

Ciência e Tecnologia

Para o Desenvolvimento
Ambiental, Cultural
e Socioeconômico

Xosé Somoza Medina
(organizador)

Ciência e Tecnologia

Para o Desenvolvimento
Ambiental, Cultural
e Socioeconômico

Xosé Somoza Medina
(organizador)

2025 by Editora Artemis
Copyright © Editora Artemis
Copyright do Texto © 2025 Os autores
Copyright da Edição © 2025 Editora Artemis



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Editora Chefe	Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M.ª Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M.ª Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizador	Prof. Dr. Xosé Somoza Medina
Imagen da Capa	peacestock/123RF
Bibliotecário	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

- Prof.º Dr.º Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría"*, Cuba
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof. Dr. Agustín Olmos Cruz, *Universidad Autónoma del Estado de México*, México
Prof.º Dr.º Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba, Brasil
Prof.º Dr.º Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof.º Dr.º Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru
Prof.º Dr.º Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
Prof.º Dr.º Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha
Prof.º Dr.º Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof.º Dr.º Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.º Dr.º Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México
Prof.º Dr.º Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal
Prof.º Dr.º Cláudia Padovesi Fonseca, Universidade de Brasília-DF, Brasil
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
Dr. Cristo Ernesto Yáñez León – New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ, Estados Unidos
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha
Prof.º Dr.º Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão, Brasil
Prof.º Dr.º Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará, Brasil
Prof.º Dr.º Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México
Prof.º Dr.º Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, Universidade de São Paulo (USP), Brasil
Prof. Dr. Elio Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima, Brasil
Prof.º Dr.º Elvira Laura Hernández Carballedo, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México
Prof.º Dr.º Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste / Universidad Tecnológica Nacional*, Argentina

Prof.^a Dr.^a Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca*, Espanha
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República*, Uruguay
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara*, México
Prof. Dr. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal*, Canadá
Prof. Dr. Gabriel Diaz Cobos, *Universitat de Barcelona*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof.^a Dr.^a Galina Gumovskaya – Higher School of Economics, Moscow, Russia
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
Prof.^a Dr.^a Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis*, Argentina
Prof.^a Dr.^a Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, Instituto Politécnico da Guarda, Portugal
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
Prof. Dr. Guillermo Julián González-Pérez, *Universidad de Guadalajara*, México
Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg*, Suécia
Prof.^a Dr.^a Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil
Prof.^a Dr.^a Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura*, Peru
Prof.^a Dr.^a Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Iván Ramón Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío*, Chile
Prof.^a Dr.^a Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College*, Estados Unidos
Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha
Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal
Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros, Brasil
Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
Prof. Dr. José Cortez Godinez, Universidad Autónoma de Baja California, México
Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, Instituto Politécnico Nacional, México
Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha
Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia
Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, México
Prof. Dr. Juan Porras Pulido, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
Prof.^a Dr.^a Lívia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil
Prof.^a Dr.^a Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil
Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodriguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha
Prof. Dr. Manuel Simões, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal
Prof.^a Dr.^a Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil
Prof.^a Dr.^a Mar Garrido Román, *Universidad de Granada*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
Prof.^a Dr.^a María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof.^a Dr.^a Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil
Prof.^a Dr.^a Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Maria da Luz Vale Dias – Universidade de Coimbra, Portugal
Prof.^a Dr.^a Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal

Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil
Prof.ª Dr.ª M³ Graça Pereira, Universidade do Minho, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof.ª Dr.ª María Guadalupe Vega-López, Universidad de Guadalajara, México
Prof.ª Dr.ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maritza González Moreno, Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba
Prof.ª Dr.ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, Universidad del País Vasco, Espanha
Prof.ª Dr.ª Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México
Prof.ª Dr.ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil
Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Peru
Prof.ª Dr.ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof.ª Dr.ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof.ª Dr.ª Silvia Inés del Valle Navarro, Universidad Nacional de Catamarca, Argentina
Prof.ª Dr.ª Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil
Prof.ª Dr.ª Stanislava Kashtanova, Saint Petersburg State University, Russia
Prof.ª Dr.ª Susana Álvarez Otero – Universidad de Oviedo, Espanha
Prof.ª Dr.ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal
Prof.ª Dr.ª Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal
Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil
Prof.ª Dr.ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
Prof.ª Dr.ª Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Colômbia
Prof. Dr. Xosé Somoza Medina, Universidad de León, Espanha

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

C569 Ciência e tecnologia para o desenvolvimento ambiental, cultural e socioeconômico VII [livro eletrônico] / Organizador Xosé Somoza Medina. – Curitiba, PR: Artemis, 2025.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilíngue

ISBN 978-65-81701-76-5

DOI 10.37572/EdArt_091225765

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Tecnologia – Aspectos ambientais. I. Somoza Medina, Xosé.

CDD 363.7

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



PRÓLOGO

El presente volumen de **Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Ambiental, Cultural y Socioeconómico** reúne investigaciones que, aunque diversas en métodos, contextos y objetos de estudio, convergen en un propósito común: comprender y transformar las realidades socioambientales mediante la ciencia aplicada, la innovación tecnológica y el diálogo interdisciplinario. Para orientar esta pluralidad, como en ediciones anteriores, los capítulos se organizan en dos grandes ejes temáticos: Ciencia y Tecnología. No obstante, que nadie piense que los trabajos del primer bloque carecen de visión y aplicaciones tecnológicas o que los del segundo no nacen del más sincero rigor científico, es simplemente una forma de organizar los saberes, como en la antigüedad clásica que diferenciaban entre Artes Mayores y Menores.

La primera parte, **Ciencia**, agrupa trabajos que examinan procesos históricos, sociales y productivos vinculados al desarrollo regional, en los que está presente, en todos ellos, las características propias de los lugares como elemento fundamental. Incluye la caracterización de tecnologías constructivas en sitios arqueológicos del Periodo Formativo andino, el análisis del bovino criollo mixteco como recurso zoogenético estratégico y motor potencial de desarrollo comunitario, la caracterización del sector frutícola en provincias clave de Argentina y la aplicación de técnicas geoestadísticas combinadas con el concepto C4 para el mapeo objetivo de biomasa que ayude a mitigar la plaga de los incendios forestales. Aunque provenientes de campos distintos, estos trabajos comparten una visión amplia de sostenibilidad, en la que convergen la preservación cultural, la innovación social, la valorización de recursos locales y la aplicación de metodologías experimentales con impacto directo en la gestión ambiental.

La segunda parte, **Tecnología**, reúne estudios que abordan el uso de la inteligencia artificial en diagnósticos médicos, la seguridad alimentaria, fenómenos fisicoquímicos y sistemas inteligentes. Los capítulos aquí incluidos muestran cómo la ingeniería, la física aplicada, la química y las ciencias de los materiales pueden ofrecer soluciones concretas a problemas actuales. Este eje integra estudios sobre la evaluación comparativa de arquitecturas de inteligencia artificial aplicadas al diagnóstico temprano de diabetes tipo 2, el encogimiento del chícharo en secadores de lecho fluidizado para mejorar su conservación, el uso de aplicadores de microondas para un más eficiente tratamiento térmico de suelos y el diseño de sistemas domóticos alimentados con energía fotovoltaica. Se trata de contribuciones que destacan la relevancia de la investigación aplicada para avanzar en la eficiencia energética, la mejora de la salud y el desarrollo de prácticas sostenibles de alta precisión.

De este modo, el volumen VII reafirma el espíritu interdisciplinario de la colección *Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Ambiental, Cultural y Socioeconómico*. Aquí, la tecnología dialoga con el territorio, la modelización científica se entrelaza con saberes tradicionales y la innovación se presenta como puente entre los desafíos ambientales y el bienestar colectivo. Confiamos en que esta obra inspire nuevas investigaciones, motive lecturas críticas y contribuya al fortalecimiento de prácticas orientadas hacia un futuro más sostenible, justo e integrado.

Xosé Somoza Medina

SUMÁRIO

CIÊNCIA

CAPÍTULO 1.....1

TECNOLOGÍA CONSTRUCTIVA EN EL SITIO ARQUEOLÓGICO BUENAVISTA (LA PAMPA, CORONGO – ÁNCASH) DURANTE EL PERÍODO FORMATIVO

Efraín Vidal Espinoza

Elsa Celina Sánchez Cacha

Cesar Augusto Serna Lamas

Fredy Osvaldo Loli Natividad

Leopoldo Enrique Neglia Valderrama

Victor Alberto Pocoy Yauri

José Yovera Saldarriaga

 https://doi.org/10.37572/EdArt_0912257651

CAPÍTULO 2.....17

REVALORIZACIÓN Y CONSERVACIÓN GENÉTICA ANTE LAS DEMANDAS ECO-SALUDABLES Y ESTRATEGIAS DE VALOR AGREGADO COMUNITARIO

Martín Reyes García

 https://doi.org/10.37572/EdArt_0912257652

CAPÍTULO 3.....27

CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR FRUTÍCOLA EN LAS PROVINCIAS DE BUENOS AIRES, SANTA FE Y ENTRE RÍOS (REPÚBLICA ARGENTINA)

Victorina Mariana Rivera Rúa

Violeta Riolfo

Rubén Marcelo Coniglio

 https://doi.org/10.37572/EdArt_0912257653

CAPÍTULO 4.....40

CONCEPTO CONDICIONAL DE CARGAS COMBUSTIBLES -C4- PARA LA SELECCIÓN DE MODELOS DE COMBUSTIBLES FORESTALES

José German Flores-Garnica

 https://doi.org/10.37572/EdArt_0912257654

TECNOLOGIA

CAPÍTULO 5.....	54
-----------------	----

COMPARACIÓN DE ARQUITECTURAS DE APRENDIZAJE PROFUNDO GENERADAS POR IA (COPILOT VS. DEEPSEEK) EN LA CLASIFICACIÓN DEL CONJUNTO DE DATOS PIMA INDIANS DIABETES

Moisés García Villanueva

Salvador Ramírez Zavala

 https://doi.org/10.37572/EdArt_0912257655

CAPÍTULO 6.....	72
-----------------	----

INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE AIRE Y TEMPERATURA EN EL ENCOGIMIENTO DEL CHÍCHARO POR SECADO

Alejandro Díaz Medina

Alexis Marco Antonio Romero Pérez

Miguel Angel Pérez Fajardo

Noe Jardon Romero Pérez

Ivan Vladimir Molina Jaramillo

Francisco Vidal Caballero Dominguez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_0912257656

CAPÍTULO 7.....	82
-----------------	----

EXPERIMENTAL STUDY OF MICROWAVE SLOW WAVE COMB AND CERAMIC APPLICATORS FOR SOIL TREATMENT AT FREQUENCY 2.45 GHZ

Grigory Torgovnikov

Graham Brodie

 https://doi.org/10.37572/EdArt_0912257657

CAPÍTULO 8.....	93
-----------------	----

SISTEMAS DOMÓTICOS ALIMENTADOS CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Guadalupe García Toribio

Heriberto Hernández Rodríguez

José Luis Gutiérrez García

Román Gutiérrez Marcos

Israel Ildefonso García

Luisa Angelica Viñas Meza

 https://doi.org/10.37572/EdArt_0912257658

SOBRE O ORGANIZADOR.....	109
--------------------------	-----

ÍNDICE REMISSIVO	110
------------------------	-----

CAPÍTULO 1

TECNOLOGÍA CONSTRUCTIVA EN EL SITIO ARQUEOLÓGICO BUENAVISTA (LA PAMPA, CORONGO – ÁNCASH) DURANTE EL PERÍODO FORMATIVO

Data de submissão: 22/10/2025

Data de aceite: 06/11/2025

Victor Alberto Pocoy Yauri

Universidad Nacional Santiago

Antúnez de Mayolo

Huaraz, Perú

<https://orcid.org/0000-0002-8788-9775>

Efraín Vidal Espinoza

Universidad Nacional Santiago

Antúnez de Mayolo

Huaraz, Perú

<https://orcid.org/0000-0002-4363-5167>

José Yovera Saldarriaga

Universidad Nacional Santiago

Antúnez de Mayolo

Huaraz, Perú

<https://orcid.org/0000-0001-5235-0270>

Elsa Celina Sánchez Cacha

Universidad Nacional Santiago

Antúnez de Mayolo

Huaraz, Perú

<https://orcid.org/0009-0003-9970-4699>

Cesar Augusto Serna Lamas

Universidad Nacional Santiago

Antúnez de Mayolo

Huaraz, Perú

<https://orcid.org/0000-0002-9078-4333>

Fredy Oswaldo Loli Natividad

Universidad Nacional Santiago

Antúnez de Mayolo

Huaraz, Perú

<https://orcid.org/0000-0001-5720-7692>

Leopoldo Enrique Neglia Valderrama

Universidad Nacional Santiago

Antúnez de Mayolo

Huaraz, Perú

<https://orcid.org/0000-0001-8225-7608>

RESUMEN: La presente investigación tuvo como finalidad explicar las tecnologías constructivas empleadas en el sitio arqueológico de Buenavista, ubicado en el distrito de La Pampa, provincia de Corongo (Áncash), durante el Periodo Formativo. A través de una metodología mixta que integró prospección intensiva, excavaciones controladas, fotogrametría con drones y levantamiento topográfico con estación total, se recopilaron datos que fueron procesados mediante software especializado para reconstruir con precisión la configuración arquitectónica del sitio. Los resultados evidencian una planificación cuidadosa de las edificaciones, caracterizada por el uso de técnicas antisísmicas – como muros anchos y rellenos – y el empleo de roca toba volcánica como materia prima asentada con mortero de arcilla y arena. Se identificó, además, un complejo sistema de terrazas

que permitió organizar diferentes niveles funcionales y realzar la monumentalidad de las estructuras. Estas evidencias revelan una sociedad con alto grado de especialización laboral, conocimiento del entorno y capacidad de adaptación a condiciones geológicas y medioambientales, lo que permitió un aprovechamiento eficaz de los recursos locales. Se concluye que la tecnología constructiva identificada refleja una alta complejidad técnica y un notable grado de adaptación social al entorno geográfico, lo cual contribuyó al desarrollo sostenible de sus edificaciones.

PALABRAS CLAVE: tecnología constructiva; arquitectura; periodo formativo.

CONSTRUCTION TECHNOLOGY AT THE BUENAVISTA ARCHAEOLOGICAL SITE (LA PAMPA, CORONGO – ANCASH) DURING THE FORMATIVE PERIOD

ABSTRACT: This research aimed to explain the construction technologies employed at the Buenavista archaeological site, located in the district of La Pampa, Corongo Province (Áncash), during the Formative Period. A mixed-methods approach was used, integrating intensive survey, controlled excavations, drone-based photogrammetry, and topographic mapping with a total station. The data collected were processed using specialized software to accurately reconstruct the site's architectural layout. The results reveal a carefully planned built environment characterized by anti-seismic techniques – such as thick, filled walls – and the use of volcanic tuff stone as the primary construction material, set with a clay and sand mortar. Additionally, a complex terrace system was identified, which facilitated the organization of functional levels and enhanced the monumentality of the structures. These findings reflect a society with a high degree of labor specialization, environmental awareness, and adaptability to geological and climatic conditions, enabling the efficient use of local resources. It is concluded that the construction technology identified demonstrates both technical complexity and a remarkable degree of social adaptation to the geographic setting, contributing to the sustainable development of the site's architecture.

KEYWORDS: construction technology; architecture; formative period.

1. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías constructivas han sido ampliamente investigadas en el ámbito internacional por Villalobos (2010) quien identificó las características constructivas de edificaciones mesoamericanas monumentales y domésticas. Determinó que la geometría, los materiales y las condiciones geográficas están profundamente interrelacionadas con la organización social y funcional de la arquitectura. Su investigación documental permitió concluir que el proceso constructivo está estrechamente vinculado al uso de las edificaciones y a su funcionalidad simbólica. Complementariamente, Liberotti y Daneels (2012) analizaron dos sitios arqueológicos – Arslantape en Turquía y La Joya en México – mediante reconstrucciones 3D y análisis químico-físico de materiales, demostrando que los antiguos constructores dominaban el comportamiento de los

materiales y perfeccionaron sus técnicas a lo largo del tiempo. Toscano (2019), por su parte, profundizó en la tecnología constructiva con tierra en Mesoamérica. En su estudio, estableció una distinción entre materiales perecederos e imperecederos, y demostró que la tierra fue un insumo versátil utilizado en una amplia variedad de tipos arquitectónicos, tanto en su forma cruda como cocida.

En el contexto nacional peruano, Perales y Marroquín (2012) documentaron los sitios de El Obraje 01 y 02. Su trabajo revela sistemas espaciales basados en estructuras circulares y tecnologías constructivas que implicaban conocimientos profundos de las materias primas y una organización laboral sencilla. Peralta (2013) analizó la transición cultural entre el Intermedio Tardío y el Horizonte Tardío en los Collo y observó una coexistencia entre las técnicas locales y la impronta incaica en diseño y materiales. Shady (2006), en su reconocido estudio de Caral, identificó un urbanismo planificado con pirámides escalonadas, plazas hundidas y un diseño astronómico-social. Además, subrayó que esta arquitectura articulaba funciones rituales, políticas y económicas dentro de una lógica simbólica de conexión entre el orden cósmico y el poder terrenal. Protzen (1985), en su estudio sobre la cantería inca, demostró –mediante estudios empíricos– que los incas dominaban el tallado y ensamblaje de bloques de piedra sin herramientas metálicas, gracias a técnicas precisas, conocimiento empírico y organización laboral eficiente. Asimismo, Seki (2014) investigó sitios formativos del norte peruano como Kuntur Wasi, Pacopampa y Huacaloma y reveló trayectorias diversas en la arquitectura ceremonial que expresaban formas autónomas de poder mediante plataformas, frisos y complejas disposiciones espaciales. Inokuchi (2008), enfocado también en Kuntur Wasi, reconstruyó cronológicamente su arquitectura ceremonial y destacó la instauración del “principio constructivo básico del templo”, vigente a lo largo de distintas fases. Concluyó que los cambios arquitectónicos respondían a transformaciones sociales, ideológicas y rituales.

En la región Áncash, Kauffmann (1993) propuso una reinterpretación de la arquitectura de Chavín de Huántar. Sostiene que las grietas en sus muros obedecen a procedimientos constructivos únicos y que el complejo fue planificado en una sola etapa arquitectónica. Rick et al. (1998), mediante excavación y fotogrametría, realizaron un registro tridimensional de la arquitectura monumental de Chavín y concluyeron que sus constructores manejaban reglas de diseño precisas, simetría y una alta capacidad de ejecución técnica. Pozorsky y Pozorsky (2000) identificaron en los sitios del valle de Casma –como Pampa de las Llamas-Moxeke– evidencias arquitectónicas que indican una transición hacia sociedades más complejas entre el Arcaico Tardío y el Formativo. Fuchs

et al. (2004), en Sechín Bajo, documentaron secuencias arquitectónicas con elementos como relieves de barro y distintas fases constructivas, cuya antigüedad fue establecida mediante excavaciones arqueológicas. Burger (2004) excavó en Huaricoto y reconoció fases estilísticas y arquitectónicas que revelan interacciones culturales entre regiones y evidencias de influencia chavín. Bueno (2005) exploró sitios del Callejón de Huaylas y del litoral ancashino, donde identificó elementos arquitectónicos como plataformas y escaleras voladizas, los cuales sugieren una continuidad hacia la arquitectura chavín. En un estudio más reciente, Bueno (2019) examinó el sitio La Galgada y destacó su arquitectura monumental adaptada al entorno climático y al intercambio regional, lo cual evidencia un desarrollo arquitectónico temprano y contextualizado en el periodo arcaico.

En investigaciones directamente asociadas al sitio arqueológico de La Pampa, destaca el estudio de Terada (1979), quien fue pionero en las excavaciones en ese lugar. Identificó arquitectura en piedra en casi todas las fases del sitio, excepto en el periodo Yesopampa. Resaltó, además, la presencia de estructuras circulares como el “Círculo Rondan” en el periodo Tornapampa, así como plataformas cuadrangulares posiblemente asociadas a *ushnus* en el periodo Caserones, vinculadas a ocupaciones incaicas. Finalmente, Vidal (2022) investigó el sitio Buenavista y documentó complejos arquitectónicos que incluyen pirámides escalonadas, plazas y galerías internas, que evidencia ocupaciones sucesivas y una arquitectura monumental vinculada al Formativo Medio, así como conexiones sociales entre costa y sierra en las regiones de Áncash, Huánuco y La Libertad.

En conjunto, estas investigaciones nacionales e internacionales permiten entender que la arquitectura prehispánica no solo respondió a condiciones materiales y técnicas, sino que fue reflejo de complejas formas de organización social, poder político, cosmovisión y conocimiento técnico. Desde la planificación urbana de Caral hasta la precisión de la cantería inca o la monumentalidad simbólica de Kuntur Wasi y Chavín de Huántar, los estudios analizados revelan una tradición arquitectónica andina diversa, innovadora y profundamente conectada con las dinámicas socioculturales de su tiempo.

Si bien las excavaciones pioneras de Terada (2013) y los hallazgos recientes de Vidal (2021) dan cuenta de la arquitectura monumental y las grandes transformaciones del paisaje en el sitio arqueológico Buenavista y los otros sectores de La Pampa, aún no se han realizado estudios sobre la tecnología constructiva y las actividades económicas de estas sociedades formativas. En consecuencia, se trata de comprender la planificación constructiva, la obtención y uso de materias primas, las técnicas empleadas y la organización social necesaria para la edificación de los complejos arquitectónicos.

Asimismo, se busca esclarecer los mecanismos de obtención de recursos de subsistencia –ya sea por cultivos, pastoreo o redes de intercambio con la costa y la sierra sur– y determinar cómo se articulaban la zona monumental y las áreas productivas.

La investigación se fundamenta en las bases teóricas que explican la tecnología constructiva, que en el sitio arqueológico de Buenavista constituye una evidencia tangible del conocimiento aplicado por las antiguas sociedades andinas a contextos altamente sísmicos y geológicamente activos. Según la definición de la Real Academia Española (2022), esta tecnología implica la aplicación práctica del conocimiento científico para edificar, incluyendo materiales, métodos y procedimientos (Camacho, 1998) que optimizan el rendimiento y los costos (Salvador et al., 2004). En Buenavista, este saber se manifestó en técnicas sismorresistentes como muros de base ancha y con relleno estructural (Vidal, 2022), cuya eficacia ha permitido que muchas construcciones se conserven pese al tiempo y factores destructivos recientes como obras civiles modernas y huaqueo. Estudiar esta tecnología implica considerar la concepción, el entorno, los materiales, el diseño y la organización social (Villalobos, 2010), ya que revelan procesos de cambio, reocupación o transformación estilística (Perales & Marroquín, 2012). Dado el volumen que tienen las edificaciones, es probable la participación de especialistas y una mano de obra significativa organizada estatalmente, posiblemente bajo influencia directa de Chavín de Huántar (Tantaleán, 2011).

El entorno físico incide en la construcción y desarrollo cultural. Tres paradigmas explican su influencia: el determinismo (el medio condiciona), el posibilismo (el medio ofrece opciones culturales) y el probabilismo (el medio ofrece posibilidades que el ser humano transforma mediante la técnica) (Maldonado et al., 1998). En Buenavista, el medio geográfico fue activamente transformado para adaptarse a las necesidades arquitectónicas: se realizaron nivelaciones, compactaciones y adecuaciones del relieve (Villalobos, 2010) integrando montículos arqueológicos con la morfología natural, lo cual refleja un dominio técnico intencional del entorno.

Los materiales utilizados en arquitectura pueden clasificarse en inorgánicos, orgánicos y manufacturados (Villalobos & Pelegrí, 1992). En Buenavista, predominó el uso de piedra –especialmente toba volcánica– pese a su baja calidad estructural, lo cual indica una elección cultural y tecnológica más allá de la disponibilidad (Campana, 2000). Esta elección evidencia una tradición andina de seleccionar materiales por su versatilidad, plasticidad y transformación potencial (Maldonado et al., 1998), incluso si debían ser transportados desde otros entornos.

Las técnicas constructivas reflejan la manera en que se combinan los materiales para formar elementos arquitectónicos (Cubas, 2018), con raíces en épocas prehistóricas,

desde el *Homo erectus* hasta civilizaciones como la egipcia o romana (Ledesma, 2014; Roth, 1999). En los Andes, estas técnicas emergen en sitios como Telarmachay, La Galgada o Cerro Sechín, y alcanzan complejidad en Caral, Chavín, Huaricoto o Tumshukayko (Bueno, 2005; Kauffmann, 1993). La arquitectura de Buenavista, con plataformas, muros escalonados y galerías, se inserta en esta evolución técnica. Su análisis permite detectar cambios culturales, cronologías y patrones sociales únicos (Beltrán de Heredia, 2016).

Las edificaciones de Buenavista sugieren un sistema organizativo que integraba especialistas a tiempo completo y una fuerza laboral amplia movilizada mediante mecanismos sociales como la *minka* y el *ayni* (Altamirano & Bueno, 2011). La *minka*, en particular, era clave para ejecutar obras comunales sin retribución directa, canalizando el esfuerzo colectivo en beneficio público, posiblemente articulado por líderes locales que usaban la religión como medio de cohesión social (Tantaleán, 2011). Este panorama refleja que la arquitectura de Buenavista no solo es un logro técnico, sino una síntesis cultural, social y simbólica que expresa el modo de vida y cosmovisión de una sociedad altamente desarrollada.

Las investigaciones en el sitio arqueológico Buenavista en el distrito de La Pampa, provincia de Corongo, Áncash, evidencian ocupaciones humanas tempranas desde aproximadamente 1400 a. C. (Periodo Yesopampa), relacionadas con estilos anteriores a Chavín de Huántar (Pandanche, Guañape y Huacaloma). Posteriormente, se distinguen los períodos La Pampa (ca. 670 a. C.), con fuerte influencia Chavín en la cerámica, y Tornapampa, relacionados con estilos Blanco Sobre Rojo que podrían vincularse con la primera fase de la Cultura Recuay, aunque algunos autores sugieren una posible independencia e interacción con la zona de Huamachuco. Finalmente, durante la ocupación inca en el Callejón de Huaylas, La Pampa cobró relevancia estratégica (fase Caserones).

El propósito de la investigación fue explicar los procesos tecnológicos constructivos del sitio arqueológico de Buenavista mediante metodologías de arqueología de la arquitectura y el método estratigráfico, enmarcadas en la arqueología contextual. Por ello se plantearon problemáticas sobre las técnicas constructivas, las materias primas y la organización social implicadas en la producción arquitectónica durante el periodo formativo, con la meta de obtener una visión integral de la sociedad que habitó este espacio.

Asimismo, se plantea la relevancia de utilizar la metodología estratigráfica y la arqueología de la arquitectura para lograr un registro detallado de los contextos arqueológicos (mediante unidades de excavación, correlación de datos de campo, uso de

la matriz de Harris, etc.). Este análisis pretende aportar a la comprensión de la secuencia constructiva, la dinámica social y los procesos de cambio a lo largo de las distintas ocupaciones, generando un aporte teórico y práctico para la comunidad académica y la población local, reforzando la identidad cultural y promoviendo eventuales proyectos de conservación y puesta en uso social del sitio arqueológico.

2. METODOLOGÍA

El estudio de la tecnología constructiva en el sitio arqueológico de Buenavista se desarrolló bajo un enfoque mixto (Hernández et al., 2014). Los métodos cualitativos se utilizaron para analizar aspectos descriptivos como técnicas constructivas, disposición de hiladas y continuidad cultural; los cuantitativos, para examinar proporciones de materias primas y tipos de roca, así como estimar la mano de obra. La investigación es básica (Muntané, 2010) con finalidad teórica, de nivel explicativo, orientada a comprender las razones que llevaron a los antiguos constructores a implementar soluciones estructurales frente a condiciones geológicas adversas. Su diseño fue transversal, con recopilación de datos en un periodo breve, enfocado en estructuras arquitectónicas longevas.

Se realizaron prospecciones intensivas, fotogrametría, topografía con estación total, y excavaciones en los grupos arquitectónicos IA e IB. Las actividades se organizaron en tres operaciones: Operación 1, levantamiento planimétrico basado en el sistema UTM-WGS84 y sectorización de Vidal (2022); Operación 2, registro prospectivo jerarquizado desde sitio hasta componentes arquitectónicos; Operación 3, registro detallado de las evidencias halladas en las excavaciones, incluyendo fichas de unidades, elementos, componentes y técnicas constructivas.

La excavación en el sitio arqueológico de Buenavista se desarrolló como un proceso sistemático y metódico orientado a recuperar información sobre actividades y transformaciones sociales pasadas, aplicando el sistema de registro Locus–Lote. Se intervinieron las Unidad de Excavación 1 (trinchera de 10 m de largo por 4 m de ancho) en el Grupo Arquitectónico I, subsector IA, 4, 5 (áreas de 4 m por 4 m) Subsector IB y 6 UE 5 (trinchera de 10 m de largo por 2 m de ancho) en el subsector IC, con el objetivo de comprender las tecnologías constructivas y las actividades sociales desarrolladas en las áreas intervenidas. Se emplearon fichas de excavación, dibujos en planta y perfil, y registro fotográfico. Las unidades se subdividieron en cuadrículas, locus, capas, subcapas y niveles, estableciendo lotes de especímenes recuperados y mapeados tridimensionalmente.

El registro escrito incluyó fichas de unidad estratigráfica, inventario de material arqueológico, ceramografía y unidad arquitectónica, orientadas a organizar e interpretar los hallazgos. El registro gráfico consistió en dibujos a escala y planos generales, y el registro fotográfico se realizó con cámara digital de 12.1 MP, incluyendo imágenes panorámicas, contextuales y de detalle, además de capturas para análisis fotogramétrico. Se empleó la matriz de Harris para sistematizar las unidades estratigráficas.

En gabinete, toda la información fue digitalizada y procesada mediante los programas Word, Excel, AutoCAD y ArcMap. Los materiales culturales –cerámica, líticos y óseos– fueron limpiados, rotulados, clasificados y analizados morfológica, tecnológica y funcionalmente. El material cerámico se evaluó estilística y tecnológicamente, mientras que los restos de carbón se conservaron para futuros fechados. Asimismo, se aplicaron sistemas de inventario, embalaje y almacenaje, y los materiales se organizaron en bolsas y cajas rotuladas para su entrega al Ministerio de Cultura. Este procedimiento integral permitió recuperar evidencia clave para la interpretación cultural del sitio.

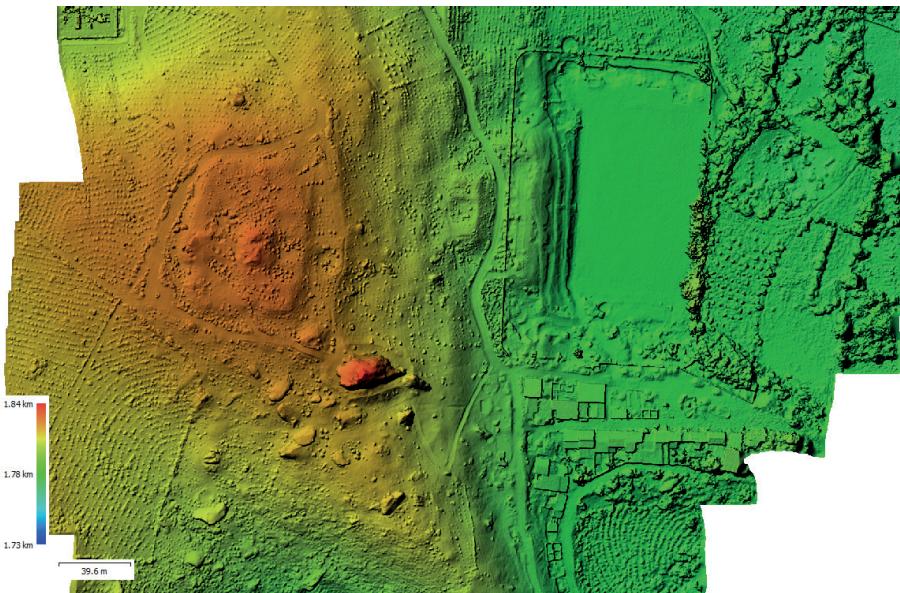
3. RESULTADOS

El estudio de la tecnología constructiva en el sitio arqueológico de Buenavista, ubicado en el distrito de La Pampa (Áncash), se desarrolló con un enfoque integral que articuló levantamientos planimétricos, prospección arqueológica y excavaciones sistemáticas. Este abordaje permitió identificar y clasificar las evidencias arquitectónicas, las cuales evidencian una organización espacial compleja y una ingeniería constructiva de carácter monumental, atribuible al Periodo Formativo andino.

3.1. OPERACIÓN 1: PLANIMETRÍA

Para el levantamiento planimétrico, se recurrió tanto a técnicas tradicionales como a herramientas tecnológicas emergentes. Mediante el uso de una estación total Nikon DTM 322 y un dron DJI Air 2S, se obtuvieron datos de alta precisión, los cuales fueron procesados con los programas Civil 3D, Agisoft Metashape, Global Mapper y ArcMap. Este procesamiento permitió generar cartografía de alta resolución y representar con detalle las estructuras arquitectónicas, así como su disposición sobre el relieve del terreno (Figura 1).

Figura 1. Imagen MDE del sitio arqueológico Buenavista-La Pampa.



Nota. Fotogrametría de Vidal (2021).

3.2. OPERACIÓN 2: PROSPECCIÓN ARQUEOLÓGICA

La prospección arqueológica se desarrolló de manera sistemática, dividiendo el Sector I en cuadriculas de 10 x 10 m. Este procedimiento permitió registrar evidencia superficial, reevaluar la sectorización propuesta por Vidal (2022) y constatar que los subsectores IB y IC pertenecían a una misma unidad arquitectónica antes de ser alterada por infraestructuras modernas. La fotogrametría reveló un patrón de terrazas superpuestas que organizan la arquitectura monumental. Las terrazas, definidas por muros de sostenimiento, exhiben una transición desde estructuras amplias y voluminosas en la base –como la Pirámide de las Galerías– hacia edificaciones más complejas y simbólicamente jerarquizadas en la cima, como el llamado “Templo Blanco”.

La primera terraza, ahora ocupada parcialmente por el Estadio Municipal, incluye estructuras mutiladas por construcciones modernas (destaca la pirámide de las galerías). La segunda, presenta plataformas cuadrangulares con muros de contención visibles. La tercera, más compacta y densa, alberga una plaza circular hundida con plataformas laterales, mientras que la cuarta terraza, en la cima del cerro, reúne las estructuras más simbólicas, entre las que destaca una pirámide escalonada. Ambas terrazas superiores constituyen el Subsector IA y su diseño sugiere una función ceremonial análoga a Chavín de Huántar.

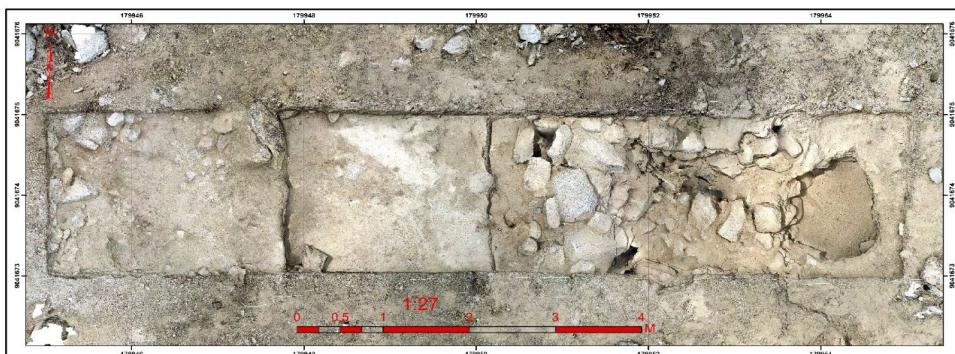
3.3. OPERACIÓN 3: EXCAVACIÓN ARQUEOLÓGICA

Las unidades excavadas (UE1, UE4, UE5 y UE6) revelaron elementos arquitectónicos clave. La UE1 expuso tres plataformas superpuestas de una pirámide trunca, con muros de sostenimiento de toba volcánica, unidos con mortero a base de mezcla de arcilla, arena y tierra limosa. Se identificaron elementos constructivos como el enlucido blanco, rellenos de clausura ritual y pisos compactos, además de estructuras adosadas como banquetas y muros de refuerzo. Un muro subyacente con piso asociado indicó fases constructivas previas.

En la UE4, ubicada en la plaza hundida del Grupo Arquitectónico 1 (subsector IB), se halló un muro con vano de acceso delimitado por jambas labradas con incisiones, junto a una escalinata de cuatro peldaños y un piso compacto hecho a base de una mezcla de arcilla y arena. Este conjunto sugiere una planificación arquitectónica orientada a funciones rituales. En la UE5, vinculada a la misma plaza, se descubrió un muro ancho con doble paramento y escalinata de cuatro peldaños, también construida con toba volcánica. La continuidad del piso entre ambas unidades indica que se trata del mismo elemento arquitectónico que le proveía de una superficie de ocupación bien definido al grupo arquitectónico.

La UE6, asociada a la Pirámide de las Galerías (Subsector IC), reveló muros de sostenimiento colapsados, conformados por grandes rocas canteadas y mortero limoso. Se documentó la Galería 1, cuya bóveda estaba compuesta por grandes lajas de roca colocada sobre muros compuestos por roca toba volcánica unidas con mortero de tierra arcillosa y arenosa. Además, se logró identificar otras dos galerías en la parte baja, las cuales solo se documentaron por la parte superior debido a que no se pudo ingresar por razones de seguridad (Figura 2). La configuración general indica una arquitectura escalonada, con cámaras internas, posiblemente vinculadas a prácticas rituales o funerarias.

Figura 2. Ortofoto de la UE 6, nótese la presencia de galerías.



Nota. Fotogrametría de Vidal (2021).

3.4. RESULTADOS DE GABINETE Y ANÁLISIS DE MATERIALES

Los materiales culturales recuperados se procesaron en gabinete mediante el uso de AutoCAD, Metashape, ArcMap y Excel. Se llevó a cabo un análisis morfológico de la cerámica, siguiendo la propuesta de Lumbreras (2005), e identificaron estilos correspondientes al periodo Formativo, con especial presencia del estilo Janabariu. Predominaron formas como ollas sin cuello, platos y botellas. La limpieza y manipulación de los objetos se realizó con rigurosidad, aplicando técnicas diferenciadas según la naturaleza del material. Los fragmentos cerámicos decorados se limpian de forma mecánica, se rotularon con esmalte y tinta china, y se compararon para lograr una reconstrucción parcial. El análisis estilístico permitió reconocer elementos asociados a la tradición chavín, lo que confirmó la ocupación del sitio durante el Formativo Medio.

También se recolectaron materiales líticos, óseos, malacológicos y restos de carbón, los cuales fueron clasificados y embalados para su adecuada conservación. Los restos de carbón quedaron reservados para futuros análisis de fechamiento absoluto. Toda la información registrada se sistematizó en archivos digitales que integran registros gráficos, escritos y fotográficos. Asimismo, se implementaron sistemas de inventario y almacenamiento con el fin de organizar los materiales para su posterior entrega al Ministerio de Cultura.

4. DISCUSIÓN

El estudio de la tecnología constructiva del sitio arqueológico de Buenavista, ubicado en el distrito de La Pampa (Áncash, Perú), revela una arquitectura de notable complejidad, desarrollada en estrecha correspondencia con el entorno geográfico y con la organización sociopolítica de las sociedades formativas andinas. Este patrón constructivo presenta numerosos puntos de convergencia y contraste respecto a otras manifestaciones arquitectónicas del Perú prehispánico. En este marco, los hallazgos de Buenavista respaldan la tesis de Villalobos (2010), quien plantea que las condiciones geométricas, los materiales utilizados, la geografía local y las formas arquitectónicas conforman un sistema integrado que refleja, y a la vez estructura, las dinámicas de organización social.

En cuanto a los materiales, el análisis evidencia un uso predominante de la piedra toba volcánica, a pesar de sus limitaciones en cuanto a resistencia y durabilidad. La selección no obedece únicamente a criterios de disponibilidad geográfica, sino también a su versatilidad, plasticidad y adecuación funcional. Esta decisión técnica coincide con las observaciones de Toscano (2019) sobre la utilización de tierra cruda y cocida en

contextos mesoamericanos, y con lo señalado por Liberotti y Daneels (2012), quienes subrayan la importancia del conocimiento técnico acumulado y perfeccionado por las sociedades antiguas sobre el comportamiento diferencial de los materiales en función del entorno. En el caso de Buenavista, dicha experticia se manifiesta en el uso de pircado simple y doble con relleno, aplicación de argamasa de tierra arcillosa con aglutinantes vegetales, y acabados con enlucido blanco en muros y pisos. Estas evidencias refuerzan la hipótesis de una ingeniería empírica acumulativa, adaptada tanto a las condiciones sísmicas y los procesos de reptación de la tierra en la zona.

La organización del trabajo constructivo emerge como otro aspecto clave en la producción arquitectónica monumental de Buenavista. La escala de las edificaciones y el patrón en la disposición jerárquica de terrazas interconectadas implican la existencia de mano de obra especializada y sistemas de cooperación comunitaria. Esta interpretación concuerda con los planteamientos de Perales y Marroquín (2012), quienes establecen una relación directa entre el conocimiento de las materias primas y una organización laboral eficiente. Asimismo, Tantaleán (2011) sostiene que la arquitectura monumental en contextos preestatales andinos fue posible gracias a sistemas de movilización comunal, como la minka y el ayni, lo cual resulta pertinente para comprender la dimensión social del trabajo invertido en Buenavista.

Desde una perspectiva comparativa regional, la arquitectura del sitio se vincula con procesos más amplios de complejización social durante el Formativo Andino. Elementos como las plataformas superpuestas, plazas hundidas y estructuras de carácter ceremonial guardan paralelos con los hallazgos de Seki (2014) en Kuntur Wasi y Pacopampa, donde la arquitectura cumplía funciones de diferenciación social y expresión del poder emergente. Inokuchi (2008), al reconstruir la secuencia arquitectónica de Kuntur Wasi, demuestra que la reiteración de principios constructivos básicos obedecía a una tradición cultural prolongada y adaptable a nuevas necesidades político-religiosas. En ese mismo marco, los patrones constructivos de Buenavista –como la pirámide trunca de cuatro plataformas o las galerías internas– pueden interpretarse como variantes locales de un modelo arquitectónico compartido, adaptado a condiciones geográficas particulares y a tradiciones culturales regionales.

Asimismo, la organización modular y regular de las estructuras permite también reevaluar la hipótesis de Kauffmann (1993) sobre Chavín de Huántar, quien propone que dicho centro ceremonial fue concebido bajo un único plan arquitectónico. Rick et al. (1998), a través de modelos tridimensionales, identificaron principios de simetría y repetición en el diseño, lo que sugiere la existencia de reglas de planificación previas.

En el caso de Buenavista, si bien aún se requiere mayor evidencia, la reiteración de elementos arquitectónicos, el uso estandarizado de materiales y la disposición jerárquica de terrazas apuntan hacia una planificación análoga al templo de Chavín de Huántar, aunque de menor escala.

Por otro lado, los trabajos de excavación en las unidades UE1, UE4, UE5 y UE6 evidencian dinámicas constructivas similares a las documentadas por Protzen (1985) para el caso incaico, donde se recurre a técnicas de ajuste por percusión y ensayo para lograr muros de gran estabilidad, aunque sin herramientas metálicas. No obstante, a diferencia de la alta precisión inca, en Buenavista se observa una técnica más sencilla, con predominio de mampostería semi ordenada y ausencia de pulido, pero sí el tallado de la roca es notable.

Finalmente, la evidencia cerámica recuperada en los contextos excavados – asociada mayoritariamente al estilo Janabariu– permite situar a Buenavista en el Formativo Medio, en concordancia con lo planteado por Bueno (2005, 2019), quien considera que los asentamientos del Callejón de Huaylas y la costa de Áncash muestran continuidad y transferencia cultural con el culto chavín. La presencia de plazas hundidas, plataformas escalonadas y galerías refuerza esta relación, como también lo evidencian los patrones iconográficos en cerámica y arquitectura documentados por Burger (2004) en Huaricoto.

En suma, la tecnología constructiva de Buenavista representa una expresión regional del proceso de complejización arquitectónica y sociopolítica andina durante el Formativo. Su análisis comparado con experiencias mesoamericanas y andinas permite consolidar una visión articulada del desarrollo arquitectónico prehispánico, subrayando tanto las convergencias técnicas como la singularidad cultural del sitio.

5. CONCLUSIONES

El sitio de Buenavista constituye un ejemplo notable de arquitectura monumental formativa adaptada a la topografía andina mediante terrazas artificiales jerarquizadas. Las evidencias arqueológicas revelan un sistema constructivo que combina conocimientos técnicos, planificación social y simbolismo religioso. La disposición de plazas hundidas, pirámides escalonadas, plataformas y galerías subterráneas, junto con la cerámica asociada al estilo Janabariu, sitúan a Buenavista como un nodo clave en la interacción sociopolítica y ceremonial de los Andes centrales durante el Formativo.

La tecnología constructiva del sitio arqueológico de Buenavista revela un conocimiento empírico avanzado de los materiales disponibles, una planificación

arquitectónica intencional y una capacidad organizativa orientada a la producción de espacios rituales y públicos altamente estructurados. A través del uso de piedra toba volcánica, técnicas de pircado con relleno y enlucidos blancos, los antiguos constructores lograron edificar plataformas, plazas hundidas y galerías que no solo resolvían desafíos geotécnicos y sísmicos propios del entorno, sino que también expresaban el orden social y cosmológico de la sociedad formativa.

El análisis comparado de la arquitectura de Buenavista con los modelos propuestos en otras investigaciones sobre la arquitectura del periodo formativo andino, demuestran que la tecnología constructiva en contextos prehispánicos no puede entenderse de manera aislada, sino como una manifestación integral de la interacción entre medio ambiente, tecnología, simbolismo y organización social. Así, Buenavista se erige como un referente regional que sintetiza estos factores mediante un lenguaje arquitectónico propio, pero coherente con las tendencias panandinas de la época, evidenciando que la monumentalidad fue tanto una herramienta como un producto del poder emergente y de los procesos de transformación social en los Andes.

REFERENCIAS

- Altamirano, A., & Bueno, A. (2011). El ayni y la minka: dos formas colectivas de trabajo de las sociedades pre-Chavín. *Investigaciones sociales arqueología*, 15(27), 43-75.
- Beltrán de Heredia , J. (2016). Arqueología y técnicas constructivas en Barcelona: Nuevos datos para el horizonte tardoantiguo. *Quarhis*, II(12), 58-77. <https://doi.org/1699-793X>
- Bueno, A. (2005). Investigaciones arqueológicas en Tumshukayko (Caraz, Áncash). *Investigaciones Sociales*, IX(15), 43-76.
- Bueno, A. (2019). La Galgada: Arquitectura compleja precerámica y arte en tránsito a Chavín. *Estudios Latinoamericanos*(39), 89-110.
- Burger, R. (2004). Cambios estilísticos y desarrollo cultural en Huaricoto Sierra-norcentral del Perú. En B. Ibarra (ed.), *Arqueología de la Sierra de Áncash: propuesta y perspectivas* (pp. 17-50). Instituto Cultural Rvna.
- Camacho, M. (1998). *Diccionario de Arquitectura y Urbanismo*. Editorial Trillas.
- Campana, C. (2000). *Tecnologías costructivas de tierra en la costa norte prehispánica*. Instituto Nacional de Cultura - La Libertad.
- Canziani, J. (2018). *Ciudad y territorio en los Andes: Contribuciones a la historia del urbanismo prehispánico*. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://doi.org/978-612-4146-02-2>
- Cubas, A. (2018). *El sistema constructivo en el sitio arqueológico cabeza de vaca: conceptos preliminares*. <https://qhapaqn.cultura.pe/sites/default/files/articulos/Sistema%20Constructivo%20del%20Sitio%20Arqueol%C3%B3gico%20Cabeza%20de%20Vaca.pdf>

Fuchs, P., Patzschke, R., Yenque, G., & Briceño, G. (2004). Del Arcaico Tardío al Formativo Temprano: las investigaciones en Sechín bajo, valle de Casma. *Boletín de Arqueología PUCP* (13), 55-86.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V. <https://doi.org/10.1007/978-1-4562-2396-0>

Inokuchi, K. (2008). La arquitectura de Kuntur Wasi: Secuencia constructiva y cronológica de un centro ceremonial del periodo Formativo. *Boletín de Arqueología PUCP*(12), 219-247.

Kauffmann, F. (1993). Chavín de Huántar: arquitectura planificada. *Arqueológicas/MNAHP*, 36-39.

Ledesma, P. (2014). La técnica constructiva en la arquitectura. *Legado de Arquitectura y Diseño* (15, año 9), 21-30.

Liberotti, G., & Daneels, A. (2012). Adobes en arquitectura monumental: análisis químico-físicos, arqueología y reconstrucción 3D para determinar las técnicas constructivas en los sitios de La Joya (Méjico) y Arslantepe (Turquía). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 64(1), 79-89.

Maldonado, L., Vela, F., & Maldonado, J. (1998). *De Arquitectura y Arqueología*. Editorial Munilla-Lería.

Muntané, J. (2010). *Introducción a la investigación básica*. RAPD ONLINE, 33(3), 221-227.

Perales, M., & Marroquin , H. (2012). Arquitectura y tecnología constructiva en los sitios arqueológicos El Obraje 01 y el Obraje 02, San Agustín de Cajas, Huancayo. *Revista Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 2(1), 61-73.

Peralta, R. (2013). Reseña de las investigaciones arqueológicas en Uquira y Corralón en el Valle de Asia. *Área de Identificación, Registro e Investigación Proyecto Qhapaq Ñan - Sede Nacional*, 1-14.

Pozorsky, S., & Pozorsky, T. (2000). El desarrollo de la sociedad compleja en el Valle de Casma. *Arqueología y Sociedad* (13), 79-98.

Protzen, J. (1985). Inca Quarrying and Stonecutting. *JSAH*, XLIV(2), 161-182.

Rick, J., Rodriguez, S., Mendoza, R., & Kembel, J. (1998). La arquitectura del complejo ceremonial de Chavín de Huantar: Documentación tridimensional y sus implicancias. *Boletín de Arqueología PUCP*(2), 181-214.

Roth, L. (1999). *Entender la arquitectura: sus elementos, historia y significado*. Gustavo Gili, SL.

Salvador, G., Llamo de Espinosa, E., & Torres, C. (2004). *Diccionario de Sociología*. Alianza.

Seki, Y. (2014). La diversidad del poder en la sociedad del Período Formativo: Una perspectiva desde la sierra norte. En Y. Seki (ed.), *El Centro Ceremonial Andino: Nuevas Perspectivas para los Períodos Arcaico y Formativo* (pp. 175– 200). Museo Nacional de Etnología de Japón.

Shady, R. (2006). *Caral-Supe: La Civilización más Antigua de América*. Proyecto Especial Arqueológico Caral-Supe/INC.

Shady, R. (2006). La civilización Caral. *Sistema social y manejo del territorio y sus recursos. Su trascendencia en el proceso cultural andino*. (10), 59-89.

Tantaleán, H. (2011). Chavín de Huántar y la definición arqueológica de un estado teocrático andino. *Arqueología y Sociedad*(23), 47-92.

Terada, K. (1979). *Excavations at La Pampa in the North Highlands of Peru, 1975. Report 1 of the Japanese Scientific Expedition to Nuclear America*. University of Okyo Press.

Toscano, D. (2019). *Construcción arqueológica con tierra en el Bajío. Caracterización y estudio del caso de Peralta* [Tesis para obtener el grado de Maestro en Arqueología, Colegio de Michoacán].

Vidal , E. (2022). Resultados del Proyecto de Investigación Arqueológica Buenavista, distrito de La Pampa, Provincia de Corongo – Áncash. *IX Congreso Nacional de Arqueología*. Lima: Ministerio de Cultura.

Villalobos , A. (2010). Las pirámides: Proceso de edificación. Tecnología constructiva mesoamericana. *Arqueología Mexicana*, XVII(101), 56-63.

Villalobos, A., & Pelegrí, R. (1992). Aercercamiento a la tecnología constructiva mesoamericana. *Vivienda*, 1-16.

CAPÍTULO 2

REVALORIZACIÓN Y CONSERVACIÓN GENÉTICA ANTE LAS DEMANDAS ECO-SALUDABLES Y ESTRATEGIAS DE VALOR AGREGADO COMUNITARIO

Data de submissão: 12/11/2025

Data de aceite: 28/11/2025

Martín Reyes García

Universidad Tecnológica de la
Mixteca (UTM)
Instituto de Ciencias Sociales y
Humanidades

Huajuapan de León, Oaxaca, México
<https://orcid.org/0000-0002-3214-9542>

RESUMEN: El creciente interés por consumir alimentos saludables, naturales y producidos de manera sostenible ha transformado significativamente el mercado alimentario. En este contexto, los sistemas ganaderos extensivos cobran relevancia, especialmente en regiones rurales donde permanecen razas adaptadas por selección natural. El bovino criollo mixteco representa uno de los recursos zoogenéticos más importantes de la Región Mixteca Oaxaqueña; su rusticidad, eficiencia alimentaria y manejo extensivo lo perfilan como un producto idóneo para los mercados eco-saludables. No obstante, enfrenta riesgos de erosión genética, subvaloración económica y desplazamiento por razas especializadas. Este artículo analiza la pertinencia de considerar al bovino criollo mixteco como una oportunidad de negocio sostenible, a partir

del enfoque del Valor Agregado Comunitario. Se revisan tendencias de consumo, riesgos asociados al sistema intensivo, características productivas del criollo, resultados de campo y elementos de política pública. Se concluye que el fortalecimiento de mercados diferenciados, la certificación genealógica y la participación comunitaria pueden convertir a esta raza en un motor de desarrollo regional.

PALABRAS CLAVE: conservación genética; producción extensiva; valor agregado comunitario.

REVALORIZATION AND GENETIC CONSERVATION IN RESPONSE TO ECO-HEALTH DEMANDS AND COMMUNITY VALUE-ADDED STRATEGIES

ABSTRACT: The growing interest in consuming healthy, natural, and sustainably produced foods has significantly transformed the food market. In this context, extensive livestock systems are becoming increasingly important, especially in rural regions where breeds adapted by natural selection remain. The Mixtec Creole cattle represent one of the most important zoogenetic resources in the Mixtec region of Oaxaca; their hardiness, feed efficiency, and extensive management make them an ideal product for eco-healthy markets. However, it faces risks of genetic erosion, economic undervaluation, and displacement by specialized breeds. This article analyzes the relevance of considering the Mixtec Creole

cattle as a sustainable business opportunity, based on the Community Value Added (CVA) approach. It reviews consumption trends, risks associated with the intensive system, productive characteristics of the Creole breed, field results, and public policy elements. It concludes that the strengthening of differentiated markets, genealogical certification, and community participation can turn this breed into an engine of regional development.

KEYWORDS: genetic conservation; extensive production; community value added.

1. INTRODUCCIÓN

La Mixteca Oaxaqueña presenta altos niveles de marginación y condiciones ambientales desafiantes, donde las actividades pecuarias extensivas constituyen un componente central de las economías rurales. Entre estas, el bovino criollo mixteco destaca como un recurso adaptado durante siglos a suelos pobres, climas extremos y disponibilidad limitada de forraje. Esta adaptación histórica coincide con lo documentado por la FAO sobre la relevancia de los recursos zoogenéticos locales, especialmente aquellos que sostienen a comunidades vulnerables (FAO, 2007; Anderson, 2003). Paralelamente, en las últimas dos décadas se ha evidenciado un giro en los patrones de consumo. Los consumidores valoran cada vez más alimentos con atributos de bienestar animal, naturalidad y sostenibilidad (Aschemann-Witzel & Zielke, 2017). Este cambio genera oportunidades para sistemas extensivos, posicionados como alternativas confiables frente a los riesgos del sistema intensivo, especialmente los relacionados con el uso de promotores de crecimiento como el clenbuterol (Avendaño et al., 2006; WHO, 2018). Bajo ese contexto, explorar la revalorización del bovino criollo mixteco constituye una vía para fortalecer economías locales, conservar recursos genéticos y atender demandas emergentes de consumo.

2. EL CONSUMIDOR ECO-SALUDABLE Y RIESGOS DEL SISTEMA INTENSIVO

Los mercados alimentarios globales han experimentado un cambio impulsado por la preocupación de la salud y el medio ambiente. La demanda de productos orgánicos y naturales se sustenta en percepciones de mayor inocuidad, ausencia de químicos y beneficios ecológicos (Hughner et al., 2007). Además, en el mercado de carnes existe una disposición creciente a pagar precios superiores cuando el origen y modo de crianza se consideran saludables y no ponen en riesgo el medio ambiente (Clark & Bogdan, 2021). Esta preferencia de consumo señala los requerimientos del consumidor eco-saludable, las cuales, se alinean con los productos de origen extensivo, donde el manejo animal reproduce patrones tradicionales y minimiza el uso de sustancias sintéticas. La ganadería intensiva ha recurrido al empleo de promotores de crecimiento para acelerar el

rendimiento del ganado y asegurar mayores ganancias. Sin embargo, estudios científicos han demostrado riesgos para los animales y para el consumidor cuando los períodos de retiro no se cumplen adecuadamente (Baker & Young, 2012). En América Latina, múltiples alertas sanitarias han evidenciado carne contaminada con clenbuterol, reforzando la desconfianza de los consumidores (WHO, 2018). Esto abre una oportunidad de negocio basada en la venta de carne, proveniente de ganado cuya crianza esté libre de sustancias sintéticas, propio del sistema de producción extensivo que emplea el bovino criollo.

3. EL BOVINO CRIOLLO MIXTECO: UN RECURSO ZOOGÉNÉTICO ESTRATÉGICO

Las razas criollas de América Latina descienden de los bovinos europeos introducidos durante la Colonia, y mediante selección natural, fueron adaptándose a los diversos ecosistemas (Alderson, 2003; FAO, 2015). De tal manera que, el bovino criollo mixteco es resultado de este proceso de adaptación natural a las condiciones ambientales de la Región Mixteca. Bajo ese ambiente, el ganado bovino local ha logrado desarrollar características como rusticidad, eficiencia alimentaria y resistencia a condiciones ambientales extremas.

Estas características coinciden con lo descrito por Magaña-Monforte et al. (2013), quienes destacan la resiliencia de las razas criollas en climas tropicales y semiáridos.

La crianza tradicional del bovino criollo mixteco se ha realizado en sistemas de libre pastoreo, que corresponde a la producción extensiva, destacando el limitado uso de suplementos nutritivos, la mínima interacción con fármacos sintéticos y la alimentación basada en pastos nativos. Estas condiciones de crianza coinciden con los principios de bienestar animal descritos por Fraser (2008) y con las ventajas ambientales señaladas en la literatura sobre ganadería extensiva (Mottet & de Haan, 2018). El menor rendimiento cárnico que alcanza el bovino criollo mixteco en comparación con otras razas de ganado, ha provocado que sus propietarios no valoren sus características que le han permitido su efectiva adaptación a la Región Mixteca Oaxaqueña. Esta situación ha provocado una disminución de su población debido a múltiples factores que se resumen en dos aspectos: económico y sociocultural.

1. El bovino criollo mixteco se encuentra económica y culturalmente subvalorado.

Este aspecto se puede explicar en términos de condiciones de mercado, en donde su oferta busca maximizar sus ganancias a partir de ofrecer un canal con mayor rendimiento. Sin embargo, el canal del bovino criollo no ofrece el rendimiento cárnico que otorgan las razas especializadas en la producción de carne. Esto genera entre los productores la percepción de criar ganado de poco valor económico y limitada

oportunidad de acceso a los mercados de consumo. La situación descrita ha despertado el interés por cruzar sus ejemplares criollos con razas de ganado especializadas a fin de mejorar su rendimiento. Esta práctica ha ocasionado la pérdida gradual de su carga genética y alterado los procesos tradicionales de producción extensiva, debido a que los ejemplares cruzados presentan menor resistencia a las condiciones ambientales de la región. Además, requieren de mejores insumos, así como, presentan mayor riesgo de suministrarles algún agente promotor de crecimiento sintético para incrementar su rendimiento. Por otro lado, la preferencia de consumo de carne de la Región Mixteca Oaxaqueña, está habituada a las características comerciales que ofrecen las razas de bovino especializado en la producción de carne como es el color rosado y presentar menor grasa. Esto pone en desventaja a la carne de bovino criollo al presentar un color oscuro y mayor grasa, justificando la crusa de razas de ganado para mejorar la genética y el fomento del esquema de producción intensivo.

2. La subvaloración del bovino criollo y la falta de estrategias que promuevan su aprovechamiento sostenible. Cuando un recurso no es valorado por su población, corre el riesgo de desaparecer o estar sujeto a un mal uso que ponga en riesgo su calidad o disponibilidad. En esa realidad se ubica el bovino criollo mixteco, debido a la ausencia de estrategias que promuevan la valoración y preservación. Esta situación ha provocado que se encuentre en un estado de abandono y desaprovechamiento de sus ventajas. Actualmente el bovino criollo mixteco se ubica en una situación de riesgo que afecta su disponibilidad debido a su bajo rendimiento cárnico y a las características de su carne que dificultan su acceso a los mercados de consumo, situación que ha provocado su subvaloración económica y social, restándole importancia a su cuidado y conservación. El resultado de esta perspectiva ha minimizado sus ventajas de adaptación, rusticidad, longevidad y fertilidad. Sin embargo, bajo el contexto de las nuevas demandas de consumo, la ganadera rural tiene la oportunidad de reivindicar su valor económico y social a partir de aprovechar las nuevas preferencias de consumo orientadas al cuidado de la salud y el medio ambiente. Estas exigencias están alineadas a los procesos de producción extensiva, empleados en la cría del bovino criollo. Ante el escenario descrito, se propone emplear al VAC como la estrategia que articule las nuevas exigencias de consumo del perfil eco-saludable con el aprovechamiento de las características que ofrece el sistema de producción tradicional del bovino criollo mixteco. Bajo ese contexto, se busca superar la subvaloración del ganado criollo mediante el aprovechamiento de sus características al incorporarlo a la dinámica de consumo de un mercado eco-saludable que las aprecia y valora. De ese modo, se espera generar beneficios económicos que despierten el interés

por cuidar y valorar su disponibilidad. También se busca enfrentar la erosión genética del bovino criollo, advertida como un desafío común en razas locales (FAO, 2007). La introducción indiscriminada de razas especializadas ha disminuido la pureza genética del bovino criollo mixteco, tendencia documentada en otras razas criollas latinoamericanas (Bidegain & López, 2014).

4. METODOLOGÍA

El presente estudio empleó un enfoque mixto que combinó análisis documental, trabajo de campo y evaluación cuantitativa de preferencias de consumo, con el fin de comprender la situación actual del bovino criollo mixteco, los factores que están promoviendo su erosión genética y las oportunidades para su valorización bajo el enfoque del VAC. La metodología se desarrolló en tres componentes principales.

4.1. REVISIÓN DOCUMENTAL

Se realizó una revisión sistemática de literatura nacional e internacional publicada entre 2000 y 2024, con énfasis en temas relacionados con los recursos zoogenéticos locales y conservación de razas criollas, los sistemas extensivos de producción bovina, las tendencias de consumo eco-saludable, los riesgos del sistema intensivo y uso de promotores de crecimiento, así como, las experiencias de valorización territorial y mercados diferenciados.

Las búsquedas se efectuaron en SciELO, Web of Science, Google Scholar y FAO Documents, utilizando términos como: *criollo cattle, local breeds, extensive systems, natural beef, consumer preferences, Mixteca Oaxaca y clenbuterol*. La selección de documentos se basó en criterios de pertinencia temática, rigor metodológico y relevancia para el análisis de oportunidades de mercado y conservación genética del bovino criollo.

4.2. TRABAJO DE CAMPO CON PRODUCTORES

Para caracterizar el manejo tradicional y comprender los procesos que están afectando la permanencia del bovino criollo mixteco, se realizaron 30 entrevistas semiestructuradas a productores pertenecientes a cinco localidades de la Región Mixteca Oaxaqueña. Las entrevistas se llevaron a cabo en enero de 2024 y abordaron ejes temáticos como las prácticas de manejo en sistemas extensivos, la disponibilidad de forrajes y uso de suplementos, los procesos de cruzamiento y percepción de erosión genética, la valoración económica y percepción de rentabilidad y la transmisión de conocimientos y prácticas tradicionales, así como, la interacción con mercados locales.

El análisis cualitativo se realizó mediante codificación temática, lo que permitió identificar patrones comunes, causas de la subvaloración económica, factores que impulsan el desplazamiento del criollo y oportunidades para su revalorización comunitaria.

4.3. ESTUDIO DE PERCEPCIÓN DEL CONSUMIDOR

Con el objetivo de analizar los atributos que influyen en la decisión de compra de carne bovina y determinar la aceptación potencial de la carne de bovino criollo mixteco. Se contempló una muestra de 334 consumidores a quienes se les aplicó una encuesta en los mercados locales de las localidades estudiadas. Además, se diseñó y aplicó de enero a febrero de 2024, el instrumento de investigación a consumidores habituales de carne bovina mayores de 18 años, empleando un cuestionario estructurado de 15 preguntas cerradas y mixtas. La técnica de investigación empleada fue el muestreo no probabilístico por cuotas en puntos de venta. Mientras que los lugares de aplicación fueron los mercados municipales y tianguis comunitarios. Por su parte, el cuestionario midió la preferencia por color (rosado vs. rojo intenso), la preferencia por sabor, jugosidad y textura, la percepción de rendimiento del canal, la familiaridad con el bovino criollo, el valor otorgado al origen y al modo de producción y la disposición a consumir carne criolla si se comunica su origen natural extensivo. Los resultados indicaron que el sabor y el aspecto natural asociado al sistema extensivo son los atributos que motivarían el consumo de carne de bovino criollo. Asimismo, la coloración más obscura, percibida inicialmente como negativa, mejora su valoración cuando se explica su relación con el sistema de producción extensivo y la alimentación natural. Finalmente, el análisis de datos se realizó mediante estadística descriptiva, considerando frecuencias, proporciones y cruces simples.

4.4. TRIANGULACIÓN Y ANÁLISIS INTEGRADOR

La integración de los tres componentes metodológicos permitió contrastar la situación productiva actual con las percepciones de consumo, identificar las causas estructurales de la erosión genética, analizar oportunidades de mercado desde la perspectiva del VAC, fundamentar propuestas de valorización comunitaria basadas en autenticidad, sostenibilidad y origen territorial. Los resultados obtenidos coinciden con estudios internacionales donde la percepción del color influye fuertemente en la elección del consumidor (Hughner et al., 2007), pero también donde la información sobre atributos naturales puede cambiar esa percepción (Clark & Bogdan, 2021). Bajo ese contexto, el bovino criollo mixteco presenta una oportunidad de negocio si sus características asociadas a su sistema de producción se orientan en atender las

necesidades de los nichos de mercado emergentes más compatibles con la carne criolla. En donde los atributos como la autenticidad, trazabilidad y sostenibilidad, son apreciados y valorados, tal como documenta la literatura sobre mercados diferenciados (Mattioli et al., 2020). Además, la carne del criollo mixteco presenta una diferenciación que corresponde a ventajas y beneficios respecto a su consumo, debido a que se produce bajo la ausencia de promotores de crecimiento, bajo una producción extensiva sostenible, considerando el bienestar animal y la disponibilidad de insumos locales. Los beneficios señalados, constituyen la base para atender necesidades de los consumidores eco-saludables, las tiendas de productos naturales, los restaurantes de comida regional, el turismo gastronómico y las cadenas productivas. Desde la perspectiva del VAC, el bovino criollo mixteco posee el potencial para ampliar su participación en el mercado emergente si su producción logra una certificación comunitaria, posicionarse como producto con identidad territorial y conservar su carga genética. Estas estrategias se alinean con experiencias exitosas de productos locales en Latinoamérica (Boucher et al., 2013).

5. DISCUSIÓN

La situación actual del bovino criollo mixteco confirma un patrón común en las razas locales de América Latina, que describe su alta adaptación a las condiciones ambientales, pero baja valoración económica y sociocultural. La literatura sobre recursos zoogenéticos ha advertido que, cuando los sistemas productivos se orientan exclusivamente al rendimiento, las razas criollas se enfrentan a procesos acelerados de erosión genética, desplazamiento y marginación en los mercados (FAO, 2007; Bidegain & López, 2014).

El caso del bovino criollo mixteco no es la excepción. Sin embargo, presenta condiciones que podrían convertirlo en un modelo ejemplar de revalorización territorial al articularse con el enfoque del VAC. Los resultados revisados muestran que la baja presencia de carne de bovino criollo en los mercados formales no se debe a una falta de atributos o potenciales beneficios para el entorno o hacia la salud del consumidor, sino a la ausencia de estrategias de diferenciación, trazabilidad y comunicación de valor. La preferencia de los consumidores por carne rosada de razas comerciales responde más a la hegemonía cultural del modelo intensivo que a una evaluación informada de calidad. Diversos estudios demuestran que, cuando el consumidor recibe información sobre bienestar animal, producción natural y sostenibilidad, su decisión de compra se modifica sustancialmente (Clark & Bogdan, 2021). Esto coincide directamente con

las condiciones propias del sistema extensivo tradicional que caracteriza al criollo mixteco. En este sentido, la discusión no debe centrarse únicamente en la superioridad o inferioridad del rendimiento cárnico, sino en la pertinencia de construir mercados diferenciados coherentes con los atributos bioculturales de la raza. La valorización del bovino criollo mixteco requiere transitar de un paradigma productivo, basado en el rendimiento cárnico, hacia un paradigma territorial, donde el origen, el sistema de producción extensivo, la historia local y la sostenibilidad le otorguen competitividad y diferenciación. Bajo ese contexto, el enfoque del VAC ofrece un marco estratégico alineado a impulsar la valoración del bovino criollo mixteco, al proponer que la generación de valor no se derive de insumos externos, sino del fortalecimiento de capacidades locales. En donde, destaca la organización comunitaria, certificación social de procesos, conservación genética y construcción de identidades territoriales. Esto permitiría que la carne criolla deje de competir por rendimiento y precio con razas comerciales especializadas, cuyo resultado refleje una competencia estructuralmente desigual y se inserte en nichos donde sus atributos son apreciados y valorados como el turismo gastronómico, las tiendas de productos naturales y los mercados regionales con enfoque patrimonial. Asimismo, la discusión evidencia la necesidad de repensar la política pública relacionada con los recursos zoogenéticos locales. Si bien existen lineamientos internacionales para su conservación, históricamente la intervención institucional ha privilegiado la introducción de razas especializadas y modelos de producción intensivos. La consolidación del bovino criollo mixteco como activo económico requiere mecanismos de apoyo diferenciados, donde el registro genealógico, la certificación comunitaria y el acceso a mercados alternativos constituyan pilares fundamentales. En conjunto, los elementos analizados indican que la revalorización del bovino criollo mixteco no solo es viable. Además, es una cuestión estratégica, siempre que se inserte en un enfoque integral que combine conservación genética, identidad cultural, sostenibilidad ecológica y el VAC. La revalorización del bovino criollo mixteco implica superar la erosión genética, la falta de registro genealógico, la subvaloración económica y la escasa presencia en el mercado formal. Sin embargo, las tendencias del consumo saludable, el interés por la sostenibilidad y los riesgos asociados al sistema intensivo abren una ventana ampliamente favorable. Si se articulan esfuerzos comunitarios, institucionales y comerciales, el criollo mixteco puede convertirse en un modelo exitoso de desarrollo territorial basado en recursos endógenos, que impacte en la mejora de las condiciones de vida de las comunidades productoras.

6. CONCLUSIONES

El estudio confirma que el bovino criollo mixteco posee atributos biológicos, culturales y ambientales que lo posicionan como un recurso estratégico para promover modelos de desarrollo rural sostenible en la Región Mixteca Oaxaqueña. Su rusticidad, eficiencia alimentaria y afinidad con los sistemas extensivos lo alinean plenamente con las tendencias actuales de demanda de alimentos eco-saludables y de aquellas generadas a partir de considerar el bienestar animal. Sin embargo, su rescate y consolidación como oportunidad de negocio depende de superar desafíos históricos: la erosión genética, la falta de registros genealógicos, la baja visibilidad en mercados formales y la ausencia de estrategias de diferenciación basadas en identidad territorial y sostenibilidad. A partir de los hallazgos analizados, se concluye que es indispensable establecer un sistema formal de registro genealógico que fomente la conservación de la carga genética de animales criollos. Además, la disponibilidad de la carne de bovino criollo se debe orientar hacia mercados diferenciados, donde se aprecien atributos como producción extensiva, trazabilidad y autenticidad territorial. En ese sentido, la organización comunitaria emerge como un componente central, ya que la valorización del bovino criollo mixteco depende de procesos colectivos de certificación, comercialización y gobernanza del recurso.

Por su parte, el enfoque del VAC constituye una vía eficaz para transformar la crianza tradicional del bovino criollo mixteco en un motor económico que detone encadenamientos productivos locales y fortalezca la economía rural. La política pública debe reorientarse hacia la conservación y aprovechamiento sostenible de las razas criollas, integrándolas como activos estratégicos en programas de desarrollo territorial, turismo gastronómico, mercados alternativos y seguridad alimentaria. Si estos elementos se articulan, el potencial de participación que presenta el bovino criollo mixteco le permitiría convertirse en una palanca de desarrollo económico, ecológico y cultural, capaz de fortalecer los medios de vida de la Región Mixteca Oaxaqueña. Así como, reforzar su identidad territorial y contribuir a la construcción de sistemas alimentarios sostenibles y socialmente justos.

REFERENCIAS

- Alderson, L. (2003). *The chance to survive: Rare breeds in a changing world*. EAAP.
- Anderson, S. (2003). Animal genetic resources and sustainable livelihoods. *Ecological Economics*, 45(3), 331–339. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00089-7)
- Aschemann, W. J., & Zielke, S. (2017). Can't buy me green? A review of consumer perceptions of organic food. *Appetite*, 113, 305–318. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.03.032>

- Avendaño, R. L., Álvarez, F. D., Correa, C. A., & Álvarez, R. J. (2006). Effects of β -adrenergic agonists on cattle. *Journal of Animal Science*, 84(12), 3251–3258. <https://doi.org/10.2527/jas.2005-596>
- Baker, D., & Young, C. (2012). Withdrawal period considerations for β -agonists. *Journal of Animal Science*, 90(12), 4007–4013. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5359>
- Bebbington, A. (1999). Capitals and capabilities. *World Development*, 27(12), 2021–2044. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(99\)00104-7](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(99)00104-7)
- Boucher, F., Requier, D. D., & Sánchez, B. (2013). Territorial development and local agri-food products. *Food Policy*, 43, 243–253. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.09.006>
- Clark, L. F., & Bogdan, A. M. (2021). Consumer motivations for organic meat. *Food Quality and Preference*, 93, 104275. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2021.104275>
- FAO. (2007). *The State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture*. FAO. FAO. (2015). *In vivo conservation of animal genetic resources*. FAO.
- Fraser, D. (2008). Understanding animal welfare. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 50(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-50-S1-S1>
- Hughner, R. S., McDonagh, P., Prothero, A., Shultz, C. J., & Stanton, J. (2007). Who are organic food consumers? *Journal of Consumer Behaviour*, 6(2–3), 94–110. <https://doi.org/10.1002/cb.210>
- INEGI. (2022). *Panorama sociodemográfico de Oaxaca 2020*. INEGI.
- Magaña, J. G., Segura, J. C., & Pech, C. J. (2013). Morphological traits of cattle in México. *Tropical Animal Health and Production*, 45, 1167–1174. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0337-7>
- Mattioli, S., Besi, M., & Nardone, A. (2020). Traditional livestock systems. *Animal Frontiers*, 10(1), 17–23. <https://doi.org/10.1093/af/vfz053>
- Mottet, A., & de Haan, C. (2018). Livestock and the environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 43, 169–194. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102017-03015>
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability. *Science*, 325(5939), 419–422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Rojas, H. S., Ramírez, B. E., & Álvarez, F. G. (2018). Extensive cattle systems in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9(1), 58–75. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4380>
- World Health Organization. (2018). *Critical review of contaminants in animal foods*. WHO.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR FRUTÍCOLA EN LAS PROVINCIAS DE BUENOS AIRES, SANTA FE Y ENTRE RÍOS (REPÚBLICA ARGENTINA)

Data de submissão: 10/11/2025

Data de aceite: 28/11/2025

Victorina Mariana Rivera Rúa

Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Rosario
Zavalla –Santa Fe, Argentina

<https://orcid.org/0009-0009-1991-464X>

Violeta Riolfo

Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Rosario
Zavalla –Santa Fe, Argentina
<https://orcid.org/0009-0001-6032-8441>

Rubén Marcelo Coniglio

Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Rosario
Zavalla –Santa Fe, Argentina
<https://orcid.org/0009-0009-3208-103X>

RESUMEN: La Región Pampeana constituye el núcleo económico, productivo y demográfico de la Argentina, caracterizada por el desarrollo de sistemas agrícolas tecnificados y altamente competitivos. En este contexto, la fruticultura enfrenta un retroceso frente al avance de cultivos extensivos, lo que exige analizar su estructura y las tecnologías productivas involucradas. El presente trabajo caracteriza el sector frutícola en las

provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Entre Ríos, considerando superficie implantada, número de explotaciones, principales especies cultivadas, asignación tecnológica en los sistemas productivos y canales de comercialización. Se procesaron datos del Censo Nacional Agropecuario 2018 para el estudio del sistema frutícola regional, con el fin de aportar información que permita modelizar empresas frutícolas eficientes apoyadas en innovación tecnológica. Los resultados muestran diferencias relevantes en la escala y orientación productiva entre provincias, así como en la adopción de sistemas de riego y estrategias de comercialización, evidenciando la necesidad de fortalecer el desarrollo tecnológico y la sostenibilidad de la fruticultura regional en un entorno altamente competitivo y en constante agriculturización.

PALABRAS CLAVE: tecnología frutícola; sistemas productivos; región pampeana; innovación agropecuaria; eficiencia productiva.

CHARACTERIZATION OF THE FRUIT SECTOR IN THE PROVINCES OF BUENOS AIRES, SANTA FE AND ENTRE RÍOS (ARGENTINE REPUBLIC)

ABSTRACT: The Pampas Region is Argentina's main economic and productive hub, where highly technified agricultural systems prevail. In this scenario, fruit production has been losing ground to extensive crops, which highlights the need to analyze its structure and technological

adoption. This study characterizes the fruit-growing sector in the provinces of Buenos Aires, Santa Fe, and Entre Ríos by examining cultivated area, the number of farms, main fruit species, technological strategies applied in production systems, and marketing channels. Data from the 2018 National Agricultural Census were processed to analyze the regional fruit system, providing relevant inputs to model efficient fruit production units based on technological innovation. The results reveal differences in scale, crop orientation, irrigation technologies, and commercialization strategies among provinces, emphasizing the importance of strengthening technological development and sustainability in the fruit sector within a competitive and increasingly agriculturalized environment.

KEYWORDS: fruit production technology; productive systems; pampas region; agricultural innovation; productive efficiency.

1. INTRODUCCIÓN

La República Argentina, el país más austral del continente americano, presenta una vasta extensión territorial de 3.669.711 Km², que va desde los 21°46'52'' latitud N, en la provincia de Jujuy, hasta los 90° latitud S, en el Polo Sur (IGN, s.f.), y posee una población de 45.892.285 habitantes (Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2022, 2022). Debido a esta característica presenta una gran diversidad de climas y suelos, acompañado de una amplia variedad de condiciones sociopolíticas y económicas que caracterizan a cada región del país.

La Región Pampeana es un área geográfica situada en el centro de la República Argentina, comprende las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos y La Pampa. Su ubicación y características la convierten en el núcleo central económico, político, cultural y demográfico del país.

La región se corresponde a una amplia planicie de más de 50 millones de hectáreas, aproximadamente el 30% de la superficie continental del país, y en ella habitan más del 55% de la población nacional (Cieza et al., 2021). Dentro de esta región geográfica se encuentra la ecorregión Pampa, el más importante ecosistema de praderas de la República Argentina, que incluye la mitad austral de Entre Ríos, Sudeste de Córdoba, Sur de Santa Fe, Nordeste de La Pampa y casi toda la provincia de Buenos Aires, exceptuando el extremo sur (Morello, et al, 2018). Esta ecorregión coincide con el núcleo productivo agrícola ganadero más importante y antiguo del país.

Los pastizales pampeanos han sufrido gran pérdida de paisajes, hábitat y biodiversidad naturales por los cambios de uso de la tierra ocurridos desde la colonia, cuando los europeos introdujeron el ganado a mediados del siglo XVI, mientras que desde comienzos del siglo XX la conversión de áreas naturales a cultivos y pasturas manejadas han ocurrido a una alta tasa de cambio, en tiempo y en extensión (Morello, et al., 2018).

El clima es templado húmedo, con estaciones bien marcadas: inviernos fríos con heladas (entre los 5 y 12°C, con un promedio anual de 17°C) y veranos cálidos (temperaturas que oscilan entre los 20 y 25°C) (Cieza et al., 2021). En cuanto a las precipitaciones, estas varían entre 1.200 y 700 mm, decreciendo de nordeste a sudoeste (Morello et al., 2018), concentradas en los meses primavero estivales.

El material de origen de los suelos es loess volcánico, donde las partículas más finas se depositaron al este de la región. El proceso de ilimerización o argiluviación, como proceso formador de suelos, tiene amplia difusión en la Región Pampeana (Imbellone, P. et al., 2010), predominando el Orden Molisoles, entre otros como Entisoles, Alfisoles, Vertisoles, Aridisoles e Inceptisoles (Morello, et. al., 2018). Se trata originalmente de suelos fértiles (ricos en nutrientes y materia orgánica), profundos, superficialmente oscuros y bien estructurados, aptos para la agricultura, ganadería, fruticultura, horticultura y forestales, decayendo la calidad de los mismos hacia el oeste, con suelos más arenosos y pedregosos.

Al este de la Región Pampeana se encuentran estratégicamente situadas las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Entre Ríos. Esta condición es debido a la proximidad a los puertos exportadores, ubicados en las márgenes de un río de gran importancia, como lo es el río Paraná. El mismo costea las tres provincias y posee canales de navegación directos al océano Atlántico.

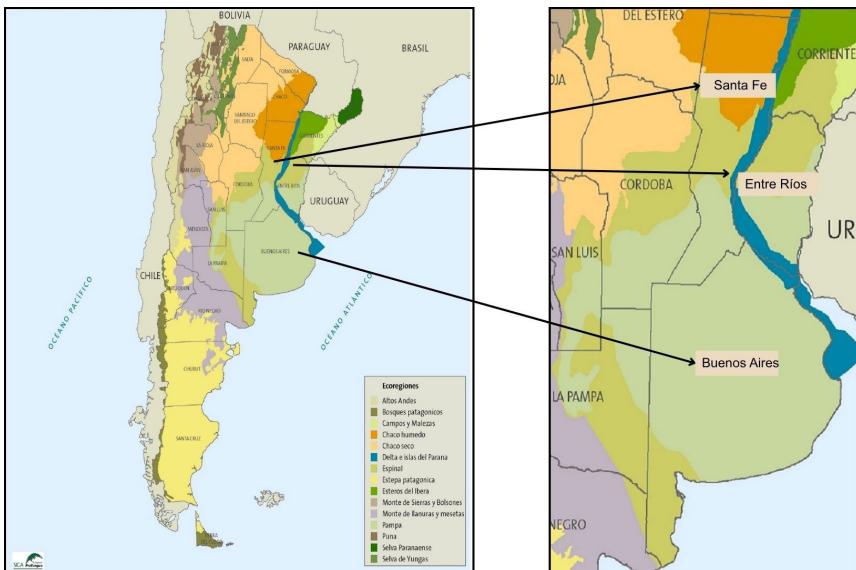
Las tres provincias poseen un clima benigno y uno de los suelos más fértiles del mundo, lo que proporciona una condición única de producción que, sumado a la gran capacidad exportadora, las convierte en una de las regiones con mayor potencial productivo-exportador del mundo.

En la Región Pampeana predominan los cultivos agrícolas extensivos (soja, trigo, maíz, sorgo granífero, girasol, cebada, etc.) y en menor medida, se desarrolla la ganadería (principalmente bovina, para carne y leche, y porcina), la avicultura y el cultivo de frutas (fundamentalmente cítricos y durazno, entre otros) y hortalizas en general.

Desde hace varias décadas se observa un creciente proceso de agriculturización y de concentración de la superficie en menor cantidad de productores agropecuarios, tal como lo muestran los últimos censos realizados.

En dicha región, las provincias de Entre Ríos, Buenos Aires y Santa Fe no están ajena a este proceso, expresado en un retroceso constante de la fruticultura frente a los cultivos extensivos, principalmente cereales y oleaginosas. La determinación de la unidad económica podría brindar herramientas para comprender dicho proceso. Previo a ello, resulta de vital importancia la caracterización de los sistemas frutícolas a los fines de modelizar las empresas típicas en cada provincia en estudio.

Ilustración 1: Ecorregiones de la República Argentina y detalle ampliado de las provincias en estudio. Fuente: SIGA, Fundación ProYungas.



2. OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es caracterizar el sector frutícola de las tres provincias mencionadas, determinando:

- superficie frutícola,
- número de explotaciones,
- principales cultivos frutales implantados,
- asignación de superficie a cada cultivo en las explotaciones frutícolas,
- superficie promedio trabajada por explotación,
- algunos aspectos básicos de tecnología de producción, y
- canales de comercialización de la producción frutícola.

Este objetivo forma parte de un proyecto mayor: modelizar la empresa frutícola de cada provincia y así determinar la unidad económica frutícola en el núcleo de la región pampeana. La unidad económica es una medida de superficie mínima (expresada en hectáreas) que, trabajada racionalmente por una familia rural, permite cubrir sus necesidades y una evolución favorable de la empresa. Su tamaño está determinado por las características agroecológicas de la región, el tipo de actividad productiva, la tecnología e instalaciones empleadas en la producción, la cercanía a los mercados, el costo de vida y otras variables económicas y sociales.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CENSO NACIONAL AGROPECUARIO

El Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) de la República Argentina, en conjunto con el Sistema Estadístico Nacional (SEN) lleva a cabo la caracterización del sistema agropecuario argentino, siguiendo las pautas que proporciona la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) para la realización de censos agropecuarios.

Según lo manifestado por el Censo Nacional Agropecuario 2018, a lo largo de la historia argentina se han efectuado numerosos censos. Sin embargo, recién a partir del año 1988 se establece la metodología para su realización, de acuerdo a las normas establecidas. Esto permite que los datos obtenidos puedan utilizarse para su comparabilidad, tanto a nivel nacional como internacional, a lo largo del tiempo. Como resultado de ello, los censos elaborados en los años 1988, 2002, 2008 (considerado incompleto, por deficiencias en el alcance geográfico) y el último, hecho en 2018, son, por tanto, los únicos que cumplen con las medidas estandarizadas.

En cuanto a la metodología utilizada para la toma de datos en el censo, ésta se corresponde con un “barrido territorial”, en el cual se realizan entrevistas presenciales a los actores involucrados, siendo el productor agropecuario (entendido como aquel que toma las decisiones técnicas, económicas, asume el riesgo y percibe beneficios de la actividad), o informantes calificados.

La unidad de análisis es la Explotación Agropecuaria (EAP), que comprende a aquellas que producen bienes (pecuarios, agrícolas o forestales) destinados a la venta, sobre una superficie mayor a 500 m², situadas dentro de los radios rurales y mixtos (rural y urbano). Dentro de las mismas se incluyen además a las destinadas para autoconsumo e investigación (INDEC,2023).

3.2. FUENTE DE DATOS Y PROCESADO DE LOS MISMOS

En el presente trabajo, los datos suministrados por el último censo nacional agropecuario, correspondiente al año 2018, son una herramienta fundamental para el análisis del sistema frutícola en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y Entre Ríos.

Los datos sobre los cuales se trabajó provienen del censo nacional agropecuario (CNA) 2018 (campaña 2017-2018). Éstos fueron procesados analizando toda la información referida a la actividad frutícola en las provincias antes mencionadas. Las tablas y gráficos son de elaboración propia en base a dicha fuente de información.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

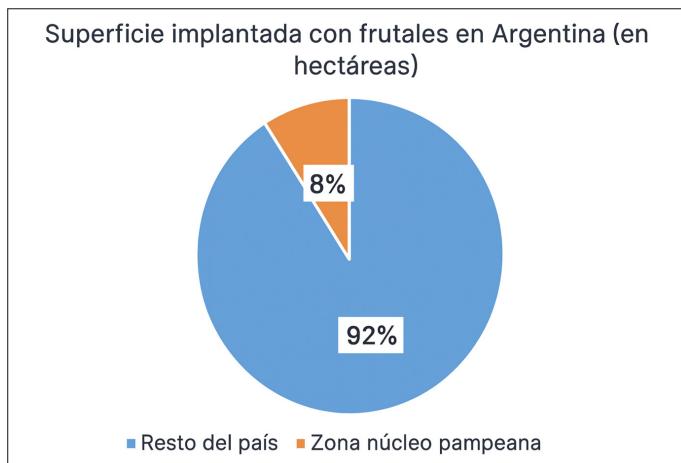
Desde hace varias décadas se observa un creciente proceso de agriculturación y de concentración de la superficie en menor cantidad de productores agropecuarios tal como lo muestran los últimos censos realizados. En dicha región, las provincias de Entre Ríos, Buenos Aires y Santa Fe no están ajenas a este proceso, expresado en un retroceso constante de la fruticultura frente a los cultivos extensivos, principalmente cereales y oleaginosas. Por tal razón es menester caracterizar al sector frutícola, en base a diferentes aspectos para poder, más adelante, modelizar la explotación típica y así llegar a determinar la unidad económica.

4.1. NÚMERO DE EAPS Y SUPERFICIE FRUTÍCOLA NACIONAL Y DE LA REGIÓN EN ESTUDIO

Según datos del CNA 2018, el total nacional de explotaciones agropecuarias (EAPs) con cultivos frutales durante la campaña 2017/2018 fue de 28.319 explotaciones y el total de superficie implantada con frutales en dicha campaña en el país fue de 490.770,90 hectáreas (ha).

De esas 28.319 EAPs, el 0,8% corresponde a explotaciones con frutales en la provincia de Buenos Aires (Bs As), el 3,7% a Entre Ríos (E. Ríos) y el 0,1% a explotaciones con frutales en la provincia de Santa Fe (Sta. Fe).

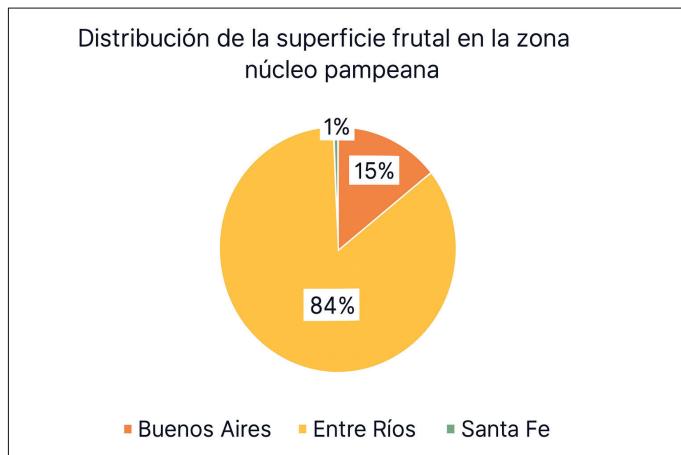
El área ocupada por frutales entre las tres provincias antes mencionadas es de 40.339,30 ha, un 8,2 % del total nacional, 1,2% del total de superficie frutícola nacional lo ocupa la provincia de Buenos Aires, el 6,9% Entre Ríos y un 0,1% Santa Fe.



Fuente: Elaboración propia.

4.2. DISTRIBUCIÓN DE LA SUPERFICIE FRUTAL ENTRE LAS 3 PROVINCIAS

El área ocupada por frutales entre las tres provincias analizadas (40.339,30 ha) se encuentra distribuida del siguiente modo: 14,8% provincia de Buenos Aires, 84% Entre Ríos y 1,2% Santa Fe.



Fuente: Elaboración propia.

4.3. NÚMEROS DE EAPS Y SUPERFICIE FRUTÍCOLA POR PROVINCIA, SUPERFICIE PROMEDIO POR EAP EN CADA PROVINCIA EN ESTUDIO Y PROMEDIO NACIONAL

La provincia de Entre Ríos es, de las tres provincias, la que posee mayor cantidad EAPs frutícolas y una mayor cantidad de superficie implantada con frutales. A su vez, la provincia de Santa Fe es la que menor cantidad de EAPs y superficie frutícola presenta.

En la provincia de Entre Ríos la superficie promedio por EAP con frutales es de 32,14 ha, valor superior al promedio de Buenos Aires que alcanza las 27,59 ha y muy superior al valor medio de Santa Fe de 12,86 ha.

Tabla N°1: Número de EAPs, superficie y superficie media por EAP

Fruticultura	Nº EAPs	%	Ha	%	Ha promedio por EAP
Total país	28.319,0	100,0%	490.770,9	100,0%	17,3
Buenos Aires	216,0	0,8%	5.959,9	1,2%	27,6
Entre Ríos	1.054,0	3,7%	33.877,7	6,9%	32,1
Santa Fe	39,0	0,1%	501,7	0,1%	12,9

Fuente: elaboración propia

El promedio nacional de superficie por EAP frutícola, que abarca realidades climáticas y socioeconómicas variadas, es de 17,33 ha.

4.4. SUPERFICIE DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS FRUTALES IMPLANTADOS POR PROVINCIA

Los principales cultivos frutales en las tres provincias, tanto por el número de EAPs como por la superficie implantada, son los cítricos (*Citrus spp*) y el durazno (*Prunus persica L. Batsch*).

En la tabla número 2 se detallan las ha implantadas con dichos cultivos en cada provincia. Cabe destacar que en la provincia de Buenos Aires la superficie de cítricos y durazneros representa poco más del 50% de la superficie con frutales. En cambio, en Entre Ríos y Santa Fe, estos cultivos abarcan más del 90% de dicha superficie.

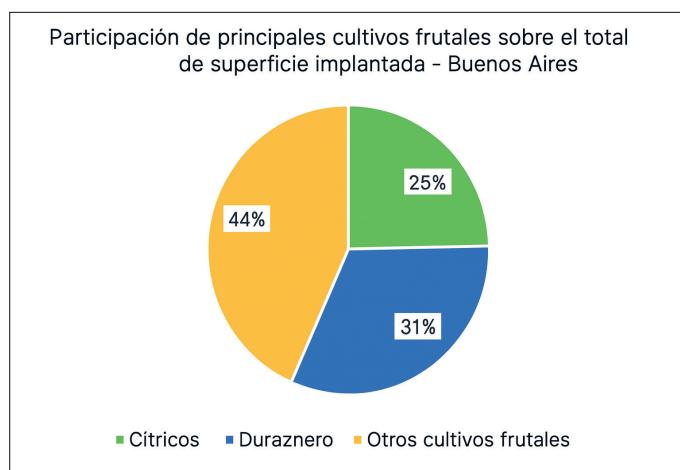
Tabla N°2: Superficie de los principales cultivos frutales implantados por provincia

Cultivo	Buenos Aires		Entre Ríos		Santa Fe	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Cítricos	1.468,3	24,6%	30.571,4	90,2%	251,6	50,1%
Duraznero	1.866,1	31,3%	4,5	0,0%	205	40,9%
Otros frutales	2.625,5	44,1%	3.301,8	9,7%	45,1	9,0%
Total fruticultura	5.959,9	100,0%	33.877,7	100,0%	501,7	100,0%

Fuente: elaboración propia

4.4.1. Provincia de Buenos Aires

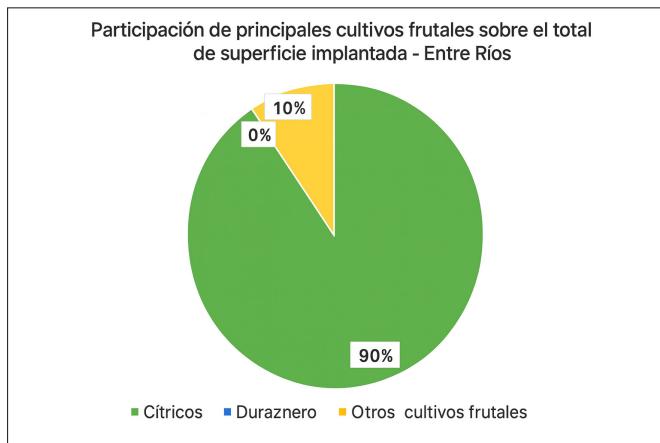
En la provincia de Buenos Aires predomina el cultivo de durazno (31,3%) seguido por los cítricos (24,6%).



Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Provincia de Entre Ríos

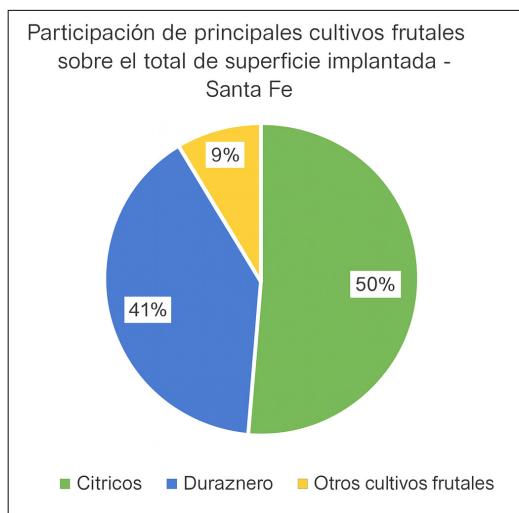
En contraposición, en Entre Ríos el 90,2% de la superficie está implantada con cítricos no siendo representativa la superficie con durazneros.



Fuente: Elaboración propia.

4.4.3. Provincia de Santa Fe

Por último, en Santa Fe el 50,1% corresponde a cítricos y el 40,9% a duraznero.



Fuente: Elaboración propia.

4.4.4. Detalle de superficie y número de EAPs de los principales cultivos cítricos y del durazno por provincia en estudio

En las tres provincias predomina el cultivo de naranjo (*Citrus sinensis L. Osbeck*) por sobre las otras especies cítricas, y el durazno para consumo por sobre el que se destina a industria, tal como lo muestra la tabla número 3.

Tabla N°3: Superficie y número de explotaciones de principales cultivos por provincia

	Superficie (ha)			Nº EAPs		
	Buenos Aires	Entre Ríos	Santa Fe	Buenos Aires	Entre Ríos	Santa Fe
Cítricos						
limonero	39,1	635,9	66,4	30	254	10
mandarino	12,0	11.927,3	12,6	10	784	5
naranjo	1.380,1	17.387,6	166,4	51	921	16
pomelo	37,1	620,6	6,2	8	-	3
quinoto	-	7,5	-	-	sin datos	-
Duraznos						
industria	75,1	0,5	0,3	4	sin datos	sin datos
consumo	1.784,0	4,0	204,7	52	4	13

Fuente: elaboración propia

4.5. SUPERFICIE PROMEDIO POR EAP DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS CÍTRICOS Y DEL DURAZNO EN CADA PROVINCIA EN ESTUDIO

En la tabla número 4, se puede observar la superficie media por EAP de los principales cultivos frutales implantados en la campaña censada. Se destacan durazno para consumo y naranjo en Buenos Aires y Santa. Fe; en Entre Ríos naranjo y mandarino (*Citrus reticulata F. Blanco*).

Tabla N° 4: Superficie promedio por EAP de los principales cultivos

	Ha promedio por EAP de cada cultivo				Durazno Consumo
	Limonero	Mandarino	Naranjo	Pomelo	
Buenos Aires	1,3	1,2	27,1	4,6	34,3
Entre Ríos	2,5	15,2	18,9	3,0	1,0
Santa Fe	6,6	2,5	10,4	2,1	15,7

Fuente: Elaboración propia

4.6. CANAL DE COMERCIALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

En cuanto al canal de comercialización, en Buenos Aires, tanto en cítricos como en duraznero, predomina el circuito minorista con una alta proporción del total comercializado. En Entre Ríos las modalidades de comercialización en cítricos son variadas, mayormente se comercializa a través de industria, en segundo lugar, a corredor comisionista o consignatario, y en tercer lugar a otro productor. En el caso de durazno, se

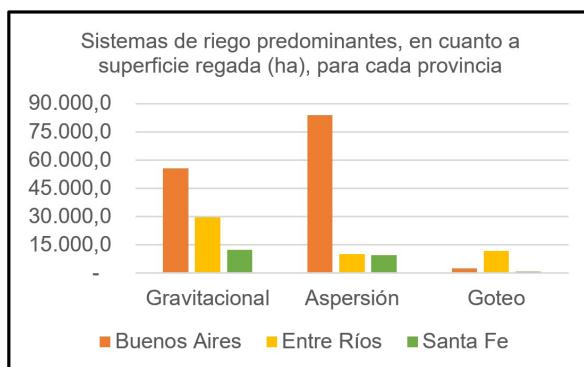
comercializa a través de circuito minorista. En Santa Fe la modalidad de mayor frecuencia, tanto en cítricos como en durazno es el circuito minorista y existe un elevado porcentaje de lo producido que no se comercializa por diversas causas.

4.7. SISTEMAS DE RIEGO DE LA PRODUCCIÓN

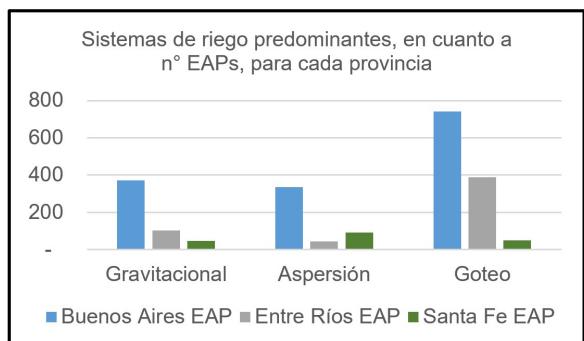
En relación al riego, en la provincia de Buenos Aires hay un predominio de EAPs con sistema de riego por goteo, sin embargo, en cuanto a superficie regada, se encuentra en primer lugar el riego por aspersión.

En la provincia de Santa Fe, prevalecen los establecimientos que poseen riego por aspersión, pero en relación a superficie regada, predomina el riego gravitacional.

Por último, en la provincia de Entre Ríos, al igual que en Santa Fe, existe un dominio en cuanto a superficie, en riego gravitacional. El número de EAPs más importante se corresponde con el riego por goteo.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

Del total de superficie implantada con diferentes cultivos en la campaña censada, tanto en la provincia de Buenos Aires como en la provincia de Santa Fe, la actividad frutícola representa menos del 0,10%, en cambio en Entre Ríos la superficie destinada a cultivos frutales representa el 1,51% del total de la superficie implantada que incluye cereales para grano, oleaginosas, forrajeras, bosques y montes.

De las tres provincias analizadas, la provincia de Entre Ríos es la que posee mayor número de EAPs. con frutales y la mayor área de cultivos frutícolas, la provincia de Santa Fe es la que posee menor cantidad de EAPs. y superficie frutícola.

En las tres provincias predominan el cultivo de cítricos, principalmente naranjos, y duraznero por sobre otros cultivos frutales. Tanto en Entre Ríos como en Santa Fe esta superficie comprende más del 90% del total de superficie frutícola. En Entre Ríos la mayor superficie corresponde a cítricos, siendo muy poco representativo el cultivo de durazneros. En Buenos Aires y Santa Fe el área destinada a cítricos y durazneros se distribuye en proporciones más equitativas.

La comercialización de duraznos y cítricos en Santa Fe y Buenos Aires se canaliza mayormente a través del mercado minorista. En Entre Ríos los cítricos se comercializan principalmente a través de industria y los duraznos en el mercado minorista.

Toda la información obtenida y procesada permitirá modelizar la empresa frutícola de las tres provincias analizadas y determinar la unidad económica frutícola en la Región Pampeana, dentro de un contexto de retroceso de la fruticultura ante un proceso creciente de agriculturización.

REFERENCIAS

CENSO NACIONAL DE POBLACIÓN, HOGARES Y VIVIENDAS. **Resultado del censo 2022**, Buenos Aires, 2022. Disponible en: https://censo.gob.ar/index.php/datos_definitivos_total_pais/. Acceso: 5 de noviembre de 2025.

CIEZA, R.; MENDICINO, L. **Región Pampeana**. Aula virtual, Universidad Nacional de La Plata, 2021. Disponible en: <https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/mod/resource/view.php?id=93360>. Acceso: 3 de noviembre de 2025.

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (IGN). **Límites, superficies y puntos extremos**. Buenos Aires, 2025. Disponible en: <https://www.ign.gob.ar/nuestrasactividades/geografia/datosargentina/limitessuperficiesypuntosextremos#:~:text=Rep%C3%A9blica%20de%20Chile.,Superficie,Sur%20y%20Sandwich%20del%20Sur>). Acceso: 5 de noviembre de 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (INDEC). **Censo Nacional Agropecuario (CNA) 2018 resultados definitivos**. Buenos Aires, 2023. Disponible en: <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-8-87> Acceso: 12 de abril de 2024.

IMBELLONES, PA., GIMÉNEZ, JE., PANIGATTI, JL., 2010. **Suelos de la Región Pampeana: Procesos de formación.** Ed. INTA Buenos Aires.

MORELLO, J.; MATTEUCCI, S.; RODRÍGUEZ, A.; SILVA, M. **Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos.** 2º edición ampliada. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora, 2018.

PANIGATTI, J.L. **Argentina 200 años, 200 suelos.** Buenos Aires: INTA, 2010.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA AMBIENTAL (SIGA), FUNDACIÓN PROYUNGAS. **Ecorregiones de Argentina,** 2017. Disponible en: <https://sigaproyungas.org.ar/mapa/ecorregiones-de-argentina/>. Acceso: 8 de noviembre 2025.

CAPÍTULO 4

CONCEPTO CONDICIONAL DE CARGAS COMBUSTIBLES -C4- PARA LA SELECCIÓN DE MODELOS DE COMBUSTIBLES FORESTALES

Data de submissão: 19/11/2025

Data de aceite: 28/11/2025

José German Flores-Garnica

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales Agrícolas y Pecuarias
Campo Experimental Centro
Altos de Jalisco

Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México
<https://orcid.org/0000-0002-8295-1744>

RESUMEN: La cantidad y calidad de los combustibles definen el nivel de riesgo y peligro de incendios forestales, por lo que para facilitar su descripción se usa el concepto de modelos de combustibles (caracterización matemática que se asocia a cierto comportamiento del fuego). En general, el mapeo de estos modelos de combustibles (MC) ha seguido dos tendencias: 1) inferencias indirectas, en las que algunos factores ambientales (vegetación densidad, altura, etc.), asociados con la producción de combustible, se relacionan con un MC determinado; y 2) consultas a expertos, para clasificar, con base a su criterio y experiencia, los MC que corresponden a cierta área. Sin embargo, en ambos casos se tiende a

enfoques subjetivos, que pueden favorecer un nivel de sesgo importante. Como alternativa, se propone la integración del concepto condicional de cargas de combustible (C4) con técnicas geoestadísticas, para definir una perspectiva más objetiva en la cartografía de MCs. La información utilizada en este estudio se recopiló en un bosque de Chihuahua, México, donde se inventariaron los combustibles en 554 sitios de muestreo (1000 m²), cada uno de los cuales se clasificó, con apoyo del C4, en su correspondiente MC. Posteriormente se utilizó la metodología de interpolación de kriging ordinario para determinar la distribución espacial continua de los MCs. Para el ajuste de los variogramas, se probaron los modelos esférico, gausiano y exponencial y, con base al criterio de información de Akaike, el modelo esférico fue el que mejor funcionó. La metodología mostró ser útil para determinar la distribución y limitación de MCs en forma precisa y e insesgada. Se concluye que las ventajas de la implementación del C4 son: 1) se basa en las cargas reales de combustibles, y no solo en la estructura y composición de la vegetación; 2) es objetivo y evita el sesgo de los diferentes clasificadores (expertos); y 3) evita la necesidad del asesoramiento de expertos. Lo anterior puede apoyar en la definición de áreas prioritarias en la implementación de estrategias de manejo del fuego.

PALABRAS CLAVE: mapeo de combustibles; kriging ordinario; análisis de variogramas.

A CONDITIONAL FUEL-LOAD (C4) CONCEPT FOR SELECTING FOREST FUEL MODELS

ABSTRACT: The quantity and quality of fuels define the level of risk and danger of forest fires, therefore to facilitate their description, the concept of fuel models (mathematical characterization associated with certain fire behavior) is used. In general, the mapping of these fuel models (FM) has followed two trends: 1) indirect inferences, in which certain environmental factors (vegetation density, height, etc.) associated with fuel production are related to a specific FM; and 2) consultations with experts to classify, based on their criteria and experience, the FMs that correspond to a certain area. However, in both cases, there is a tendency toward subjective approaches, which can lead to a significant level of bias. As an alternative, we propose integrating the conditional concept of fuel loads (C4) with geostatistical techniques to define a more objective perspective in FM mapping. The information used in this study was collected in a forest in Chihuahua, Mexico, where fuels were inventoried at 554 sampling sites (1000 m^2), each of which was classified, with the support of C4, into its corresponding FM. Subsequently, the ordinary kriging interpolation methodology was used to determine the continuous spatial distribution of the FMs. To adjust the variograms, spherical, Gaussian, and exponential models were tested, and based on Akaike's information criterion, the spherical model performed best. The methodology resulted useful for determining the distribution and limitation of FMs accurately and without bias. It is concluded that the advantages of implementing C4 are: 1) it is based on actual fuel loads, not just on the structure and composition of vegetation; 2) it is objective and avoids the bias of different classifiers (experts); and 3) it avoids the need for expert advice. This can support the definition of priority areas in the implementation of fire management strategies.

KEYWORDS: fuel mapping; ordinary kriging; variogram analysis.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando es posible, las estrategias de manejo del fuego se basan en conocer previamente el comportamiento potencial del fuego en un ecosistema forestal determinado (Stephens y Ruth, 2005; Hann y Bunnell, 2001). Para esto, se han desarrollado muchos sistemas de simulación del comportamiento del fuego, como, por ejemplo, FARSITE (Finney, 2004), que es uno de los sistemas más completos y más utilizados. Sin embargo, todos estos sistemas requieren de información sobre la distribución espacial de los combustibles forestales, los cuales, en la mayoría de los casos, se representan bajo el concepto de modelos de combustible, que corresponden a una descripción generalizada de las características físicas del combustible (Keane et al., 2001). De esta forma, la generación de cartografía de modelos de combustible ha seguido, en general, dos tendencias: 1) inferencias indirectas, en las que algunos factores como la vegetación, las especies y la densidad, presumiblemente asociados a la producción de combustible, se relacionan con un modelo de combustible determinado (Keane et al., 1999; Chuvieco y

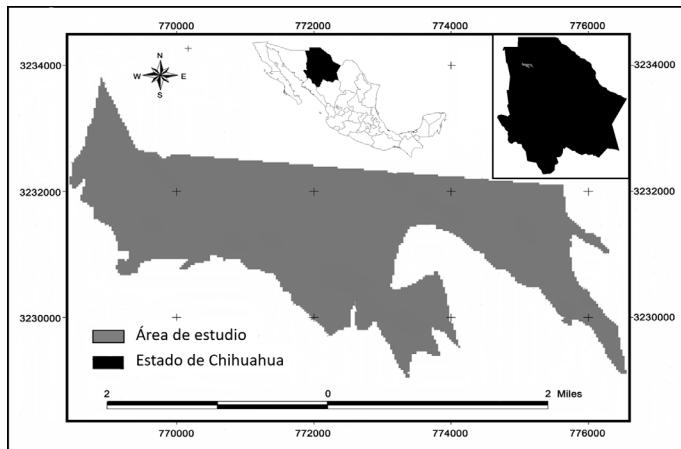
Salas, 1996); y 2) clasificación de modelos de combustible validada mediante el criterio de los expertos (Valdez, 2001), lo que puede implicar un enfoque sesgado. Más aún, aunque un experto pueda ubicar en un bosque diferentes modelos de combustible, frecuentemente, es difícil establecer los límites espaciales entre un modelo y otro (Arroyo *et al.*, 2008; Reich *et al.*, 2004). Además, no hay garantía de que dos, o más expertos, clasifiquen una misma zona con los mismos modelos de combustibles (Flores, 2001). También debe considerarse que el uso de metodologías de inferencia ha demostrado tener una precisión muy variable (entre el 30 % y el 70 % [Keane *et al.*, 2001]). Para evitar estos conflictos, sugiere el uso del Concepto Condicional de Cargas de Combustibles (C4) (Flores, 2017), el cual se basa en que cada modelo de combustible se caracteriza por una determinada proporción de cargas de combustibles (t/ha), de 1 hora, 10 horas, y 100 horas. Para determinar el C4 se requiere de contar con información de combustibles derivada de sitios muestreos en campo, con lo que se podrá determinar el modelo de combustibles correspondiente. El siguiente paso es generar, con base en estos sitios, la cartografía que ubique y delimita los diferentes modelos de combustibles, para lo cual se hace uso de técnicas geoestadísticas que permiten estimaciones precisas de su continuidad espacial (Sikkink y Keane, 2008; Robichaud, 1997). Además, las técnicas geoestadísticas funcionan bien con datos escasos (Burrough y MacDonnell, 1998), lo que puede reducir tanto el costo como el tiempo necesario. La información de campo y los procesos geoestadísticos, se integran en un sistema de información geográfica (SIG), para definir en forma práctica la distribución espacial de los modelos de combustibles (Pierce *et al.*, 2009; Bååtha *et al.*, 2002).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDIO

Este estudio se realizó con información de un bosque comercial del ejido “El Largo y Anexos”, el cual se localiza dentro de la región denominada Mesa del Huracán, al noroeste del estado de Chihuahua, México (Figura 1). Las especies arbóreas predominantes son *Pinus durangensis*, *P. arizonica*, *P. engelmannii* y *Quercus sideroxyla*. La mayor parte de la topografía es montañosa, con una altitud entre 1,400 y 2,400 m, con algunos valles. La temperatura media anual oscila entre los 8.5 °C y los 12 °C. Las precipitaciones oscilan entre 690 y 1,130 mm/año (la mayor parte de la temporada de lluvias se produce de julio a septiembre). La temporada de incendios es en verano, durante la estación seca (de mayo a junio).

Figura 1. Ubicación de área de estudio, dentro de la “Mesa del Huracán”, a 270 km de la ciudad de Chihuahua, México (UTM Zona 12).



2.2. INVENTARIO DE COMBUSTIBLES

La información utilizada en este estudio se recopiló de 554 sitios de muestreo (1,000 m²), distribuidas aleatoriamente en un área de aproximadamente 1,200 ha. En estos sitios se evaluaron los combustibles forestales de 1, 10 y 100 horas, lo cual se basó en la metodología descrita por Brown *et al.* (1982).

2.3. PROPORCIÓN CONDICIONAL DE CARGAS (PCC)

El C4 tiene su base en el concepto de proporción condicional de cargas (PCC), el cual se desarrolló solo para tres modelos de combustibles (Flores, 2017), donde para clasificar cada uno de los sitios muestreados, en el modelo de combustible (MC) correspondiente, se considera que cada modelo contiene una cantidad y proporción específica de combustible de 1 hora, 10 horas y 100 horas. Sin embargo, el PCC está limitado solo complejo de combustible «hojarasca», donde se ubican los modelos de combustible 8, 9 y 10 (Anderson, 1982), cuyas cargas de combustibles características se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Cargas de combustible (toneladas/hectárea) correspondientes al complejo de combustible de “hojarasca de bosque”, según la clasificación NFPA International Fire Service Training Association, 1998.

Modelo de combustibles	Complejo de combustibles	1-hr	10-hrs	100-hrs
		t/ha		
MC-8	Hojarasca de bosque cerrado	3.36	2.24	5.60
MC-9	Hojarasca de bosque de maderas duras	6.55	0.92	0.34
MC-10	Hojarasca y sotobosque de bosque	6.75	4.88	11.23

Basándose en la carga característica de combustibles, se definen las siguientes «proporciones condicionales» para cada parcela de muestra:

- 1) La suma de la carga característica de combustible de 10HR y 100HR para MC-8 es de 7,84 toneladas/ha. Para efectos prácticos, este valor se consideró un número entero (8). Por lo tanto:

$$\text{si } (10\text{HR} + 100\text{HR}) < 8 \Rightarrow \text{MC-9}$$

- 2) Basado en una clasificación manual de varios sitios de muestreo, se definió un factor de 18.8 (aprox. 19), que resulta de multiplicar la carga de combustibles de 1HR por la carga de los combustibles de 100HR: Esto permite diferenciar entre los sitios correspondientes a los modelos de combustibles 8 y 10. De esta forma:

$$\text{si } (1\text{HR} * 100\text{HR}) > 19 \Rightarrow \text{FM-10.}$$

- 3) Con fines prácticos, se considera que los sitios restantes, sin clasificar, correspondían a FM-8.
- 4) Las especies de roble son típicas del MC-9 (Anderson, 1982). Por lo tanto, una vez clasificados los sitios, todos aquellos en los que se encontraba *Quercus* spp se reclasifican como FM-9.

2.4. CONCEPTO CONDICIONAL DE CARGAS DE COMBUSTIBLES (C4)

A diferencia del PCC, C4 considera los trece modelos presentados por Albini (1976) para clasificar cada uno de los sitios de muestreo en su correspondiente modelo de combustible. Para esto se consideró que cada modelo está condicionado a una determinada cantidad y proporción de cargas (t/ha^{-1}) de los combustibles de 1 hora (1HR), 10 horas (10HR) y 100 horas (100 HR), establecidas por Anderson (1982). Este enfoque se denomina Concepto Condicional de Cargas de Combustibles (C4), el Cuadro 2 muestra los rangos de C4 correspondientes a cada modelo de combustibles, cuyo valor se determina con la siguiente formula:

$$\text{C4} = 1\text{HR} + 10\text{HR} + 100\text{HR} + (1\text{HR} * 100\text{HR})$$

Cuadro 2. Valores del Concepto Condicional de Cargas de Combustibles (C4) y rangos límite que definen los modelos de combustible (Anderson, 1982).

C4	Límite* menor	Límite* mayor	Límite menor ajustado	Límite mayor ajustado	Modelo de combustible
1.73	1.56	1.90	0	3	1- Pastos cortos (0.30 m)
3.71	3.34	4.08	3	5	5- Matorral (0.6 m)
7.41	6.67	8.15	5	10	3- Pasto alto (0.76 m)
12.19	10.97	13.41	10	13	9- Hojarasca de latifoliadas
14.75	13.28	16.23	13	19	2- Madera y pasto
21.19	19.08	23.31	19	25	7- Arbustos sureño
33.14	29.83	36.46	25	30	6- Matorral en dormancia - Latifoliadas
35.25	31.73	38.78	30	40	8- Hojarasca de bosque cerrado
78.79	70.91	86.67	40	80	11- Residuos de corta ligera
88.24	79.42	97.07	80	100	4- Chaparral (1.83 m)
116.30	104.67	127.93	100	400	10- Bosque (hojarasca y sotobosque)
488.25	439.43	537.08	400	1000	12- Residuos de corta ligera
1344.64	1210.18	1479.10	1000	1500	13- Residuos de corta intensa

* Límites establecidos con $\pm 10\%$ del valor de C4.

2.5. MAPEO DE MODELOS DE COMBUSTIBLES

Después de asignar los valores de C4 a cada uno de los sitios de muestreo, se determinó el modelo de combustibles correspondiente. Para pasar de una distribución puntual (sitios de muestreo) a una distribución continua, se utilizó la técnica de interpolación kriging ordinario (KO). La ventaja de usar este interpolador es que se considera el “mejor estimador lineal insesgado” (Isaaks y Srivastava, 1989): **a)** Lineal, porque sus estimaciones son combinaciones lineales ponderadas de los datos disponibles.; **b)** Insesgado, porque tiende a generar un error cuadrático medio igual a cero. ($\sum [Estimado(x_0) - Verdadero(x_0)] = 0$, y $\sum \lambda_i = 0$); y **c)** El mejor, porque tiene como objetivo minimizar la varianza de los errores. ($\sum [Estimado(x_0) - Verdadero(x_0)]^2 = \text{mínimo}$). A continuación, se presenta la derivación matemática de estas restricciones y de los sistemas de ecuaciones para determinar los pesos de interpolación (λ_i), para calcular las estimaciones OK y la varianza (Hunner, 2000; Isaaks y Srivastava, 1989):

$$\hat{Z}_{OK}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i * z_{(x_i)}$$

$$\sigma_{OK}^2(x_0) = C(x_0, x_0) - \sum_{i=1}^n \lambda_i * C(x_i, x_0) + \mu$$

Donde:

$\hat{Z}_{OK}(x_0)$ = Estimación por kriging ordinario en la ubicación x_0 ;

λ_i = Ponderación para el punto de muestra i en la ubicación x_i ;

$Z(x_i)$ = Valor de la variable observada Z en la ubicación x_i ;

$\sigma_{OK}^2(x_0)$ = Varianza de kriging ordinario en la ubicación x_0 ;

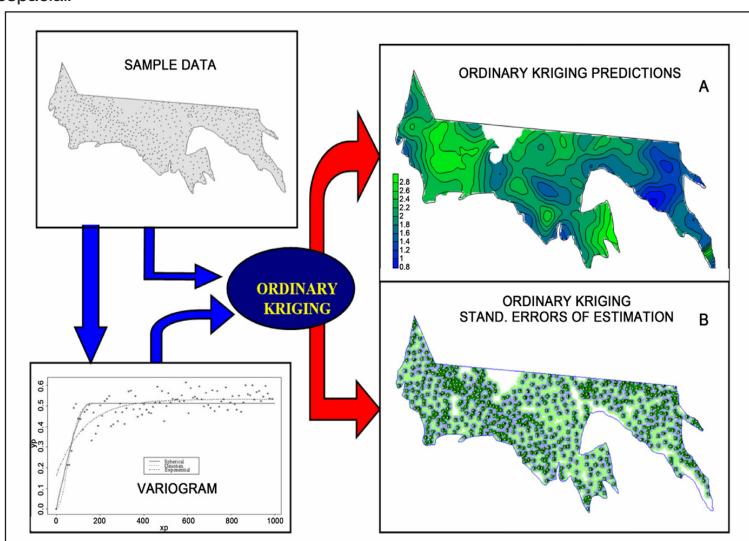
$C(x_0, x_0)$ = Covarianza del punto que se estima en la ubicación x_0 consigo mismo;

$C(x_i, x_0)$ = Covarianza del punto de muestreo en la ubicación x_i y el punto que se va a estimar en la ubicación x_0 ;

μ = Parámetro de Lagrange.

El proceso de kriging ordinario comienza con el cálculo del variograma experimental, al cual se le ajusta un modelo teórico (Figura 2), con el que se generaron (interpolaron) los valores del C4 para las áreas no muestreadas, definiéndose un mapa continuo. Posteriormente, de acuerdo a los límites establecidos en el Cuadro 1, este mapa se clasificó en los modelos de combustibles correspondientes. En proceso de KO generó también el mapa continuo de las varianzas de las estimaciones (Hunner, 2000).

Figura 2. Diagrama del proceso de kriging ordinario. El gráfico del variograma ilustra tres modelos diferentes de continuidad espacial.



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. AJUSTE DE VARIOGRAMA

Los resultados de una matriz de proximidad general se muestran en el Cuadro 3. Aunque la distancia máxima entre puntos era superior a 8,5 km, el 75 % de las parcelas de muestreo tenían una distancia inferior a 3,8 km. El conocimiento de la distancia mínima entre puntos (en este caso, 40 m) resultó útil para definir la distancia de desfase utilizada para definir el variograma experimental. Se desarrolló un variograma omnidireccional para los modelos de combustible (MC) bajo un enfoque isotrópico (Figura 3). La distancia de retraso (*lag*) de 20 m y dos vecinos mostraron los mejores resultados en la definición de este variograma experimental. La tolerancia de *lag* aplicada fue la mitad de la distancia de retraso. Se probaron tres modelos definidos positivos (gaussiano, esférico y exponencial) para seleccionar el que mejor se ajustaba al variograma experimental. Se utilizó el criterio de información de Akaike (AIC) (Reich et al., 2004) como criterio para seleccionar el mejor modelo. El AIC es una forma de seleccionar un modelo de entre un conjunto de modelos. El modelo elegido es aquel que minimiza la distancia de Kullback-Leibler entre el modelo y el valor real (Burnham y Anderson, 2003):

$$AIC = -2(\ln(\text{probabilidad}) + 2K)$$

Donde:

Probabilidad= Probabilidad de los datos de un modelo dado;

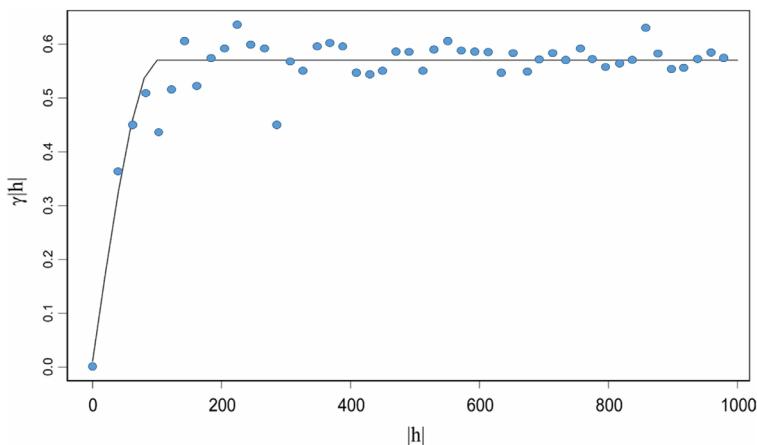
K= Número de parámetros libres en el modelo.

Cuadro 3. Características de la matriz de distancias correspondiente a los combustibles de 1 hora dentro del área de estudio.

Estadísticos	Valores
Número de sitios de muestreo	535
Distancia promedio entre sitios	2,791.10 m
Rango de distancia	8,599.28 m
Distancia mínima entre sitios	40 m
Cuantil	
Primero	1,435.86 m
Medio	2,522.76 m
Tercero	3,896.03 m
Distancia máxima entre sitios	8,639.28 m

En el Cuadro 4 se observa que el modelo esférico dio como resultado el AIC más bajo. El variograma que define este modelo alcanzó la varianza máxima (*sill*) a una distancia de 100 m (rango). Más allá de esta distancia, la variable MC ya no presenta autocorrelación espacial. El modelo esférico dio como resultado un efecto *nugget* muy bajo, lo que ayuda a definir un mejor ajuste.

Figura 3. Variograma experimental y el modelo de mejor ajuste (esférico). Dónde: $\gamma|h|$ = mitad de la diferencia cuadrática media entre los valores de datos pareados, que corresponde a la semivarianza; $|h|$ = distancia entre sitios.



Cuadro 4. Características de los modelos que corresponden al variograma experimental de la continuidad espacial de los modelos de combustible.

Modelo	Efecto nugget	Sill	Rango	AIC
Esférico	0.0109	0.5704	100.86	-110.68
Gausiano	0.0148	0.5703	79.73	-109.97
Exponencial	0.000	0.5768	57.67	-45.62

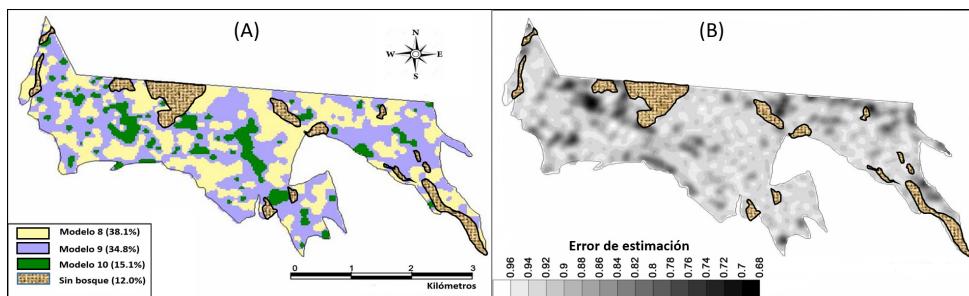
AIC= Criterio de Información de Akaike.

3.2. INTERPOLACIÓN KRIGING

Las estimaciones de KO se realizaron en una cuadricula de 40×40 m, que corresponde a la distancia mínima entre los sitios de muestreo. Dado que las estimaciones resultantes fueron discretas, se utilizaron los siguientes rangos para agrupar cada celda: MC-8 valores de celda de 30 a 40; MC-9 de 10 a 13; y MC-10 de 100 a 400. La Figura 4A muestra el patrón espacial de los tres modelos de combustible resultantes del proceso de KO. La mayor parte de la zona de estudio corresponde a los modelos de combustible 8 y 9 (38,1% y 34,8% respectivamente), mientras que el MC-10 tuvo una cobertura del 15,1%. También se calcularon los errores estándar asociados a las estimaciones (Figura 4B) en

caso de que se quiera una mayor precisión se deberán tomar, en futuros trabajos, una mayor densidad de puntos en áreas de mayor varianza.

Figura 4. Patrón espacial de los modelos de combustible (A) y del error de las estimaciones (B), definidos con base al proceso kriging ordinario.



4. DISCUSION

La implementación espacial del concepto de modelo de combustible ha causado muchos problemas técnicos, como la dificultad para mapear modelos de combustible en un área determinada. Además, los modelos de combustible no reflejan la variabilidad espacial real de las características del combustible, lo cual se debe a que los mapas de modelos de combustible tienden a clasificar grandes considerando que la distribución de combustibles es homogénea (dentro del mismo modelo de combustibles). Basado en esta perspectiva, se asume también que el comportamiento del fuego potencial tenderá a ser el mismo, para un período de proyección determinado. Lo anterior implica que el enfoque de “modelos de combustibles” sería útil en áreas donde la vegetación y los combustibles no tienen variaciones espaciales, sin embargo, en la práctica, esta condición es muy poco frecuente. No obstante, el mapeo de combustibles bajo el concepto de “modelos de combustibles” se ha usado con éxito en muchos sistemas de simulación del comportamiento del fuego (Finney, 2004; Keane et al., 2001), para respaldar estrategias de gestión de incendios a gran escala. Sin embargo, considerando incendios que abarcan áreas pequeñas (p.e. de 30 a 100 ha), es necesario conocer, con mayor exactitud espacial, la distribución, dimensionamiento y límites de los modelos de combustibles, lo cual, a su vez, permitiría definir el comportamiento del fuego a escalas mayores.

La clasificación de modelos de combustibles en un área determinada debe combinar dos requisitos: 1) Componente de clasificación, donde debe hacerse una elección correcta de los modelos de combustibles; y 2) Componente espacial, que implica una determinación, lo mayormente precisa posible, de la distribución espacial de los modelos de combustibles. En cuanto al primer punto, el uso del criterio de los

expertos ha sido usado para asignar los MC que corresponden a un área determinada, sin embargo, bajo este criterio, la definición de la distribución espacial de los MC (tamaño, límites y ubicación) puede implicar un desacuerdo entre la opinión de dos o más expertos. Con el propósito de que el proceso de clasificación tienda a ser más objetivo, se han implementado estrategias con cierta estandarización, como lo son el uso de SIG y tecnología de teledetección, con las cuales se ha apoyado el componente espacial en la clasificación de modelos de combustibles. Sin embargo, debido a que la precisión puede considerarse como baja (Keane et al., 2001), la metodología que se ilustrada en este capítulo se orienta a apoyar la consecución tanto del componente de clasificación, como el componente espacial. De esta forma, se pretende definir una forma objetiva de validar no solo la clasificación de los MC, sino también de validar los juicios de los expertos. Más aún, tomando en cuenta las ventajas de las clasificaciones en grandes áreas (basadas en tecnologías como la teledetección), pueden ser apoyadas en las clasificaciones basadas en la presente metodología, mediante la aplicación de metodologías de doble muestreo (Kalkhan et al., 1996; Fulé y Covington, 1994). Para esto, también el uso del kriging ordinario, como técnica de interpolación espacial, resultó muy práctico. Sin embargo, la clasificación de las estimaciones continuas resultantes podía presentar cierto nivel de subjetividad. Por lo tanto, se debían definir umbrales específicos entre un MC y otro. No obstante, la consistencia de las estimaciones, obtenidas mediante la metodología propuesta, facilita mucho más la definición de estos límites, mas aún en comparación a la clasificación basada en el criterio de un experto.

Debido a las limitaciones de costo y tiempo, el trabajo de campo que se requiere para implementar la metodología presentada en este capítulo, podría resultar poco práctica en clasificaciones de MC con fines operativos. Sin embargo, debe considerarse la ventaja que representan el uso de técnicas de interpolación como el kriging, que permiten trabajar con datos escasos y con resultados de alta precisión espacial (Burrough y MacDonnell, 1998). Esta condición permite trabajar con cantidades reducidas de parcelas de muestreo, lo que repercute positivamente tanto en el tiempo, como en el costo, requeridos. Además, la definición espacial del error de estimación, resultante del análisis de kriging, puede utilizarse para definir mejores estrategias de muestreo (intensidad y e distribución). Más aún, podrían utilizar datos auxiliares ya existentes, mediante técnicas de correlación cruzada, como cokriging, con el propósito de complementar o mejorar, la estrategia de muestreo, y tender a la mejor precisión posible de la distribución de los MC. Finalmente, es importante señalar que existen pocos estudios que tiendan a una clasificación objetiva (insesgada) de los MC y, que, a la vez, permita definir su distribución

espacial, por lo que el presente trabajo permite presentar una perspectiva alternativa que puede servir de base para complementarse con un mayor número de MC.

5. CONCLUSIONES

La metodología mostrada permite una definición más objetiva y precisa de la distribución espacial de los modelos de combustible, lo cual, en perspectiva, puede contribuir a una predicción más precisa del comportamiento espacial del fuego. La aplicación del concepto C4 no está supeditada a que se tenga una profunda experiencia previa en la clasificación de modelos de combustible. Además, trabajando dentro una misma área, la aplicación del concepto C4 resultaría estandarización y sistematización de la clasificación de modelos de combustibles. Otras ventajas de esta metodología de clasificación son: 1) se basa en las cargas reales de combustible, y no sólo en la estructura y composición de la vegetación; 2) es objetiva y evita el sesgo de los diferentes clasificadores (expertos); y 3) apoya la validación del asesoramiento de expertos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albini, F. 1976. Estimating wildfire behavior and effects. USDA Forest Service. General Technical Report INT-30. 92 p.
- Anderson, H.E. 1982. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. USDA Forest Service. General Technical Report INT-122. 22 p.
- Andrews, P.L. 1986. BEHAVE: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System-BURN Subsystem. Part I. USDA Forest Service. General Technical Report INT-194, 130 p.
- Arroyo, L.A., Pascual, C. and Manzanera, J.A. 2008. Fire models and methods to map fuel types: The Role of Remote Sensing. *Forest Ecology and Management*, 256, 1239-1252.
- Bååtha, H., Gällerspångb, A., Hallsbyc, G., Lundströma, A., Löfgrena, P., Nilssona, M. and Ståhla, G. 2002. Remote sensing, field survey, and long-term forecasting: An Efficient Combination for Local Assessments of Forest Fuels. *Biomass and Bioenergy*, 22: 145-157.
- Brown, J.K., Oberheu, R.D. and Johnston, C.M. 1982. Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West. USDA Forest Service. General Technical Report INT-129, 48 p.
- Burnham, K.P. and Anderson, D.R. 2003. Model selection and multimodel inference: A practical information-theoretic approach. 2nd Edition, Springer Science & Business Media, Berlin. 488 p.
- Burrough, P.A. and MacDonnell. 1998 Principles of geographical information systems. Clarendon Press Oxford, Oxford, 333 p.
- Chuvieco, E. and Salas, J. 1996. Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10: 333-345.

Finney, M.A. 2004. FARSITE: Fire Area Simulator-Model development and evaluation. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Research Paper RMRS-RP-4. 47 p.

Flores G., J.G. 2001. Modeling the spatial variability of forest fuel arrays. Ph.D. Thesis, Colorado State University, Fort Collins. 184 p.

Flores G., J.G. 2017. Spatial distribution of fuel models based on the Conditional-Fuel-Loading concept. *Journal of Environmental Protection*, 9(2): 111-121.

Fulé, P.Z. and Covington, W.W. 1994. Double sampling increases the efficiency of Forest Floor Inventories for Arizona Ponderosa Pine Forests. *International Journal of Wildland Fire*, 4: 3-10.

Hann, W.J. and Bunnell, D.L. 2001. Fire and land management planning and implementation across multiple scales. *International Journal of Wildland Fire*, 10(4): 389-403.

Hunner, G. 2000. Modeling forest stand structure using geostatistics, geographic information systems, and remote sensing. Thesis, Colorado State University, Fort Collins. 218 p.

International Fire Service Training Association. 1998. Fundamentals of wildland fire fighting. 3rd Edition, Fire Protection Publications. 472 p.

Isaaks, E.H. and Srivastava, R.M. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, New York. 592 p.

Kalkhan, M.A., Reich, R.M. and Czaplewski, R.L. 1996. Statistical properties of measures of association and the Kappa statistic for assessing the accuracy of remotely sensed data using double sampling. In: Todd, M.H., Czaplewski, R.L. and Hamre, R.H., Eds., Proceedings of the 2nd International Symposium: Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, USDA Forest Service GTR-277, 467-476.

Keane, R.E., Burgan, R. y van Wagtendok, J. 2001. Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: Integ Rating Remote Sensing, GIS, and Biophysical Modeling. *International Journal of Wildland Fire*, 10: 301-319.

Keane, R.E., Mincemoyer, S.A., Schmidt, K.M., Long, D.G. and Garner, J.L. 1999. Mapping vegetation and fuels for fire management on the Gila National Forest complex, New Mexico. USDA Forest Service. General Technical Report RMRS-GTR-46-CD. 126 p.

Kennard, D.K. and Outcalt, K. 2006. Modeling spatial patterns of fuels and fire behavior in a longleaf pine forest in the southeastern USA. *Fire Ecology*, 2: 31-52.

Pierce, K.B., Ohmann, J.L., Wimberly, M.C., Gregory, M.J. and Friedd, J.S. 2009. Mapping wildland fuels and forest structure for land management: A comparison of nearest neighbor imputation and other methods. *Canadian Journal of Forest Research*, 39: 1901-1916.

Reich, R.M., Lundquist, J.E. and Bravo, V.A. 2004. Spatial models for estimating fuel loads in the Black Hills, South Dakota, USA. *International Journal of Wildland Fire*, 13: 119-129.

Robichaud, P.R. 1997. Geostatistics: A new tool for describing spatially-varied surface conditions from timber harvested and burned hillslopes. *American Society of Agricultural Engineers*, Paper No. 97. 136 p.

Sikkink, P.G. and Keane, R.E. 2008. A comparison of five sampling techniques to estimate surface fuel loading in montane forests. *International Journal of Wildland Fire*, 17: 363-379.

Stephens, S.L. and Ruth, L.W. 2005. Federal forest-fire policy in the United States. Ecological Applications, 15: 532-542.

UCODEFO-2. 1997. Aplicación del inventario forestal continuo (I.F.C.) en los bosques del “Ejido El Largo”, Chihuahua, México. Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal No. 2. 35 p.

Valdez, L.J.R. 2001. Optimal spatial location of forest fuel management activities. Ph.D. Thesis, Colorado State University, Fort Collins. 124 p.

CAPÍTULO 5

COMPARACIÓN DE ARQUITECTURAS DE APRENDIZAJE PROFUNDO GENERADAS POR IA (COPILOT VS. DEEPSEEK) EN LA CLASIFICACIÓN DEL CONJUNTO DE DATOS PIMA INDIANS DIABETES

Data de submissão: 01/11/2025

Data de aceite: 18/11/2025

Moisés García Villanueva

Facultad de Ingeniería Eléctrica
Universidad Michoacana de
San Nicolás de Hidalgo
Morelia, Michoacán, México

<https://orcid.org/0000-0002-8567-309X>

Salvador Ramírez Zavala

Facultad de Ingeniería Eléctrica
Universidad Michoacana de
San Nicolás de Hidalgo
Morelia, Michoacán, México

<https://orcid.org/0000-0001-5480-6593>

RESUMEN: La Diabetes Mellitus Tipo 2 (DM2) es una enfermedad crónica que afecta a millones de personas en el mundo, su diagnóstico temprano es crucial para prevenir complicaciones. Existe la necesidad de desarrollar sistemas que apoyen el diagnóstico a tiempo de esta

enfermedad. En este trabajo se propone evaluar los modelos de aprendizaje profundo que es posible generar a través de una herramienta de Inteligencia Artificial (IA), se estableció utilizar plataformas que permiten su uso gratuito (Copilot y DeepSeek), y para el estudio se emplea el conjunto de datos Pima Indians Diabetes, un conjunto que se cita en cualquier trabajo de aprendizaje de máquina que involucra la DM2. El objetivo es determinar cuál propuesta algorítmica ofrece mayor precisión, robustez y generalización. Con la evidencia empírica obtenida, un desarrollador justifica el uso de dichas arquitecturas en el desarrollo de aplicaciones médicas que requieren implementar el diagnóstico preliminar de pacientes con riesgo de DM2. Se evaluaron arquitecturas de redes neuronales profundas, generadas a partir de diferentes frases que contextualizan los requerimientos en el prompt de las herramientas de IA; los resultados obtenidos indican que las arquitecturas logran obtener una precisión en el mejor de los casos superior al 89%, mientras que la sensibilidad superó el 91% en otro de los modelos. Los resultados demuestran que DeepSeek puede ser una herramienta más eficaz para desarrollar modelos que permitan la creación de aplicaciones para el diagnóstico médico.

PALABRAS CLAVE: IA en salud; LLMs; DeepSeek; Copilot; Redes Neuronales Convolucionales; Diabetes Mellitus tipo 2.

COMPARISON OF AI-GENERATED DEEP LEARNING ARCHITECTURES (COPILOT VS. DEEPSEEK) IN THE CLASSIFICATION OF THE PIMA INDIANS DIABETES DATASET

ABSTRACT: Type 2 Diabetes Mellitus (DM2) is a chronic disease affecting millions of people worldwide, and its early diagnosis is crucial for preventing complications. There is a need to develop systems that support the timely diagnosis of this disease. This work proposes to evaluate deep learning models that can be generated using an Artificial Intelligence (AI) tool. Platforms that allow free use (Copilot and DeepSeek) were used, and the study employed the Pima Indians Diabetes dataset, a dataset cited in any machine learning work involving DM2. The objective is to determine which algorithmic approach offers greater accuracy, robustness, and generalizability. Using the empirical evidence obtained, a developer justifies the use of these architectures in the development of medical applications that require the preliminary diagnosis of patients at risk of type 2 diabetes. Deep neural network architectures, generated from different phrases that contextualize the requirements in the AI tool prompt, were evaluated. The results indicate that the architectures achieve an accuracy exceeding 89% in the best-case scenario, while sensitivity surpassed 91% in another model. These results demonstrate that DeepSeek can be a more effective tool for developing models that enable the creation of medical diagnostic applications.

KEYWORDS: AI in health; LLMs; DeepSeek; Copilot; Convolutional Neural Networks; Type 2 Diabetes Mellitus.

1. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades crónicas tienen una gran prevalencia alrededor del mundo e impactan significativamente la calidad de vida de las personas y sus familias. La Organización Mundial de la Salud clasifica la DM2 como una epidemia global, con un costo estimado de \$966 mil millones anuales en gastos sanitarios (WHO, 2023). Ante este escenario, soluciones basadas en IA pueden reducir el costo económico mediante la implementación de las siguientes estrategias:

- Automatización de diagnósticos preliminares: Útil en regiones con acceso limitado a médicos.

- Identificación de patrones de riesgo: Como la correlación entre resistencia a la insulina y obesidad (Zheng et al., 2022).

En esta nueva era de la Inteligencia Artificial (IA) se puede revolucionar y potenciar la investigación y la práctica de la medicina, además de muchas otras áreas. La IA puede ayudar a mejorar la exactitud del diagnóstico, debido a que permite analizar grandes conjuntos de datos con información de pacientes, logrando identificar patrones que son difíciles de detectar por los humanos (Brinker et al., 2019, Sharma et al., 2023). Los padecimientos crónico-degenerativos, como la DM2, una enfermedad caracterizada por la resistencia a la insulina y deficiencia relativa de su producción, es un caso en el que se debe considerar de suma importancia implementar políticas para un diagnóstico preliminar, esta acción juega un papel muy importante, su dimensión repercute en gran medida en las problemáticas identificadas y propiciadas por el padecimiento, que al ser implementado permite optimizar recursos y sobrellevar de la mejor forma las dificultades que se enfrentan por esta enfermedad.

La automatización de diagnósticos preliminares mediante aplicaciones que utilizan Inteligencia Artificial (IA) representa una solución transformadora para sistemas de salud en regiones con escasos recursos médicos, donde la relación de médicos por paciente puede ser extremadamente baja (WHO, 2023). En el caso de la Diabetes Mellitus Tipo 2, una enfermedad que puede prevenirse, siempre y cuando exista el compromiso por parte del paciente, con altas tasas de subdiagnóstico en países en desarrollo, los algoritmos de Aprendizaje Profundo (DL por sus siglas en Inglés de Deep Learning) pueden analizar datos clínicos básicos (glucosa en ayunas, IMC (Índice de Masa Corporal), historial familiar) y generar evaluaciones de riesgo tempranas, facilitando con ello contribuir en las siguientes problemáticas:

- La detección temprana: Modelos entrenados con conjuntos de datos públicos (como Pima Indians Diabetes) pueden identificar pacientes en estado prediabético (HbA1c entre 5.7% y 6.4%) con una precisión superior al 85% (Agarwal et al., 2022).
- La reducción de costos: Un estudio en India demostró que el uso de la IA para pruebas de detección temprana o tamizajes médicos preliminares disminuyó un 30% las asignaciones o atenciones innecesarias por endocrinólogos (Patel et al., 2023).

- La telemedicina integrada con IA: Aplicaciones móviles que usan modelos ligeros (ej. Random Forest optimizado) permiten a trabajadores comunitarios realizar pruebas rápidas de datos clínicos o químicos en aldeas remotas, enviando alertas a centros urbanos solo para casos de alto riesgo (UNICEF, 2023).

Para lograrlo, se hace necesario la creación de modelos de IA que puedan implementarse de forma rápida, con códigos robustos y reproducibles. Además de la colaboración de desarrolladores de software y médicos para validar los resultados. En la actualidad existen múltiples herramientas de IA que permiten la generación de código que implementa algoritmos de clasificación de datos y este hecho facilita la implementación de aplicaciones para diagnósticos clínicos. Surgen entonces varias preguntas en relación al resultado obtenido (código generado) por las IA, tales como: ¿Cuál es la IA con el código más eficiente?, ¿Es posible lograr la eficiencia que reportan los estudios previos o son más eficientes que las soluciones publicadas en el área?, ¿Qué enfoque es el más completo?, etcétera. La respuesta a estos cuestionamientos, entre otras cosas, justifica la comparación de las arquitecturas proporcionadas por las herramientas de IA. El documentar el análisis de resultados, proporciona a los desarrolladores de software evidencias empíricas de la eficacia obtenida por los modelos generados por la IA para documentar su desarrollo e implementación y además, permite apoyar alguna de las metodologías de desarrollo de software.

Generación de código con Modelos del Lenguaje Grande

El rápido surgimiento de las tecnologías de inteligencia artificial (IA) ha impulsado un auge en la investigación centrada en la evaluación de las capacidades de generación de código. Los Modelos de Lenguaje Grande (LLMs por sus siglas en Inglés de Large Language Models) son cada vez más fiables para una amplia gama de usuarios, incluidos programadores principiantes y desarrolladores experimentados. Esta accesibilidad representa una importante oportunidad para ampliar la educación informática y el desarrollo de software, transformando potencialmente tanto los entornos de aprendizaje autodidacta como los de educación superior formal. Los LLMs ofrecen aplicaciones prometedoras en la automatización de la generación de tareas y proporcionan retroalimentación personalizada, además de apoyar la comprensión conceptual en los cursos de programación (Shakia, et. al., 2025).

La integración de la IA en la programación ha transformado el panorama del aprendizaje en este campo, ofreciendo así beneficios a estudiantes, educadores y desarrolladores profesionales. En particular, los modelos de lenguaje natural (MLN) se han consolidado como potentes herramientas de IA en programación, aprovechando redes neuronales profundas entrenadas con grandes cantidades de datos textuales. Cuando estos modelos se entranan con extensas bases de código, adquieren la capacidad de generar código similar al escrito por humanos a partir de indicaciones en lenguaje natural (Yadav, et. al., 2025; Tian, et. al., 2023). Estudios recientes destacan que Modelos de Lenguajes Grandes como DeepSeek y Copilot superan a alternativas generalistas en tareas de bioinformática, gracias a su entrenamiento en la literatura médica (Wagner et al., 2024).

Este trabajo aporta evidencia empírica sobre las herramientas de IA que permiten obtener código para generar los modelos que clasifican datos específicos que se han utilizado en estudios previos en la predicción de enfermedades crónicas, nuestro caso de estudio comprende el conjunto de datos Pima Indians Diabetes, un conjunto clásico en la literatura para los estudios realizados de la DM2. Es además el primer trabajo que realiza una comparación de dos IA que reducen la brecha en el uso de la tecnología para generar código y que permite implementar sistemas para la clasificación de datos en la enfermedad DM2. Los resultados obtenidos indican que las arquitecturas proporcionadas por las IAs tienen una mejor eficacia que otras técnicas de aprendizaje de máquina utilizando el mismo conjunto de datos y se cumple que con la generación de código automático es posible reducir el desarrollo de sistemas y aplicaciones de software para el diagnóstico médico o en general en otras áreas.

2. MATERIALES Y MÉTODO

2.1. CONJUNTO DE DATOS PIMA INDIANS DIABETES

El conjunto de datos Pima Indians Diabetes es un recurso fundamental en la investigación médica y la ciencia de datos aplicada a la salud, particularmente en el estudio de la DM2. Su relevancia radica en los siguientes aspectos (Rajeswari y Suthendran, 2022):

1. Población de Alto Riesgo: Contiene registros de mujeres de la tribu Pima de Arizona (EE.UU.), una población con una de las mayores prevalencias

- de diabetes en el mundo debido a factores genéticos y cambios en el estilo de vida. Proporciona información valiosa para estudiar disparidades en salud y enfermedades metabólicas en grupos étnicos específicos.
2. Comparativo de referencia en Aprendizaje de Máquina Médico: Es ampliamente utilizado para evaluar modelos predictivos de diabetes debido a su accesibilidad y características clínicamente relevantes. Ha servido como base para investigaciones en diagnóstico temprano, clasificación de riesgo y medicina preventiva.
 3. Variables Clínicas Relevantes: Consta de las variables clave como glucosa en sangre, índice de masa corporal, nivel de insulina y antecedentes familiares (pedigrí de diabetes), que son esenciales para estudios epidemiológicos.
 4. Impacto en la Inteligencia Artificial en Salud: Ha sido utilizado en cientos de estudios para desarrollar sistemas de alerta temprana, modelos de riesgo y herramientas de apoyo a la decisión clínica.

Estadísticas Clave del Conjunto de Datos

Las estadísticas descriptivas esenciales para un análisis médico son:

1. Estructura del Conjunto de Datos: El conjunto de datos Pima Indians Diabetes disponible cuenta con: Número de registros: 768, Variables: 8 características clínicas; 1 variable con la clasificación verdadera (diabetes: 1 = sí, 0 = no).
2. Distribución de Clases (Diabetes vs No Diabetes): El conjunto consiste en dos clases, No diabéticos con 500 registros, lo que representa el 65.1% del total del conjunto; mientras que los registros para la clase diabéticos son 268, es decir, representa el 34.9% del conjunto. Estas cantidades establecen que existe un desequilibrio de las clases, por lo que debe considerarse este punto como relevante para el análisis de sensibilidad y el resto de métricas en los resultados.
3. Las estadísticas descriptivas de las variables numéricas que se consideran son: media, desviación estándar, mínimo y máximo de las variables involucradas: Embarazos, glucosa, presión arterial, espesor de piel, insulina, IMC, pedigree diabetes y la edad, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de las variables en el conjunto de datos.

Variable	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Embarazos	3.85	3.37	0	17
Glucosa(mg/dL)	120.89	31.97	0	199
Presión arterial (mmHg)	69.11	19.36	0	122
Espesor piel (mm)	20.54	15.95	0	99
Insulina (mU/mL)	79.80	115.24	0	846
IMC (kg/m^2)	31.99	7.88	0	67.1
Pedigree Diabetes	0.47	0.33	0.078	2.42
Edad	33.24	11.76	21	81

2.2. HERRAMIENTAS DE IA UTILIZADAS

Existe una gran cantidad de herramientas de IA disponibles, algunas tienen un costo y otras no se utilizan específicamente para programación. El objetivo de este trabajo no es comparar la totalidad de herramientas especializadas en generar código o modelos para clasificar datos, se pretende proporcionar evidencia empírica con herramientas gratuitas, que permitan generar código y de acuerdo a la experiencia de los autores de este trabajo proporcionan las mejores propuestas de código de programación.

2.2.1. Copilot y DeepSeek

GitHub Copilot es una herramienta de IA generativa de código desarrollada por GitHub en colaboración con OpenAI (Github, 2023). Funciona como un asistente de programación en tiempo real, integrado en entornos de desarrollo de software, en los que sugiere fragmentos de código completos basados en comentarios descriptivos o contexto del proyecto.

A principios de 2025, la startup tecnológica china DeepSeek presentó DeepSeek R1 (DeepSeek, 2023), que pronto tuvo un gran impacto, entre ellos la fuerte caída de varias importantes acciones tecnológicas estadounidenses.

DeepSeek R1, que demostró un rendimiento de razonamiento prometedor frente a OpenAI a un coste competitivo por millón de tokens de salida en la API (2 \$ frente a 60 \$), despertó un gran interés público. Uno de los factores que contribuyó a este interés fue el bajo coste de entrenamiento que, según se afirmaba, tenía el modelo (6 millones de dólares para entrenar DeepSeek VS 78 millones que gastó OpenAI). Dicha eficiencia es el resultado de una serie de estrategias de ingeniería sobre la base de las técnicas LLM existentes, que se han ido aplicando gradualmente desde la época del primer modelo DeepSeek. Se le atribuye también a DeepSeek ser pionero en la democratización del desarrollo de modelos LLMs (al convertir el modelo en código abierto) (Puspitasari, et. al., 2025). En nuestro contexto, DeepSeek es un modelo avanzado de IA diseñado para asistir en el desarrollo de aplicaciones, logra proporcionar código que es utilizado en el campo asistido por aprendizaje de máquina. Su capacidad para generar, optimizar y explicar código lo convierte en una herramienta valiosa para investigadores, desarrolladores y profesionales que buscan implementar soluciones basadas en datos (Wagner, et al., 2024).

2.3. METODOLOGÍA

Para comparar los códigos generados por cada una de las herramientas, se estableció que se escribieran en el prompt de cada una de ellas frases contextuales que se muestran en la Tabla 2. La intención del primer texto es que sea muy simple, indicando con esto la posibilidad de interacción de un principiante en el uso de la herramienta. Los textos para los modelos posteriores tienen la intención de contextualizar y proporcionar mayores detalles de lo que se pretende con el código generado, es decir, indicar el objetivo principal del clasificador.

Tabla 2.- Textos de prueba utilizados en las herramientas de IA para generar códigos de programación de computadoras para obtener un modelo que clasifica el conjunto de datos Pima Indians Diabetes.

No. de Modelo	Texto escrito en el prompt de la herramienta de IA
1	crear una red neuronal para clasificar pima indians diabetes
2	Proponer una versión mejorada de la arquitectura que se obtuvo previamente para clasificar el conjunto de datos pima indians diabetes, quiero superar el 82% de precisión

No. de Modelo	Texto escrito en el prompt de la herramienta de IA
3	¿Cuál es la mejor arquitectura de aprendizaje profundo que se puede utilizar para clasificar pima-indians-diabetes? ¿será posible lograr una precisión mayor del 0.90?
4	Propón un modelo avanzado de una arquitectura CNN para clasificar pima indians diabetes y lograr una precisión mayor al 80%

El código generado por las herramientas de IA determina el número de modelo (columna izquierda de la Tabla 2), de donde se obtiene la arquitectura de red neuronal, un ejemplo gráfico para el modelo 1 se ilustra en la Tabla 1. El lenguaje de programación que determinó la inteligencia artificial fue python y las librerías para los modelos estuvieron basadas en keras y tensorflow. En el caso de la Copilot, las 4 arquitecturas propuestas corresponden a modelos secuenciales, mientras que DeepSeek el 50% de sus propuestas fueron modelos secuenciales y el resto propuestas de arquitecturas más complejas.

Cabe destacar que las herramientas de IA solamente proporcionan el código fuente al interactuar con el prompt, por lo que en el presente trabajo se describe el modelo 1 en forma gráfica y con las características de cada arquitectura generada por la IA, esto se ilustra en la Tabla 3, por ejemplo la arquitectura secuencial de Copilot que se muestra en forma gráfica, consiste de 3 capas (columna 1 de la Tabla 3), todas ellas del mismo tipo (densas), en ella se señalan las dimensiones de entrada, el tipo de capa y la dimensión de salida de cada capa; por otro lado, la arquitectura propuesta por DeepSeek para este mismo modelo, consiste en 5 capas (columna 2 de la Tabla 3), donde 3 son del tipo denso y dos capas Dropout; finalmente algunas características de la cantidad de parámetros de la red neuronal se describe en la columna 3 de la Tabla 3.

Tabla 3. Modelos generados por las herramientas de IA al proporcionar el texto: crear una red neuronal para clasificar pima indians diabetes.

Copilot	DeepSeek	Características
<pre> graph TD dense1[dense (Dense)] --> dense1_1[dense_1 (Dense)] dense1_1 --> dense2[dense_2 (Dense)] dense2 --> output[Output: (None, 1)] style dense1 fill:#000,color:#fff style dense1_1 fill:#000,color:#fff style dense2 fill:#000,color:#fff style output fill:#000,color:#fff </pre>	<pre> graph TD dense1[dense (Dense)] --> dropout1[dropout (Dropout)] dropout1 --> dense1_1[dense_1 (Dense)] dense1_1 --> dropout2[dropout_1 (Dropout)] dropout2 --> dense2[dense_2 (Dense)] dense2 --> output[Output: (None, 1)] style dense1 fill:#000,color:#fff style dense1_1 fill:#000,color:#fff style dense2 fill:#000,color:#fff style dropout1 fill:#000,color:#fff style dropout2 fill:#000,color:#fff style output fill:#000,color:#fff </pre>	<p>Copilot: 3 capas, no incluye dropout Total parámetros: 665 Parámetros entrenables: 221 Parámetros No entrenables: 0 Parámetros del Optimizador: 444</p> <p>DeepSeek: 5 capas, Total parámetros: 869 Parámetros entrenables: 289 Parámetros No entrenables: 0 Parámetros del optimizador: 580</p> <p>Capas Densas Capas dropout</p>

La cantidad de parámetros en una red neuronal impacta en el rendimiento, una mayor cantidad de parámetros indica mayor capacidad de aprendizaje, desde luego que también mayor riesgo de sobre entrenamiento de la red neuronal, además de requerir una cantidad mayor de datos y recursos computacionales para el entrenamiento de la red neuronal. En la Tabla 4 se presenta una descripción de los modelos 2 a 4 de la Tabla 1, obtenidos por las herramientas de IA al responder con el texto escrito en el prompt.

Tabla 4. Descripción de las arquitecturas generadas por las herramientas de IA, ante la respuesta del texto escrito en el prompt de cada una de ellas.

Modelo	Copilot	DeepSeek
2	<p>Modelo Secuencial Capas Totales: 5 I(8) Densa O(64), I(64)Dropout O(64), I(64)Densa O(32), I(32) Dropout O(32), I(32)Densa O(1) Total de parámetros: 8069</p>	<p>Modelo Secuencial Capas Totales: 10 I(8) Densa O(32), I(32) Batch Normalization O(32), I(32)Dropout O(32), I(32)Densa O(64), I(64) Batch Normalization O(64), I(64) Dropout O(64), I(64)Densa O(32), I(32) Batch Normalization O(32), I(32)Dropout O(32), I(32) Densa O(1) Total de parámetros: 14566</p>
3	<p>Modelo Secuencial Capas Totales: 8 I(8) Densa O(64), I(64) Batch Normalization O(64), I(64) Dropout O(64), I(64)Densa O(32), I(32) Batch Normalization O(32), I(32) Dropout O(32), I(32)Densa O(16), I(16)Densa O(1) Total de parámetros: 10373</p>	<p>Modelo Híbrido: Red Residual con Concatenación (ResNet/DenseNet) Capas Totales: 15 Capa de Entrada O(11), I(11) Densa O(64), I(64) Batch Normalization O(64), I(64)Dropout O(64) I(64)Densa O(128), I(128) Batch Normalization O(128), I(128)Dropout O(128), I(126)Densa O(64), I(64) Batch Normalization O(64) I(64,64) Concatena (128), I(128)Densa O(32), I(32) Batch Normalization O(32), I(32)Dropout O(32), I(32)Densa O(1) Total de Parámetros: 66821</p>
4	<p>Modelo Secuencial: Red Neuronal Convolucionar 2D Capas Totales: 10 I(8,1,1) Conv2D O(7,1,32), I(7,1,32) MaxPooling 2D O(3,1,32), I(3,1,32) Dropout O(3,1,32), I(3,1,32) Conv2D O(2,1,64), I(2,1,64) MaxPooling 2D O(1,1,64), I(1,1,64) Dropout O(1,1,64), I(1,1,64)Flatten O(64), I(64)Densa O(128), I(128) Dropout O(128), I(128)Densa O(1) Total de parámetros: 38,117</p>	<p>Modelo Red Neuronal Convolucionar 1D Capas Totales: 17 Capa de Entrada O(10,1), I(10,1) Conv1D O(10,64), I(10,64) Batch Normalization O(10,64), I(10,64)Dropout O(10,64), I(10,64) MaxPooling 1D (5,64), I(5,64) Conv1D O(5,128), I(5,128) Batch Normalization O(5,128), I(5,128)Dropout O(5,128), I(5,128) MaxPooling 1D (2,128), I(2,128) Conv1D O(2,256), I(2,256) Batch Normalization O(2,256), I(2,256)Dropout O(2,256), I(2,256) Flatten (512), I(512)Densa O(128), I(128) Batch Normalization O(128), I(128)Dropout O(128), I(128)Densa O(1) Total de Parámetros: 474,245</p>

En la Tabla 4 se observa que los modelos de Copilot son todos ellos secuenciales, proponiendo en el modelo 4 una red neuronal convolucional en 2 dimensiones, mientras que DeepSeek propone arquitecturas más complejas a partir del segundo modelo. Para la propuesta de red neuronal híbrida hace una mezcla de red residual con concatenación, no es ningún modelo establecido como Resnet o DenseNet, la propuesta es algo diferente. En el modelo 3 de DeepSeek se propone el uso de redes neuronales convolucionales en una dimensión, utilizadas principalmente en problemas de series de tiempo. En todos los casos el prompt responde con una propuesta más compleja que la anterior, esto sugiere que la especificación del problema planteado se ha contextualizado de una mejor manera. Al proponer modelos más complejos la cantidad de parámetros totales es mayor en cada uno de los casos propuestos, desde luego que ello no garantiza un mejor desempeño y confiabilidad de la arquitectura para los fines de diagnóstico temprano o mejor clasificación de la información.

3. PRUEBAS Y RESULTADOS

Para validar los modelos producidos por las herramientas de IA y con ello obtener información que permita soportar la eficacia de cada uno, se determinó realizar el entrenamiento de los modelos por 10 veces y se reportaron las métricas de clasificación: precisión, sensibilidad y AUC-ROC (este último por sus siglas en Inglés de Area Under Curve: AUC y ROC: Receiver Operating Characteristic), en cada caso se promediaron los valores obtenidos en las 10 ejecuciones. La Tabla 6 nos muestra la información de las métricas en cada uno de los modelos generados por las herramientas de IA.

Tabla 6. Valores promedio obtenidos (10 iteraciones) de las métricas de evaluación en los modelos generados por las herramientas de IA.

Modelo	Copilot			DeepSeek		
	Precisión	Sensibilidad	AUC-ROC	Precisión	Sensibilidad	AUC-ROC
1	75.00%	65.45%	0.7958	69.80%	49.81%	0.7961
2	74.22%	61.27%	0.7656	80.93%	91.60%	0.8725
3	70.65%	60.36%	0.7339	89.81%	87.34%	0.9531
4	74.28%	62.36%	0.7709	51.27%	99.77%	0.8147

El análisis de los valores promedio indicados en la Tabla 6, permite identificar el modelo que puede ser el mejor candidato a utilizarse en una aplicación médica, siempre y cuando se logren realizar mejoras al modelo y entonces lograr aplicar un criterio de cero errores en la detección de enfermos positivos dentro de un contexto médico en que algún modelo pueda utilizarse.

El AUC es el área bajo la curva. Mientras que AUC-ROC se refiere al área bajo la curva característica operativa del receptor y mide el rendimiento de un modelo en todos sus posibles umbrales de decisión. Los valores de AUC que se obtienen para los modelos de Copilot indica que los modelos son aceptables pero que se pueden mejorar, mientras que los valores de AUC para los modelos generados por la herramienta DeepSeek, en específico el modelo 3 tiene un AUC que señala una discriminación excelente entre clases; los valores de AUC para los modelos 2 y 4 indican que los modelos son aceptables cuantitativamente, con cierto margen de mejora. El modelo 1 de DeepSeek con un valor AUC de 0.7961 es un modelo aceptable pero se puede mejorar.

En relación a la sensibilidad para un modelo en el área de la salud, primero es significativo señalar que es más importante maximizar la métrica de sensibilidad, para el estudio realizado en este trabajo significa que se debe evitar el mayor número de Falsos Negativos; esto quiere decir que un modelo de clasificación de datos, en este contexto está clasificando erróneamente los casos de diabéticos positivos como negativos, denominando estos últimos Falsos Negativos. En este estudio se refiere a la capacidad de los modelos para detectar los casos de diabéticos que son positivos; es decir, detectar si una persona es diabética. Con este criterio como elemento principal, al observar los valores de la Tabla 6 para la columna de los modelos obtenidos por Copilot y en lo que se refiere a la subcolumna de Sensibilidad, estos se encuentran en un rango del 60% al 65.5%, con esta información se establece que los modelos se encuentran fuera de lograr ser implementados en una aplicación para diagnóstico médico, debido a que entre el 40% y el 34.5% de los casos positivos (diabéticos) son erróneamente clasificados como negativos (falsos negativos); las implicaciones en el contexto médico es que un Falso Negativo es un paciente diabético no diagnosticado, este puede desarrollar complicaciones graves al ser diagnosticado erróneamente. Los resultados de sensibilidad obtenidos para los modelos generados por DeepSeek, el modelo 1 quedaría descartado al obtener el 49.81% de sensibilidad, los modelos 2

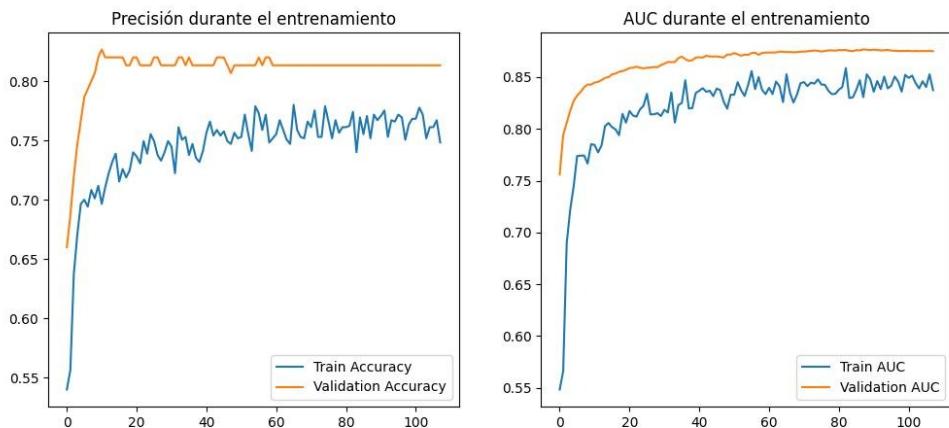
al 4 se encuentran dentro de un valor considerado deseable de sensibilidad (mayor al 85%) y factibles para ser implementados dentro de una aplicación médica, cabe señalar que lo ideal es obtener una sensibilidad del 100%, en aplicaciones médicas no deben aceptarse Falsos Negativos, para lograr acercarse, un primer paso que se sugiere es realizar un balanceo de clases en el conjunto de datos, el segundo paso es sintonizar parámetros del modelo y una tercera opción es proponer modelos con arquitecturas de redes neuronales más profundas.

Respecto a la precisión de los modelos obtenidos en Copilot, se tiene que en promedio los modelos clasifican correctamente 7 de cada 10 casos totales (tanto diabéticos como los no diabéticos), con estos valores surge el problema de que existe una alta tasa de errores, del 25% al 30% de predicciones incorrectas. Lograr una precisión mayor al 80% en los modelos sugeridos, son candidatos a realizarles mejoras para que puedan ser utilizados en aplicaciones médicas. Para el caso de los modelos obtenidos con DeepSeek, en el valor de precisión promedio obtenido para el modelo 4 (~51%), se puede establecer que se comportaría igual que un clasificador que proporciona el resultado por casualidad, para el caso de un clasificador binario que implementa al azar la obtención del resultado de clasificación es del 50%, por lo que debe desecharse en cualquier circunstancia. Para el modelo 1, el valor de precisión promedio que se obtuvo está cercano al 70%, inferior a los resultados de los modelos generados por Copilot, por lo que es un modelo que no es candidato para desempeñarse en alguna aplicación médica. El modelo 2 logró una precisión promedio de ~80%, con este valor este modelo es candidato a posibles mejoras y lograr un mejor desempeño general, al mismo tiempo se puede observar que el valor promedio de sensibilidad que se obtiene por este modelo es superior al 91%, lo que refuerza el argumento de mejorar el modelo y con ello ser un candidato aceptable en una aplicación médica; lo ideal es tener el mejor valor de sensibilidad posible aún cuando se sacrifique la precisión. Finalmente el valor promedio de precisión del modelo 3 es el mejor valor obtenido de todos los modelos, sin embargo el valor de sensibilidad es inferior al obtenido por el modelo 2, esto sugiere elegir como segunda opción al modelo 3 para mejorarlo y entonces ser un candidato aceptable para una aplicación médica.

En el desarrollo de un clasificador de redes neuronales para diagnóstico médico temprano (como detección de diabetes, cáncer o enfermedades

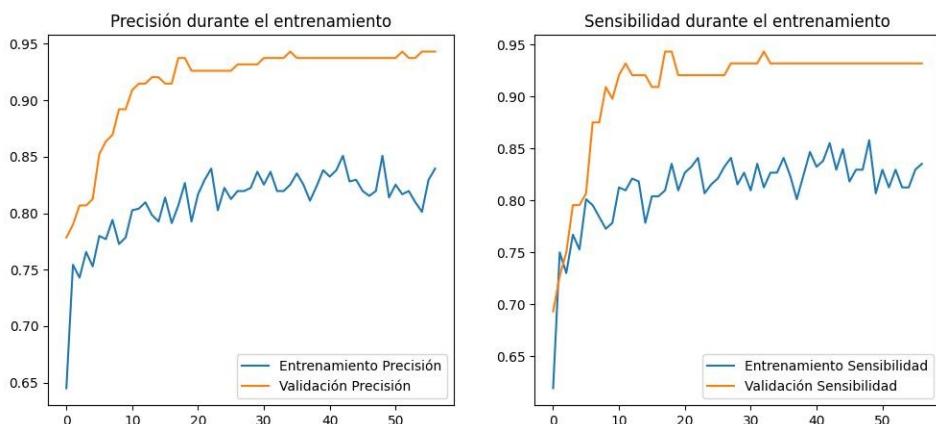
cardiovasculares), los elementos visuales que permite analizar la eficiencias y comportamientos de los modelos, son las curvas de entrenamiento y las métricas de evaluación (precisión, sensibilidad y AUC-ROC), estas herramientas son críticas para garantizar que el modelo sea confiable, seguro y clínicamente útil. Las Figuras 1 y 2 son ejemplos del comportamiento de entrenamiento de los modelos obtenidos.

Figura 1. Comportamiento del modelo 2 obtenido por la herramienta DeepSeek, respecto a la precisión y AUC en una de las ejecuciones de entrenamiento.



Las curvas de entrenamiento del modelo 2 en lo que se refiere a la precisión, en los datos de entrenamiento a partir de la época 50 en adelante no se mejora el entrenamiento y con los datos de validación obtiene una precisión por arriba del 80%, en aplicaciones médicas el modelo es aceptable pero puede mejorarse. Cuando el AUC se encuentra entre el 0.8 y 0.9 se debe mejorar el modelo hasta alcanzar un AUC superior al 0.9, en cuyo caso el modelo tendrá una capacidad satisfactoria para distinguir entre enfermos y sanos. La Figura 2 es un ejemplo de las curvas de entrenamiento del modelo 3, en ella se puede observar el comportamiento de la sensibilidad tanto para los datos de entrenamiento como de validación, cuando la sensibilidad en los datos de validación superan el 90%, es posible considerar la arquitectura para aplicaciones médicas, en donde el ideal es el 100%, que significa siempre detectar enfermos positivos o sobreentrenamiento del modelo.

Figura 2. Comportamiento del entrenamiento para el modelo 3, generado por la herramienta DeepSeek. Se muestran las curvas de sensibilidad y precisión.



4. CONCLUSIONES

La generación de modelos para la clasificación del conjunto de datos Pima Indians Diabetes mediante el uso de herramientas de IA (Copilot y DeepSeek) en este estudio determina que solamente el 25% de los modelos son candidatas a ser mejorados y con posibilidad de ser utilizados en una aplicación médica. El 100% de los modelos generados por la herramienta Copilot se desecharon al obtener valores promedio de sensibilidad inferiores al 66%. Solamente el 50% de los modelos generados por DeepSeek pueden considerarse candidatos a mejorarse para ser empleados en una aplicación médica al obtener una sensibilidad promedio superior al 87%. Con la información obtenida de las pruebas se logra señalar que DeepSeek proporciona modelos de clasificación que implementan redes neuronales más confiables y robustos respecto a aquellos generados por la herramienta Copilot, en el contexto del conjunto de datos Pima Indians Diabetes. Se concluye además que la evidencia empírica que se proporciona es un elemento que debe considerarse en el uso de modelos o arquitecturas de aprendizaje profundo generado por herramientas de IA. Se corrobora la importancia de contextualizar el texto escrito en el prompt en las herramientas de IA, la aproximación a una respuesta más correcta depende en gran medida a la forma en que se es más específico en la pregunta o comando. Es importante mencionar que la IA determinó el lenguaje

de programación y el tipo de algoritmos de aprendizaje profundo a implementar, en este caso Redes Neuronales Convolucionales, para realizar la tarea de clasificación binaria del conjunto de datos especificado. La evidencia obtenida nos permite indicar que como trabajo futuro se deben mejorar los modelos de redes neuronales obtenidos y con ello superar los resultados del estado del arte en la clasificación del conjunto de datos Pima Indians Diabetes.

REFERENCIAS

World Health Organization. (2023, April 13). Diabetes fact sheet. World Health Organization. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes>

Zheng, Y., Ley, S. H., & Hu, F. B. (2022). Global aetiology and epidemiology of type 2 diabetes mellitus and its complications. *Nature Reviews Endocrinology*, *18*(2), 88-98. <https://doi.org/10.1038/s41574-021-00608-9>

Brinker, T. J., Hekler, A., Enk, A. H., Klode, J., Hauschild, A., Berking, C., ... & Schrüfer, P. (2019). Deep learning outperformed 136 of 157 dermatologists in a head-to-head dermoscopic melanoma image classification task. *European Journal of Cancer*, 113, 47-54.

Sharma, H., Tatiya, M., Aswal, U. S., Laxminarayananamma, K., Tripathi, N., & Singh, D. (2023, September). Real-Time Patient Monitoring Using Deep Learning For Medical Diagnosis. In *2023 6th International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I)* (Vol. 6, pp. 1629-1634). IEEE.

Agarwal, S., Rengarajan, V., Chinnakotla, B., Padmanaban, G., & Mani, S. (2022). AI-based screening for prediabetes in low-resource settings. *Journal of Diabetes Science and Technology*, *16*(6), 1386-1394. <https://doi.org/10.1177/19322968211053381>

Patel, R., Krishnan, A., Sharma, P., Mehta, N., & Jain, S. (2023). Cost-effectiveness of artificial intelligence triage for diabetes screening in Indian primary care: A cluster randomized trial. *BMJ Innovations*, *9*(2), 78-89. <https://doi.org/10.1136/bmjjinnov-2022-001234>

UNICEF. (2023). Leveraging AI and mobile health technologies for non-communicable disease screening in low-resource settings: Case studies from Sub-Saharan Africa and South Asia. Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. URL: <https://www.unicef.org/innovation/ai-health-ncd-screening> DOI: 10.5316/unicef.2023.healthtech01

Shakya, R., Vadiee, F., & Khalil, M. (2025, April). A Showdown of ChatGPT vs DeepSeek in Solving Programming Tasks. In *2025 International Conference on New Trends in Computing Sciences (ICTCS)* (pp. 413-418). IEEE.

Yadav, S., Qureshi, A. M., Kaushik, A., Sharma, S., Loughran, R., Kazhuparambil, S., ... & Lillis, D. (2025). From Idea to Implementation: Evaluating the Influence of Large Language Models in Software Development--An Opinion Paper. *arXiv preprint arXiv:2503.07450*.

Tian, Z., Chen, J., & Zhang, X. (2023). Test-case-driven programming understanding in large language models for better code generation. arXiv preprint arXiv:2309.16120.

Wagner, G., Müller, T., Schmidt, A., Zhang, L., & Kim, H. (2024). Large language models in biomedicine: A comparative study of ChatGPT and DeepSeek for clinical text analysis and diagnostic support. *Nature Computational Science*, *4*(2), 112-125. <https://doi.org/10.1038/s43588-024-00605-8>

Rajeswari, S., & Suthendran, K. (2022). Diabetes prediction using machine learning: A systematic review. *Computers in Biology and Medicine*, *141*, 105133. DOI: 10.1016/j.combiomed.2021.105133

GitHub. (2023). GitHub Copilot documentation: Your AI pair programmer. GitHub, Inc. URL: <https://docs.github.com/en/copilot> Fecha de consulta: 12 de abril de 2025.

DeepSeek. (2023). DeepSeek Chat: Advanced AI assistant for technical and scientific applications [Computer software]. DeepSeek Inc. URL: <https://www.deepseek.com>

Puspitasari, F. D., Zhang, C., Dam, S. K., Zhang, M., Kim, T. H., Hong, C. S., ... & Yang, Y. (2025). Deepseek models: A comprehensive survey of methods and applications. *Authorea Preprints*.

Wagner, G., Müller, T., Schmidt, A., Zhang, L., & Kim, H. (2024). Large language models in biomedicine: A comparative study of ChatGPT and DeepSeek for clinical text analysis and diagnostic support. *Nature Computational Science*, 4(2), 112-125. <https://doi.org/10.1038/s43588-024-00605-8>

CAPÍTULO 6

INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE AIRE Y TEMPERATURA EN EL ENCOGIMIENTO DEL CHÍCHARO POR SECADO

Data de submissão: 14/11/2025

Data de aceite: 28/11/2025

Noe Jardon Romero Pérez

Profesor de Asignatura

Carrera: Ingeniería Química

Facultad de Estudios

Superiores Zaragoza C. II

Universidad Nacional Autonoma de Mexico

Iztapalapa CDMX, México

<https://orcid.org/0009-0005-3324-6888>

Ivan Vladimir Molina Jaramillo

Profesor de Asignatura

Carrera: Ingeniería Química

Facultad de Estudios

Superiores Zaragoza C. II

Universidad Nacional Autonoma de Mexico

Iztapalapa CDMX, México

<https://orcid.org/0009-0003-5727-8759>

Francisco Vidal Caballero Dominguez

Profesor de tiempo completo

Carrera: Ingeniería Química

Facultad de Estudios

Superiores Zaragoza C. II

Iztapalapa CDMX, México

Universidad Nacional Autonoma de Mexico

<https://orcid.org/0000-0002-8483-9924>

Alejandro Díaz Medina¹

Profesor de Asignatura

Carrera: Ingeniería Química

Facultad de Estudios

Superiores Zaragoza C. II

Universidad Nacional Autonoma de Mexico

Iztapalapa CDMX, México

<https://orcid.org/0009-0007-0020-415X>

Alexis Marco Antonio Romero Pérez

Profesor de Asignatura

Carrera: Ingeniería Química

Facultad de Estudios

Superiores Zaragoza C. II

Universidad Nacional Autonoma de Mexico

Iztapalapa CDMX, México

<https://orcid.org/0000-0002-5165-7235>

Miguel Angel Pérez Fajardo

Profesor de Asignatura

Carrera: Ingeniería Química

Facultad de Estudios

Superiores Zaragoza C. II

Universidad Nacional Autonoma de Mexico

Iztapalapa CDMX, México

<https://orcid.org/0009-0007-8108-8698>

¹ Facultad de Estudios Superiores Zaragoza C. II UNAM,
Batalla 5 de mayo s/n, Col. Ejército de Oriente, C.P. 09320,
Iztapalapa CDMX, México.

RESUMEN: En este estudio se utilizaron granos de chícharo (*Pisum sativum*) para analizar su encogimiento en un secador de lecho fluidizado; dos variables independientes fueron propuestas, la velocidad de aire y la temperatura de alimentación al secador. Se generaron curvas de humedad y temperatura

que permitieron observar que las temperaturas altas favorecen el encogimiento, sin embargo, el encogimiento es más pronunciado a bajos flujos, la explicación de este comportamiento es el aumento del tiempo de residencia en flujos menores de aire. Aunque el chícharo utilizado fue escaldado con el fin de preservar sus propiedades, al momento se requiere de un análisis complementario para concluir esta última afirmación. Las temperaturas de operación empleadas fueron 40, 50 y 60 °C respectivamente, mientras que los flujos de aire fueron establecidos como 1.5Umf, 1.8Umf y 2Umf, donde Umf es la velocidad mínima de fluidización cuyo valor experimental obtenido fue de 1.3 m/s y una porosidad de lecho de 0.4812.

PALABRAS CLAVE: chícharo (*Pisum sativum*); secador de lecho fluidizado; curvas de secado; velocidad mínima de fluidización.

INFLUENCE OF AIR VELOCITY AND TEMPERATURE ON PEA SHRINKAGE DURING DRYING

ABSTRACT: In this study, peas grains (*Pisum sativum*) were used to analyze their shrinkage in their processing in a fluidized bed dryer; two independent variables were proposed, the air velocity and the feed temperature. Moisture and temperature curves were generated which allowed us to observe that the high temperatures favor the shrinkage. However, the shrinkage is more pronounced at low flows, the explanation for this behavior is the increase in residence time in lower airflows. Although the peas used were scalded in order to preserve their properties, a complementary analysis is required to conclude this last statement. The operating temperatures used were 40, 50 and 60 °C respectively, while the airflows were established as 1.5Umf, 1.8Umf and 2Umf, where Umf is the inimum fluidization velocity, the experimental value obtained was 1.3 m/s and a bed porosity of 0.4812.

KEYWORDS: pea drying; fluidized bed; drying curves; minimum fluidization velocity.

1. INTRODUCCIÓN

El secado es un proceso simultáneo de transferencia de masa y energía, en el cual se emplea calor para evaporar la humedad, la cual a su vez se remueve de la superficie del sólido, por medio de un agente externo (aire). En términos generales, el proceso de secado de un sólido puede presentar dos períodos de secado, uno a velocidad constante y el otro, a velocidad decreciente, lo cual dependerá del mecanismo que lo controla [Geankoplis, 2003].

El periodo de velocidad constante de secado se observa en productos donde la resistencia interna al transporte de humedad es menor que la resistencia externa para remover el vapor de agua de la superficie del producto. Lo anterior significa abundancia de agua libre en el producto a secar y se puede tratar como si el sólido no existiera. En el periodo de velocidad decreciente la superficie de la partícula a secar no está cubierta por una capa de agua, porque la resistencia interna a la humedad es mayor que la resistencia externa, esto trae como consecuencia una disminución de la velocidad de secado durante

el curso del proceso. Otra característica importante es la existencia de un gradiente de humedad dentro del producto. Esto limita el proceso de secado y es típico en granos semillas y cereales. En Chicharos por ejemplo existe una disminución del volumen del grano y depende de la humedad eliminada [Ruiz-Sánchez, 2014].

Dentro de las propiedades del chícharo, los prebióticos galacto-oligosacáridos, incluyendo rafinosa, estaquiosa y verbascosa compuesto por entre 3, 5 y 6,9% de las legumbres cocidas (peso seco). Por otra parte, los péptidos bio activos contienen comúnmente 3-20 aminoácidos por péptido con secuencias inactivas dentro de grandes proteínas que se liberan cuando la proteína matriz es hidrolizada por las enzimas digestivas (in vitro e in vivo), por las enzimas microbianas, o durante el procesamiento de alimentos [Dahl col. 2012]. La hidrólisis enzimática de las proteínas es un enfoque utilizado para liberar péptidos bioactivos y se aplica ampliamente para mejorar las propiedades funcionales y nutricionales de las fuentes de proteínas [Ochoa Pachas, 2017]. La actividad biológica de un péptido es ampliamente reconocida y pueden utilizarse en la formulación de alimentos funcionales y nutracéuticos para evitar daños relacionados con el estrés oxidativo en condiciones de enfermedades humanas.

En este trabajo se presenta un estudio de la influencia de la velocidad del aire y la temperatura del secado sobre el encogimiento del chícharo, se desea determinar las condiciones que aumentan el encogimiento de este grano, con miras a evaluar la actividad funcional de los componentes que permiten clasificarlo como prebiótico.

2. METODOLOGÍA

2.1. PREPARACIÓN DEL GRANO DE CHÍCHARO

En este estudio se utilizó chícharo (*Pisum sativum*) en vaina, se desenvainó. Después, se almacenó en bolsas herméticas (Ziploc) y se refrigeró a una temperatura de 5°C durante 24 horas para homogenizar su contenido de humedad [Honavar col. 2013].

Como fue mencionado anteriormente, los microorganismos influyen en la conservación de los alimentos, una manera de inhibir la actividad enzimática es el escaldado, tratamiento térmico que consistió en exponer los granos de chícharo en un baño de agua (95°C) durante tres minutos. Posteriormente se enfrió súbitamente en agua a 25°C.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL SECADOR

La Figura 1 muestra al secador (h) el cual consiste en una columna cilíndrica de acrílico de 0.095 m de diámetro interno y 0.90 m de altura, Incluye un distribuidor de

diámetro externo de 0.092m y 85 orificios circulares de 0.002 m de diámetro interno, distribuidos en arreglo triangular (Pitch=10 mm). El aire utilizado se alimenta al secador mediante una tubería de acero al carbón de 0.0508 m de diámetro interno, pasa primeramente a una trampa de humedad (a) y se regula con una válvula de aguja (b). Mediante un panel de control automático (g) se controlan las resistencias eléctricas (f) que calientan el aire que se alimenta al secador, el cual tiene una válvula (d) que permite regular el flujo de aire alimentado que se cuantifica con un rotámetro FLOW CELL (e, 0-25 pie³ SCFM) ubicado sobre la tubería antes de la sección de calentamiento.

2.3. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN

Se cargó la masa escaldada (700 grs.) de chícharo, y se abrió lentamente la válvula ubicada en la base del difusor hasta registrar una graduación del rotámetro, inmediatamente se leyó la presión en el manómetro y realizando los registros respectivos. La prueba descrita anteriormente se realizó también con el secador vacío. De este modo se generaron 2 tablas una con datos del secado vacío y la otra con el secador con la cantidad de chícharo. La forma de obtener la velocidad mínima de fluidización es mediante la resta de la caída de presión con chícharo y la lectura de presión con el secador vacío, dicha resta a velocidad constante. Este procedimiento se realizó para cada punto registrado. Finalmente, con la información generada se realiza la gráfica de Caída de Presión (resta mencionada) vs. Velocidad del aire.

2.4. CÁLCULO DE LA CAÍDA DE PRESIÓN CON ERGUN

Para hacer el cálculo teórico de la caída de presión se usó la ecuación 1. Esta ecuación relaciona la caída de presión entre el largo del lecho con la velocidad los cuales se dan en dos términos, el viscoso e inercial. Así obteniendo una ecuación de segundo orden con respecto de la velocidad y con dos constantes las cuales son alfa y beta teniendo valores de $\alpha = 150$ y $\beta = 1.75$. En conjunto con la viscosidad del aire de $2.1E-5$ kg/ms y la densidad del fluido de 1.1839 kg/m³. Para las partículas se tiene la altura del lecho con 0.27m y el diámetro de partícula el cual alrededor de 0.009m.

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{\mu_f \alpha (1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3 d_p^2} U + \frac{\rho_f \beta (1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3 d_p} U^2 \quad (1)$$

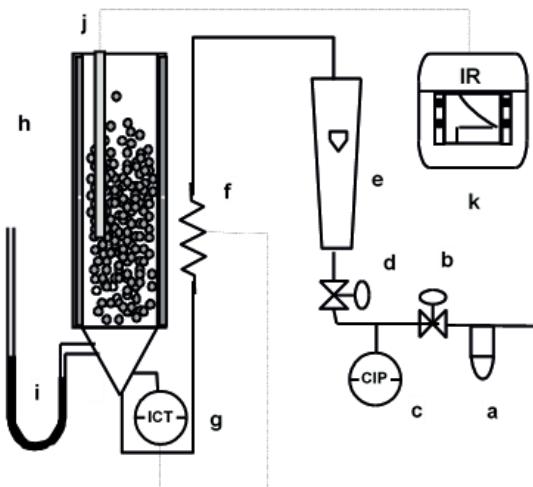
Con lo anterior es posible predecir el comportamiento del lecho antes que este fluidice y al igual que se puede deducir la porosidad efectiva. Para la obtención de esta se usó el método de mínimos cuadrados para el ajuste ecuación 3 con

respecto a su definición ecuación 2. Este modelo se resolvió utilizando las librerías que proporciona MATLAB.

$$S(\varepsilon) = \sum_{i=1}^n (\Delta P_i - f(U_i, \varepsilon))^2 \quad (2)$$

$$\varepsilon_{efectiva} = \arg \min_{\varepsilon} \sum_{i=1}^n \left(\Delta P_i - \left(\frac{\mu_f \alpha (1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3 d_p^2} U_i + \frac{\rho_f \beta (1-\varepsilon)}{\varepsilon^3 d_p} U_i^2 \right) L \right)^2 \quad (3)$$

Figura 1. Instalación del lecho fluidizado.



2.5. GENERACIÓN DE LAS CURVAS DE SECADO

Una vez que el termómetro marcó que el aire se encontraba en la temperatura de operación (50, 60 y 70°C) y determinado el flujo de aire (1.5Umf, 1.8Umf y 2 Umf), se agregaron de manera instantánea 700 grs. de chícharo (*Pisum sativum*). A diferentes intervalos de tiempo fueron extraídas muestras para determinar su humedad de modo que fueron pesadas y posteriormente conducidas a una estufa de convección mod. HFC-48 (RSU LabSupply) por un periodo de 1 día. Una vez conocida la masa seca se determinó la humedad basada en su definición [Ruiz-Sánchez, 2014].

La temperatura se determinó empleando una memoria Data logger colocada en la salida del secador para determinar la humedad en el aire y la temperatura de lecho, la información obtenida se vació directamente a una computadora. De manera simultánea en los intervalos de tiempo discutidos anteriormente diferentes semillas fueron extraídas para determinar su diámetro con la ayuda de un vernier.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN

De acuerdo Figura 2 se observa primeramente una etapa donde cambios grandes de velocidad no provocan un aumento considerable de presión, en estas condiciones el aire percola las partículas de chicharo porque el flujo no es capaz de mover al sólido, posteriormente hay una relación proporcional entre la velocidad y la caída de presión, en estas condiciones el aire empieza a mover los sólidos. Finalmente se observan aumentos en la velocidad a partir de un punto que provoca el cambio de pendiente; en este valor de umbral, se encuentra la velocidad mínima de fluidización (Umf), Si introdujéramos un objeto, el lecho no ofrecería resistencia y por esta razón se modifica en forma libre, esta puede ser una prueba complementaria del valor Umf, también se caracteriza porque ya no provocan grandes caídas de presión, esto es porque el chicharo se encuentra totalmente suspendido, en general una vez aumentada la velocidad se realizan disminuciones de flujos hasta cerrar el flujo totalmente. En este caso se realizó este procedimiento, pero no se encontró una diferencia sustancial, los puntos presentes proviene del promedio de tres corridas realizadas. El valor de la velocidad mínima de fluidización [Kunni y Levenspiel, 1991] fue de $Umf=1.3$ m/s. Se requiere un valor mayor a Umf para mantener una buena transferencia de masa y energía.

Por este motivo es esencial determinar el valor Umf y a partir de este conocimiento, se seleccionaron tres velocidades de aire basados en la Umf. La Tabla I muestra estas condiciones las cuales se manejaron a lo largo de la experimentación.

Figura 2. Caída de presión versus velocidad de aire. La velocidad mínima de fluidización se establece en 1.3 m/s.

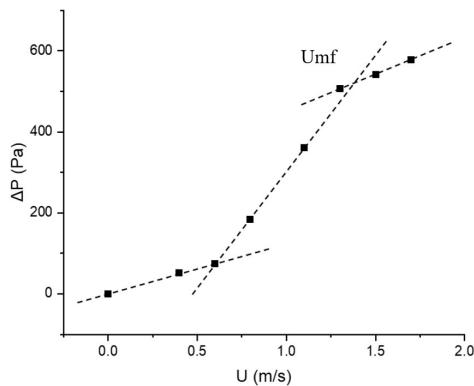
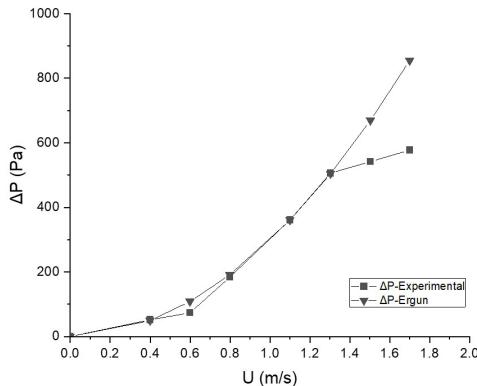


Figura 3. Caídas de presión experimentales y simulada con Ergun versus velocidad de aire.



Como se observa en la figura 3. La caída de presión entre la experimental y la estimada con Ergun son muy similar a la misma velocidad, eso indica que la ecuación de Ergun describe bien el comportamiento del lecho antes de alcanzar la velocidad mínima de fluidización el cual es de 1.3 m/s. Otro valor importante que se estimó es la porosidad efectiva del lecho de chícharo a las condiciones previas del secado, al realizar el ajuste de mínimos cuadrados se obtuvo una porosidad efectiva(ϵ) es de 0.4812 con $R^2 = 0.9911$ y RMSE = 18.711 Pa.

Tabla 1. Selección de los valores de velocidad de aire basados en la velocidad Mínima de fluidización.

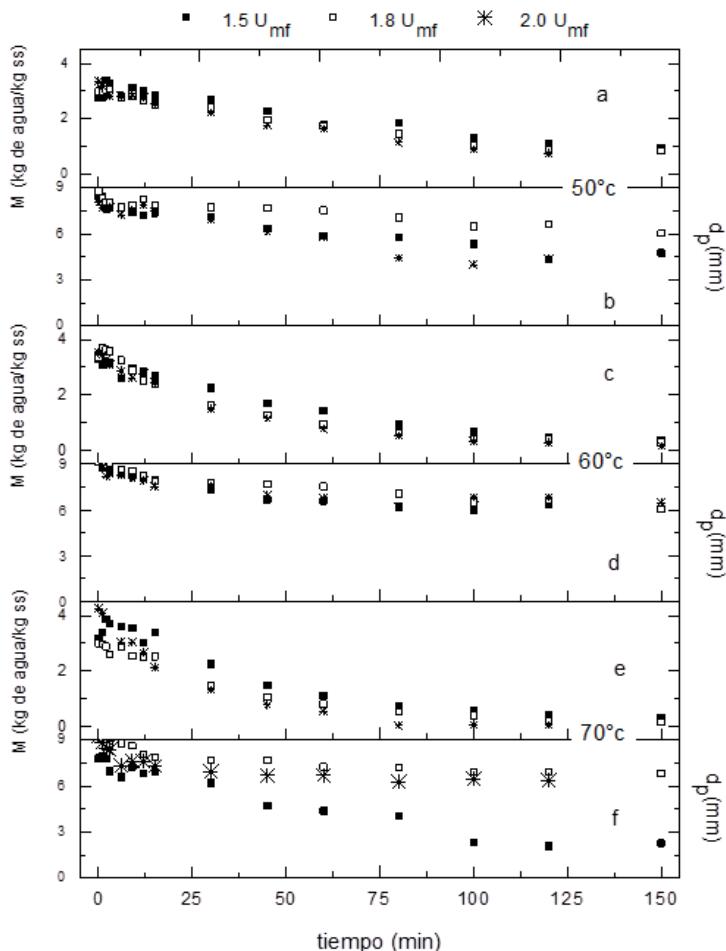
Valor de la velocidad (m/s)	Relación [U/Umfr]
1.9	1.5
2.3	1.8
2.6	2.0

3.2. CURVAS DE SECADO

La Figura 4 muestra en conjunto las corridas experimentales realizadas al chícharo a tres diferentes temperaturas y tres niveles de velocidad, se observa que la humedad al inicio son aproximadamente 4 (kg de agua/ kg de sólido seco) y un diámetro de 9 mm. En particular, es posible observar que existen los 2 períodos de secado. A tiempos cortos es posible observar que la disminución de humedad puede expresarse como una línea recta, este es el típico comportamiento de secado por convección y se presenta cuando los granos tienen exceso de humedad; el agua se evapora sin sentir el efecto del sólido a secar. Este periodo se mantiene en los primeros 30 minutos de proceso.

El segundo periodo se presenta a medida que se pierde la humedad, ya que cada vez será más difícil eliminar el agua pues ya no se encuentra en la superficie y se requiere mucha energía para extraerla del interior, esto es típico para la difusión [Geankoplis, 2003].

Figura 4. Curvas de secado mostrando el contenido de Humedad (4a, 4c y 4e) el diámetro (4b, 4d y 4f), a las temperaturas de 50, 60 y 70 °C respectivamente, los símbolos están asociado a las tres velocidades de alimentación del aire.



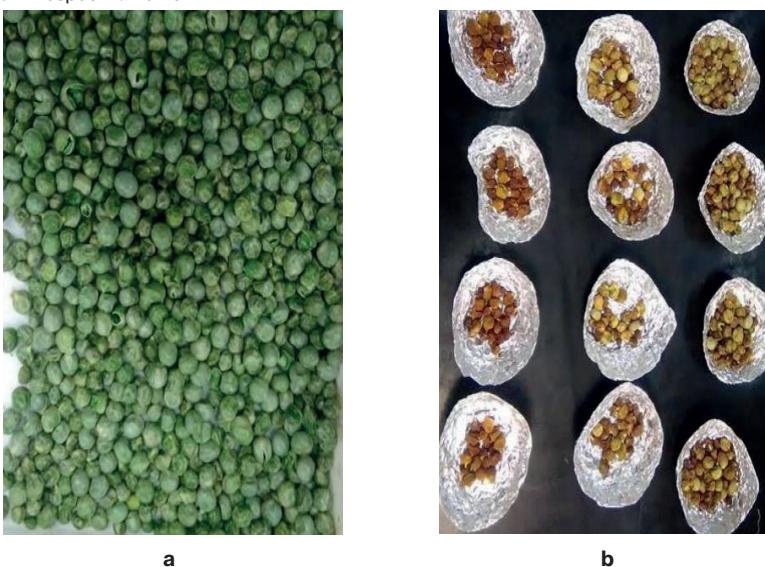
Otra forma de comprobar el secado por difusión es que no existe una gran diferencia en el secado por diferentes velocidades, excepto para la temperatura de 70 °C y la velocidad de fluidización de 1.5Umf, es decir la menor velocidad de alimentación al secador.

3.3. DEL ENCOGIMIENTO DE VOLUMEN

Se estudiaron tres velocidades de aire alimentado al secador y se observa que la disminución del diámetro no se ve afectada en las temperaturas de 50 y 60 °C respectivamente, además, en 50 °C (Fig. 4b) la disminución del diámetro no es uniforme quizás el mezclado todavía no es uniforme, comparado con el comportamiento mostrado en la Fig. 4d, donde la disminución de los diámetros para las tres velocidades es muy similar y llegan aproximadamente a 6 mm. A la temperatura de 70 °C, las dos velocidades mayores muestra un diámetro final similar de 6mm, sin embargo, para la velocidad menor (identificada por los cuadros oscuros Fig. 4f) el diámetro final cae hasta 2.2 mm aproximadamente. Si analizamos este fenómeno a partir del tiempo de residencia se obtiene un efecto consistente pues a menor velocidad de alimentación el tiempo de residencia es mayor, por tanto, existe un mayor contacto entre el fluido y el sólido permitiendo una disminución gradual del diámetro. La figura 5.

Muestra el chícharo antes y al final del procesamiento. A menores tiempos de residencia las muestras conservan su color.

Figura 5. a) chícharo escaldado utilizado en el secado en lechos fluidizados. b) muestras tomadas a lo largo del secado a 70 °C. La primera fila (izquierda) corresponde a la menor velocidad de flujo es posible apreciar que su diámetro es menor comparada con la segunda y tercera fila de muestras, que corresponden a las velocidades de 1.8 Umf y 2 Umf respectivamente.



3.4. TRABAJO A FUTURO

Como fue establecido anteriormente, evaluar si los granos de chícharo mostraron deterioro en su composición interna es un trabajo que debe considerarse

en el futuro. Asimismo, el establecer un modelo que permita validar los datos del presente reporte.

4. CONCLUSIONES

El secado en el interior del grano de chícharo se encuentra dominado por el fenómeno de difusión, por tanto, se requieren tiempos de procesamiento largos, en la mayoría de los casos no se observa un efecto significativo con el aumento de la velocidad en el lecho fluidizado. Sin embargo, a la temperatura de 70°C, la disminución del diámetro y la humedad son más eficientes a flujos bajos, esto debido a que, para estas condiciones, se incrementa el tiempo de residencia. El cálculo de la porosidad del lecho fue bueno ya que la ecuación de Ergun describe el comportamiento del lecho antes de la fluidización con la porosidad estimada. El presente estudio no contiene reportes sobre el posible daño de los componentes biológicos que contiene el chícharo por el calentamiento o choque térmico. Estudios adicionales deben realizarse para considerar esta característica con el fin de asegurar que las sustancias que proporcionan las propiedades funcionales sean preservadas.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen los recursos financieros otorgados para el desarrollo del presente trabajo, en particular a los programas UNAM-DGAPA-PAPIIT IA106518 y UNAM-DGAPA-PAPIIT TA100919.

REFERENCIAS

1. Geankolis C. J. (2003). *Transport Processes and Separation Process Principles (Includes Unit Operations)* 4nd edition. Prentice Hall. *J. Membrane Sci.* **(266)** 102-108. U.S.
2. Dahl, W., Foster, L., & Tyler, R. (2012). Review of the health benefits of peas (*Pisum sativum* L.). *British Journal of Nutrition*, 108(S1), s3-s10.
3. Ochoa Pachas K. g. (2017) Hidrólisis enzimática en una y dos etapas de la proteína de la *cañihua Chenopodium pallidicaule Aellen*, para obtener péptidos bioactivos. Tesis para la obtención de Maestría en ciencias en tecnología de alimentos, Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú.
4. Honarvar, B., Mowla, D., & Safekordi, A. A. (2013). *Experimental and Theoretical Investigation of Drying of Green Peas in a Fluidized Bed Dryer of Inert Particles Assisted by Infrared Heat Source*. *Iran. J. Chem. Eng.* 32(1). 83-94.
5. Ruiz-Sánchez A. (2014) Efecto en el encogimiento del sólido en la hidrodinámica de un secador de lecho fluidizado. Tesis para la obtención de maestría en ciencias en ingeniería química, UAM Iztapalapa, México.
6. Kunii D., Levenspiel O. (1991). *Fluidization engineering*, 2nd edition, Butterworth-Heinemann U. S.

CAPÍTULO 7

EXPERIMENTAL STUDY OF MICROWAVE SLOW WAVE COMB AND CERAMIC APPLICATORS FOR SOIL TREATMENT AT FREQUENCY 2.45 GHZ

Data de submissão: 03/11/2025

Data de aceite: 28/11/2025

Grigory Torgovnikov

University of Melbourne
Australia

<https://orcid.org/0000-0001-5171-5653>

Graham Brodie

Adjunct Professor
University of Melbourne
Australia

<http://orcid.org/0000-0003-2085-4671>

ABSTRACT: In many cases in industry, it is required to heat or treat surface layers of different materials (soil, timber, concrete, plastics and so on) with microwaves (MW). Traditional MW irradiators (antennas) cannot provide heating only to the surface areas, and energy penetrates deep into the material, where it decays exponentially due to normal attenuation. To reduce energy losses, it was required to develop special MW applicators for surface treatment to increase process efficiency. To address this problem, a slow wave ("surface wave") comb and ceramic applicators were designed, built and studied. The main property of slow waves is that the energy concentration is very near the

impedance electrode – comb or ceramic plate surface. Comb and ceramic slab applicators for frequency 2.45 GHz operation were designed for the soil treatment and studied using soil with a moisture content range 32-174% and density range 590-1070 kg/m³. A 30 kW MW plant was used for experiments. Results of the experiments showed that a ceramic applicator provides better uniformity of energy distribution across the width of the applicator. It reduces overheating of the soil surface and energy losses. The depth of energy penetration provided by the ceramic applicator is lower compared with the comb applicator. It means that the ceramic applicator provides better energy localisation and more energy absorption in the soil surface layers compared with the comb applicator. The ceramic applicator is more effective for MW treatment of the soil surface areas and is recommended for practical use in machines for thermal treatment and sterilisation of surface layers of the soil and other materials.

KEYWORDS: ceramic applicator; comb applicator; microwave; slow wave; soil microwave treatment.

1. INTRODUCTION

Traditional MW irradiators (antennas) cannot provide heating only to the surface areas and energy penetrates deep into the material, where it decays exponentially due to

normal attenuation. Therefore, energy losses are very significant when the heating depth of 20 - 40 mm (for example, to heat soil for killing weed seeds) is all that is required. Therefore, it is required to develop special MW applicators for surface treatment to increase process efficiency. To address this problem, a slow wave (which is sometimes called a “surface wave” applicator) comb and ceramic structures were studied. The main property of slow waves is that the energy concentration is very near impedance electrode – comb or ceramic plate surface. Previously, slow wave structures (SWS) were used mostly as delay lines [4] and as interaction circuits in MW vacuum devices, and their properties were explored only for these specific applications [3]. Extending MW technologies to industry, medicine, and the army initiated a study of slow wave structures, properties and peculiarities which can be used for developing novel technologies for industrial, medical, domestic and military applications [1], [5]. It was shown by the full-wave analysis, as well as by experiments and practical realisation that the SWSs have many previously unknown peculiarities, which can be used for creating novel technologies for domestic and industrial heating, plasma generating, etc.

The work objectives of this study were:

1. design slow wave, ceramic and comb structure applicators for soil treatment at frequency 2.45 GHz;
2. experimentally study the energy distribution from slow wave applicators in the soil;
3. examine opportunities to use slow wave structures for surface soil layer heating; and
4. recommendations for practical use of new slow wave applicators.

2. APPLICATORS DESIGN

Based on the theoretical study [2] and computer modelling slow wave comb and ceramic slab applicators for frequency 2.45 GHz were designed. A comb applicator made from aluminium and a ceramic applicator made from alumina are shown in Fig. 1. Main dimensions of the comb and ceramic applicators are displayed in Table 1.

Table 1. Applicator parameters.

Parameters	Comb, mm	Ceramic, mm
Working length	356	356
Applicator body thickness	23	23
Applicator body width	150	150
Comb electrode width	100	

Ceramic slab width		100
Comb electrode thickness	16	
Ceramic slab thickness		13
Comb electrode conic part length	185	
Grove depth/ width	13/3	
Comb tooth thickness	3	
Material	Aluminium	Alumina slab (DC=9.8, loss tangent 0.0002)
Ceramic plates covering the comb and a ceramic slab	Alumina (99%) ceramic plate size 3x84x146 mm (4 pieces), (DC=9.8, loss tangent 0.0002)	

In experiments the comb and ceramic slab (Fig.1) surfaces were covered by 3 mm thickness alumina plates.

Fig. 1. Comb applicator (left) without covering with ceramic plates. Ceramic applicator (middle) without covering by ceramic plates. Comb and ceramic applicators view (right) covered by ceramic plates (3x84x146 mm - 4pc).



In experiments, a ceramic block made from alumina was inserted into the applicator body instead of aluminium comb electrode. The ceramic block (13 mm thickness) with 3 mm thickness ceramic plates formed the ceramic part of the applicator with thickness 16 mm.

3. EXPERIMENTAL STUDY. MATERIAL AND METHODS

3.1. MATERIAL

The soil "Potting Mix Hortico" was used for tests. The soil had 3 different moisture contents (MC) and densities:

$$MC = 32\% \text{, density } = 586 \text{ kg/m}^3,$$

$$MC = 89\% \text{, density } = 710 \text{ kg/m}^3,$$

$$MC = 174\% \text{, density } = 1070 \text{ kg/m}^3.$$

The soil (mixture of organic and mineral substances) used in experiments had significant percentage of organic particles of different sizes (wood, bark, grass) therefore dielectric parameters of the soil at frequencies 2.45 GHz, temperatures from 15 to 80°C were in the range: dielectric constant - from 4 to 19 and loss tangent - from 0.2 to

0.3. Only the most significant properties for MW heating of soil: moisture content and density were measured. The soil was placed into polypropylene containers (Fig.2) with sizes 160x250x300 mm.

3.2. EXPERIMENTAL INSTALLATION AND PROCEDURE

MW plant 30 kW (2.45 GHz) was used for experiments (Fig. 2). The applicator was connected to the MW generator by waveguides and placed into the metal box 400x500x1120 mm for leakage protection. Position of the container with soil on the applicator is shown in Fig. 2 (middle). Auto tuners used in MW systems provided good matching for the generator and applicators (with soil), practically without power reflection.

Fig 2. Applicator (in a metal box) connection with 30 kW MW generator, 2.45 GHz (left). Container with soil on the applicator inside the metal box (middle). Scheme of applicator with soil in the container (right).



Temperatures in the soil were measured by thermocouples after MW heating on the depth 10, 30, 50, 80, 100 and 140 mm along applicator at distances from applicator beginning 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270 and 350 mm, and across the applicator in the central vertical plane and at distances from central vertical plane 37.5, 75, and 112.5 mm in both cross directions. Distribution of measuring points covered all volume of the soil along and across the soil samples. The scheme of the container with soil position on the applicator is shown in Fig.2. Lay-on jig was used for thermocouples positioning during measurements. To get reliable results of MW heating at every soil moisture content four repeats were performed.

MW power of 3.5 kW was applied to the soil for 15 sec and after that the temperatures were measured by thermocouples. Energy applied to the soil during experiments was 53 kJ.

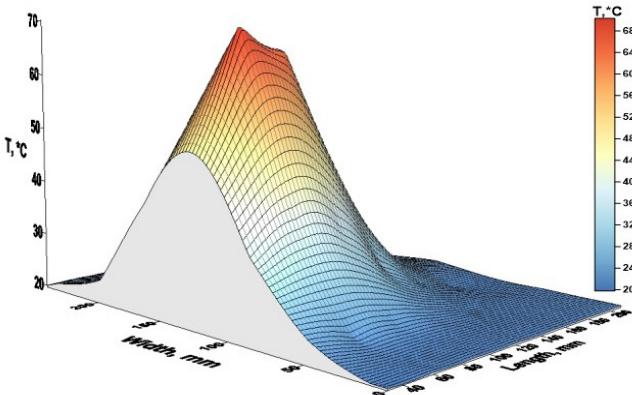
4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1. TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE SOIL BY COMB APPLICATOR

We assume that the temperature distribution in the soil reflects energy release in different spots of the soil volume and allows assessment of the energy distribution by MW

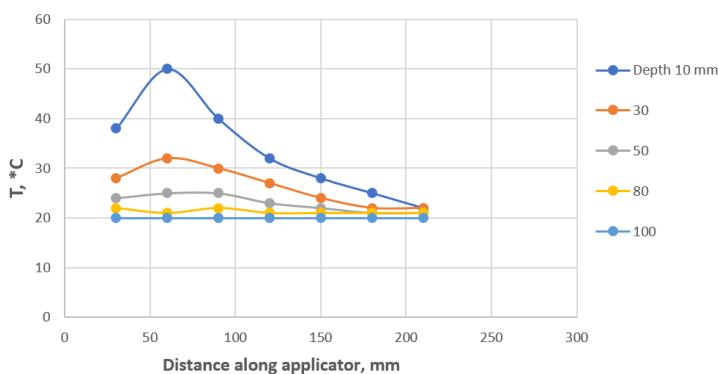
applicators. Fig. 3 shows typical temperature distribution in the soil volume at a depth of 10 mm by a comb applicator after applying MW power 3.5 kW for 15 sec.

Fig. 3. Temperature distribution in the soil at the depth of 10 mm by comb applicator at $F=2.45$ GHz, $P=3.5$ kW, time of MW heating 15 sec, $T_0 = 20^\circ\text{C}$, applied energy 53 kJ. Soil moisture content MC=89%, density 710 kg/m^3 .



Temperature distribution in the soil along the comb applicator central vertical plane for soil with MC= 174%, initial temperature $T_0=20^\circ\text{C}$, power $P=3.5$ kW, duration of MW heating 15 sec is shown in Fig. 4.

Fig. 4. Temperature distribution in the soil along the comb applicator central plane at $F=2.45$ GHz, $P=3.5$ kW, duration of MW heating 15 sec, $T_0=20^\circ\text{C}$, applied energy 53 kJ. Moisture content MC=174%, density 1070 kg/m^3 .

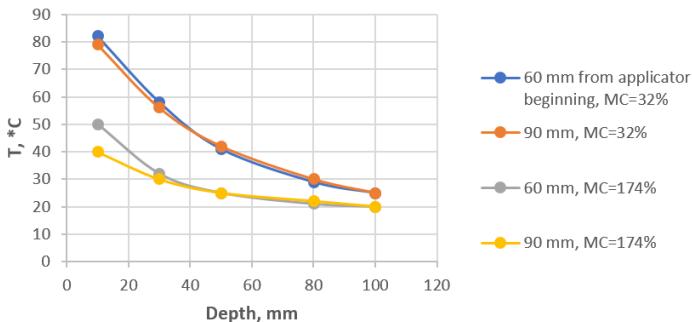


Maximum energy absorption takes place at a distance of about 60 mm from the beginning of the applicator. Almost all of the energy was absorbed at the distance of 200 mm along the applicator for all of the tested soil moisture contents. Maximum energy release takes place in the zone between 60 to 90 mm from the applicator beginning.

Practically all energy irradiated by applicator was absorbed at the width of about 150 mm across the applicator. This was consistent across different moisture content of the soil samples.

Temperature distribution in the central plane of the comb applicator at soil depth between 10 and 100 mm is illustrated by Fig. 5.

Fig. 5. Temperature distribution in the central vertical plane of the comb applicator at soil depth between 10 and 100 mm after heating. MC=32 and 174%, F=2.45 GHz, P=3.5 kW, time of MW heating 15 sec, To=21°C.



The most significant part of the energy is absorbed by the soil, with moisture content in the range 32 to 174%, up to the depth of 50 mm measured in the central vertical plane of the comb applicator. In other volume zones of the soil the share of energy absorbed by surface layers is higher. Almost all of the energy is absorbed at applicator length 200 mm and width 150 mm covering soil surface 300 cm².

4.2. TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE SOIL BY CERAMIC APPLICATOR

Ceramic block with 3 mm ceramic plates on the top forms ceramic applicator with thickness 16 mm from alumina (99%) material with dielectric parameters: DC=9.8, loss tangent 0.0002. When microwaves travel through alumina they reduce in wavelength. The wavelength in the material (ceramics):

$$\lambda = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon}$$

where λ_0 - wavelength in vacuum (or in air) and

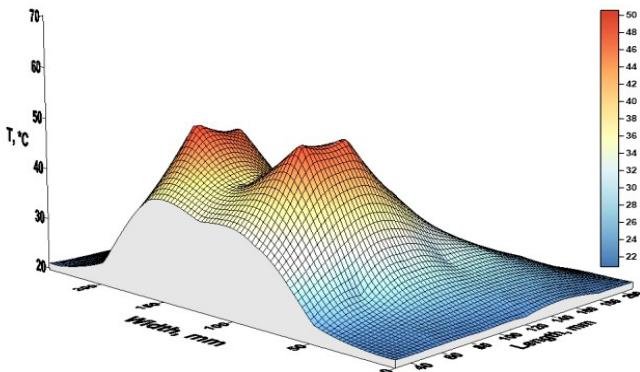
ϵ – dielectric constant of material.

In our case at 2.45 GHz wavelength is 122 mm and at $\epsilon = 9.8$ the wavelength in alumina is $\lambda = 122 : 3.13 = 40$ mm.

This means a wavelength in ceramic block is about 40 mm and microwaves in the ceramics will provide two energy maximums (peak volumes) on the applicator width (comb applicators provide one maximum because wavelength in it is 122 mm).

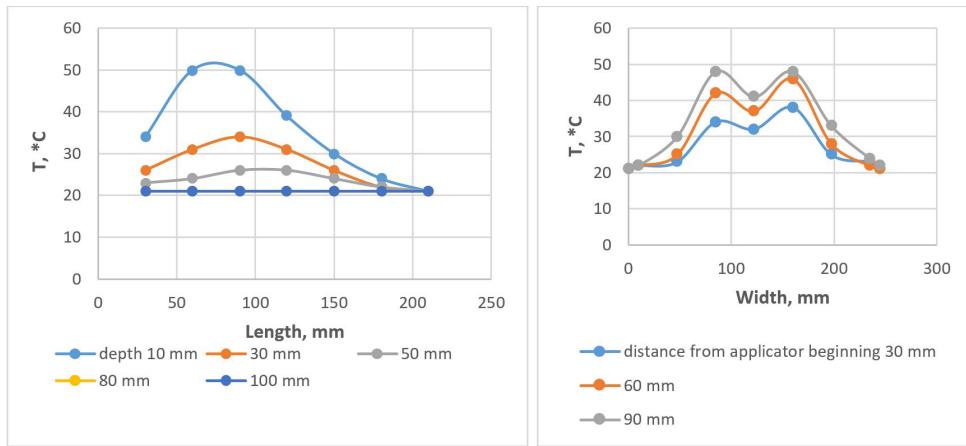
Fig. 6 shows typical temperature distribution in the soil at the depth of 10 mm by ceramic applicator after applying MW power 3.5 kW for 15 sec.

Fig. 6. Temperature distribution in the soil at the depth of 10 mm by ceramic applicator after MW heating at $F=2.45$ GHz, $P=3.5$ kW, time of MW heating 15 sec, $T_0 = 20^\circ\text{C}$. Soil moisture content 89%, density 710 kg/m^3 .



Temperature distribution along ceramic applicator in the peak vertical plane (38 mm from central vertical plane) is shown in Fig. 7 (left).

Fig. 7. Left. Temperature distribution along the ceramic applicator in the peak vertical plane (38 mm from central plane) at different depths after MW heating of the soil with a moisture content 89%. Right. Temperature distribution across the ceramic applicator at a depth of 10 mm after MW heating soil with moisture contents 32%. $F=2.45$ GHz, $P=3.5$ kW, time of MW heating - 15 sec, $T_0=21^\circ\text{C}$.

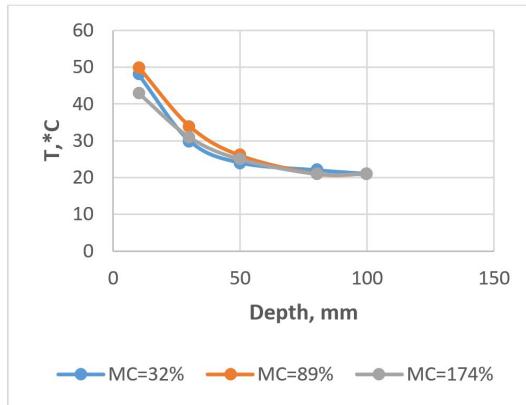


For soil MC = 89 and 174% practically all energy is absorbed at the applicator length of 200 mm. For soil MC=32 % energy spreads along all of the applicator length. The temperature distribution in a soil sample with MC=32% across the applicator after MW heating is displayed in Fig.7 (right). Temperature curves show two peaks at a distance

of 40 mm on each side of the central vertical applicator plane and lowest at the applicator central vertical plane.

Temperature distribution in the peak vertical plane of the ceramic applicator at soil depths and MC= 32, 89 and 174% is shown in Fig. 8.

Fig. 8. Temperature distribution by the soil depths at the peak vertical pane of the ceramic applicator at the distance of 90 mm from applicator beginning after heating and MC= 32, 89 and 174%. F=2.45 GHz, P=3.5 kW, time of heating 15 sec, $T_0=21^\circ\text{C}$.

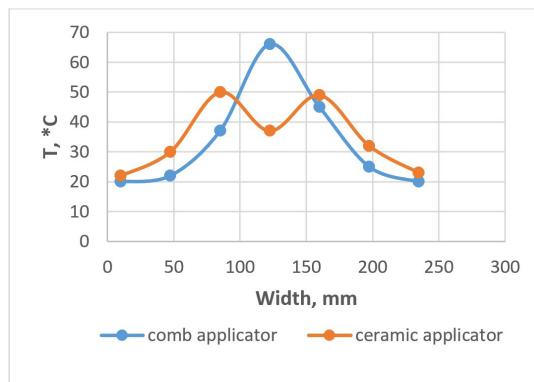


The most significant part of the energy is absorbed by the soil at the peak vertical planes on the depth up to 50 mm, and practically all the energy is absorbed at the depth up to 80 mm. In other volumes of the soil the share of energy absorbed by surface layers is higher.

4.3. COMPARISON OF THE TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE SOIL BY COMB AND CERAMIC APPLICATORS

Fig. 3 with one temperature peak and Fig. 6 with two temperature peaks illustrate principal difference in energy distribution in the soil by comb and ceramic applicators. Comb applicator provides maximum soil heating in the central vertical applicator plane because the transporting electromagnetic wavelength is 122 mm. Alumina ceramic block transforms electromagnetic wave from 122 mm to the wavelength of 40 mm and provides a different pattern of energy distribution in the soil with two peaks in the vertical cross planes. Fig. 9 illustrates the difference of temperature distribution in a soil sample at the vertical cross section of the two applicators.

Fig. 9. Temperature distribution across comb and ceramic applicators at the soil depth of 10 mm and distance of 90 mm from applicator beginning after MW heating of the soil with moisture contents 89%. F=2.45 GHz, P=3.5 kW, time of MW heating 15 sec, To=21°C.



Peak temperature in the soil provided by the ceramic applicator is significantly lower compared to peak temperature provided by the comb applicator. This reduces overheating of the soil surface and energy losses. Test results of comb and ceramic applicators in similar conditions are shown in Table 2.

Table 2. Test results of comb and ceramic applicators for frequency 2.45 GHz.

Items	Units	Comb applicator	Ceramic applicator
Soil moisture content and density		MC = 32 - 174%, density 586 -1070 kg/m ³	
Majority of the applied MW energy was absorbed:			
on the applicator length	mm	200 -210 350 (MC=89-174%)	200 (MC=89-174%)
on the applicator width up to	mm	150	200-210
on the material depth up to	mm	100-130	80
Length of zone of high intensity heating along applicator (distance from applicator beginning)	mm	30 (from 60 to 90)	70 (from 50 to120)
Average MW specific energy applied to the soil	kJ/cm ²	0.18	0.13

Measuring the maximum degree of non-uniformity of the temperature in the soil by ratio of peak temperatures to initial temperatures, the comb applicator provides non-uniformity 3.1, ceramic applicator - 2.3.

The ceramic applicator provides better uniformity of energy distribution on the width of the applicator due to two temperature peaks. In addition, depth of energy penetration is lower. This means the ceramic applicator provides more energy absorption

within the soil surface layers compared to comb applicator and therefore is more effective. For practical use, instead of ceramic block (thickness 13 mm) + ceramic plates (thickness 3 mm), it is better to use one alumina ceramic block with thickness of 16 mm.

To improve the uniformity of the energy distribution by ceramic applicators, it can be recommended to use ceramics with a higher dielectric constant 15-25 (PD-15, PD-20, PD-25). This creates 3 or 4 MW power peaks along the applicator width keeping the energy closer to the applicator surface. This will increase efficiency of MW energy use.

In terms of effective energy use for thermal treatment and sterilization of soil surface layers, using a ceramic applicator has the following advantage compared to a comb applicator:

- better uniformity of energy distribution on the width of the applicator,
- better energy localisation in the soil surface layers,
- the soil moisture content in the range between 32-174% does not have a significant effect on energy localization in the surface layers.

Ceramic applicators can be recommended for practical use in machines for thermal treatment and sterilization of the soil and other materials surface layers.

5. CONCLUSION

The comb applicator provides maximum energy release into the soil at the central vertical plane. Ceramic applicator from alumina forms two temperature peaks in the vertical planes at a distance of about 40 mm each side of the central applicator plane and a minimum in the applicator central plane. Ceramic applicator provides better uniformity of the energy distribution along the width of the applicator due to two temperature peaks. The depth of energy penetration is lower compared to comb applicator. Thus, the ceramic applicator provides better energy localization and more energy absorption in soil surface layers compared to a comb applicator. To provide better uniformity of energy distribution across the ceramic applicator, it is recommended to use ceramics with a higher dielectric constant. Using ceramics with a dielectric constant of 15-25 would provide 3 or 4 temperature peaks on the applicator width, keeping more energy closer to the applicator surface. This will increase the efficiency of MW energy use.

The ceramic applicator is more effective for MW treatment of the soil surface areas and is recommended for practical use in machines for thermal treatment and sterilization of surface layers of the soil and other materials.

REFERENCES

1. Pchelnikov Yu. N. Features of slow waves and potentials for their nontraditional application. *J. of Communications Technology and Electronics*, 2003, Vol 48, (4), 450-462.
2. Pchelnikov Yu. N. SWS - based applicators for agriculture application. Unpublished Report of Company "Pchelnikov Consulting" for Melbourne University. 2014, pp 39.
3. Silin R. A. Periodic Waveguides. Fazis, Moscow, 2002, [in Russian].
4. Watkins D. A. Topics in Electromagnetic Theory. Willy & Sons Inc., N.Y., 1958.
5. Yelizarov A. A., Pchelnikov Yu. N. Radio-Wave Elements of Technological Devices and Equipment on Slow- Wave Structures. Radio and Communication, Moscow, 2002, [in Russian].

CAPÍTULO 8

SISTEMAS DOMÓTICOS ALIMENTADOS CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Data de submissão: 07/11/2025

Data de aceite: 28/11/2025

Guadalupe García Toribio

Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico
Superior de Teziutlán
Academia de Ingeniería en Informática
Fracción I y II s/n Aire Libre
Teziutlán, Puebla, México
<https://orcid.org/0000-0002-2711-9242>

Heriberto Hernández Rodríguez

Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico
Superior de Teziutlán
Academia de Ingeniería en
Sistemas Computacionales
Fracción I y II s/n Aire Libre
Teziutlán, Puebla, México
<https://orcid.org/0009-0000-4889-2181>

José Luis Gutiérrez García

Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico
Superior de Teziutlán
Academia de Ingeniería en Informática
Fracción I y II s/n Aire Libre
Teziutlán, Puebla, México
<https://orcid.org/0000-0003-0930-2083>

Román Gutiérrez Marcos

Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico
Superior de Teziutlán
Academia de Ingeniería en
Sistemas Computacionales
Fracción I y II s/n Aire Libre
Teziutlán, Puebla, México
<https://orcid.org/0009-0008-0572-2463>

Israel Ildefonso García

Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico
Superior de Teziutlán
Academia de Ingeniería en
Gestión Empresarial
Fracción I y II s/n Aire Libre
Teziutlán, Puebla, México
<https://orcid.org/0009-0008-2248-7055>

Luisa Angelica Viñas Meza

Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico
Superior de Teziutlán
Academia de Ingeniería en
Gestión Empresarial
Fracción I y II s/n Aire Libre
Teziutlán, Puebla, México
<https://orcid.org/0000-0002-5675-6267>

RESUMEN: La erradicación de la pobreza y el desarrollo sostenible son objetivos clave de la ONU desde 2015. Aunque el crecimiento poblacional aumentará la demanda de

energía accesible, la dependencia mundial de combustibles fósiles está causando crisis climáticas y económicas. Por tanto, se necesita un cambio hacia fuentes de energía alternativas, como la solar y eólica, para lograr una producción energética sostenible y asequible. El proyecto propuesto busca fortalecer la producción eléctrica con dos objetivos: proporcionar energía limpia y renovable para viviendas con servicios básicos, y automatizar estos servicios mediante programación y domótica para optimizar el uso eficiente de recursos. Se utilizarán dispositivos de energía fotovoltaica, sensores y técnicas de aprendizaje automático para ajustarse según los hábitos de los habitantes, beneficiando tanto a comunidades con necesidades básicas como a las viviendas con servicios establecidos. En última instancia, este proyecto contribuirá al logro de los objetivos planteados para el año 2030.

PALABRAS CLAVE: energía; fotovoltaica; renovable; vivienda.

PHOTOVOLTAIC-POWERED DOMOTIC SYSTEMS

ABSTRACT: The UN's 2015 goals of poverty eradication and sustainable development require transitioning from fossil fuels due to climate and economic challenges from population growth. This paper introduces a project to enhance energy production, focusing on clean, renewable power for basic needs and resource-efficient automation. By utilizing devices, solar energy, sensors, and machine learning, the project adapts to residents' habits, benefitting both basic and established services. The initiative aligns with 2030 UN objectives. This project envisions an autonomous, sustainable energy system applicable in rural areas for automated water pumping, lighting, and networking. Its core goal is efficient residential optimization. A photovoltaic renewable energy demotic project can lower costs, promote clean energy, and encourage sustainability. Industries can adopt these systems for controlled resource management, with stages including installation, programming, and testing. Materials like solar panels, inverters, and batteries ensure efficient energy management.

KEYWORDS: energy; photovoltaic; renewable; housing.

1. INTRODUCCIÓN

Existen múltiples motivos para considerar un sistema autónomo y sustentable que utilice energía libre. Este enfoque podría ser aplicado en entornos rurales, donde las condiciones son desafiantes, por ejemplo, para automatizar el bombeo de agua potable o proveer iluminación en ausencia de una red eléctrica convencional como la de la Comisión Federal de Electricidad, especialmente en la noche. Además, podría abarcar servicios mediante dispositivos inalámbricos para llevar internet. En esencia, el propósito de este proyecto es crear un entorno controlado en hogares que optimice recursos de manera automática, adaptándose a diversas situaciones basadas en las necesidades de los residentes.

Un proyecto de energía renovable fotovoltaica de sistemas domóticos ofrece la oportunidad de contribuir al cuidado del medio ambiente mediante energías limpias, al tiempo que ayuda a los ciudadanos a ahorrar en tarifas eléctricas controladas y fomentar nuevas formas de sostenibilidad (Cuesta Ledesma, 2021).

Las industrias podrían beneficiarse al probar este tipo de sistemas en ambientes similares para contribuir al desarrollo productivo y explotar recursos de manera controlada mediante la domótica. Aunque la industria ya cuenta con algunos mecanismos de este tipo, las tarifas de energía y adquisición son altas. Dado el alto consumo energético en instalaciones industriales, se evidencia la necesidad de alternativas para atender la demanda, y un enfoque investigativo controlado puede ser clave para abordar este problema.

Un sistema básico de energía fotovoltaica podría reducir costos de servicios municipales en ayuntamientos, además de abaratar sistemas de riego, la ganadería, la avicultura, y la electrificación de establos, comercios y servicios. También permitiría llevar electricidad a comunidades remotas y promover su desarrollo.

La construcción de un sistema de energía renovable y automatizado implica familiarizarse con conceptos eléctricos y electrónicos, distribución de señales, medición de voltajes, energía solar, instalación de celdas fotoeléctricas, y la programación de microcontroladores y Arduino. Se requiere comprender la comunicación entre dispositivos eléctricos para automatizar hogares y extraer datos valiosos. La garantía de un sistema siempre activo demanda numerosas pruebas y evaluaciones antes de implementar el proyecto final, que incluye etapas como instalación de equipo, programación de domótica, pruebas y puesta en marcha.

La instalación de equipos requiere conocimientos técnicos en paneles solares, ángulos de inclinación, capacidad de celdas según la demanda energética, configuración de controladores y capacidad de inversores para amplificar el voltaje. Esto garantiza la seguridad de los usuarios y la integridad de los dispositivos utilizados.

La programación de domótica y electrónica separa funciones de los usuarios para cuidar recursos, basándose en ahorro, eficiencia y generación energética. Esta automatización aísla los riesgos de la instalación eléctrica en el hogar y facilita tareas diarias, como la automatización del bombeo de agua, iluminación, seguridad con sensores y alarmas, cierre automático de puertas y optimización energética. Todas estas características de automatización se pueden controlar automáticamente a través de un panel central en lugar de manejarlas dispositivo por dispositivo.

2. METODOLOGÍA

2.1. MATERIALES

En el procedimiento para la energización de sistemas fotovoltaicos en viviendas, se utilizan varios materiales esenciales. Primero se emplea un conjunto de paneles solares adaptados según las necesidades de la vivienda, que pueden variar de 150 a 700 Watts para servicios como iluminación. Complementando el sistema, se utilizan dispositivos inversores de energía y baterías de ciclo profundo para convertir la corriente continua en corriente alterna y almacenar energía. Un regulador de carga solar controla el flujo de energía entre los paneles y las baterías, asegurando su recarga óptima. Además, se implementa un administrador domótico que gestiona los recursos, controlando sistemas de bombeo de agua, luces mediante sensores de presencia y registros de datos en bitácoras basados en Arduino y Raspberry Pi. Los sensores captan información del entorno para su procesamiento en sistemas electrónicos (Gruezo Valencia y Solis Mora, 2022). Estos materiales permiten una gestión eficiente y sostenible de la energía en las viviendas.

2.2. PREPARACIÓN

Se realiza una configuración de sistema fotovoltaico para la energización de los sistemas, compuesto por un conjunto de paneles solares según sea el grado de las necesidades de la vivienda en la producción eléctrica, que puede variar de acuerdo con los servicios que requiera como, por ejemplo: la iluminación básica de los 150 Watts hasta los 700 Watts (Diaz Olivares, 2012).

Este sistema lo complementan dispositivos como inversores de energía, baterías de ciclo profundo, así como fuentes de carga. Los dispositivos domóticos desarrollados se encargan de la administración de este sistema es decir tendrán la función de un administrador de recursos, dependiendo de las necesidades básicas de la vivienda, se realiza la configuración del sistema en las siguientes partes.

3. DESARROLLO

3.1. INSTALACIÓN DEL KIT SOLAR

Un conjunto solar fotovoltaico está compuesto por diversos elementos que le permitan operar como captador de energía. Las células solares son uno de estos componentes, y tienen la tarea de recibir toda la radiación solar posible para convertirla en electricidad de corriente continua (Molina González y Ruiz Gutierrez, 2005).

Es en este instante cuando los inversores, transforman esa corriente continua en corriente alterna lista para ser consumida en el hogar. En el caso de sistemas diseñados para autoconsumo, los inversores están conectados a la red eléctrica de la vivienda, como punto de partida en la distribución de la energía en el domicilio y son los encargados de suministrar energía a los sistemas domóticos, al bombeo de agua, a la refrigeración de alimentos, o a cualquier otro sistema necesario que se esté utilizando.

3.2. EL INVERSOR CA

El inversor de Corriente Alterna (CA) es el encargado de cambiar la corriente continua proveniente de los paneles solares en corriente alterna sinusoidal. Los convertidores pueden manejar tensiones de entrada de 12V, 24V o 48V cuando se utilizan en sistemas aislados, es decir, transforman ese voltaje en tensiones de 110v o 220v. Los que están diseñados para sistemas conectados a la red eléctrica, la tensión de entrada suele ser más alta, ya que se busca alcanzar tensiones más elevadas (Alexander y Sadiku, 2018). Para los propósitos de esta investigación, se optará por el sistema autónomo y sostenible, de modo que no haya dependencia del suministro de la red eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad.

3.3. CONTROLADOR

El controlador de carga solar es un componente electrónico que se coloca entre los paneles solares y las baterías. Su propósito es regular el flujo de energía que se dirige de los paneles hacia las baterías. Supervisa tanto la intensidad como el voltaje que estas reciben, con el objetivo de asegurar una recarga óptima que no dañe las baterías; también tiene la función de extender su vida útil (Gómez Caro, 2023).

Durante el proceso de carga de las baterías, se atraviesan tres etapas –bulk, absorción y flotación– de acuerdo con los niveles de carga. Este dispositivo se encarga de equilibrar y sincronizar estas fases en los momentos apropiados, todo esto para garantizar que la batería, un elemento delicado, no se deteriore prematuramente.

Otras funciones que tiene el regulador son:

- 1) Prevenir la descarga de las baterías durante la noche, cuando no reciben energía de los paneles solares.
- 2) Suministrar información completa sobre el sistema fotovoltaico, como el voltaje de las baterías, la cantidad de energía generada y el nivel de carga, entre otros datos.

- 3) Actuar como un mecanismo de protección contra descargas profundas cuando hay dispositivos que consumen corriente continua directamente de las baterías.

3.4. BATERÍAS DE CICLO PROFUNDO

Las baterías de ciclo profundo para sistemas solares almacenan energía para ser recargadas por fuentes de corriente eléctrica a través de instalaciones fotovoltaicas. Acumulan esta energía para su uso durante la noche o en ausencia de otras fuentes de energía (Villao Miranda et al., 2021). La principal diferencia entre las baterías de ciclo profundo para sistemas solares y las de ciclo corto radica en su aplicación.

En sistemas de iluminación, las cargas aplicadas a las baterías suelen ser pequeñas en comparación con su capacidad total. Aquí se utiliza energía por debajo de la capacidad del acumulador. Por ejemplo, una batería de 65 amperios consume 6 amperios en 10 horas. Esto es por lo que se llaman baterías de ciclo profundo, ya que pueden descargarse hasta un 90%. Están diseñadas para descargarse casi por completo y perder regularmente entre el 50% y el 80% de su capacidad. Estas baterías son las que alimentarán los sistemas de iluminación y servicios básicos en el hogar, cargadas por los paneles solares a lo largo del día.

3.5. ADMINISTRADOR DOMÓTICO RASPBERRY PI

Una Raspberry Pi es un dispositivo del tamaño de una tarjeta de crédito, compuesto por una placa base que integra diversos componentes de una computadora como un procesador ARM de hasta 1500 MHz, una unidad gráfica y una memoria RAM de hasta 8 GB (Silvente Niñirola et al., 2019). Este equipo brinda versatilidad al proyecto ya que, además de ser un ordenador compacto, ofrece la capacidad de supervisar otros dispositivos inteligentes, al igual que Arduino, pero desde la perspectiva de una interfaz de usuario.

Este dispositivo es una selección de herramientas que supervisará la residencia, su objetivo es gestionar los recursos generados por el sistema solar, administrar la energía eléctrica según las necesidades del hogar, como ejemplo, supervisar el sistema de bombeo de agua en base a mediciones del indicador de almacenamiento, controlar la iluminación nocturna y diurna; será programado de acuerdo con las condiciones de luminosidad de la casa usando sensores de presencia (Sarmiento Montenegro, 2019).

3.6. BITÁCORAS

Cuando el sistema esté operando, será necesario tener un registro capaz de recolectar información de diversos usos de los dispositivos y permitir la visualización de los perfiles de la residencia y sus habitantes (López Pérez y Méndez Díaz, 2023). Para lograr esto, se creará un aparato basado en Arduino que, a su vez, capturará todos los datos recopilados por los sensores y los almacenará en una base de datos de código abierto.

3.7. ARDUINO Y MICROCONTROLADORES

Arduino se emplea como un microcontrolador cuando posee un programa cargado desde una computadora y opera de manera autónoma, dirigiendo y alimentando dispositivos específicos y tomando decisiones conforme al programa descargado, mientras interactúa con el entorno físico mediante sensores y actuadores (Silvente Niñirola et al., 2019).

Los microcontroladores son el núcleo del sistema de automatización del hogar. Se utilizan para programar y controlar dispositivos, sistemas y procesos en el hogar, como la iluminación, la climatización, las persianas, la gestión de energía y otros dispositivos domésticos. Permiten automatizar tareas diarias y crear escenarios personalizados para mejorar la comodidad y eficiencia del hogar. Actúan como el procesador del sistema domótico, permitiendo la comunicación y coordinación entre diferentes dispositivos y sensores. Esto facilita la creación de un ecosistema de dispositivos interconectados que pueden trabajar juntos de manera inteligente y eficiente, también se encargan de recopilar datos de sensores de temperatura, luz, movimiento y el sensor de corriente. Luego, estos datos se pueden procesar, almacenar y transmitir a través de redes de comunicación como Wi-Fi o Ethernet, para que los usuarios puedan monitorear y controlar el sistema de forma remota a través de dispositivos móviles u ordenadores.

3.8. SENsoRES

Es un dispositivo diseñado para captar una señal de su entorno y traducir esa información que recibe. Esta información captada se transforma normalmente en un impulso eléctrico que luego es procesado por una serie de circuitos que generan una acción previamente establecida en un aparato, sistema o máquina (Silva Montero, 2019). Es un artefacto que en algunas aplicaciones convierte un tipo de información en otro que se desea medir o controlar.

Los sensores utilizados en la instalación son versátiles, respondiendo a cambios en las condiciones físicas alterando sus propiedades eléctricas. Como resultado, estos dispositivos industriales dependen en gran medida de sistemas electrónicos para capturar, analizar y transmitir información sobre el entorno doméstico.

Los sensores de temperatura monitorizan constantemente las variaciones climáticas en el hogar, permitiendo un control preciso del sistema de climatización. Los sensores de la bomba de agua supervisan la disponibilidad de agua y su uso eficiente, garantizando un suministro adecuado sin desperdicio. Los sensores de luz regulan la iluminación de manera inteligente, adaptándola a la luz natural y al horario del día. Por último, los sensores sónicos detectan la presencia de personas en diferentes áreas de la casa, lo que permite activar o desactivar dispositivos y sistemas automáticamente según las necesidades.

Este sistema electrónico opera en base a los principios de los circuitos eléctricos, lo que resalta la importancia de gestionar el flujo de energía eléctrica de manera eficiente. Por lo tanto, un sensor convierte estímulos como el calor, la luz, el sonido y el movimiento en señales eléctricas. Estas señales se transmiten a través de una interfaz que las convierte en un código binario y las envía a una computadora para su procesamiento.

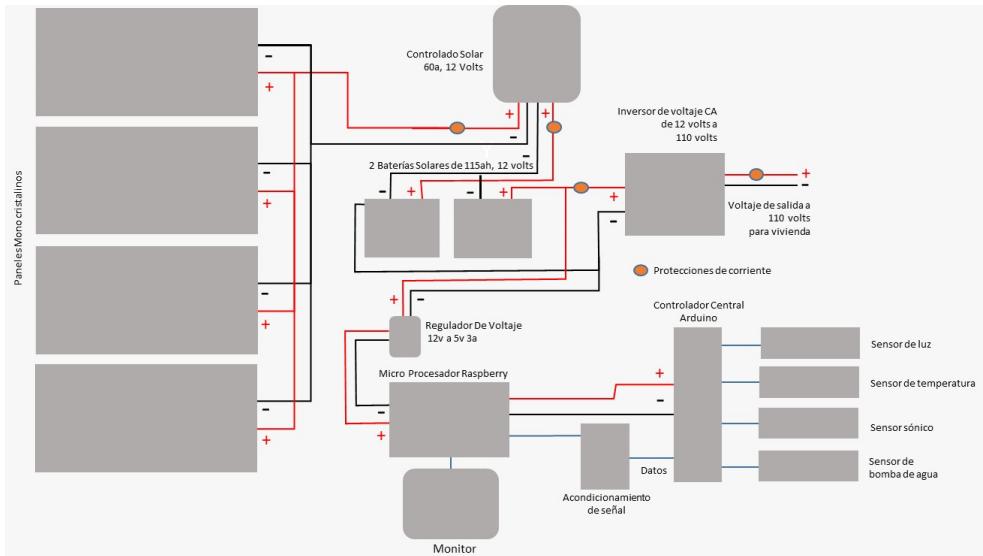
3.9. ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL

Se utiliza para la adquisición y procesamiento de señales eléctricas o electrónicas, que tiene como objetivo mejorar la calidad y la precisión de una señal antes de su uso. Esto implica ajustar, filtrar, amplificar, atenuar o modificar la señal en función de las necesidades específicas de la aplicación. El acondicionamiento de señal se utiliza comúnmente para eliminar el ruido, amplificar señales débiles, adaptar niveles de voltaje, convertir señales analógicas en digitales, y asegurar que la señal esté dentro de los rangos adecuados para su procesamiento (López Pérez y Méndez Díaz, 2023).

Este proceso asegura que la señal eléctrica cruda, que podría ser ruidosa o inadecuada para su medición directa, sea preparada antes de ser registrada por el Arduino hacia el Raspberry Pi. Los sensores que incluye el acondicionamiento de señal convierten la información eléctrica en una señal que puede ser interpretada por el sistema de adquisición de datos. Se genera una señal analógica proporcional a la corriente eléctrica en el circuito. La medición se realiza a través del Arduino hacia el Raspberry Pi, el Arduino está encargado de acondicionar la señal antes de transmitirla al Raspberry Pi.

A continuación, en la Figura 1, se muestra un diagrama de conexión de los componentes previamente mencionados:

Figura 1. Diagrama de instalación del sistema domótico con energía fotovoltaica.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PRIMEROS RESULTADOS

En este estudio, se realizó una comparación mensual del consumo de kWh en dos condominios distintos, uno alimentado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y otro equipado con el sistema domótico de energía fotovoltaica. Esta concentración de datos analiza las diferencias en el consumo eléctrico entre ambas instalaciones y evalúa la eficiencia de la generación de energía solar. La medición del consumo de energía se realizó de manera simultánea en ambos condominios durante el año 2022, abarcando todos los meses del año.

En dicha medición se emplearon medidores de energía eléctrica, en el condominio suministrado por CFE se recopilaron los registros generados por la misma empresa mensualmente. En el condominio con el sistema domótico de energía fotovoltaica se realizó la medición utilizando el acondicionamiento de señal que convierte la información eléctrica en una señal que es interpretada por el sistema de adquisición de datos y que se registra en las bitácoras.

Se efectuaron mediciones mensuales del consumo de energía. Esto implicó registrar el valor total de kWh consumidos en cada condominio al final de cada mes. Se registraron las condiciones climáticas relevantes para evaluar su posible influencia en la generación de energía fotovoltaica. Esto incluyó datos de radiación solar, temperatura y condiciones meteorológicas generales.

Se recopilaron los datos de consumo mensual de kWh para ambos condominios a lo largo del año 2022. Se compararon los datos de consumo mensual entre el condominio alimentado por CFE y el condominio con energía fotovoltaica. Se calcularon las diferencias relativas y absolutas en el consumo de energía eléctrica. Se evaluó el rendimiento del sistema fotovoltaico instalado en el condominio con paneles solares. Esto incluyó el cálculo de la energía generada por el sistema y su comparación con el consumo del condominio. Se consideraron los datos climáticos y meteorológicos para comprender cómo las condiciones ambientales afectaron la generación de energía fotovoltaica. Los resultados específicos de esta medición variarán según las características individuales de cada condominio y su sistema fotovoltaico, así como las condiciones climáticas locales.

De acuerdo con lo observado en la Figura 2. El consumo de energía eléctrica en las instalaciones de la Comisión Federal de Electricidad se mantuvo constantemente en un nivel similar al promedio de una vivienda residencial. Sin embargo, tras la implementación de un sistema de energía fotovoltaica, se observó una notable reducción de aproximadamente el 25% en el consumo de energía eléctrica. Esta disminución es aún más significativa cuando se analiza desde una perspectiva financiera, ya que mientras el uso de la energía eléctrica generaba costos recurrentes por parte de la Comisión Federal de Electricidad, el aprovechamiento de la energía solar no conlleva ningún costo operativo directo.

Es importante destacar que este análisis se enfoca en la comparación de kilowatts consumidos y su impacto económico inmediato. Sin embargo, es relevante mencionar que esta evaluación no considera los aspectos relacionados con la inversión inicial para la instalación del sistema fotovoltaico ni los gastos de mantenimiento anuales. Estos factores también son esenciales para tener una comprensión completa de los beneficios y costos asociados con la transición hacia el uso de fuentes de energía renovable en lugar de depender exclusivamente de la red eléctrica tradicional. Los resultados específicos de esta medición variarán según las características individuales de cada condominio y su sistema fotovoltaico, así como las condiciones climáticas locales.

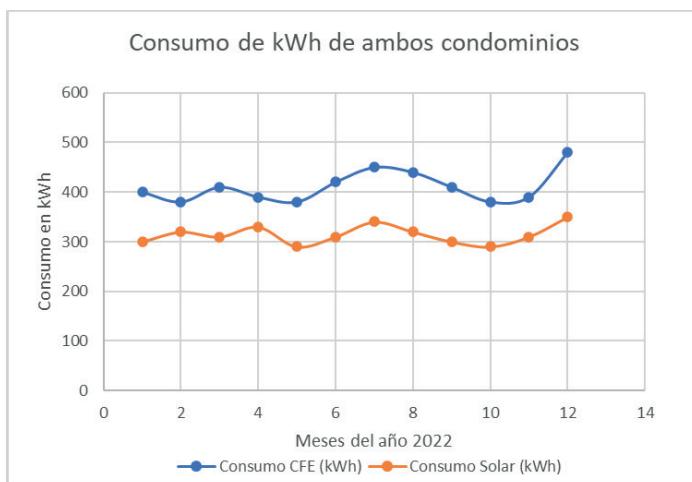
En la Figura 2, se muestra una tabla mostrando el consumo eléctrico mensual de una casa y la generación solar correspondiente a cada mes. Se puede observar que, incluso en los meses de mayor consumo eléctrico y durante eventos climáticos extremos, como enero y agosto, el sistema de energía solar sigue generando energía, lo que demuestra la capacidad de garantizar un suministro continuo de energía para necesidades básicas en momentos de alta demanda o posibles apagones.

Figura 2. Tabla que muestra el consumo de energía eléctrica en una casa habitación donde se realizó la instalación en el año 2022.

Mes	Consumo CFE (kWh)	Costo CFE	Consumo Solar (kWh)	Costo solar
Enero	400	800	300	0
Febrero	380	760	320	0
Marzo	410	820	310	0
Abril	390	780	330	0
Mayo	380	760	290	0
Junio	420	840	310	0
Julio	450	900	340	0
Agosto	440	880	320	0
Septiembre	410	820	300	0
Octubre	380	760	290	0
Noviembre	390	780	310	0
Diciembre	480	960	350	0
Total anual	4930	9860	3770	0

La Figura 3, presenta un análisis visual de los datos obtenidos de la tabla que muestra el consumo de energía eléctrica en una casa habitación donde se realizó la instalación en el año 2022. Esta gráfica ofrece una representación clara de cómo el sistema de energía solar responde a las variaciones estacionales y climáticas a lo largo del año. A través de un periodo de tiempo en el eje X y valores en kWh en el eje Y, permite entender mejor la dinámica de generación y consumo de energía en el hogar analizado.

Figura 3. Consumo de energía eléctrica en kWh en una instalación convencional y una instalación fotovoltaica en el año 2022.



4.2. SEGUNDOS RESULTADOS

De acuerdo con lo mostrado en la Figura 4. La tabla muestra un desglose del presupuesto en pesos mexicanos para instalar los elementos mencionados en una casa habitación.

Figura 4. Presupuesto para instalar. Los costos son aproximados y pueden variar según la marca, calidad y proveedor de los productos.

Elemento	Unidades requeridas	Costo unitario	Costo en pesos mexicanos
Kit solar e instalación	1	\$ 20,000.00	\$ 20,000.00
Inversor CA	1	\$ 8,000.00	\$ 8,000.00
Regulador	1	\$ 2,500.00	\$ 2,500.00
Baterías de ciclo profundo	2	\$ 6,000.00	\$ 12,000.00
Bitácoras	1	\$ 500.00	\$ 500.00
Arduino	1	\$ 1,200.00	\$ 1,200.00
Raspberry Pi	1	\$ 1,500.00	\$ 1,500.00
Acondicionamiento de señal	1	\$ 4,000.00	\$ 4,000.00
Sensor de temperatura	2	\$ 300.00	\$ 600.00
Sensor de bomba de agua	2	\$ 200.00	\$ 400.00
Sensor de luz	2	\$ 200.00	\$ 400.00
Sensor sónico	4	\$ 100.00	\$ 400.00
Monitor	1	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00
Costo del mantenimiento anual	6	\$ 600.00	\$ 3,600.00
Total			\$ 58,100.00

Para calcular el tiempo de justificación de la instalación fotovoltaica, primero se necesita determinar la diferencia de costos anuales entre continuar con el servicio de Comisión Federal de Electricidad (CFE) y utilizar la instalación solar.

$$\text{Diferencia de costos anuales} = \text{Costo de CFE} - \text{Costo de mantenimiento anual}$$

$$\text{Diferencia de costos anuales} = 9860 \text{ MXN} - 600 \text{ MXN} \text{ (Costo de mantenimiento anual presupuestado)}$$

$$\text{Diferencia de costos anuales} = 9260 \text{ MXN}$$

$$\text{Tiempo de justificación} = \text{Costo de instalación} / \text{Diferencia de costos anuales}$$

$$\text{Tiempo de justificación} = 58,100 \text{ MXN} / 9260 \text{ MXN/año}$$

$$\text{Tiempo de justificación} \approx 6.27 \text{ años}$$

Por lo tanto, la instalación fotovoltaica se justifica en aproximadamente 6.27 años en comparación con el servicio de CFE.

4.3. TERCEROS RESULTADOS

La Figura 5, presenta información sobre el impacto ambiental del consumo eléctrico de una casa habitación utilizando energía de la Comisión Federal de

Electricidad (CFE). Se evidencia que esta fuente de energía conlleva una serie de efectos negativos para el entorno, como la emisión significativa de dióxido de carbono (CO₂), el consumo de recursos fósiles no renovables, el uso intensivo de agua y la generación de residuos. Estos indicadores reflejan una considerable contaminación ambiental y una dependencia de recursos finitos. En contraste, la utilización de energía solar a través de una instalación fotovoltaica en una casa habitación resulta preferible. Las instalaciones fotovoltaicas aprovechan la radiación solar para generar electricidad de manera limpia y renovable, lo que reduce drásticamente las emisiones de CO₂ y minimiza la explotación de recursos no renovables. Además, al requerir poca o ninguna agua en su operación y generar residuos mínimos, las instalaciones fotovoltaicas presentan un enfoque sostenible y responsable hacia la generación de energía, contribuyendo de manera significativa a la preservación del medio ambiente y a la mitigación del cambio climático.

Figura 5. Impacto ambiental del consumo eléctrico de una casa habitación.

Tipo de impacto	Indicador Ambiental	Valor	Unidad de Medida
Emisiones de CO₂	Emisiones de CO ₂ por consumo	1.5 toneladas	Toneladas CO ₂ /año
Consumo de recursos	Consumo de recursos fósiles	1200 litros	Litros de petróleo/año
Uso de agua		9000 litros	Litros de agua/año
Generación de residuos	Residuos generados por embalajes	20 kg	Kilogramos/año
Contaminación del aire	Emisiones de partículas	15 gramos	Gramos/año

4.4. ÚLTIMOS RESULTADOS

En la Figura 6, se muestra una tabla donde se comparan los indicadores ambientales entre el consumo eléctrico proveniente de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y el uso de una instalación fotovoltaica en una casa habitación. La instalación fotovoltaica elimina por completo las emisiones de CO₂ y el consumo de recursos fósiles, reduciendo drásticamente el impacto ambiental. Además, se necesita muy poca agua para mantener y limpiar los paneles solares en comparación con el consumo de agua asociado a la generación eléctrica tradicional. También se evitan los residuos generados por embalajes y otros procesos asociados a la generación convencional de electricidad.

Figura 6. Beneficios ambientales de utilizar una instalación fotovoltaica en una casa habitación.

Indicador Ambiental	Consumo Eléctrico de CFE	Uso de Instalación Fotovoltaica
Emisiones de CO2 (kg/año)	1500	0
Consumo de recursos (litros de petróleo/año)	1200	0
Uso de agua (litros/año)	9000	100
Generación de residuos (kg/año)	20	0

4.5. TRABAJO A FUTURO

El proyecto representa un paso significativo hacia la eficiencia energética y la adopción de tecnologías sostenibles en entornos urbanos. Sin embargo, queda un trabajo importante por hacer en el ámbito de las comunidades rurales, donde el acceso limitado a la energía eléctrica sigue siendo un desafío. Es importante desarrollar estrategias adaptadas a las condiciones rurales, considerando factores como la infraestructura local, la capacitación comunitaria y la disponibilidad de recursos. Además, se requiere una colaboración cercana con los habitantes de estas comunidades para garantizar la viabilidad, el mantenimiento adecuado y la gestión de las instalaciones fotovoltaicas, contribuyendo así a mejorar la calidad de vida y fomentar el desarrollo sostenible en estas áreas.

Se requiere un análisis exhaustivo de las necesidades específicas de cada comunidad, considerando factores como la ubicación geográfica, la demanda energética, la educación local y la participación comunitaria. Además, es esencial establecer alianzas con organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, así como con empresas del sector privado, para garantizar el financiamiento, la logística eficiente y la transferencia de conocimientos. La capacitación local en la operación y el mantenimiento de las instalaciones es también un componente crítico para asegurar la sostenibilidad a largo plazo. Llevar estas instalaciones fotovoltaicas a más comunidades rurales no solo promoverá el acceso equitativo a la energía, sino que también impulsará el desarrollo económico, la resiliencia y la mejora en la calidad de vida de aquellos que han estado históricamente excluidos de este recurso fundamental.

5. CONCLUSIONES

En conclusión, este artículo destaca las múltiples razones para considerar la implementación de un sistema autónomo y sustentable basado en energía renovable,

especialmente en viviendas de zonas rurales con condiciones adversas donde la infraestructura eléctrica es limitada o inexistente. El proyecto propuesto busca proporcionar un ambiente controlado y automatizado, optimizando el uso de recursos según las necesidades de los habitantes.

El enfoque de energía renovable fotovoltaica en sistemas domóticos ofrece beneficios significativos, tanto para el medio ambiente como para los usuarios. La utilización de energías limpias contribuye al cuidado del entorno, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y promoviendo un futuro más sustentable. Además, ayuda a la economía de los ciudadanos al amortizar el incremento de las tarifas eléctricas y ofrece una solución asequible para comunidades remotas y zonas rurales.

En el ámbito industrial, el proyecto beneficia a las empresas al permitirles desarrollar y explotar recursos de manera controlada y eficiente. La implementación de sistemas autónomos y automatizados en la industria contribuiría a reducir los altos costos asociados con las tarifas eléctricas tradicionales.

La preparación y construcción de este tipo de sistema requiere un enfoque técnico, que abarca desde la instalación de paneles solares, inversores y baterías de ciclo profundo, hasta la programación de microcontroladores como Arduino y Raspberry Pi para la automatización y el control inteligente de recursos. Es esencial contar con conocimientos en electricidad, electrónica y sistemas fotovoltaicos para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.

La metodología propuesta detalla el uso de materiales específicos, como paneles solares, inversores, baterías y controladores, para lograr una gestión óptima y sostenible de la energía en las viviendas. Además, se destaca el papel del administrador domótico, que se encarga de la administración de los recursos y la automatización de tareas como el bombeo de agua, la iluminación y la seguridad mediante sensores de presencia y alarmas.

El uso de bitácoras basadas en Arduino permitiría recopilar y almacenar datos útiles para optimizar el funcionamiento del sistema. Además, se menciona la importancia de sensores, dispositivos que captan estímulos del entorno y los traducen en información útil para el sistema.

6. AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento por el valioso apoyo y las contribuciones que han hecho posible la realización de este proyecto y la creación de este artículo. En primer lugar, deseo agradecer al Tecnológico Nacional de México y al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán por proporcionarme el entorno y los recursos necesarios para llevar

a cabo esta investigación. Asimismo, extiendo mi gratitud a mis estimados compañeros de equipo, cuya dedicación y colaboración han sido fundamentales; su compromiso y esfuerzo colectivo han contribuido de manera significativa a cada etapa del proceso.

REFERENCIAS

- Alexander, C. K., & Sadiku, M. N. (2018). *Fundamentos de circuitos eléctricos*. MC Graw-Hill.
- Cuesta Ledesma, J. B. (2021). *Diseño de solución de energía fotovoltaica para viviendas indígenas del Vaupés*. Corporación Universidad de la Costa.
- Díaz Olivares, J. C. (2012). *La ingeniería en edificios de alta tecnología: criterios de diseño, proyectos y puesta en servicio*. MC Graw-Hill.
- Gómez Caro, D. F. (2023). *Herramienta operativa de instalación y buenas prácticas de equipos y elementos conductores de energía eléctrica en sistemas solares fotovoltaicos distribuidos considerando lineamientos establecidos en la normatividad del sistema eléctrico colombiano*. Universidad Libre de Colombia.
- Gruezo Valencia, D. F., & Solis Mora, V. S. (2022). Inversores inteligentes de energía solar fotovoltaica. *Revista Científico-Académica Multidisciplinaria*. Casa Editora del Polo.
- López Pérez, E. A., & Méndez Díaz, J. F. (2023). *Propuesta de componentes para un sistema híbrido fotovoltaico interconectado a la red, en pozo agrícola Oriental, Puebla*. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar.
- Molina González, L., & Ruiz Gutierrez, J. M. (2005). *Instalaciones automatizadas en viviendas y edificios*. MC Graw-Hill.
- Sarmiento Montenegro, I. (2019). *Desarrollo e implementación de un sistema domótico basado en software libre para una vivienda unifamiliar*. Universidad de Cantabria.
- Silva Montero, J. P. (2019). Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. *Centro de investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas*. Gobierno de España.
- Silvente Niñirola, G., Molina-García, A., & Mateo Aroca, A. (2019). *Sistemas de bajo coste para la monitorización de instalaciones fotovoltaicas: aplicación de Arduino y Raspberry Pi*. 23rd International Congress on Project Management and Engineering.
- Villao Miranda, O. J., Consuegra Mite, E. R., & Silva Becherán, J. M. (2021). *Dimensionamiento óptimo de un sistema fotovoltaico a través de herramientas computacionales en zonas aisladas*. Universidad Politécnica Salesiana Ecuador.

SOBRE O ORGANIZADOR

Xosé Somoza Medina (1969, Ourense, España) Licenciado con Grado y premio extraordinario en Geografía e Historia por la Universidad de Santiago de Compostela (1994). Doctor en Geografía e Historia por la misma universidad (2001) y premio extraordinario de doctorado por su Tesis “Desarrollo urbano en Ourense 1895-2000”. Profesor Titular en la Universidad de León, donde imparte clases desde 1997. En la Universidad de León fue Director del Departamento de Geografía entre 2004 y 2008 y Director Académico de la Escuela de Turismo entre 2005 y 2008. Entre 2008 y 2009 ejerció como Director del Centro de Innovación y Servicios de la Xunta de Galicia en Ferrol. Entre 2007 y 2009 fue vocal del comité “Monitoring cities of tomorrow” de la Unión Geográfica Internacional. En 2012 fue Director General de Rehabilitación Urbana del Ayuntamiento de Ourense y ha sido vocal del Consejo Rector del Instituto Ourensano de Desarrollo Local entre 2011 y 2015. Ha participado en diversos proyectos y contratos de investigación, en algunos de ellos como investigador principal, con temática relacionada con la planificación urbana, la ordenación del territorio, las nuevas tecnologías de la información geográfica, el turismo o las cuestiones demográficas. Autor de más de 100 publicaciones relacionadas con sus líneas de investigación preferentes: urbanismo, turismo, gobernanza, desarrollo, demografía, globalización y ordenación del territorio. Sus contribuciones científicas más importantes se refieren a la geografía urbana de las ciudades medias, la crisis del medio rural y sus posibilidades de desarrollo, la evolución del turismo cultural como generador de transformaciones territoriales y más recientemente las posibilidades de reindustrialización de Europa ante una nueva etapa posglobalización. Ha participado como docente en masters y cursos de especialización universitaria en Brasil, Bolivia, Colombia, Paraguay y Venezuela y como docente invitado en la convocatoria Erasmus en universidades de Bulgaria (Sofia), Rumanía (Bucarest) y Portugal (Porto, Guimarães, Coimbra, Aveiro y Lisboa). Ha sido evaluador de proyectos de investigación en la Agencia Estatal de Investigación de España y en la Organización de Estados Iberoamericanos (OEI). Como experto europeo en Geografía ha participado en reuniones de la Comisión Europea en Italia y Bélgica. Impulsor y primer coordinador del proyecto europeo URBACT, “come Ourense”, dentro del Programa de la Unión Europea “Sostenibilidad alimentaria en comunidades urbanas” (2012-2014). Dentro de la experiencia en organización de actividades de I+D+i se pueden destacar la organización de diferentes reuniones científicas desarrolladas dentro de la Asociación de Geógrafos Españoles (en 2002, 2004, 2012 y 2018).

ÍNDICE REMISSIVO

A

Análisis de variogramas 40
Arquitectura 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 61, 62, 65, 68

C

Ceramic applicator 82, 83, 84, 87, 88, 89, 90, 91
Chícharo (*Pisum sativum*) 72, 73, 74, 76
Comb applicator 82, 83, 84, 85, 86, 87, 89, 90, 91
Conservación genética 17, 21, 24
Copilot 54, 55, 58, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 69, 71
Curvas de secado 73, 76, 78, 79

D

DeepSeek 54, 55, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71
Diabetes Mellitus tipo 2 54, 55, 56

E

Eficiencia productiva 27
Energía 73, 77, 79, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108

F

Fotovoltaica 93, 94, 95, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108

I

IA en salud 55
Innovación agropecuaria 27

K

Kriging ordinario 40, 45, 46, 49, 50

L

LLMs 55, 57, 61

M

Mapeo de combustibles 40, 49

Microwave 82, 87

P

Periodo formativo 1, 2, 6, 8, 11, 14, 15

Producción extensiva 17, 19, 20, 23, 25

R

Redes Neuronales Convolucionales 55, 65, 70

Región pampeana 27, 28, 29, 30, 38, 39

Renovable 94, 95, 102, 105, 106, 107

S

Secador de lecho fluidizado 72, 73, 81

Sistemas productivos 23, 27

Slow wave 82, 83, 92

Soil microwave treatment 82

T

Tecnología constructiva 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 13, 14, 15, 16

Tecnología frutícola 27

V

Valor agregado comunitario 17

Velocidad mínima de fluidización 73, 75, 77, 78

Vivienda 16, 94, 96, 97, 102, 108

