento de la Universidad de Costa Rica, donde se realizaron las pruebas experimentales (Figs. 8 y 9). Este túnel permitió recrear condiciones reales de vuelo sin tener que elevar físicamente la aeronave. La infraestructura fue desarrollada para uso académico y tiene registros anteriores de pruebas similares, elaboradas por el Laboratorio de Investigación en Energía Eólica (LIENE) del Instituto Tecnológico de Costa Rica el cual es dirigido por el investigador Dr. Gustavo Richmond Navarro. [11] [12]



Figura 7. Modelo físico de la aeronave a escala.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 8. Montaje del modelo dentro del túnel de viento en el Laboratorio de Transferencia de Calor de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica.



Figura 9. Ajuste de la balanza durante el experimento

Durante las pruebas se modificaron variables como la velocidad del flujo y el ángulo de ataque, obteniendo así curvas experimentales de sustentación y resistencia. Estos datos fueron luego comparados con los obtenidos por simulación, verificando si el comportamiento real seguía las predicciones (Fig. 10).

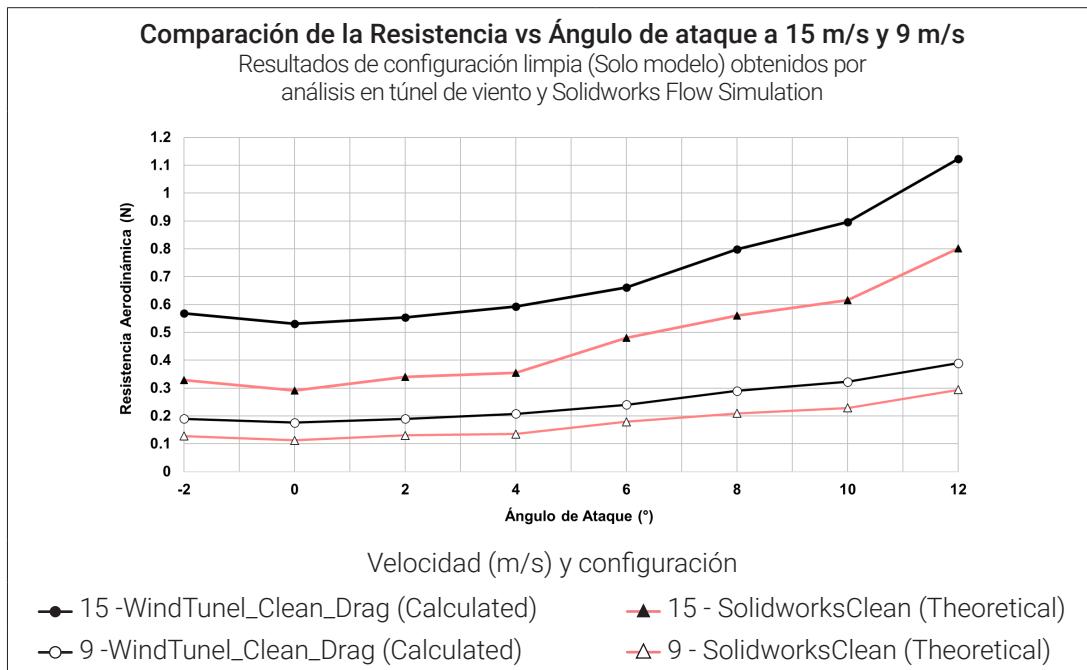


Figura 10. Comparación de resistencia vs ángulo de ataque a 15m/s y 9m/s de los resultados de configuración limpia obtenidos por análisis en túnel de viento y SolidWorks Flow Simulation.

Fuente: Elaboración propia.

Para cuantificar la similitud entre los datos teóricos y experimentales, se utilizó la diferencia relativa simétrica (RPD), una fórmula estadística recomendada en validaciones técnicas por su neutralidad. Este método evidenció una buena concordancia en la mayoría de los casos, confirmando que las simulaciones fueron confiables para predecir el comportamiento real del modelo (Fig.11) (Cuadro 1).

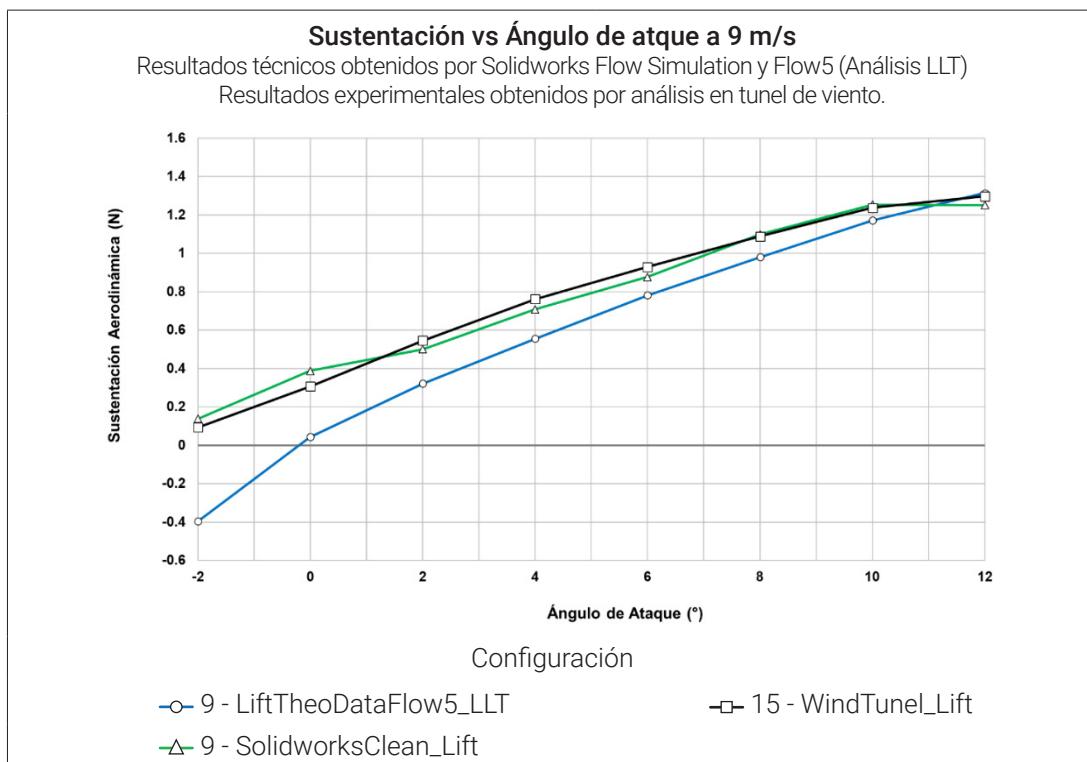


Figura 11. Comparación de Sustentación vs Ángulo de ataque a 9 m/s de resultados teóricos y experimentales.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 1. Resumen de diferencias relativas promedio para las comparaciones de sustentación vs ángulo de ataque a diferentes velocidades.

Velocidad	Método Comparado	Diferencia Relativa Promedio	Observaciones
9 m/s	SolidWorks Flow Simulation	11%	Buena concordancia con datos experimentales.
	Flow5 (LLT)	21%	Mayor diferencia relativa, especialmente a -2° y 0° de ángulo de ataque.
15 m/s	SolidWorks Flow Simulation	11%	Tendencia muy similar a la experimental.
	Flow5 (LLT)	21%	Diferencia relativa disminuye conforme aumenta el ángulo de ataque.

Fuente: Elaboración propia.

Además del análisis de sustentación, se realizaron ensayos al sistema moto propulsor, midiendo el empuje generado por el motor eléctrico utilizando hélices tres palas (Fig. 12). Comparando los resultados experimentales con teóricos conocidos de hélices de dos palas.



Figura 12. Montaje Balanza-Motor-Hélice para pruebas de empuje dentro del túnel.

Fuente: Laboratorio de Transferencia de Calor de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica.

Para la aplicación y configuración propuesta, las hélices de tres palas superaron las expectativas en empuje dinámico [13]. En la comparación de empuje para diferentes propelas (fig.13) se observa cómo la propela se aproxima más al empuje requerido, para las velocidades más altas del viento, en comparación con las demás. La toma de datos se hizo por medio de dos investigadores, con la configuración mostrada (fig.14), de forma que se pudiera proceder con el cambio de propelas, cambio de velocidad en el túnel y toma de datos para la obtención de la información deseada

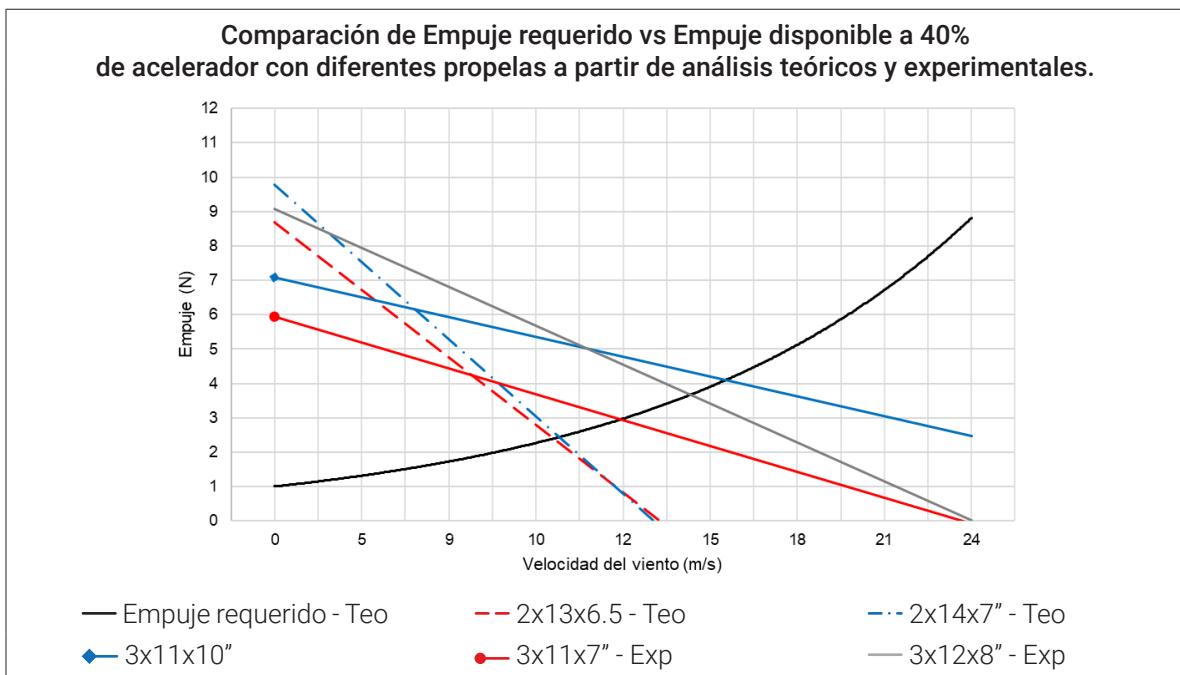


Figura 13. Comparación de empuje requerido vs empuje disponible a 40% de acelerador con diferentes propelas a partir de análisis teóricos y experimentales.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 14. Toma de datos de empuje en el túnel de viento.

Fuente: Laboratorio de Transferencia de Calor de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica.

Durante el proceso surgieron varios retos. La balanza original del túnel presentó discrepancias, por lo que se requirió adaptar una solución alternativa con apoyo del Laboratorio de Energía del TEC. Sin duda, este tipo de experiencias demuestra cómo la colaboración entre instituciones y departamentos fortalece la investigación aplicada.

Además de los resultados técnicos, el proyecto dejó como legado una metodología experimental para validar diseños aeronáuticos en el país. También permitió el desarrollo de habilidades prácticas en diseño, manufactura, simulación, análisis de datos y resolución de problemas técnicos.

Este estudio marca un paso importante en el desarrollo de capacidades nacionales para la ingeniería aeronáutica. Más allá de evaluar un modelo específico, el proyecto demostró que es posible realizar investigación experimental aeroespacial desde entornos universitarios, combinando talento local, infraestructura local y pasión por la ciencia.

Conclusión

La investigación demostró que las simulaciones computacionales pueden predecir con bastante precisión el comportamiento real de una aeronave de ala fija, siempre que se validen con pruebas físicas. Además, mostró que el túnel de viento es una herramienta valiosa para el desarrollo aeronáutico en el país.

El uso de herramientas accesibles como la impresión 3D y software especializado, permite que los ingenieros realicen investigaciones de alto nivel con recursos limitados. Este enfoque promueve una formación práctica y robusta en ingeniería aplicada.

A futuro, se espera que esta metodología sea replicada por otros proyectos, extendiendo su uso a diferentes tipos de aeronaves y condiciones operativas. Así se fortalece la capacidad local para diseñar, evaluar y optimizar aeronaves desde sus primeras etapas.

Este proyecto representa un avance para Costa Rica en materia de ingeniería aeroespacial, al ser uno de los primeros estudios experimentales de este tipo realizados en el país. Además, contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 7, 9 y 13 [14], al promover tecnologías limpias con propulsión 100% eléctrica.

Agradecimientos especiales

Los autores desean expresar su especial agradecimiento a los profesores asesores que hicieron posible esta investigación:

Dr. Gustavo Richmond Navarro

Escuela de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico de Costa Rica

<https://orcid.org/0000-0001-5147-5952>

Profesor e investigador en el área de energía eólica, integrante de la iniciativa LIENE. Obtuvo en 2014 el título de Máster en Ciencias de la Ingeniería Mecánica en la Universidad de Chile. Sus intereses se centran en la simulación numérica y las energías renovables. Ha presentado ponencias en congresos de ingeniería en Costa Rica, Chile y Emiratos Árabes Unidos, y ha publicado en revistas científicas, entre ellas *IEEE Transactions on Sustainable Energy*. Actualmente cursa estudios de doctorado en ingeniería.

M.Sc. Víctor Julio Hernández González

Escuela de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico de Costa Rica

<https://orcid.org/0009-0006-2841-7360>

Profesor e investigador del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Es Ingeniero Mecánico Aeronáutico, egresado del Instituto de Kiev de los Ingenieros de Aviación Civil (KIIGA), y cuenta con una maestría en ingeniería con especialidad en Explotación Técnica de Aviones y Motores. Es fundador y coordinador del Programa AeronauTEC, vicepresidente del Comité Técnico Nacional Aeroespacial, miembro de la Comisión Paritaria Aeroespacial del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, y miembro de la Junta Directiva del Costa Rica Aerospace Cluster.

Referencias

- [1] Tecnológico de Costa Rica, «Sector aeroespacial espera crecer y consolidarse como pilar del desarrollo del país,» 19 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.tec.ac.cr/sector-aeroespacial-espera-crecer-consolidarse-pilar-desarrollo-pais?utm.com>.
- [2] Costa Rica Aerospace Cluster, «Why Costa Rica? Stability, innovation and a proven international competitiveness provide the right climate for success,» 2025. [En línea]. Available: <https://costaricaaerospace.com/costa-rica/?utm.com>.
- [3] CINDE, «Tecnología Exponencial,» 2025. [En línea]. Available: <https://www.cinde.org/es/tecnologias/impresion-3d?utm.com>.
- [4] L. D. Capponi Pinto, Diseño de una aeronave no tripulada de ala fija para vigilancia, Cartago: documento interno, 2023.
- [5] Science Learning Hub Pokapū Akoranga Pūtaiao, 13 Setiembre 2011. [En línea]. Available: <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/299-principles-of-flight>.
- [6] P. a. G. T. Fahlstrom, Introduction to UAV Systems, Wiley, 2012.
- [7] Dassault Systems, «Conceptos básicos del análisis,» 2021. [En línea]. Available: <https://pdf.scientificdirectassets.com/308315/1-s2.0-S2352146520X0010X/1-s2.0-S2352146520308668/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2IuX2VjEDUaCXVzLWVhc3QtMSJGMEQCIDD1o%2FM4R1QxYQqdoMFpSzIxUWiKaCDev7ydVScRV2fIAiB52woOBJOy7CIsIwPhoITjPlqURtd5Os%2Bulv%2ByFN>.
- [8] A. Deperrois, «Triangle-based Galerkin panel methods,» Flow5, 2019.
- [9] C. De Castro, Dinámica básica de aviones para ingenieros - Con un ejemplo de diseño conceptual, 2014.

- [10] K. Szwedziak, T. Łusiak, R. Bąbel, P. Winiarski, S. Podśdek, P. Doležal y G. Niedbała, «Wind Tunnel Experiments on an Aircraft Model Fabricated Using a 3D Printing Technique,» *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, vol. 6, nº 12, p. 21, 2022.
- [11] J. G. Monge Gapper, «Dimensionado y construcción de un túnel de viento de baja velocidad,» *Ingeniería Revista de la Universidad de Costa Rica*, vol. 2, pp. 45 - 54, 2006.
- [12] G. R. Navarro, *Reporte de Laboratorio*, 2020.
- [13] M. Airscrew, «Master Airscrew,» Master Airscrew, [En línea]. Available: <https://www.masterairscrew.com/>. [Último acceso: 02 12 2024].
- [14] United nations, «Objetivos de Desarrollo Sostenible,» 2025. [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.

Sobre los Autores:

Leonardo David Capponi-Pinto

Coordinador del proyecto, Ingeniero en Mantenimiento Industrial, énfasis profesional en las ciencias aeronáuticas y aeroespaciales. En 2020 fundó la rama de Research and Design del grupo AeronauTEC en el ITCR, impulsando la participación de estudiantes en competencias internacionales de diseño aeronáutico. En 2023 realizó un intercambio académico en la Universidad Técnica de Múnich (TUM), Alemania, donde cursó materias avanzadas en ingeniería aeronáutica. Este artículo representa su segunda investigación formal y su objetivo profesional es continuar desarrollándose en proyectos de innovación e investigación en el ámbito aeroespacial, con énfasis en aerodinámica experimental y validación de prototipos mediante túneles de viento. <https://orcid.org/0009-0009-9481-1499>

Javier López-Solís

Estudiante avanzado de Ingeniería en Mantenimiento Industrial. Desde 2020 ha participado activamente en proyectos académicos vinculados al diseño y análisis de aeronaves no tripuladas. Fue líder del área de estabilidad y control en el equipo AeronauTEC Research and Design. Esta investigación representa su segunda experiencia formal en el área, y tiene como objetivo profesional especializarse en el estudio de baterías de litio y su aplicación en sistemas de propulsión eléctrica para drones y otras aeronaves no tripuladas. <https://orcid.org/0009-0002-5985-7669>

Fabricio Coto-Vílchez

Estudiante de Ingeniería Física, próximo a graduarse. Ha trabajado como asistente e investigador en el Laboratorio de Plasmas del ITCR, adquiriendo experiencia en caracterización experimental de fenómenos físicos. Su interés se centra en la aplicación de la física y la ingeniería al desarrollo de nuevas tecnologías, especialmente en áreas como la simulación computacional, la dinámica de fluidos y los sistemas de propulsión. Su participación en este proyecto marca su incursión formal en el campo de la ingeniería aeronáutica. <https://orcid.org/0000-0002-8700-6637>

Propuesta para análisis y estandarización de procesos: Planta de Procesamiento de la Corporación Hortícola Nacional

José Ignacio Blanco-Chaves

Administrador de Tecnologías de Información,
Independiente. Costa Rica
✉ joseblanco1313@gmail.com

Kevin Gómez-Garita

Corporación Hortícola Nacional, Costa Rica
✉ direccionejecutiva@chn.cr

Marcela Meneses-Guzmán

Escuela de Ingeniería en Producción Industrial
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ mameneses@tec.ac.cr

Fecha de recepción: 3 de julio del 2025 | Fecha de aceptación: 27 de agosto del 2025

Resumen

Se propone una metodología basada en mejores prácticas de análisis de procesos orientada a la reducción del retrabajo y a la estandarización de las actividades desarrolladas en la planta de procesamiento de la Corporación Hortícola Nacional. Su aplicación al proceso “Gestionar pedidos de productos agrícolas” demuestra ser viable, logrando una reducción significativa de retrabajos y errores, aumentando la eficiencia operativa en un 29 % respecto al tiempo de ciclo anterior. Además, se reduce el porcentaje de actividades sin valor agregado del 60% al 39 %, mientras que las tareas que aportan valor al cliente y al negocio aumentan en un 16 %. La implementación de esta metodología proyecta beneficios directos en la estandarización de procesos, la gestión del conocimiento, la planificación de recursos empresariales y la disminución del retrabajo, entre otros aspectos.

Palabras clave: Procesos de negocio, estandarización de procesos, mejora continua, eficiencia, *dashboard*.

Abstract

A methodology based on best practices in process analysis is proposed, aimed at reducing rework and standardizing the activities carried out at the processing plant of the National Horticultural Corporation. Its application to the process “Managing Orders for Agricultural Products” has proven to be feasible, achieving a significant reduction in rework and errors, and increasing operational efficiency by 29% compared to the previous cycle time. Moreover, the percentage of non-value-added activities decreased from 60% to 39%, while tasks that add value to the customer and the business increased by 16%. The implementation of this methodology is projected to yield direct benefits in process standardization, knowledge management, enterprise resource planning, and the reduction of rework, among other areas.

Key Words: Business processes, process standardization, continuous improvement, efficiency, *dashboard*.

Introducción

Se propone una metodología para el análisis y mejora de procesos de la Corporación Hortícola Nacional (CHN): planta de procesamiento, ubicada en La Chinchilla de Cartago, su aplicación busca el aumento de la eficiencia operativa y reducción de retrabajos por corrección, revisión o rectificación, así como generar un cambio cultural de mejora continua que contribuya a la toma de decisiones estratégicas. Este es el resultado de un proyecto financiado con fondos concursables provenientes de la Ley del Cemento No. 9829, gestionados por el Instituto Tecnológico de Costa Rica.

La gestión de procesos de negocio o *Business Process Management (BPM)* se enfoca en utilizar los procesos como un insumo principal para lograr los objetivos de una organización mediante su mejora continua, gestión y gobernanza [1]; en ella, la gestión y la tecnología convergen y se establecen métodos, técnicas y herramientas para permitirle al negocio diseñar, contactar, controlar y analizar sus procesos de negocio operacionales, donde estos son conformados por personas, empresa, aplicaciones e información [2]. Los procesos de negocio se componen de eventos, puntos de decisión, actores, objetos físicos y de información, resultados y cliente y la literatura ofrece diferentes metodologías para plasmar la relación entre estos componentes y analizarla: ciclo de vida de BPM propuesto por Dumas et al. [3], metodología de rediseño de procesos de Dan Madison [4], Lean Six Sigma [5],[6] y modelamiento de procesos [7].

La combinación de tecnología, herramientas y procesos que permiten transformar datos en información útil y posteriormente en conocimiento para la planificación, es lo que conocemos como inteligencia de negocios; esta es apoyada por indicadores de desempeño o *KPI*, los cuales permiten representar medidas de rendimiento empresarial en los objetivos, iniciativas y actividades, mediante tareas de monitoreo y control [8]. La visualización de indicadores se hace usualmente mediante *dashboards* [9].

Para gestionar aspectos de tiempo, costos y cambios, se utiliza la administración de proyectos o *Project Management Institute [PMI]* [10]. Las historias de usuario son utilizadas en la ingeniería de requerimientos para recolectar y transmitir los requisitos desde la perspectiva del usuario como las necesidades y expectativas [11], [12]. El método MoSCoW permite priorizar elementos dentro de los proyectos cuando existen restricciones de tiempo. Es una técnica que da valor y prioridad a los requerimientos de un potencial producto [13].

La gestión del cambio empresarial es un enfoque cíclico para ayudar a las personas, equipos de trabajo y empresas a transicional de un estado actual a un estado deseado futuro, donde se conseguirán ciertos beneficios [10]. Existen múltiples modelos para gestionar el cambio en una corporación, entre ellos, se encuentra el modelo ADKAR (atención, deseo, conocimiento, habilidad y refuerzo).

Propuesta Metodológica

Las Fases generales propuestas para aplicar la mejora continua en procesos son: Diagnóstico de la Situación Actual del Proceso, Identificación y Análisis de Oportunidades de Mejora, Estandarización del Proceso e Implementación de Dashboard.

La primera fase, Figura 1, inicia con revisión de la documentación existente asociada al proceso en estudio e información directa de las personas involucradas en el proceso, para describir el proceso actual (*As-Is*) mediante un diagrama y su perfil de proceso. Se establecen y aplican métricas para medir la eficiencia del estado actual del proceso.

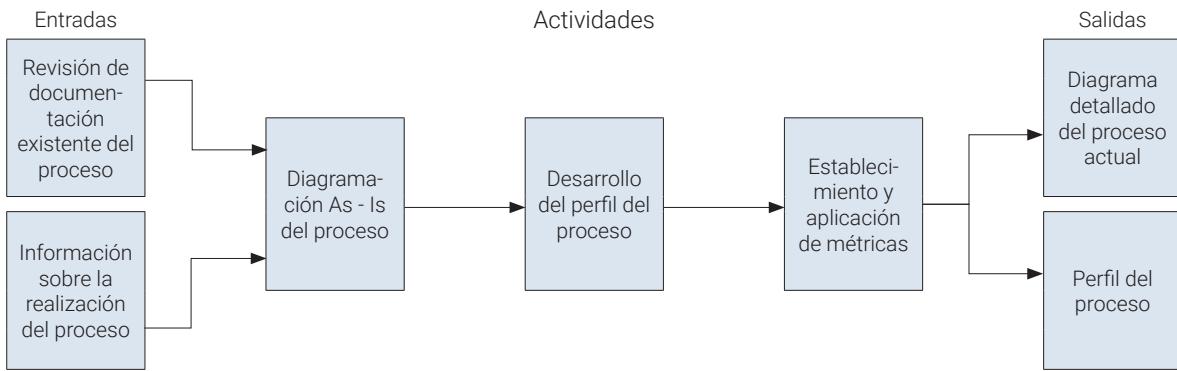


Figura 1: Diagnóstico de la Situación Actual del Proceso.

Fuente: propia.

La fase de identificación y oportunidades de mejora, Figura 2, realiza un análisis de valor añadido, tiempos y desperdicios, comparando estos resultados con las mejores prácticas para identificar brechas [14], identificando así oportunidades de mejora que pueden ser clasificadas según su impacto en el negocio y adoptabilidad. Los análisis recomendados son: ciclo de vida de BPM (metodología de Marlon Dumas), rediseño de procesos (de Dan Madison) y *Lean Management* (FODA, valor añadido, desperdicios, causa-efecto y flujos de tiempo). Por último, un análisis financiero validar el éxito del proyecto.

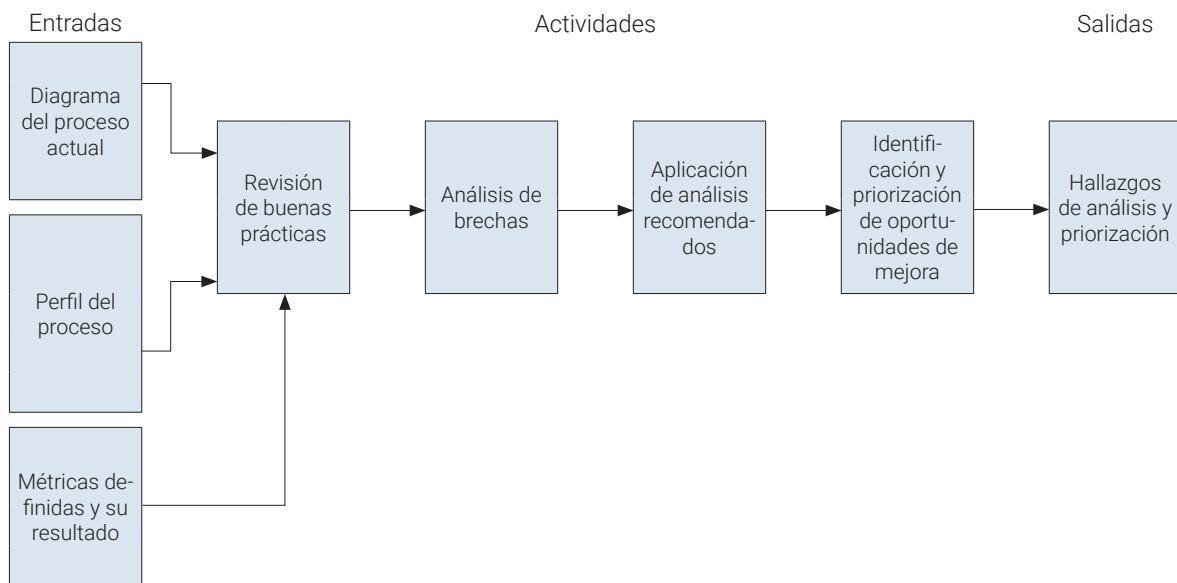


Figura 2: Identificación y Análisis de Oportunidades de Mejora.

Fuente: propia.

Para iniciar la estandarización del proceso, Figura 3, se priorizan los hallazgos o las oportunidades de mejora, diagramando las propuestas (*Could-Be*), donde se establecen cambios preliminares; revisando que estas sean viables desde la perspectiva económica. Al finalizar la etapa, se tendrá una propuesta validada para el proceso (*To-Be*).

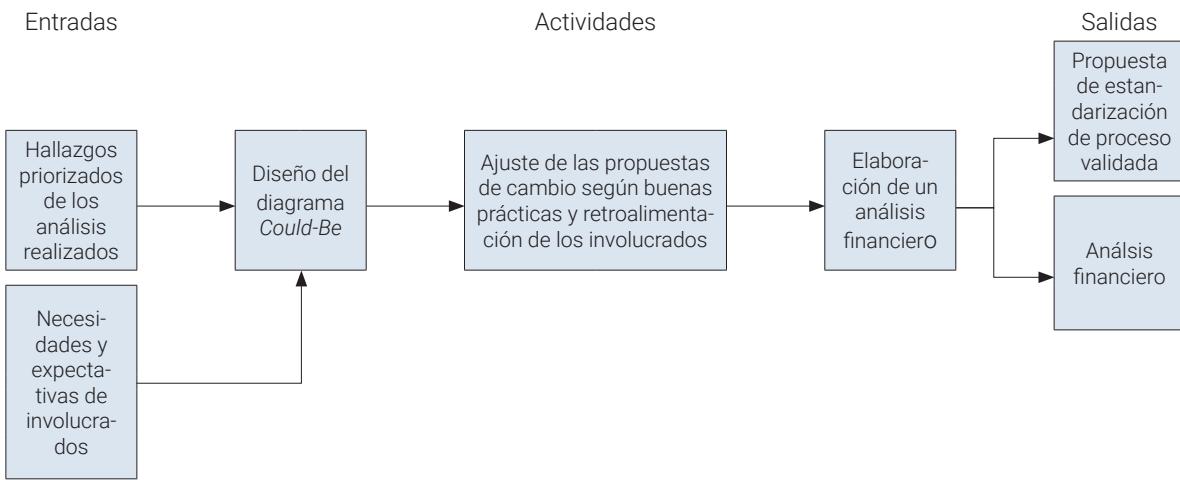


Figura 3: Estandarización del Proceso.

Fuente: propia.

En la última etapa se diseña una estructura del *dashboard*, Figura 4, definiendo las métricas, tipos de visualizaciones, parámetros y filtros. El diseño se valida con los involucrados. La implementación puede realizarse con un tablero en la herramienta Excel.

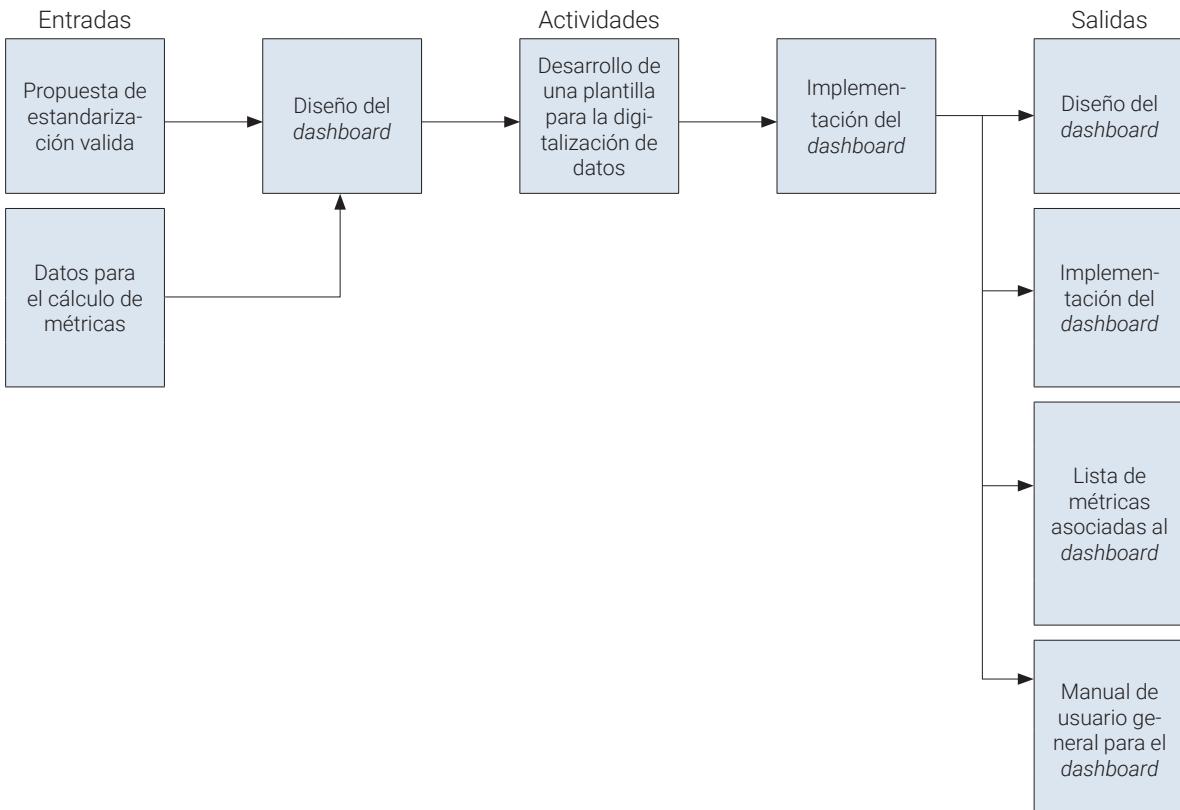


Figura 4: Implementación de Dashboard.

Fuente: propia.

Implementación de Metodología al proceso "gestión de pedidos de productos agrícolas"

La Figura 5 muestra los procesos centrales, de gestión y soporte identificados.

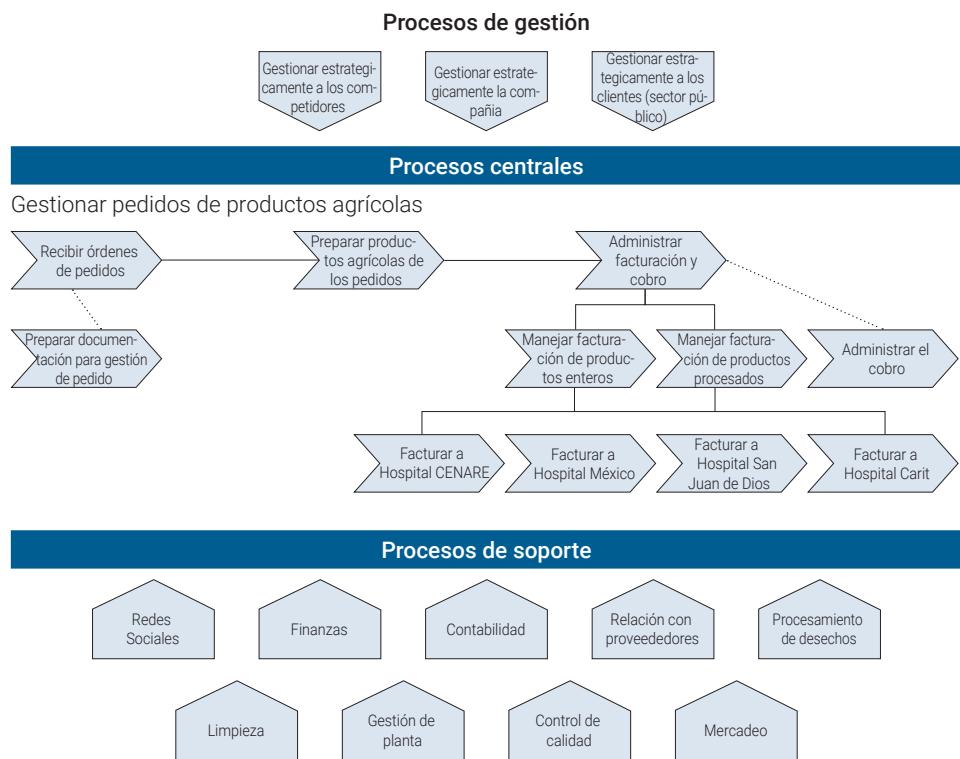


Figura 5: Arquitectura de procesos de la planta de procesamiento de la Corporación Hortícola Nacional.

Fuente: propia.

Se elaboró el diagrama As-Is con BPMN 2.0. En *Figura 6*, se observa que 32 de 50 actividades que contiene el proceso actual, son realizadas por la encargada de servicio al cliente y facturación, mientras que el área de planta realiza 14 de estas, y la recepcionista junto con la asistente administrativa realizan únicamente 4 actividades. Esta distribución evidencia una sobrecarga de trabajo para el primer rol.

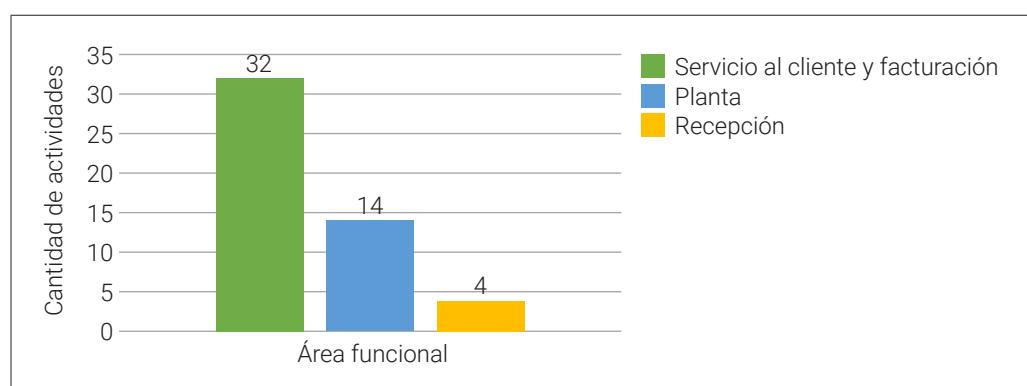


Figura 6. Cantidad de actividades del proceso por área funcional.

Fuente: propia.

Se generó documentación sobre el proceso analizado, incluyendo las actividades, tareas y roles implicados en las ejecuciones del proceso. Se identifican los flujos de trabajo, información y métodos de comunicación entre departamentos, así como la matriz RACI. Se establecieron las métricas iniciales asociadas al proceso obteniendo que la cantidad de actividades documentadas y ejecutadas corresponden a un 68%, tiempo total de ejecución de proceso es de 1460 horas, número de personas involucradas en proceso es de 9, tiempo utilizado para resolver consultas relacionadas con facturación de 7,5 min, eficiencia en la asignación de talento humano es de 48,42%, cantidad de casos de retrabajo causados por errores humanos de 2 casos diarios, porcentaje de automatización de procesos de 0%, Tiempo promedio de resolución de errores humanos (en minutos) de 5 min, entre otros. Análisis de brechas, Figura 7, muestra en que de las 28 buenas prácticas que menciona la norma ISO, solo el 29% de ellas son aplicadas de forma correcta por la organización, mientras que el restante 71% no son aplicadas parcial o totalmente.

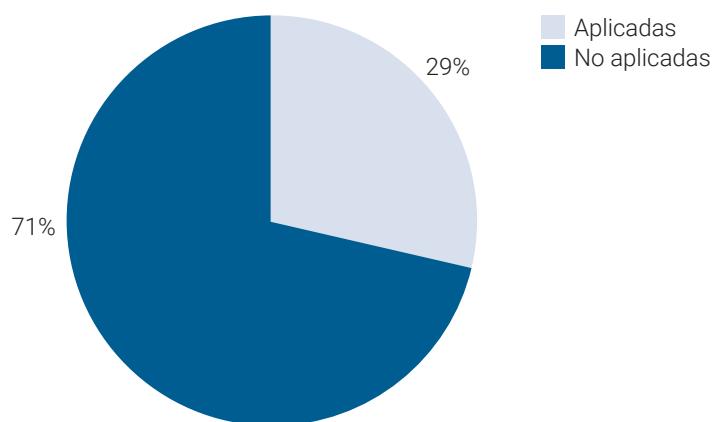


Figura 7: Porcentaje de buenas prácticas aplicadas por la organización.

Fuente: propia.

La Figura 8 muestra el porcentaje de actividades según el tipo de valor que agrega en el proceso. Se observa que de 50 actividades que contiene el proceso, el 16% (8 actividades) agregan valor, un 24% (12 actividades) agregan valor solo al negocio, mientras que el 60% (30 actividades) no generan valor y se convierten en desperdicios.

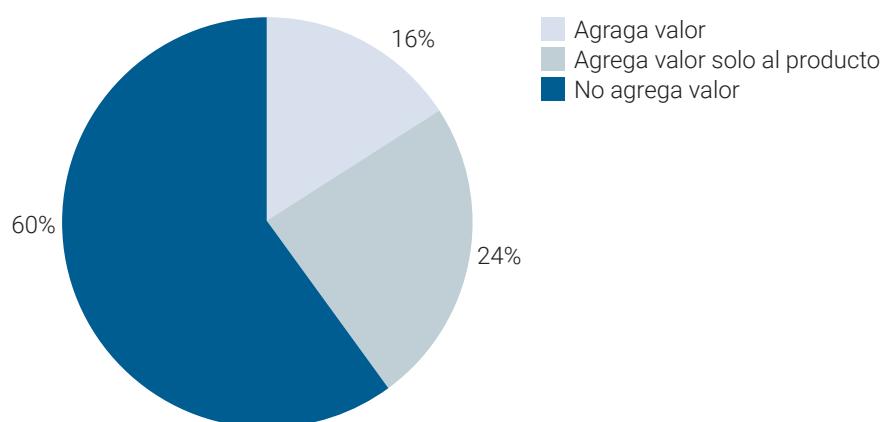


Figura 8: Porcentaje de actividades según el tipo de valor agregado.

Fuente: propia.

Las actividades que no agregan valor al negocio (NVA) fueron clasificadas según los desperdicios explicados por Lean: 13, 11 y 8 corresponden a desperdicios de la categoría “mover”, “retener”, “exagerar”, respectivamente. Se utilizó el análisis de valor añadido y el análisis de desperdicios para determinar las causas (clasificadas según cada tipo de desperdicio) que provocan la ineficiencia en el proceso, Figura 9. Se determinó que el proceso “gestión de pedidos de productos agrícolas” cuenta con una eficiencia del 27%.

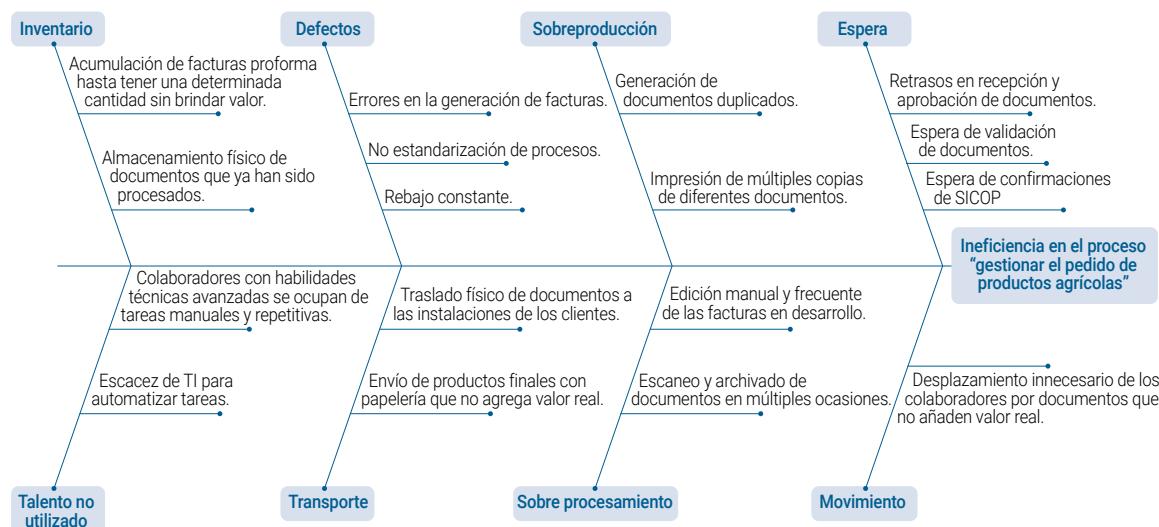


Figura 9: Diagrama causa – efecto sobre el proceso “gestionar pedidos de productos agrícolas”.

Fuente: propia.

Las actividades presentes en los procesos *To-Be* son las mismas del diagrama *As-Is*; las únicas actividades nuevas, propuestas y aceptadas por la organización, corresponden a los controles implementados en el proceso “recibir pedidos de productos agrícolas”, específicamente las actividades de validar los detalles del pedido (cuya duración máxima debería ser de 10 minutos) y registrar el pedido en la hoja de control (tiempo máximo para realizar la actividad es de 5 minutos). Con estos análisis los procesos de negocio *To-Be* tiene ahora una eficiencia del 56% aproximadamente, mejorada en 29% con respecto al tiempo de ciclo anterior. El Cuadro 2 muestra las oportunidades de mejora priorizadas como Alta, según las necesidades y expectativas de los involucrados.

Cuadro 2: Principales oportunidades de mejora identificadas y priorizadas como Alta*

Oport. de mejora	Descripción	Justificación
No estandarización de procesos	El macroproceso es variable según el cliente y tipo de producto. Esto causa retrabajo constante.	Afecta la eficiencia operativa. Además, se vincula con la historia de usuario 04, que se encuentra priorizada como “must”.
Documentación escasa o nula	La documentación no está formalizada ni actualizada al sistema de gestión de calidad. Las actividades no son claras.	El problema de documentados se relaciona con la no estandarización de los procesos. Además, se vincula con la historia de usuario 05, cuya priorización es “must” dado que busca la reducción de errores humanos adoptando buenas prácticas.

Oport. de mejora	Descripción	Justificación
Asignación de recursos inadecuada y desequilibrada	Los colaboradores involucrados no tienen del todo claras sus funciones en el proceso, además de que se cuenta con sobrecarga de trabajo.	Afecta directamente a la eficiencia organizacional debido a que implica el desgaste del rendimiento de los involucrados. Además, se relaciona con la historia de usuario 03 que se encuentra con prioridad "must" dado que se tiene la expectativa de mejorar la asignación de roles con responsabilidades claras.

*Alta: afecta directamente la eficiencia organizacional; es una necesidad o expectativa clasificada como "Must" de algún involucrado según aplicación de método MoSCoW.

Fuente: propia.

Considerando los hallazgos, necesidades y expectativas recolectadas, se desarrollaron los diagramas *Could-Be*, se valida con interesados y se mejora. En *Figura 10* se observa que, de 36 actividades, 19 son realizadas por la encargada de servicio al cliente y facturación, mientras que el área de planta realiza 14 de estas y la recepcionista junto con la asistente administrativa realizan únicamente 3 actividades. Al igual que en el análisis *As-Is*, la distribución de actividades continúa desproporcionada; empero, se reducen en 14 las actividades del área de servicio al cliente y facturación.

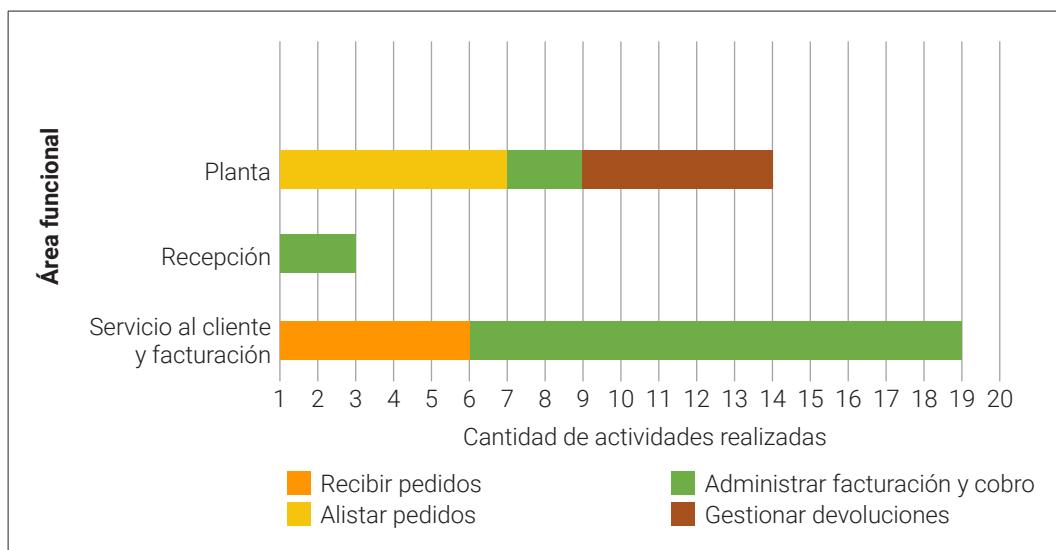
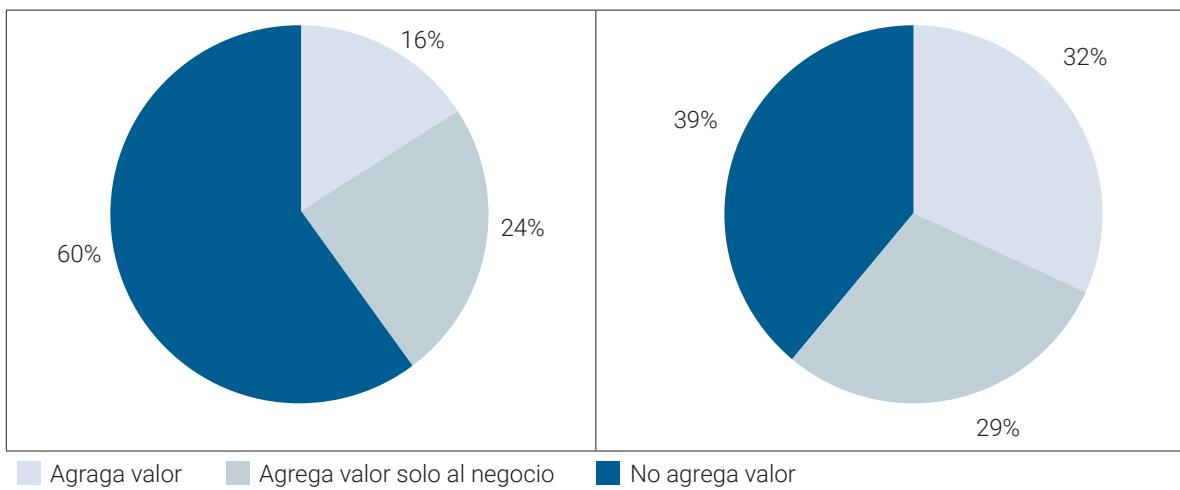


Figura 10: Cantidad total de actividades realizadas por proceso para la propuesta de procesos Could-Be

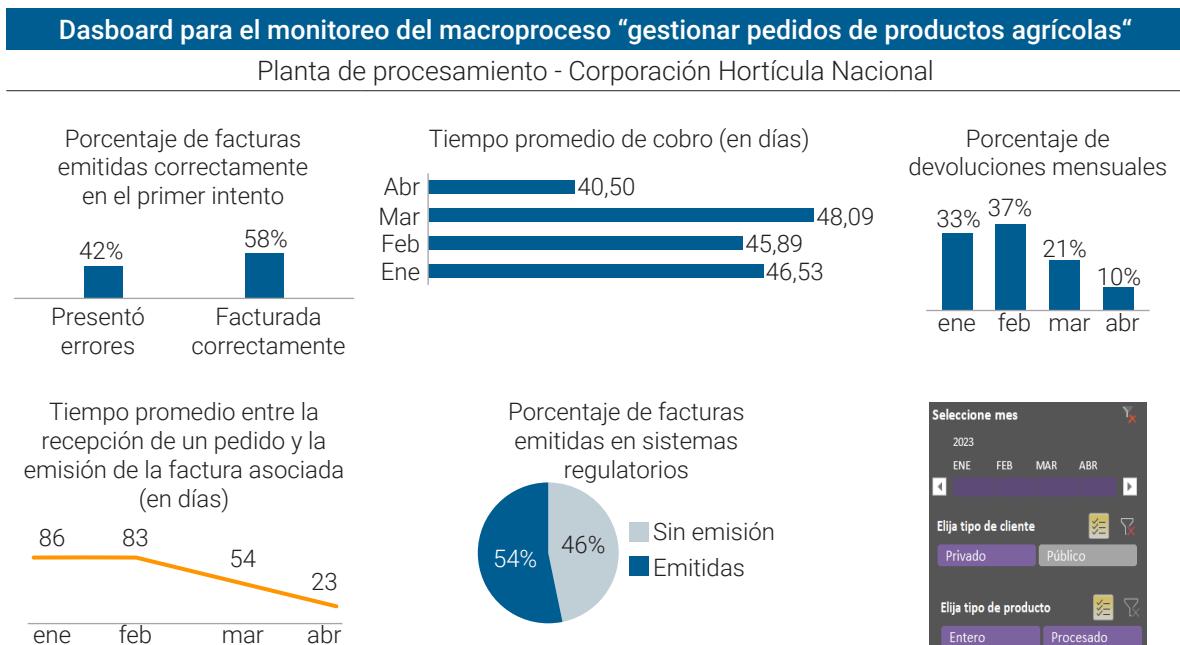
Fuente: propia.

De la *Figura 11* observamos que se pasa de 60% de actividades que no generaban valor a 39%, mientras que de las tareas que generan valor al cliente y negocio se incrementan en 16%.

Se propone una reorganización de los roles en los involucrados de los procesos, específicamente en las áreas de servicio al cliente y facturación y recepción. Se propone la creación de un nuevo puesto de trabajo en la primera área para ayudar al único colaborador de esta área funcional y así distribuir el trabajo de una forma equitativa. Además, se busca delegar en forma completa las tareas relacionadas con los procesos, cuya responsabilidad son solo del área de recepción a la persona recepcionista, eliminando las labores de apoyo y supervisión que realiza la asistente administrativa en los procesos cuando corresponde.

**Figura 11.** Comparación del valor añadido por las actividades en los modelos As-Is y To-Be.**Fuente:** propia.

Se realiza una propuesta de indicadores claves de rendimiento, la *Figura 12* muestra un ejemplo del *dashboard*.

**Figura 12:** Configuración de la visualización "Porcentaje de facturas emitidas en sistemas regulatorios".**Fuente:** propia.

Como resultado del análisis financiero, se obtiene un ROI del 58,90%, lo que indica que después de un año de implementación de la propuesta de estandarización, por cada colón invertido, se recuperarán adicionalmente 58,90 céntimos.

Conclusiones

La metodología para el análisis y estandarización de procesos propuesta proyecta beneficios directos de, Estandarización del Proceso: uniformando la ejecución de actividades, reduciendo la variabilidad y mejorando la operatividad empresarial, volviéndola más predecible y fácil de controlar; Mejoramiento de la gestión del conocimiento: fortaleciendo y asegurando el acceso a la documentación de procesos, reduciendo las perspectivas diferentes y minimizando la dependencia del conocimiento individual; Mejoramiento en la planificación de recursos empresariales: identificando y corrigiendo inefficiencias en la planificación de recursos organizacionales, lo cual habilita una asignación estratégica, reduciendo costos y optimizando el rendimiento empresarial; Reducción del retrabajo: reduciendo la posibilidad de cometer errores humanos causados por la duplicidad de información y su dispersión, apoyando una disminución de la necesidad de corregir o repetir tareas completadas erróneamente.

En forma indirecta, la implementación de la propuesta contribuye además con la Reducción de sobrecarga de trabajo, simplificando el proceso y reduciendo el retrabajo; Mejoramiento en la capacidad de respuesta al mercado por la adaptación ágil a los cambios en el mercado; Fomentando la cultura orientada a la mejora continua porque el desarrollo de una mejora en la operatividad y gestión de la información ayuda a fomentar una cultura de mejora continua para preparar a la organización a nuevos desafíos y adaptaciones; Mejoramiento en la toma de decisiones informadas: clarificando y estandarizando un proceso informado de toma de decisiones a lo largo de la organización. Además, esto ayuda a maximizar la identificación de oportunidades de mejora.

Agradecimientos

Se agradece a la Dirección de Extensión de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica por el apoyo al proyecto "Transformación Digital Corporación Hortícola Nacional y PYMES asociadas".

Referencias

- [1] J. Jeston, "Business Process Management: Practical Guidelines to Successful Implementations", 4th ed. Routledge, 2018.
- [2] T. Boutros and J. Cardella, "The Basics of Process Improvement". CRC Press, 2016.
- [3] M. Dumas, M. La Rosa, J. Mendling, and H. A. Reijers, "Fundamentals of Business Process Management". Springer eBooks, 2013.
- [4] D. Madison, "Process Mapping, Process Improvement and Process Management: A Practical Guide to Enhancing Work and Information Flow". Paton, 2005.
- [5] M. George, "Lean Six Sigma for Service". McGraw-Hill, 2003.
- [6] J. Martin, "Lean Six Sigma for the Office: Integrating Customer Experience for Enhanced Productivity", 2nd ed. Routledge, 2021.
- [7] Bizagi, "Modelamiento de procesos", 6-Jun-2022.
- [8] E. Camilleri, "Key Performance Indicators: The Complete Guide to KPIs for Business Success". Taylor & Francis, 2024.
- [9] J. Schwabish, "Data Visualization in Excel: A Guide for Beginners, Intermediates, and Wonks". AK Peters/CRC Press, 2023.
- [10] Project Management Institute, "A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)", 7th ed. PMI, 2021.
- [11] A. Menzinsky, G. López, J. Palacio, A. Sobrino, R. Álvarez, and V. Rivas, "Historias de Usuario". Scrum Manager, 2022.
- [12] Asociación Española de Normalización y Certificación, "Sistemas de Gestión de la Calidad: Requisitos (ISO 9001:2015)". AENORMÁS, 2015.
- [13] C. Simões, "MoSCoW. ¿Qué es y cómo priorizar en el desarrollo de tu aplicación?", ITDO, 2020.
- [14] J. Weller, "Guía completa para el análisis de brechas", Smartsheet, 2018.

Sobre los autores

José Ignacio Blanco-Chaves.

Licenciado en Administración de Tecnologías de Información. <https://orcid.org/0009-0008-9712-8233>

Kevin Gómez-Garita.

Director Ejecutivo de la Corporación Hortícola Nacional. <https://orcid.org/0000-0002-9404-0139>

Marcela Meneses-Guzmán.

Docente, investigadora y extensionista de la Escuela de Ingeniería en Producción Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://orcid.org/0000-0001-5922-0145>

Profesionalización Docente en Primaria en el área de números. El caso de la Escuela República de Bolivia, Zona los Santos. II semestre 2024

Jorge Luis Chinchilla-Valverde

Escuela de Matemática
Instituto Tecnológico de Costa Rica; Costa Rica
✉ jochinchilla@itcr.ac.cr

Angie Cristina Solís-Palma

Escuela de Matemática
Instituto Tecnológico de Costa Rica; Costa Rica
✉ ansolis@itcr.ac.cr

Fecha de recepción: 26 de mayo de 2025 | Fecha de aprobación: 29 de agosto de 2025

Resumen

El proyecto de extensión “Profesionalización Docente en Primaria en el área de números. El caso de la Escuela República de Bolivia, Zona Los Santos” fue desarrollado por la Escuela de Matemática del Instituto Tecnológico de Costa Rica en el segundo semestre de 2024, con el objetivo de fortalecer las competencias pedagógicas de los docentes de preescolar, primaria, materias especiales y educación especial mediante estrategias didácticas actualizadas, materiales manipulativos y espacios de formación colaborativa alineados con los programas del MEP. La iniciativa incluyó a 25 docentes y se organizó en cuatro etapas: análisis de necesidades, diseño de materiales, talleres presenciales y evaluación de impacto. La metodología se basó en la interacción activa entre los participantes, permitiendo adaptar los contenidos a distintos niveles educativos. Durante los talleres se enfatizó el uso de materiales concretos, en particular las regletas de Cuisenaire -bloques de colores y tamaños diversos que representan números- para facilitar la comprensión de conceptos matemáticos básicos.

Para la evaluación del impacto, se aplicó un formulario a los docentes participantes con el fin de recoger sus percepciones sobre los aprendizajes adquiridos, el uso de los materiales y la aplicabilidad de las estrategias en sus aulas. Esta retroalimentación permitió identificar logros y áreas de mejora, además de sistematizar las experiencias. En este sentido, los resultados evidenciaron mejoras en la comprensión de operaciones básicas, el uso de recursos manipulativos y la integración de nuevas estrategias en los planes de estudio, destacándose su aplicación en contextos reales. Asimismo, se fortaleció la colaboración interdisciplinaria entre docentes, quienes compartieron experiencias y adaptaron los modelos didácticos a sus realidades. Los objetivos planteados se cumplieron y los hallazgos fueron presentados en el VII Simposio Internacional de Matemática Educativa (SIME 2025). Entre las lecciones aprendidas se destacó la importancia de una planificación flexible, el trabajo colaborativo y un seguimiento posterior.

Abstract

The extension project "Teacher Professionalization in Primary Education in the Area of Numbers: The Case of Escuela República de Bolivia, Los Santos Region" was developed by the School of Mathematics of the Costa Rica Institute of Technology in the second semester of 2024, with the aim of strengthening the pedagogical competencies of preschool, primary, special-subject, and special-education teachers through updated didactic strategies, manipulative materials, and collaborative training spaces aligned with the MEP programs. The initiative included 25 teachers and was organized into four stages: needs analysis, material design, face-to-face workshops, and impact evaluation. The methodology was based on active interaction among participants, allowing the contents to be adapted to different educational levels. During the workshops, emphasis was placed on the use of concrete materials, particularly Cuisenaire rods—colored blocks of different lengths representing numbers—to facilitate the understanding of basic mathematical concepts.

For the impact evaluation, a feedback form was distributed to participating teachers to collect their perceptions regarding the knowledge acquired, the use of the materials, and the applicability of the strategies in their classrooms. This feedback made it possible to identify achievements and areas for improvement, as well as to systematize the experiences. In this regard, the results showed improvements in the understanding of basic operations, the use of manipulative resources, and the integration of new strategies into lesson plans, with particular emphasis on their application in real classroom contexts. Furthermore, interdisciplinary collaboration among teachers was strengthened, as they shared experiences and adapted didactic models to their realities. The proposed objectives were achieved, and the findings were presented at the VII International Symposium on Mathematics Education (SIME 2025). Among the lessons learned, the importance of flexible planning, collaborative work, and continuous follow-up stood out..

Keywords: Materiales manipulativos, Estrategias didácticas, Regletas de Cuisenaire, Enseñanza de la matemática, números naturales.

Introducción

La enseñanza de la matemática en el nivel de primaria en Costa Rica enfrenta múltiples desafíos, especialmente en contextos rurales como el de la Escuela República de Bolivia en la Zona de los Santos. Diversos estudios sobre el estado de la educación en el país señalan que las debilidades en el área de matemática se acentúan cuando los docentes no cuentan con formación actualizada ni con recursos didácticos efectivos [1], [2]. En respuesta a esta situación, el presente proyecto de extensión busca fortalecer la profesionalización docente a través del trabajo en el área de números, una de las más críticas según los programas de estudio del Ministerio de Educación Pública [3].

El problema que se aborda radica en la necesidad de que los docentes adquieran herramientas concretas y estrategias pedagógicas innovadoras que les permitan facilitar la comprensión de los conceptos numéricos. La observación directa en la institución, así como la coordinación con la asesoría pedagógica de la Dirección Regional de Enseñanza de la Zona de los Santos, confirman esta carencia. Por tanto, el proyecto se propone como un espacio de formación y acompañamiento pedagógico en el que se promueve el uso de materiales manipulativos. Durante el proceso, se desarrolló cuatro talleres pedagógicos que abordaron contenidos del área de números, específicamente números naturales y fracciones, utilizando de manera central las regletas de Cuisenaire como recurso didáctico. Todas las actividades propuestas fueron cuidadosamente adaptadas al programa de estudio vigente [3], asegurando la pertinencia curricular y la aplicabilidad inmediata en el aula.

La importancia de este trabajo radica en que no solo atiende una necesidad puntual del cuerpo docente de la institución, sino que representa un compromiso concreto por colaborar con la comunidad educativa de la Zona de los Santos, contribuyendo así al mejoramiento de la calidad educativa en zonas rurales del país. Además, responde a principios establecidos en planes estratégicos institucionales como el del Instituto Tecnológico de Costa Rica [4] y el Plan Nacional de la Educación Superior (CONARE)

[5], los cuales promueven la vinculación universidad-sociedad y el impacto directo de los proyectos académicos en la comunidad.

En cuanto a sus alcances, el proyecto atiende a 25 docentes de distintas disciplinas, promueve el diseño, validación y ejecución de talleres presenciales, y permite generar materiales educativos útiles para el entorno real del aula. Entre las limitaciones identificadas se encuentran las diferencias en la formación docente según el nivel educativo, lo cual obliga a adaptar los contenidos de los talleres, y las restricciones presupuestarias, que son solventadas gracias al apoyo institucional.

La revisión de literatura reciente [6], [7] respalda la necesidad de proyectos que fortalezcan la enseñanza de la matemática desde un enfoque práctico, contextualizado y colaborativo. Así, se justifica la implementación de estrategias didácticas innovadoras, adaptadas a las características de la población estudiantil y al contexto sociocultural de la comunidad educativa.

Los objetivos del presente proyecto son:

Fortalecer las competencias pedagógicas de los docentes de la Escuela República de Bolivia en el área de números mediante el uso de materiales concretos y estrategias didácticas activas.

Diseñar, validar y aplicar talleres pedagógicos contextualizados con el currículo nacional y ajustados a la realidad del centro educativo.

Evaluar el impacto de las estrategias implementadas en la práctica docente y proponer mejoras sustentables para su continuidad.

Materiales y métodos

Diseño metodológico. El proyecto se desarrolló como una iniciativa de extensión académica con un enfoque cualitativo-descriptivo, centrado en el trabajo colaborativo entre docentes y extensionistas. Se aplicaron principios de aprendizaje activo, reflexión pedagógica y uso de materiales manipulativos. La metodología se estructuró en cuatro etapas: diagnóstico, diseño de materiales, implementación de talleres y evaluación.



Figura 1. Regletas de Cuisenaire: recurso manipulativo para el aprendizaje matemático

Fuente: elaboración propia

Población participante. Participaron aproximadamente 25 docentes de la Escuela República de Bolivia, de diversas áreas como preescolar, I y II ciclo, educación especial y materias complementarias. La heterogeneidad del grupo permitió un abordaje interdisciplinario y la adaptación de estrategias según el nivel y necesidad de cada docente.

Ejecución de los talleres. Se realizaron cuatro talleres presenciales entre agosto y noviembre de 2024, cada uno con una duración de cuatro horas. Las sesiones se centraron en el área de números, abordando contenidos relacionados con números naturales y fracciones. Las actividades se diseñaron con base en [3] y se ajustaron a los diferentes ciclos educativos.

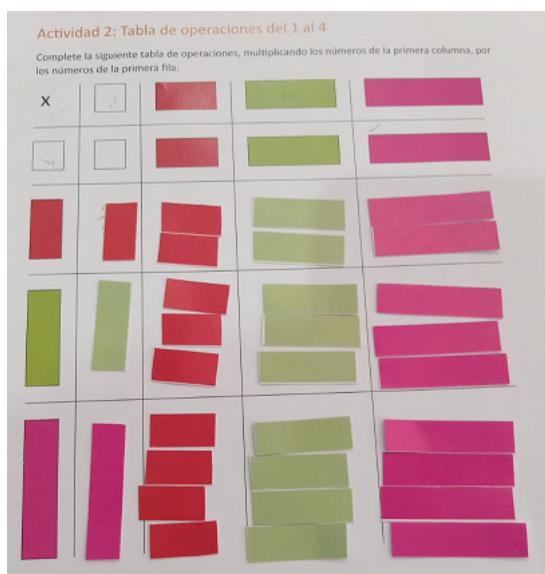


Figura 2. Regletas de Cuisenaire y ejercicio de multiplicación

Fuente: elaboración propia

Uso de materiales didácticos. Como recurso principal se utilizaron regletas de Cuisenaire, tanto físicas (cartulina y 3D) como adaptadas en actividades gráficas. También se emplearon hojas de trabajo, plantillas impresas, papelógrafos y recursos digitales. El diseño y la producción de los materiales estuvieron a cargo del equipo ejecutor y del Taller de Publicaciones del ITCR. Las regletas 3D fueron producidas por un proveedor externo.

Captación de datos. Al finalizar el abordaje con talleres, se aplicó un formulario digital mediante Google Forms, compuesto por 15 preguntas (cerradas y abiertas). Este instrumento permitió recolectar información sobre la percepción de los docentes respecto al taller, el uso de los materiales y la aplicabilidad de las estrategias en su práctica profesional.

Análisis de resultados. La información recopilada se sistematizó mediante matrices de análisis de contenido. Se identificaron categorías emergentes y patrones comunes en las respuestas. Dado el enfoque del proyecto, no se utilizó métodos estadísticos inferenciales ni software especializado.

Fundamento metodológico. El diseño de las actividades y el uso de materiales se basaron en la propuesta metodológica presentada en [6], donde se argumenta la pertinencia del trabajo con elementos manipulativos en el desarrollo del pensamiento numérico en contextos escolares costarricenses.



Limitaciones señaladas por los docentes.

Entre las principales limitaciones mencionadas se encuentra el acceso a los materiales, así como la necesidad de tiempo y apoyo institucional para incorporar estas estrategias de forma sistemática. También se señaló que no todos los estudiantes responden de la misma forma a este tipo de recursos, lo que requiere ajustes metodológicos constantes.

Discusión

Los resultados obtenidos muestran que el uso de materiales concretos, como las regletas de Cuisenaire, favorece la comprensión de los contenidos matemáticos y mejora la participación de los estudiantes en el aula. Los docentes reconocen que estas estrategias promueven habilidades como el razonamiento y la confianza para explicar procedimientos, lo cual se alinea con los objetivos planteados en el proyecto.

A pesar de algunas limitaciones identificadas, como el acceso al material o el tiempo disponible para aplicarlo, los participantes valoran positivamente su implementación. La experiencia demuestra que los talleres ofrecidos responden a una necesidad real del contexto educativo y aportan herramientas aplicables que fortalecen la práctica docente.

Conclusiones

Observaciones y Lecciones Aprendidas

1. Importancia de la Planificación Detallada:

La planificación inicial del proyecto fue fundamental para establecer un marco claro de objetivos y actividades. Se realizaron sesiones de retroalimentación periódicas entre los talleristas y la asesora de matemáticas, lo que permitió ajustar las actividades de acuerdo a las necesidades de la población beneficiada.

2. Valor del Trabajo Colaborativo:

La colaboración entre docentes de diferentes disciplinas enriqueció las actividades y permitió un enfoque más holístico en el aprendizaje. La diversidad de perspectivas ayudó a abordar problemas desde múltiples ángulos. Los docentes aportaban ideas y comentaban experiencias que enriquecían la calidad de los talleres.

3. Capacitación Continua:

La capacitación realizada por los facilitadores fue crucial para el éxito del proyecto. Sin embargo, se identificó la necesidad de un plan de formación continua que permita a los docentes de primaria actualizar sus conocimientos y habilidades. Se sugiere establecer un programa de seguimiento post-proyecto para mantener el aprendizaje activo.

Recomendaciones

1. Incorporar Herramientas Tecnológicas:

Utilizar plataformas digitales para facilitar la comunicación y el intercambio de recursos entre los participantes. Esto puede ayudar a mantener el compromiso y la colaboración, incluso después de finalizado el proyecto. Se espera trabajar en esta línea en los futuros talleres con el apoyo de los estudiantes de la carrera de Enseñanza de Matemática con Entornos Tecnológicos (MATEC).

2. Evaluación y Retroalimentación Continua:

Implementar mecanismos de evaluación que permitan recoger opiniones y sugerencias de los participantes a lo largo del proyecto. Esto no solo mejora la experiencia inmediata, sino que también proporciona datos valiosos para futuros proyectos.

3. Enfoque en la Sostenibilidad:

Se considera prudente generar estrategias que aseguren la continuidad de las iniciativas después de la finalización del proyecto. Esto podría incluir la formación de docentes que puedan continuar con las actividades y el aprendizaje en la comunidad.

4. Abordar Temáticas Pendientes:

Con la realización de este proyecto se evidenció la necesidad de continuar con otros en diversas áreas de interés no cubiertas, como la inclusión de metodologías innovadoras en la enseñanza o el trabajo con familias para apoyar el aprendizaje en casa. La participación activa de estudiantes de I y II ciclo, así como la creación de una escuela para padres, son aspectos que pueden ser fundamentales para el desarrollo integral de la comunidad de la zona de Santa María.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a las siguientes autoridades educativas, cuyo apoyo y compromiso han sido fundamentales para el éxito de nuestro proyecto:

Licda. Laura Andrea Ureña Ureña, Asesora de Matemática, DRE Zona Los Santos. Su dedicación y orientación han sido claves para guiar nuestras actividades y asegurar que se alineen con los objetivos educativos de la región.

Lic. César Solano Fallas, Director de la Escuela República de Bolivia, Santa María de Dota. Agradecemos su liderazgo y colaboración, que han facilitado la implementación de nuestro proyecto en la comunidad escolar.

Dr. Richard Navarro Garro, Jefe de Departamento Asesor, DRE Zona Los Santos. Su visión y apoyo estratégico han sido esenciales para el desarrollo y la ejecución de nuestras iniciativas educativas.

Dr. Alan Henderson García, Director de Extensión VIE. Su compromiso con la educación y disposición para colaborar han enriquecido nuestra experiencia y ampliado nuestras oportunidades de aprendizaje.

Referencias

- [1] Programa Estado de la Nación, *Séptimo Informe Estado de la Educación*, San José, Costa Rica: Consejo Nacional de Rectores (PEN), 2019. [En línea]. Disponible en: https://estadonacion.or.cr/wp-content/uploads/2019/11/PPT_finalEE.pdf
- [2] Programa Estado de la Nación, *Octavo Informe Estado de la Educación*, San José, Costa Rica: Consejo Nacional de Rectores (PEN), 2021. [En línea]. Disponible en: https://estadonacion.or.cr/wp-content/uploads/2021/09/Educacion_WEB.pdf
- [3] Ministerio de Educación Pública, *Programas de estudio: Matemáticas. Educación General Básica y Ciclo Diversificado*, Costa Rica: Ministerio de Educación Pública, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.mep.go.cr/sites/default/files/media/matematica.pdf>
- [4] Instituto Tecnológico de Costa Rica, *Plan estratégico institucional 2022–2026*, Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.tec.ac.cr/plan-estrategico-institucional-2022-2026>
- [5] Consejo Nacional de Rectores (CONARE), *Plan nacional de la educación superior 2016–2020*, San José, Costa Rica: CONARE, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://siesue.conare.ac.cr/plan-nacional-de-educacion-superior>
- [6] G. Meza, E. Agüero y Z. Suárez, "Reform of Mathematics Education in Costa Rica: Evaluation of Progress in Implementation in Secondary Education," *Revista Digital: Matemática, Educación e Internet*, vol. 19, no. 2, 2019. doi: 10.18845/rdmei.v19i2.4218
- [7] Programa Estado de la Nación, *Noveno Informe Estado de la Educación*, San José, Costa Rica: Consejo Nacional de Rectores (PEN), 2023. [En línea]. Disponible en: https://d1qqtien6gys07.cloudfront.net/wp-content/uploads/2023/08/PEN_Noveno_Informe_estado_educacion_2023.pdf

Datos de los autores:

Jorge Luis Chinchilla-Valverde

Docente costarricense con experiencia en la enseñanza universitaria de la matemática y en la formación de docentes de primaria y secundaria. Cuenta con Bachillerato y Licenciatura en Enseñanza de la Matemática por la Universidad de Costa Rica y una Maestría en Ciencias de la Educación con énfasis en Currículum por la Universidad Latina de Costa Rica; actualmente cursa un Doctorado en Ciencias de la Educación. Ha impartido cursos en diversas universidades, publicado artículos y libros, y participado en congresos nacionales e internacionales de matemática educativa, donde también ha ejercido labores de coordinación académica. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7512-6511>

Angie Cristina Solís-Palma

Profesional costarricense en la enseñanza de la matemática, con formación en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, donde obtuvo el Bachillerato y la Licenciatura en Enseñanza de la Matemática Asistida por Computadora, así como la Maestría en Sistemas Modernos de Manufactura; actualmente cursa el Doctorado en Ciencias de la Educación en la Universidad Católica de Costa Rica. Desde 2006 es docente en la Escuela de Matemática del ITCR, ha participado en congresos nacionales e internacionales, publicado en revistas y memorias, y desarrollado proyectos de extensión y formación docente enfocados en la profesionalización de maestros y el uso de recursos tecnológicos como GeoGebra. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8508-6151>

Escenarios de aprendizaje para evaluaciones cortas

Isaac Alpizar-Chacon

Escuela de Administración de Tecnologías de Información

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

✉ ialpizar@tec.ac.cr

Fecha de recepción: 29 de mayo del 2025 | Fecha de aprobación: 2 de setiembre de 2025

Resumen

Este artículo presenta una experiencia de evaluación en el curso “Desarrollo ágil de aplicaciones web” de la carrera de Administración de Tecnología de Información (ATI) del Instituto Tecnológico de Costa Rica, en la que se utilizó una herramienta educativa para implementar evaluaciones cortas en el aula y en la casa. El objetivo fue analizar cómo diferentes secuencias de actividades (escenarios) impactan el aprendizaje, la motivación y la participación del estudiantado. A través de una combinación de recolección de datos cuantitativos y cualitativos, se identificaron preferencias estudiantiles y posibles implicaciones pedagógicas para cursos en entornos mixtos.

Palabras claves: aprendizaje mixto, herramientas de votación, investigación educativa

Abstract

This article presents an assessment experience in the course “Agile Web Development” of the Information Technology Management program at the Costa Rica Institute of Technology. An educational tool was used to implement short assessments both in-class and at-home. The aim was to analyze how different sequences of activities (scenarios) influence students’ learning, motivation, and participation. By combining quantitative and qualitative data collection, we identified student preferences and potential pedagogical implications for courses in blended learning environments.

Keywords: blended learning, voting tools, educational research

Introducción

Los entornos de aprendizaje mixtos —aquejlos que combinan componentes presenciales con actividades en línea— [2] se han consolidado como una modalidad clave en la educación superior, especialmente a raíz de la pandemia por COVID-19 [6]. Esta transición acelerada a formatos híbridos ha llevado a repensar no solo la manera en que se imparten los contenidos, sino también cómo se diseñan las actividades que promueven el aprendizaje efectivo y sostenido.

Diseñar actividades didácticas en cursos con formato mixto presenta múltiples desafíos. Uno de ellos es cómo mantener el compromiso del estudiantado a lo largo de las sesiones sincrónicas y asincrónicas, y cómo promover el aprendizaje activo y autorregulado en ambos entornos [5]. Una estrategia ampliamente utilizada para este fin es la incorporación de evaluaciones cortas. En particular, las evaluaciones formativas permiten a los estudiantes reflexionar sobre su propio aprendizaje y recibir retroalimentación oportuna, sin la presión que implica una nota. En este contexto, herramientas de votación [3] como Kahoot! se han popularizado por su facilidad de uso y su capacidad de dinamizar las clases. Estas plataformas permiten al profesorado crear cuestionarios interactivos a los que el estudiantado responde en tiempo real desde sus dispositivos, generando retroalimentación inmediata y fomentando la participación. No obstante, estas herramientas suelen centrarse exclusivamente en el espacio del aula, limitando su aplicación más allá del entorno sincrónico.

En este trabajo, presentamos una experiencia de uso de Quizitor, una herramienta educativa diseñada para aplicar evaluaciones cortas tanto en el aula como en casa. A diferencia de las plataformas tradicionales de votación, Quizitor permite crear actividades que se adaptan a distintos momentos del proceso de enseñanza-aprendizaje, manteniendo un diseño sencillo pero funcional. El estudio se llevó a cabo en un curso universitario de desarrollo web y contempló distintos escenarios de aplicación: evaluaciones en el aula al inicio o al final de la clase, y evaluaciones individuales en casa. Se analizaron las implicaciones pedagógicas de cada uno de estos escenarios, así como las percepciones del estudiantado sobre su efectividad y utilidad.

Este trabajo se realizó en el contexto del proyecto de investigación “Medición de la eficacia de la (auto) evaluación realizada en el aula y en casa a través del uso de una herramienta educativa”, registrado ante la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del TEC. El proyecto se ejecutó entre julio 2023 y diciembre 2024.

Herramientas

En los últimos años, las herramientas de votación digital se han consolidado como un recurso popular para fomentar la participación activa del estudiantado, especialmente en entornos de clase sincrónicos, presenciales o virtuales. Estas herramientas permiten al profesorado aplicar preguntas breves en tiempo real, recopilar respuestas de manera inmediata y adaptar la clase según las necesidades detectadas. Su uso frecuente se asocia a estrategias de evaluación formativa, ya que proporcionan retroalimentación instantánea y promueven la reflexión sobre el aprendizaje [3].

Un ejemplo de estas plataformas es Kahoot!¹, la cual ha probado ser efectiva [8]. Otros ejemplos son Mentimeter² y Socrative³. Estas herramientas se valoran por su facilidad de uso, dinamismo y atractivo visual, lo cual las hace especialmente útiles para generar ambientes de aprendizaje interactivos. Sin embargo, su uso suele limitarse al espacio del aula o a momentos puntuales dentro de una sesión.

En el marco de este proyecto, se empleó una herramienta distinta: Quizitor, la cual ha sido desarrollada en la Universidad de Utrecht, Países Bajos [4]. A diferencia de las plataformas antes mencionadas,

1 <https://kahoot.com/>

2 <https://www.mentimeter.com/>

3 <https://www.socrative.com/>

Quizitor fue diseñada para ser utilizada tanto en el aula como fuera de ella (evaluaciones en la casa), integrándose a actividades evaluativas con propósitos formativos y sumativos. La herramienta permite aplicar cuestionarios breves con preguntas de opción múltiple, selección múltiple y preguntas abiertas, y ofrece funcionalidades como pistas, retroalimentación inmediata y seguimiento del progreso por parte del profesorado. La Figura 1 muestra la herramienta Quizitor y sus diferentes modos de uso.

Su diseño minimalista y su enfoque en la simplicidad hacen de Quizitor una opción versátil, comparable en experiencia de uso con herramientas comerciales, pero con mayor flexibilidad para adaptarse a distintos momentos del proceso de enseñanza. En este estudio, se usó para implementar diferentes secuencias de evaluación, analizando cómo cada escenario impacta en la participación, motivación y aprendizaje del estudiantado.

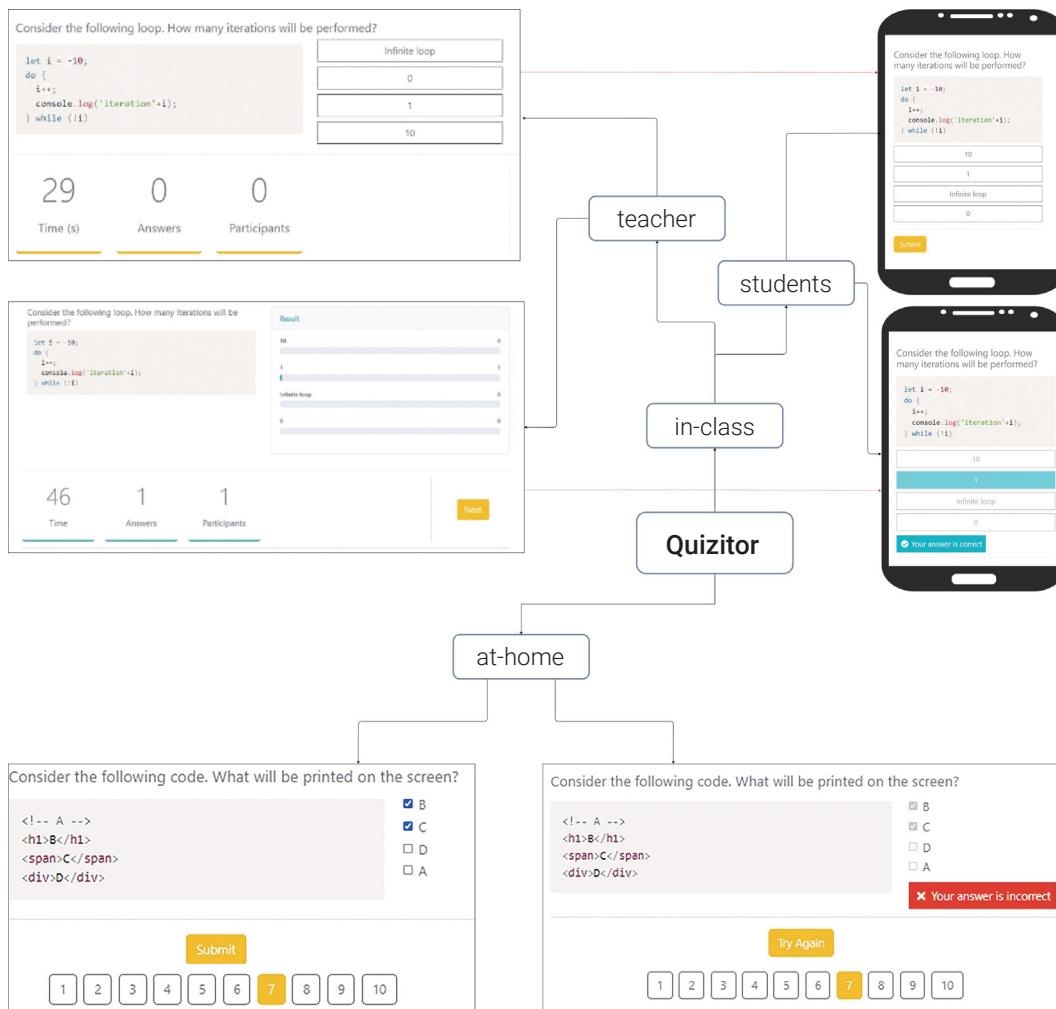


Figura 1: Herramienta Quizitor y sus dos modos de uso: evaluaciones en el aula (*in-class*) y evaluaciones en la casa (*at-home*). Figura tomada de Sosnovsky and Hamzah [7].

Experiencia en el curso

Quizitor se utilizó en el curso “Desarrollo Ágil de Aplicaciones Web”, de la carrera de Administración de Tecnología de Información del TEC, durante el segundo semestre del 2023. El curso tuvo una duración de 16 semanas lectivas y se impartió en modalidad sincrónica en línea, con una sesión semanal en vivo. La herramienta se empleó con fines tanto sumativos como formativos. La integración de este tipo de actividades resultó especialmente útil, ya que el curso no incluyó exámenes tradicionales como medio de evaluación. Además, dado que el estudiantado tenía acceso libre al uso de inteligencia artificial generativa (GenAI), se consideró relevante implementar mecanismos que permitieran monitorear y acompañar el proceso de aprendizaje de manera continua. Detalles adicionales sobre el uso de la GenAI en el curso están disponibles en [1].

Para la parte sumativa, se aplicaron evaluaciones en casa, las cuales contribuyeron con un 5% de la nota final del curso. Las personas estudiantes solo debían completar las evaluaciones para obtener el porcentaje asignado, es decir, su desempeño no fue tomado en cuenta para la calificación. Para la parte formativa, se utilizaron evaluaciones en el aula, aplicadas en dos escenarios distintos. En la primera parte del curso, hasta la semana 9, las evaluaciones en el aula se realizaron al final de la clase (Escenario 1), mientras que a partir de la semana 10 se aplicaron al inicio de la clase (Escenario 2).

En total, se llevaron a cabo 5 evaluaciones en el Escenario 1, otras 5 en el Escenario 2 y se habilitaron 22 evaluaciones para ser realizadas en casa. En el curso participaron 14 estudiantes. Al comienzo del curso, se informó a los estudiantes sobre los procedimientos del estudio. También se les indicó que su participación era voluntaria y que podían retirarse del estudio (aunque no de la parte evaluativa) en cualquier momento sin consecuencias.

La recolección de datos incluyó tanto el análisis de la interacción del estudiantado con la plataforma Quizitor como actividades cualitativas. Este artículo se enfoca en los hallazgos derivados del análisis cualitativo. En particular, se realizó un grupo focal con cinco estudiantes y dos entrevistas individuales al finalizar el curso. Dado que todos los estudiantes experimentaron ambos escenarios de evaluación durante el mismo curso, el análisis se centró en explorar cuál de las configuraciones preferían para las evaluaciones en el aula y las razones detrás de sus preferencias.

Preferencias

Los resultados del estudio reflejan impresiones mayoritariamente positivas sobre la herramienta Quizitor. En general, el estudiantado valoró su funcionalidad, destacando que es una herramienta fácil de usar, útil, intuitiva y con un diseño minimalista. También resaltaron la posibilidad de revisar las evaluaciones realizadas en casa como un apoyo para seguir el contenido del curso semana a semana. Además, consideraron positiva la inclusión de pistas como información adicional, y reconocieron que las evaluaciones en el aula y en casa se complementaban adecuadamente. Varios estudiantes indicaron que las evaluaciones en el aula contribuían a que las clases fueran más dinámicas.

En cuanto a la comparación entre evaluaciones en el aula y en casa, se encontró que ambas estaban alineadas con el contenido del curso. Sin embargo, varios estudiantes mencionaron que había demasiadas evaluaciones en casa sobre los mismos temas, lo que provocaba redundancia. Estas evaluaciones fueron descritas como largas y tediosas por algunos, y aunque permitían más tiempo de respuesta y la consulta de materiales, no todos los estudiantes se beneficiaban de este formato. De hecho, algunos reportaron sentirse más enfocados con las evaluaciones en el aula, mientras que las realizadas en casa resultaban más propensas a generar distracción. En ciertos casos, el tiempo extendido para resolver las evaluaciones en casa reducía su efectividad percibida.

Respecto al escenario preferido para las evaluaciones en el aula, seis estudiantes indicaron preferir que se realizaran al inicio de la clase (Escenario 2), mientras que dos se inclinaron por el formato tradicional al final (Escenario 1). Quienes favorecieron el Escenario 2 argumentaron que comenzaban la clase con más energía y enfoque, lo cual les ayudaba a activar conocimientos previos, retomar el hilo de los contenidos y asegurar la retención del material de la semana anterior. En cambio, los estudiantes que

preferían las evaluaciones al final valoraban la oportunidad de evaluar su comprensión del tema recién abordado y detectar áreas que requerían repaso. Algunos mencionaron sentirse cansados al final de la clase, lo que afectaba su desempeño en el Escenario 1.

También se evidenció el impacto de las evaluaciones en las prácticas de estudio. Por ejemplo, varios estudiantes indicaron que responder incorrectamente a dos preguntas seguidas les motivaba a repasar el contenido. Asimismo, se observó que muchos repasaban el material antes de las evaluaciones en el aula, especialmente cuando estas se ubicaban al inicio de la clase. La motivación para estudiar después de las evaluaciones, ya fueran en el aula o en casa, variaba en función del rendimiento individual y la carga académica. Algunos estudiantes señalaron sentirse particularmente impulsados a revisar ciertos temas luego de obtener respuestas incorrectas en las evaluaciones realizadas en casa.

Por último, algunos aspectos adicionales merecen ser destacados. El estudiantado valoró positivamente el anonimato ofrecido durante las evaluaciones en el aula, lo cual favoreció una participación más relajada. Asimismo, apreciaron que las evaluaciones realizadas en casa no fueran calificadas en función del desempeño, sino simplemente por haberlas completado. Esta característica redujo la presión asociada a la evaluación y también disminuyó el incentivo a copiar respuestas o a utilizar herramientas como ChatGPT de forma indebida.

La Figura 2 muestra un resumen de los principales hallazgos del estudio relacionados con los dos escenarios de aplicación de evaluaciones cortas en el aula.

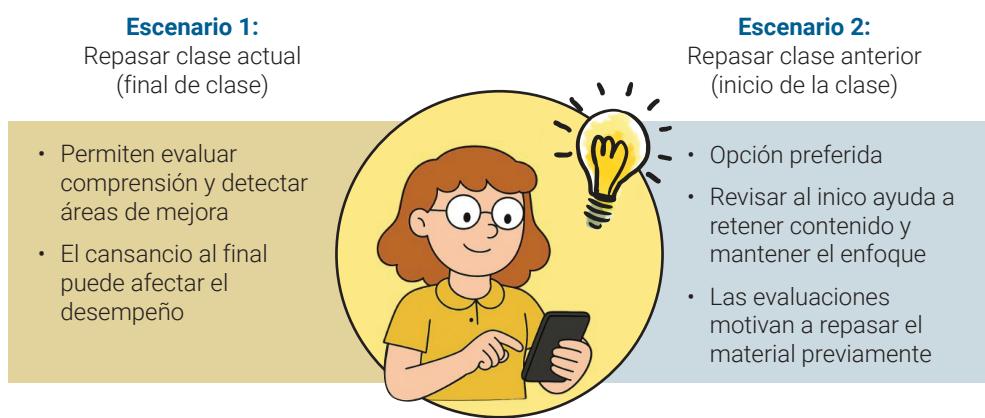


Figura 2: Resumen de los dos escenarios para realizar evaluaciones cortas en el aula. Fuente: elaboración propia.

Conclusión

Esta experiencia sugiere que las evaluaciones cortas, bien diseñadas y aplicadas estratégicamente en un entorno mixto, pueden tener un impacto positivo en el compromiso y el aprendizaje autorregulado. La combinación de evaluaciones en el aula y en casa permite al estudiantado reflexionar sobre su progreso, y escenarios como evaluaciones cortas al inicio ofrecen ventajas pedagógicas que merecen ser exploradas en otros contextos educativos.

Se recomienda continuar investigando con muestras más amplias y en distintas asignaturas para fortalecer la validez de los hallazgos y adaptar herramientas como Quizitor a nuevas realidades educativas.

Referencias

- [1] I. Alpizar-Chacon and H. Keuning. Student's use of generative ai as a support tool in an advanced web development course. *Proceedings of the 30th ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education* V. 1, 2025.
- [2] B. Anthony, A. Kamaludin, A. Romli, A. F. M. Raffei, D. N. A. E. Phon, A. Abdullah, and G. L. Ming. Blended learning adoption and implementation in higher education: A theoretical and systematic review. *Technology, Knowledge and Learning*, pages 1–48, 2022.
- [3] S. W. Draper and M. I. Brown. Increasing interactivity in lectures using an electronic voting system. *Journal of computer assisted learning*, 20(2):81–94, 2004.
- [4] A. Hamzah and S. Sosnovsky. Providing students with mobile access to an assessment platform: Lessons learned. *International Journal of Mobile and Blended Learning (IJMBL)*, 15(2):1–16, 2023.
- [5] S. Ko, c, X. Liu, and P. Wachira. *Assessment in online and blended learning environments*. IAP, 2015.
- [6] D. Mali and H. Lim. How do students perceive face-to-face/blended learning as a result of the covid-19 pandemic? *The International Journal of Management Education*, 19(3):100552, 2021.
- [7] S. Sosnovsky and A. Hamzah. Improving prediction of student performance in a blended course. In *International Conference on Artificial Intelligence in Education*, pages 594–599. Springer, 2022.
- [8] Q. Zhang and Z. Yu. A literature review on the influence of kahoot! on learning outcomes, interaction, and collaboration. *Education and Information Technologies*, 26(4):4507–4535, 2021.

Sobre el autor

Isaac Alpízar-Chacón

Profesor asociado a tiempo parcial en la Escuela de Administración de Tecnologías de Información del TEC y, además, profesor asistente en la Universidad de Utrecht, Países Bajos. Posee un doctorado en Ciencias de la Información y la Computación de la Universidad de Utrecht, Países Bajos, así como una Maestría en Ciencias de la Computación de la Universidad del Sarre, en Saarbrücken, Alemania. Sus áreas de interés son la investigación educativa, la inteligencia artificial en la educación y el pensamiento computacional. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6931-9787>.

El LIENE avanza hacia una turbina eólica adaptada al viento de Costa Rica

Gustavo Richmond-Navarro

Escuela de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ grichmond@tec.ac.cr

Maximino Jiménez-Ceciliano

Escuela de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ maxjimenez@tec.ac.cr

Juan José Montero-Jiménez

Escuela de Ingeniería Electromecánica
Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica
✉ juan.montero@tec.ac.cr

Fecha de recepción: 15 de mayo 2025 | Fecha de aprobación: 4 de setiembre de 2025

Resumen

El Laboratorio de Investigación en Energía Eólica (LIENE), de la Escuela de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico de Costa Rica, trabaja en el desarrollo de un rotor de turbina eólica adaptado a las condiciones particulares del viento costarricense. Este esfuerzo comenzó en 2018 con la instalación de torres meteorológicas para caracterizar el recurso eólico del país. A partir de los datos obtenidos, se realizó una revisión de literatura sobre perfiles aerodinámicos adecuados para el tipo de flujo predominante. Con esa base, se diseñó un rotor experimental, que posteriormente fue manufacturado y puesto a prueba en condiciones controladas de laboratorio. Los resultados mostraron mejoras de hasta un 218% en comparación con un rotor comercial. A futuro, la investigación se enfocará en el estudio del número óptimo de aspas, el refinamiento del diseño aerodinámico y el acoplamiento eficiente entre el rotor y el generador eléctrico.

Palabras clave

Turbina eólica, rotor, microgeneración, turbulencia, pequeña escala.

Abstract

The LIENE lab (Laboratorio de Investigación en Energía Eólica) of the Department of Electromechanical Engineering at the Instituto Tecnológico de Costa Rica is working on the development of a wind turbine rotor adapted to the particular wind conditions of Costa Rica. This effort began in 2018 with the installation of meteorological towers to characterize the country's wind resource. Based on the obtained data, a literature review was carried out on aerodynamic profiles suitable for the predominant flow type. On that basis, an experimental rotor was designed, later manufactured, and tested under controlled laboratory conditions. The results showed improvements of up to 218% compared to a commercial rotor. In the future, the research will focus on studying the optimal number of blades, refining the aerodynamic design, and achieving efficient coupling between the rotor and the electric generator.

Key words

Wind turbine, rotor, microgeneration, turbulence, small scale.

Introducción

Costa Rica ha dado pasos firmes hacia la generación de energía a partir de fuentes renovables, destacándose por su matriz eléctrica principalmente renovable [1]. Sin embargo, aún queda camino por recorrer en el aprovechamiento distribuido de esas fuentes, especialmente en lo que respecta a la energía eólica de pequeña escala. Esta modalidad resulta especialmente atractiva para comunidades rurales o aisladas, o para proyectos que buscan autosuficiencia energética. No obstante, su desarrollo enfrenta un obstáculo fundamental: la mayoría de las turbinas disponibles en el mercado no están diseñadas para operar con eficiencia en las condiciones de viento típicas de Costa Rica, caracterizadas por entornos boscosos e irregulares.

En efecto, la mayoría de los rotores comerciales están optimizados para velocidades de viento en torno a los 10 m/s, mientras que en muchas regiones de Costa Rica —y también de otros países de la región— los vientos alcanzan su mayor densidad de potencia en el rango de los 5 a 7 m/s. Esta discrepancia fue evidenciada en estudios previos realizados en el país, donde se ha documentado que el desempeño de las turbinas comerciales es limitado en entornos como los nuestros, tal como se mostró en un caso de estudio sobre microgeneración eólica en una zona boscosa [2].

Para abordar este desafío, el LIENE ha desarrollado una iniciativa desde 2018 para diseñar un rotor de turbina eólica adaptado al viento costarricense. El primer paso fue obtener información confiable sobre el comportamiento del viento en distintos puntos del país. Para ello, se instalaron torres meteorológicas equipadas con anemómetros en sitios con topografía compleja y presencia de obstáculos, como bosques y edificaciones [3], específicamente en el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), donde se seleccionaron dos puntos que simulan adecuadamente estas condiciones. Además, se utilizaron datos del Instituto Meteorológico Nacional para enriquecer y validar los resultados [4].

Con esta base de datos consolidada, se realizó una revisión de literatura científica que permitió identificar qué perfiles aerodinámicos resultan más adecuados para operar en flujos turbulentos y de baja velocidad, especialmente en zonas con cobertura forestal [5]. Esta información se utilizó para definir una geometría de aspa que pudiera maximizar el rendimiento bajo estas condiciones. Tras varias iteraciones, se seleccionó un perfil modificado y se diseñó un rotor utilizando el software libre Small Wind-Turbine Rotor Design Code (SWRDC), el cual fue proporcionado por sus diseñadores a solicitud [6]. Posteriormente, este rotor fue manufacturado en el LIENE y probado bajo condiciones controladas en el laboratorio de transferencia de calor de la Universidad de Costa Rica (UCR) donde está disponible un túnel de viento.

El objetivo de este artículo es presentar el proceso de evaluación experimental del rotor desarrollado por el LIENE y compararlo con el desempeño de un rotor comercial. La comparación pone en evidencia el potencial que tiene un diseño local y específico para mejorar significativamente el aprovechamiento del viento en regiones donde los dispositivos comerciales simplemente no son eficientes.

Metodología

El diseño del rotor se realizó utilizando el software SWRDC, tomando en cuenta las condiciones de viento características de Costa Rica y, en particular, los perfiles aerodinámicos modificados derivados del SG6043. El SG6043 es una forma aerodinámica diseñada específicamente para optimizar la respuesta de la fuerza de sustentación a bajas velocidades del viento, lo que lo hace especialmente adecuado para entornos con flujo turbulento, como los que predominan en muchas regiones del país. Estos perfiles fueron definidos a partir de ensayos realizados en túneles de viento, con el fin de mejorar el comportamiento del rotor en condiciones de baja velocidad y alta turbulencia. Además, se exploraron variantes orientadas al control del flujo, optimizando así el rendimiento aerodinámico del diseño.

Una vez definido el diseño, se fabricó el rotor en el LIENE mediante impresión 3D utilizando una impresora Artillery Sidewinder X1. El modelo digital se dividió en secciones para facilitar su manufactura y luego se ensambló para obtener el rotor completo.

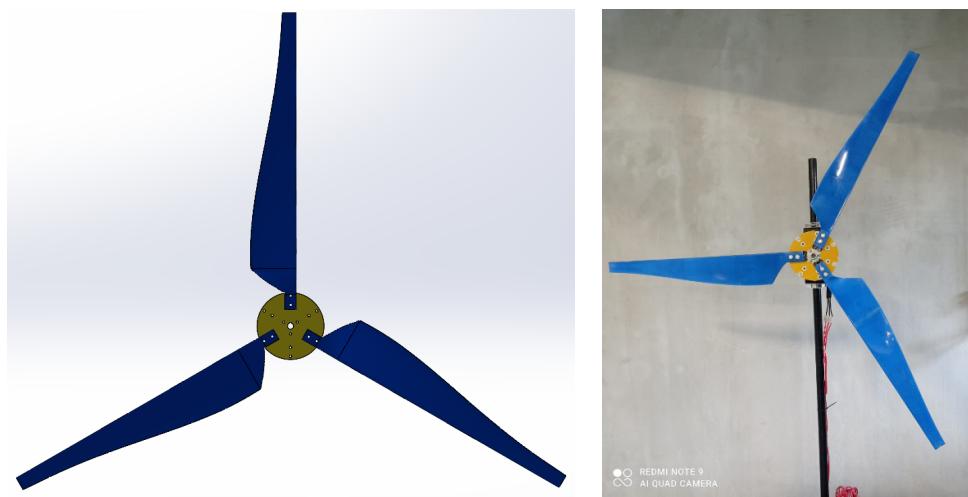


Figura 1. Diseño del rotor (izquierda) y rotor manufacturado (derecha). Fuente: los autores.

Con el rotor construido, se realizaron pruebas experimentales en el túnel de viento de la UCR. Para aproximarse a las condiciones de turbulencia características de entornos naturales, el rotor se colocó a 1 metro de la salida del túnel, donde el flujo deja de ser laminar debido a la formación de vórtices al descargarse hacia la atmósfera, efecto acentuado por la geometría rectangular de la boquilla de salida. Además, al ser el rotor un disco y la salida del túnel un rectángulo de menor altura que su diámetro, el flujo incidente sobre la turbina no era homogéneo. Para comparar su desempeño, se utilizó una turbina comercial de pequeña escala, a la que se le retiraron las aspas originales para instalar el rotor diseñado por el LIENE, manteniendo el mismo generador eléctrico de fábrica.

El generador fue conectado a una resistencia de 3 ohms y 500 watts, lo que permitió disipar la energía generada y medir con precisión la potencia entregada. Las pruebas consistieron en variar la velocidad del viento en el túnel dentro del rango de 5 a 10 m/s, y registrar la potencia generada en cada caso. La velocidad del viento se midió con un tubo de Pitot y se registró con una frecuencia de muestreo de 10 Hz. Para medir la potencia, se registraron la corriente y el voltaje con una frecuencia de 1 Hz, y la potencia se calculó utilizando la fórmula $P = V * I$, donde P es la potencia, V el voltaje y I la corriente.

Cada prueba tuvo una duración de 60 segundos, pero antes de iniciar la medición se dejó un periodo de 15 segundos para que el sistema alcanzara la velocidad y condiciones de operación adecuadas. Además, antes de cada serie de pruebas, se dejó el equipo funcionando durante 10 minutos a una velocidad de 6 m/s para permitir que los sistemas alcanzaran temperaturas de operación. Este procedimiento se repitió para ambos rotores, lo que permitió realizar una comparación directa de su rendimiento bajo las mismas condiciones.

Resultados

La Figura 2 presenta las curvas de potencia obtenidas en el túnel de viento para ambos rotores: el comercial y el prototipo del LIENE. Se observa que el rotor prototipo supera ampliamente al comercial en todo el rango de velocidades evaluado. Las curvas se construyeron a partir del promedio de las mediciones de potencia realizadas durante 60 segundos en cada velocidad. Estos promedios se calcularon a partir de 4 réplicas del experimento realizadas el mismo día, y luego se promediaron con los resultados de réplicas completas realizadas en 4 días diferentes entre noviembre de 2023 y octubre de 2024.

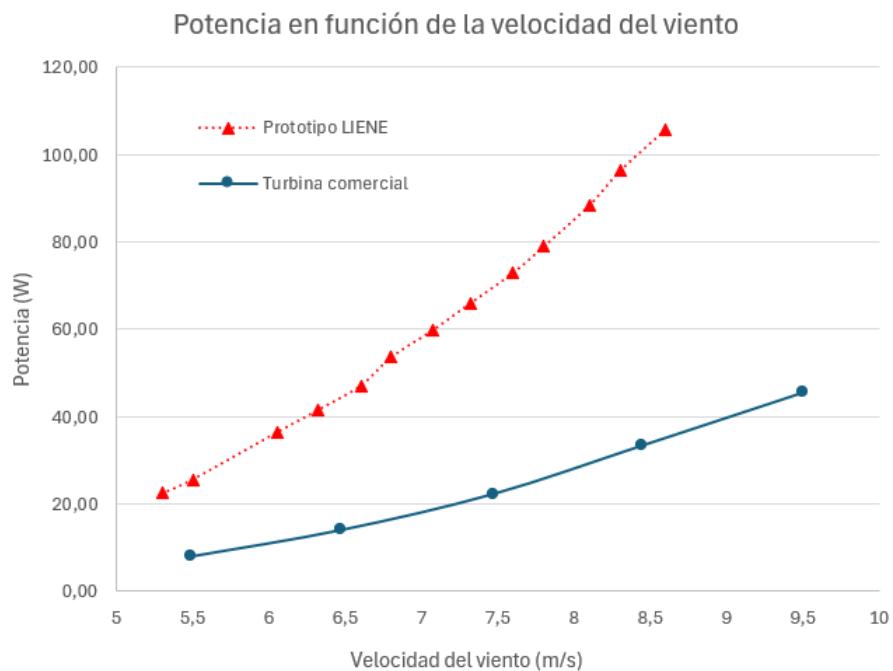


Figura 2. Curvas de potencia de los rotores. Fuente: los autores.

En particular, el rotor diseñado en el LIENE entrega entre un 200% y un 218% más potencia que el rotor comercial, lo que significa que, en la mayoría de los casos, su rendimiento se triplica o más. Este resultado confirma que un diseño optimizado para las condiciones reales de viento en Costa Rica permite un aprovechamiento mucho más eficiente del recurso eólico, especialmente en entornos de baja velocidad y alta turbulencia.

Sin embargo, aún hay aspectos por mejorar. Uno de ellos es la velocidad de arranque (cut-in), ya que actualmente el rotor comienza a generar potencia a partir de aproximadamente 5,3 m/s, mientras que sería ideal que lo hiciera desde 2,5 m/s. Una posible estrategia para lograrlo es incrementar la cantidad de aspas, lo que podría mejorar el torque a bajas velocidades.

Además, aunque la comparación se realizó con el mismo generador eléctrico de la turbina comercial (para aislar el efecto del rotor), esto implica que el prototipo no está necesariamente operando en su

punto óptimo. Por ello, en etapas futuras se considera fundamental diseñar un generador específico para este rotor.

Finalmente, se debe mencionar que la potencia máxima no alcanza los 500 W nominales indicados por el fabricante de la turbina. Esto se debe en parte a que, por razones prácticas, el sistema fue ubicado fuera del túnel de viento, lo que impidió que el flujo impactara uniformemente sobre toda el área barrida por el rotor, afectando así su desempeño.

Comentarios finales

Los resultados obtenidos demuestran que es posible diseñar un rotor de turbina eólica más eficiente que los modelos comerciales actualmente disponibles para condiciones de viento como las que predominan en Costa Rica. El rotor desarrollado en el LIENE logró triplicar la potencia generada en comparación con una turbina comercial utilizando el mismo generador, lo que evidencia el impacto de un diseño adaptado a velocidades de viento entre 5 y 8 m/s con altos niveles de turbulencia.

A partir de este avance, los próximos pasos deben enfocarse en mejorar el arranque a velocidades más bajas –idealmente desde 2,5 m/s–, lo que podría lograrse explorando configuraciones con más aspas o disminuyendo la inercia del sistema. También será necesario desarrollar un generador eléctrico específico para este rotor, de forma que se maximice su desempeño. Además, se debe investigar una solución robusta de manufactura para intemperie, ya que el prototipo actual fue fabricado en 3D con fines de validación en laboratorio. Igualmente, será importante optimizar el sistema de conversión y transferencia de energía, especialmente si se pretende utilizar en zonas aisladas o con acceso limitado a redes eléctricas.

Este trabajo también pone en evidencia los retos de hacer investigación desde cero: diseñar, fabricar, probar, ajustar... Cada paso demanda tiempo, recursos, financiamiento y, sobre todo, un equipo interdisciplinario comprometido. No obstante, los resultados obtenidos justifican plenamente el esfuerzo realizado.

Contar con una turbina eólica pequeña y eficiente, pensada desde el inicio para el contexto costarricense, sería un gran logro para el país. Este tipo de tecnología puede ser especialmente útil en zonas rurales o comunidades indígenas no conectadas a la red eléctrica, contribuyendo así a su desarrollo y autonomía energética. Además, representa una oportunidad clave para fomentar la generación distribuida, especialmente ahora que está vigente la Ley 10086, que promueve el aprovechamiento de fuentes renovables a pequeña escala en beneficio de la población.

Referencias

- [1] Instituto Costarricense de Electricidad, *Reporte de generación eléctrica 2020*, 2020. [Online]. Available: <https://www.grupoice.com/wps/portal/ICE>
- [2] K. Torres-Castro, C. Torres-Quirós, and G. Richmond-Navarro, "Microgeneración de energía eólica en un entorno boscoso en Costa Rica: estudio de caso," *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 34, no. 3, pp. 61–69, 2021. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i3.5063>
- [3] G. Richmond-Navarro, R. F. Sanabria-Sandí, L. E. Castro-Rodríguez, J. J. Rojas, and W. R. Calderón-Muñoz, "Evolución vertical de la intensidad de turbulencia del viento en terreno complejo con obstáculos," *Tecnología en Marcha*, vol. 35, no. 7, pp. 46–57, 2022. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i7.6332>
- [4] G. Murillo-Zumbado, G. Richmond-Navarro, P. Casanova-Treto, and J. C. Rojas-Gómez, "Generalidades del recurso eólico en Costa Rica: caso de estudio de la provincia de Cartago," *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 34, no. 4, pp. 130–145, 2021. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i4.5274>

- [5] G. Richmond-Navarro, M. Montenegro-Montero, and C. Otárola, "Revisión de los perfiles aerodinámicos apropiados para turbinas eólicas de eje horizontal y de pequeña escala en zonas boscosas," *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 17, no. 1, pp. 233–251, 2020. <https://doi.org/10.22507/rli.v17n1a22>
- [6] M. Sessarego and D. Wood, "Multi-dimensional optimization of small wind turbine blades," *Renewables*, vol. 2, p. 9, 2015. <https://doi.org/10.1186/s40807-015-0009-x>

Sobre los autores

Gustavo Richmond-Navarro

Ingeniero en Mantenimiento Industrial, Máster en Ciencias de la Ingeniería, Doctor en Ingeniería y Bachiller en Física. Profesor e investigador en la Escuela de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico de Costa Rica y coordinador del Laboratorio de Investigación en Energía Eólica (LIENE). ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5147-5952>

Maximino Jiménez-Ceciliano

Ingeniero en Mantenimiento Industrial. Profesor e investigador en la Escuela de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico de Costa Rica. ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7222-9961>

Juan José Montero-Jiménez

Ingeniero en Mantenimiento Industrial, Máster en Ciencias en Ingeniería Aeroespacial, Doctor en Ingeniería Industrial e Informática. Profesor e investigador en la Escuela de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico de Costa Rica. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3215-3736>

ECOMAR: Un proyecto de investigación que unió a cuatro universidades públicas de Costa Rica y dos internacionales para solventar un objetivo en común

Alejandra Mata-Mata

Escuela de Química

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

✉ almata@itcr.ac.cr

Nancy Ariza-Castro

Escuela de Química.

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

✉ nariza@itcr.ac.cr

Fecha de recepción: 31 de julio 2025 | Fecha de aprobación: 11 de setiembre 2025

Resumen:

Actualmente, las colaboraciones interinstitucionales son clave para el desarrollo de la investigación científica. Fue así como en el año 2022 se generó ECOMAR, un proyecto donde participaron cuatro universidades públicas de Costa Rica y dos universidades internacionales. Esta iniciativa permitió realizar el primer monitoreo de contaminantes emergentes en la zona marino-costera del Golfo de Nicoya, con el fin de establecer una línea base sobre la presencia de estas sustancias en los ecosistemas marinos y su impacto en la biodiversidad y actividades productivas emergentes de la zona. Además, se capacitó a personas productoras de ostras y mejillones en prácticas sostenibles, fortaleciendo la sostenibilidad ambiental y el desarrollo comunitario de la región. Con este artículo se busca resaltar la importancia del trabajo interinstitucional y como se logró llevar a cabo un proyecto al contemplar las fortalezas académicas, técnicas y de infraestructura de diversas instituciones.

Palabras claves: colaboración interinstitucional, contaminantes emergentes, salud pública, ecosistemas marinos, maricultura

Abstract:

Currently, inter-institutional collaborations are key for the development of scientific research. This lead to the creation of ECOMAR in 2022. A project involving four public universities in Costa Rica and two international universities. This initiative enabled the first monitoring of emerging contaminants in the marine-coastal zone of the Gulf of Nicoya, with the aim of establishing a baseline on the presence of these substances in marine ecosystems, their impact on biodiversity, and emerging productive activities in the area. In addition, oyster and mussel producers were trained in sustainable practices, strengthening both environmental sustainability and community development in the region. This article seeks to highlight the importance of inter-institutional work and how it was possible to carry out a project by integrating academic, technical, and infrastructure strengths of various institutions.

Keywords: inter-institutional collaboration, emerging contaminants, public health, marine ecosystems, mariculture.

Las colaboraciones interinstitucionales juegan un papel clave en el avance y diversificación de la investigación científica [1]. Estas alianzas propician la conformación de equipos multidisciplinarios capaces de abordar problemáticas complejas de manera integral, combinando conocimientos teóricos, prácticos y formativos [2] [3].

En este contexto, durante el año 2022, cuatro universidades públicas de Costa Rica, entre ellas, la Universidad Estatal a Distancia, la Universidad Nacional, la Universidad de Costa Rica y el Instituto Tecnológico de Costa Rica, se aliaron con la Universidad de Montpellier (Francia) y la Universidad Federal de São Paulo (Brasil) para desarrollar el proyecto ECOMAR: *"Efecto de los contaminantes emergentes en los ecosistemas marinos de la Isla de Chira y Paquera: Bio-monitoreo mediante maricultura, para la mejora de la conservación de la biodiversidad, la salud y la actividad productiva de la zona"*. Esta iniciativa fue financiada por la Unión Europea, a través del Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN) de Costa Rica.

En Costa Rica, la información sobre la presencia de estas sustancias en ambientes marinos es limitada. Por ello, ECOMAR llevó a cabo el primer monitoreo de contaminantes emergentes en la zona marino-costera del Golfo de Nicoya (ver Figura 1), con el propósito de generar una línea base de datos sobre su presencia en aguas costeras, los riesgos potenciales para la biodiversidad marina y su impacto económico en actividades emergentes como el cultivo de moluscos desarrollado por comunidades locales.

Además del monitoreo ambiental, el proyecto aportó a la sostenibilidad y desarrollo comunitario en la zona marino-costera del Golfo de Nicoya. ECOMAR contribuyó significativamente a mejorar las prácticas de cultivo de ostras y mejillones en las asociaciones de personas productoras locales, integrando la sostenibilidad ambiental como motor del desarrollo económico regional. Como parte de este esfuerzo, se elaboró un manual de buenas prácticas de higiene para la etapa de postcosecha de moluscos bivalvos, y se impartieron talleres para facilitar su adopción.

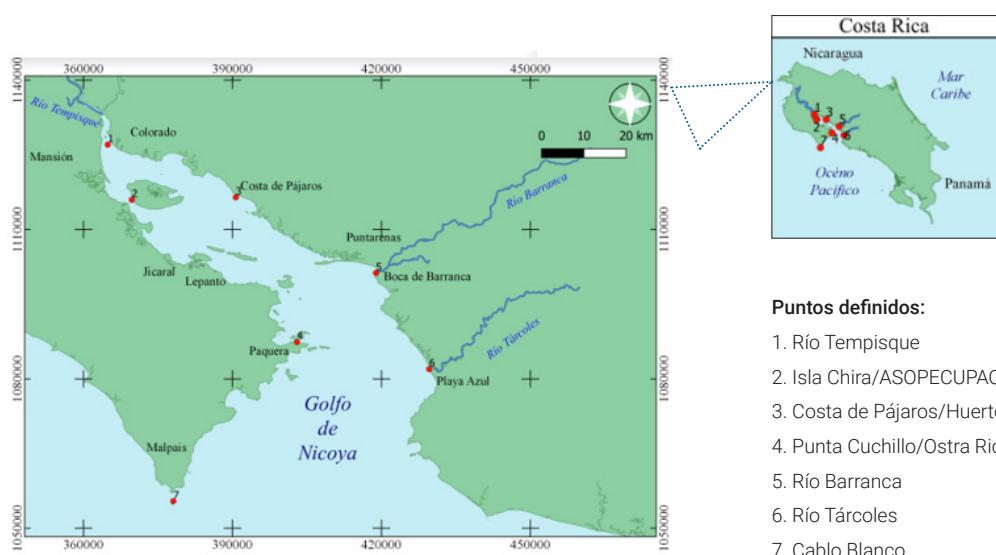


Figura 1. Localización de los puntos de interés del proyecto en el Golfo de Nicoya. Fuente: Proyecto ECOMAR

Asimismo, el proyecto impulsó la transición hacia modelos productivos sostenibles, fundamentados en principios de economía circular y verde, con el objetivo de generar nuevas oportunidades económicas y mejorar la calidad de vida en comunidades vulnerables del Pacífico Central. Para ello, se propuso un sello de calidad vinculado a los protocolos de producción e inocuidad para moluscos cultivados a pequeña escala, además de mejorar el proceso de depuración de ostras, fortaleciendo así la seguridad y el valor agregado del producto.

Organización y ejecución del proyecto

La ejecución del proyecto se organizó según las fortalezas académicas, técnicas y de infraestructura de cada universidad participante, lo que permitió una implementación eficiente y una transferencia efectiva de conocimiento.

- **Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC):** Como institución coordinadora de ECOMAR, el TEC asumió la responsabilidad de gestionar los fondos del proyecto, seleccionar el personal y asegurar que todas las actividades se desarrollaran de manera organizada y eficiente. Además, tuvo un papel protagónico en el desarrollo y validación de métodos analíticos para detectar contaminantes emergentes tanto en tejidos de moluscos como en muestras de agua de mar (ver Figura 2). Estas tareas fueron posibles gracias a la experiencia del personal especializado en química ambiental y analítica, así como al equipamiento e infraestructura disponible en la Escuela de Química, el Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC) y el Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA).



Figura 2. Actividades en laboratorio del proyecto ECOMAR. Fuente: Proyecto ECOMAR

El proyecto también permitió fortalecer líneas de investigación aplicada en temas de contaminación marina y generar nuevas oportunidades de formación para estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental, quienes participaron en prácticas profesionales, proyectos de graduación y congresos vinculados al estudio de los ecosistemas costeros (ver Figura 3).

- **Universidad Nacional (UNA):** La UNA, por medio de la Escuela de Ciencias Biológicas y la Estación de Ciencias Marinas y Costeras (ECMAR), aportó su valiosa experiencia en biología marina y acuicultura, con énfasis en el cultivo de la ostra *Magallana gigas* (ver Figura 4). Durante los períodos de muestreo, en las instalaciones de la ECMAR fue posible un laboratorio móvil, lo que facilitó el procesamiento rápido y eficiente de las muestras recolectadas en campo. Además, la estación cuenta con espacios de hospedaje y salas para capacitación, propiciando condiciones cómodas para el equipo técnico y científico que participó en las giras de muestreo. Esta infraestructura también favoreció el intercambio de conocimientos con las asociaciones locales, fortaleciendo así la vinculación entre la academia y las comunidades costeras.



Figura 3. Proyectos de graduación y congresos generados por medio de ECOMAR. Fuente: Proyecto ECOMAR y Carrera de Ingeniería Ambiental del Instituto Tecnológico de Costa Rica

- **Universidad Estatal a Distancia (UNED):** La UNED contribuyó al proyecto ECOMAR con su experiencia en biología marina y tecnología de alimentos, especialmente en el cultivo del mejillón *Mytilus guyanensis*. Uno de sus aportes clave fue el apoyo logístico al facilitar equipo y transporte para la instalación del laboratorio móvil en la ECMAR, lo que permitió agilizar el trabajo de campo durante las jornadas de muestreo (ver Figura 5).

Además, la UNED desarrolló junto con la UNA, procesos de capacitación dirigidos a las asociaciones de personas productoras, enfocándose en la inocuidad alimentaria de los moluscos a lo largo de toda la cadena productiva, desde la siembra hasta su comercialización, promoviendo así una producción más segura y responsable.

Además, la UNED fortaleció sus áreas de investigación y extensión al integrar estudiantes de diversas carreras –como manejo de recursos naturales, agroindustria e ingenierías–, quienes se involucraron activamente en las distintas fases del proyecto.



Figura 4. Líneas de cultivo de ostras *Magallana gigas*. Fuente: Proyecto ECOMAR

- **Universidad de Costa Rica (UCR):** La UCR tuvo un papel clave en el análisis de las políticas públicas relacionadas con la protección de los ecosistemas marinos. Su trabajo permitió identificar oportunidades de mejora y generar insumos valiosos para el diseño de estrategias que favorezcan la sostenibilidad ambiental y el bienestar de las comunidades costeras.
- **Universidad Federal de São Paulo y la Universidad de Montpellier:** Estas dos universidades internacionales aportaron su experiencia mediante el intercambio de conocimientos, técnicas especializadas y vínculos con redes globales de investigación. Gracias a esta colaboración, se fortaleció el componente científico del proyecto y se amplió su impacto más allá de las fronteras nacionales, posicionando a ECOMAR en un contexto de cooperación internacional en ciencia y sostenibilidad (ver Figuras 6 y 7).



Figura 5. Actividades realizadas por la UNED en el proyecto ECOMAR. Fuente: Proyecto ECOMAR



Figura 6. Gira de reconocimiento con varios de los investigadores del proyecto. De izquierda a derecha científicos de la Universidad de Sao Paulo, ITCR, UCR, UNED, UNA y la Sra. Shirley, productora de Ostras en Isla Chira. Fuente: Proyecto ECOMAR



Figura 7. Gira de reconocimiento con varios de los investigadores (UCR, ITCR, Universidad de Montpellier) y representantes del Hospital Monseñor Sanabria ubicado en Puntarenas. Fuente: Proyecto ECOMAR

Resultados y productos obtenidos

Mediante el proyecto ECOMAR, se elaboró un manual de buenas prácticas de producción sostenible y se capacitó en total a 211 personas productoras vinculadas a seis asociaciones de producción de ostra y una de mejillón. También, se participó en un total de seis eventos de divulgación, talleres, congresos y mesas redondas en donde se lograron impactar a 300 personas de diversos sectores.

Además, se identificaron 12 contaminantes emergentes en el Golfo de Nicoya de los cuales dos fueron señalados como posibles marcadores de contaminación antropogénico. Esta información permitió establecer una línea base de contaminantes emergentes en la zona de estudio.

Como productos del conocimiento, se generaron 8 informes técnicos entre los cuales se encuentra el análisis seleccionado de los lineamientos de política pública relacionados con ecosistemas marinos y una propuesta de sello de calidad para moluscos bivalvos de cultivo en pequeña escala aplicado al protocolo de producción y de inocuidad.

Agradecimientos:

Al grupo de investigación que conformó el proyecto ECOMAR: Mag. Fiorella González-Solórzano, Mag. Marlon Salazar-Chacón y Bach. Ronald Sánchez-Brenes de la Universidad Estatal a Distancia; Lic. Sidey Arias-Valverde y Lic. Gerardo Zúñiga-Calero de la Universidad Nacional; Dra. Ingrid Gómez-Duarte de la Universidad de Costa Rica; PhD. Italo Braga de Castro de la Universidad Federal de São Paulo; PhD. Frédérique Courant, PhD. Geoffroy Duporte y PhD. Elena Gómez de la Universidad de Montpellier; MSc. Eric Romero-Blanco, Dra. Aura Ledezma Espinoza, PhD. Floria Roa-Gutiérrez y PhD. Nancy Ariza-Castro (coordinadora del proyecto ECOMAR) del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

A los colaboradores del proyecto: Lic. María Paula Obando-Víquez, Bach. Andrés Molina-Coto, MSc. Scarlet Ortiz-Araya, MSc. Rebeca Quesada-Céspedes, Lic. Oscar Pacheco-Prieto, MBA. Marisela Bonilla-Freer, Lic. Alejandra Mata-Mata, Bach. Jocelyn López-Martínez y Bach. Javier Montero-Jiménez.

A los estudiantes del Instituto Tecnológico de Costa Rica, de las carreras de Ingeniería Ambiental: Joshua Plummer-Peña, Nathaly Jiménez-Marín y Adriana Rojas-Chacón, así como de la carrera de Ingeniería en Biotecnología: Yenderson Romero-Villalobos y Mélanie Corrales-Garro.

A los centros de investigación de la Escuela de Química del Tecnológico de Costa Rica: Centro de Investigación y Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC) y Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA)

A las asociaciones de personas productoras de ostras y mejillones del Golfo de Nicoya.

A la Dirección General y sus dependencias del Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA) - Dra. Carolina Elizondo-Ovares y a la Dirección de Farmacia del Hospital de la Anexión, del Hospital Monseñor Sanabria y del Hospital Dr. Baltodano Briceño de Liberia.

Referencias:

- [1] J. R. Hedges *et al.*, «Strengthening and Sustaining Inter-Institutional Research Collaborations and Partnerships», *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, n.º 5, Art. n.º 5, ene. 2021, doi: [10.3390/ijerph18052727](https://doi.org/10.3390/ijerph18052727).
- [2] E. A. Corley, P. C. Boardman, y B. Bozeman, «Design and the management of multi-institutional research collaborations: Theoretical implications from two case studies», *Research Policy*, vol. 35, n.º 7, pp. 975-993, sep. 2006, doi: [10.1016/j.respol.2006.05.003](https://doi.org/10.1016/j.respol.2006.05.003).
- [3] «El trabajo colaborativo y la inclusión social | Barragán de Anda | Apertura». Accedido: 13 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://www.udgvirtual.udg.mx/apertura//index.php/apertura/article/view/19/26>

Sobre los autores:

Alejandra Mata-Mata

Licenciada en Química. Labora para el Centro de Investigación Química y Microbiológica (CEQIATEC). Perfil profesional: www.linkedin.com/in/alejandra-mata-mata-129ba8377

Nancy Ariza-Castro.

Cuenta con un doctorado en Ciencias del Agua, de la Universidad de Montpellier, Francia. Especialidad en química analítica ambiental y de alimentos. Labora para la Escuela de Química y en el Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA) del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Fue la coordinadora del proyecto ECOMAR. Perfil profesional: <https://www.linkedin.com/in/nancy-ariza-castro-18319072/>; <https://orcid.org/0000-0003-4723-0818>