

Ciência e Tecnologia

Para o Desenvolvimento
Ambiental, Cultural
e Socioeconômico

Xosé Somoza Medina
(organizador)

VOL VI

 EDITORA
ARTEMIS
2025

Ciência e Tecnologia

Para o Desenvolvimento Ambiental, Cultural e Socioeconômico

Xosé Somoza Medina
(organizador)

VOL VI

 EDITORA
ARTEMIS
2025



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	Prof. ^a Dr. ^a 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
Imagem da Capa	peacestock/123RF
Bibliotecário	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

Prof.^a Dr.^a 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.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba, Brasil
Prof.^a Dr.^a Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof.^a Dr.^a Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru
Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.^a Dr.^a Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México
Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal
Prof.^a Dr.^a 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.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão, Brasil
Prof.^a Dr.^a Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará, Brasil
Prof.^a Dr.^a Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México
Prof.^a Dr.^a 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. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima, Brasil
Prof.^a Dr.^a Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México

Prof.^a Dr.^a 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 Díaz 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 Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío*, Chile
 Prof.^a Dr.^a Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil
 Prof. Me. Javier Antonio Alborno, *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 Godínez, Universidad Autónoma de Baja California, México
 Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Díaz, 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 Livia 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 M^ªGraça 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 Pais 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. Sérgio 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 VI [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 978-65-81701-51-2

DOI 10.37572/EdArt_290525512

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

CDD 363.7

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



PRÓLOGO

La ciencia y la tecnología siguen siendo fuerzas impulsoras de las transformaciones sociales, culturales y ambientales de nuestro tiempo. Al mismo tiempo que responden a desafíos urgentes del presente, también iluminan caminos hacia futuros más sostenibles, más justos e inteligentes. Esta recopilación nace precisamente de ese impulso: el de pensar, crear y proponer soluciones a partir de la investigación científica y la innovación tecnológica, en diálogo con las realidades locales y los contextos globales.

Reunimos en ***Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Ambiental, Cultural e Socioeconômico VI*** artículos de investigadores e investigadoras de distintas partes del mundo, comprometidos con la producción de un conocimiento riguroso, interdisciplinario y sensible a la complejidad de los temas contemporáneos. Los trabajos presentados abordan una amplia gama de cuestiones – desde la nanotecnología hasta la agricultura de precisión, desde la física aplicada hasta la expresión lingüística – conformando un panorama diverso que refleja los múltiples caminos de la ciencia en el siglo XXI.

Organizados en cuatro ejes temáticos – *Tecnología e Innovación en Salud e Industria, Ingeniería, Física Aplicada y Recursos Naturales, Sustentabilidad Agrícola y Transformaciones Climáticas, y Lenguaje, Cognición y Expresión Científica* – los textos aquí reunidos nos invitan a reflexionar sobre preguntas centrales de nuestro tiempo: ¿Cómo garantizar el acceso equitativo a las nuevas tecnologías médicas? ¿Cómo integrar soluciones de ingeniería a las urgencias ambientales? ¿De qué manera puede el avance agrícola responder al cambio climático sin agotar los recursos naturales? ¿Y cómo influye el lenguaje en la forma en que comprendemos y comunicamos el conocimiento científico?

Más que ofrecer respuestas definitivas, esta obra propone caminos para la reflexión y la acción, abriendo espacio para nuevas investigaciones, debates y colaboraciones. Cada autor y autora aporta una perspectiva única, y juntas estas voces amplían nuestra comprensión del papel transformador de la ciencia y la tecnología en el mundo contemporáneo.

Que este nuevo libro sea, para lectoras y lectores, una invitación a la curiosidad crítica, al pensamiento creativo y a la construcción de futuros posibles. Agradecemos a todos los involucrados por su confianza, dedicación y generosidad intelectual.

Xosé Somoza Medina

Universidad de León, Espanha

SUMÁRIO

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM SAÚDE E INDÚSTRIA

CAPÍTULO 1..... 1

NAVEGANDO LOS DESAFÍOS EN LA NANOMEDICINA: ÉTICA, ACCESO Y PARTICIPACIÓN PÚBLICA

Jade Cristi Rivera Rossi

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2905255121

CAPÍTULO 2..... 7

APLICACIÓN DE LA ELECTRICIDAD Y LA ELECTRÓNICA EN LA INGENIERÍA INDUSTRIAL: INTEGRACIÓN DE SENSORES, ELECTRO-NEUMÁTICA Y CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES

Miguel Ángel Quiroz García

María del Carmen Nolasco Mata

Marycarmen Arana Altamirano

Violeta del Rocío Hernández Campos

Raymundo Escalante Wong

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2905255122

ENGENHARIA, FÍSICA APLICADA E RECURSOS NATURAIS

CAPÍTULO 3..... 21

SOLUCIÓN A LA ECUACIÓN DE ONDA PROPAGADA RADIALMENTE PARA EL CAMPO ELÉCTRICO EN COORDENADAS CILÍNDRICAS

Esteban Andrés Zárate

Mateo Márquez Arias

Israel Benjamín Sánchez Jiménez

Quintiliano Angulo Córdova

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2905255123

CAPÍTULO 4..... 31

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO, DURANTE UNA QUEMA PRESCRITA

José German Flores-Garnica

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2905255124

CAPÍTULO 5..... 46

DIAGNÓSTICO EXPERIMENTAL DO PROBLEMA DE REBAIXAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO DE BISKRA (ARGÉLIA)

Abderrahmane Noui

Zineb Guesbaya

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2905255125

SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA E TRANSFORMAÇÕES CLIMÁTICAS

CAPÍTULO 6..... 60

BREEDING DROUGHT RESISTANCE AND HEAT TOLERANCE TO MITIGATE CLIMATIC CHANGE EFFECTS ON CROPS

Cándido López-Castañeda

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2905255126

CAPÍTULO 7 68

CULTIVARES DE COENTRO FERTILIZADO COM A MISTURA DE ADUBOS ORGÂNICOS INCORPORADO AO SOLO NA REGIÃO SEMIÁRIDA 68

Paulo César Ferreira Linhares

Patrício Borges Maracajá

Aline Carla de Medeiros

José Nilson de Matos Fernandes

Lunara de Sousa Alves

Karen Geovana da Silva Carlos

Joaquim Odilon Pereira

Walter Martins Rodrigues

Fagno Dallino Rolim

Sonally Yasnara Sarmento Medeiros Abrantes

Ordânio Pereira de Almeida

Maria Eduarda Sarmento Medeiros Abrantes

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2905255127

CAPÍTULO 8.....82

ADUBAÇÃO ORGÂNICA COM FLOR-DE-SEDA (*Calotropis procera*) EM ADIÇÃO COM ESTERCO BOVINO NA PRODUÇÃO DE RABANETE

Paulo César Ferreira Linhares

Lunara de Sousa Alves

Wyara Ferreira Melo

Aline Carla de Medeiros
Joaquim Odilon Pereira
Walter Martins Rodrigues
Karen Geovana da Silva Carlos
Sonally Yasnara Sarmiento Medeiros Abrantes
Maria Eduarda Sarmiento Medeiros Abrantes
Andressa Pedroza Pereira da Silva
Ordânio Pereira de Almeida
Fagno Dallino Rolim
Francisco Andesson Bezerra da Silva

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2905255128

CAPÍTULO 9.....92

AGRICULTURA DE PRECISÃO E FORMAÇÃO DIGITAL: O PAPEL TRANSFORMADOR DOS AGRICULTORES NO PROJETO HIBA

Elsa da Piedade Chinita Soares Rodrigues

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2905255129

CAPÍTULO 10.....107

INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN LA TRANSFERENCIA DE MATERIA EN ZANAHORIAS COCIDAS

Oscar Daniel Galvez
Mariela Beatriz Maldonado
Juan Ignacio González Pacheco

 https://doi.org/10.37572/EdArt_29052551210

LINGUAGEM, COGNIÇÃO E EXPRESSÃO CIENTÍFICA

CAPÍTULO 11..... 116

THE EXPRESSION TECHNIQUES OF “IRREVOCABLE SADNESS” AND “INVISIBILITY”: BRAUTIGAN’S POETICS AS UNVERBALIZED ABSENCE THE SYMBOLIC FUNCTION OF SPECIFIC NUMBERS (3003, 45, 33) AND THE INTERSECTION OF CYCLICAL TIME, ETERNAL PRESENT, AND POETIC NUMEROLOGY IN WORKS FROM EARLY “THE MARBLE TEA” TO FINAL “SO THE WIND WON’T BLOW IT ALL AWAY” (AMERICAN LITERARY TRENDS 1950S-1980S)

Yasuko Kawahata

 https://doi.org/10.37572/EdArt_29052551211

CAPÍTULO 12138

FROM “NAI” (“NOT”) TO “MIRU” (“TO SEE”): AN ANALYSIS OF THE MULTI-LAYERED
STRUCTURE OF LINGUISTIC RHYTHMS – TRACING THE FORMATION OF THE
DIGITAL PUBLIC SPHERE AND SOCIAL SYNCHRONIZATION PHENOMENA THROUGH
BASIC JAPANESE VOCABULARY FROM JANUARY 2011 TO MARCH 2015 –

Yasuko Kawahata



https://doi.org/10.37572/EdArt_29052551212

SOBRE O ORGANIZADOR..... 161

ÍNDICE REMISSIVO162

CAPÍTULO 1

NAVEGANDO LOS DESAFÍOS EN LA NANOMEDICINA: ÉTICA, ACCESO Y PARTICIPACIÓN PÚBLICA

Data de submissão: 18/04/2025

Data de aceite: 12/05/2025

Jade Cristi Rivera Rossi

Consejo Superior de
Investigaciones Científicas
Vicepresidencia Adjunta de
Áreas Científico-Técnicas
Dra. Filosofía y Lógica de la Ciencia
Madrid-España

<https://orcid.org/0000-0001-7433-962X>

RESUMEN: La Nanomedicina es una disciplina relativamente reciente, pero con un futuro prometedor para el desarrollo de una medicina más personalizada. No obstante, aún se enfrenta a una serie de desafíos éticos, como los riesgos potenciales para la salud, las desigualdades en el acceso a nivel global, la necesidad de marcos regulatorios adecuados, entre otros. En los últimos veinte años, la Nanomedicina ha evolucionado aceleradamente desde las pruebas de laboratorio hasta los ensayos clínicos y, aunque hay más 80 productos desarrollados comercialmente, una parte significativa de los desarrollos se encuentran en fase experimental (Halwani, 2022, p. 2). La ética, la política y la legislación intentan adaptarse a este escenario en constante transformación.

Sin embargo, unificar enfoques de investigación para diseñar, probar y evaluar productos nanomédicos, así como desarrollar protocolos de seguridad internacionales que permiten estandarizar acciones a seguir para hacer frente al daño potencial causado por una Nanomedicina aún es un tema pendiente (Wasti *et al.*, 2023, p. 6). El acceso a las innovaciones médicas saca a la luz las brechas que existen entre los servicios sanitarios a nivel mundial y la necesidad de impulsar la participación pública en la toma de decisiones relacionadas con la Nanomedicina, proponiendo el diálogo entre científicos, sociedad y autoridades.

PALABRAS CLAVE: ética; nanomedicina; sociedad.

NAVIGATING CHALLENGES IN NANOMEDICINE: ETHICS, ACCESS, AND PUBLIC ENGAGEMENT

ABSTRACT: Nanomedicine is a relatively recent discipline, but with a promising future in the development of more personalized medicine. However, it still faces a number of ethical challenges, such as potential health risks, inequalities in access globally, the need for adequate regulatory frameworks, among others. For the last twenty years, Nanomedicine has evolved quickly from laboratory testing to clinical trials and, although there are more than 80 commercially developed products, a significant portion of the developments are in the experimental phase (Halwani, 2022, p. 2).

Ethics, politics and legislation try to adapt to this scenario in constant transformation. However, unifying approaches of investigation to design, prove and evaluate nanomedical products, as well as developing international safety protocols that allow to standardize the follow-up actions in order to cope with the potential damage caused by a Nanomedicine, is still a pending topic. The access to medical innovations bring to light the existing gaps between sanitary services on a global level and the need to stimulate public participation in the decision-making regarding Nanomedicine, proposing a dialogue between scientists, society and authorities.

KEYWORDS: ethics; nanomedicine; society.

1 INTRODUCCION

Anticiparse al impacto social de cualquier nueva tecnología, y en especial a la nanomedicina es importante porque sus procedimientos plantean una serie de desafíos éticos, como la toxicidad y la biocompatibilidad de las nanopartículas o la naturaleza invasiva de la medicina regenerativa.

Es un hecho que necesitamos mejorar el diagnóstico, la prevención y el tratamiento de enfermedades y garantizar un acceso universal a la salud; sin embargo, en el caso de las tecnologías emergentes previamente se requieren diálogos públicos que impulsen su implementación, pero ante todo que sean aceptadas por la ciudadanía, que se alinee a sus valores y a sus expectativas. Las pautas éticas y los marcos jurídicos requieren que los riesgos sean razonables frente a los beneficios potenciales para los sujetos y la sociedad (Dutch Research Agenda, 2024).

Los productos nanomédicos están presentes en nuestra vida cotidiana, su uso se ha hecho evidente durante la pandemia, con test de diagnóstico COVID o incluso el desarrollo de vacunas de ARNm.

Es un campo en expansión y prometedor, que incluye la administración de moléculas terapéuticas a sitios específicos, “para monitorizar tratamientos, localizar lesiones y estimular procesos a nivel local utilizando estímulos ópticos, eléctricos, mecánicos o magnéticos” (Rivera *et al.*, 2025). También el desarrollo de sensores para la detección de enfermedades en etapas tempranas, con mayor especificidad y sensibilidad, así como nanotransportadores y nanopartículas para la detección e imagen de diferentes tipos de cánceres.

2 DESAFÍOS ÉTICOS

La literatura científica sobre las implicaciones éticas y legales de la nanomedicina identifica seis problemáticas centrales que configuran el debate contemporáneo en este campo emergente.

2.1 RIESGOS POTENCIALES A LA SALUD

La exposición al daño y los riesgos potenciales para la salud conlleva una problemática ética (Wasti *et al.*, 2023, p. 6). Varios análisis realizados en el campo de la nanotoxicología han puesto la atención en los efectos nocivos de las nanopartículas en el medio ambiente, los seres humanos y los peces (Patra, Haribabu, & McComas, 2010, p. 67).

Los nanomateriales no constituyen una clase unificada de compuestos, cada tipo de material tiene que evaluarse según sus propias características. En los tamaños de 1 a 100 nanómetros (nm), las propiedades no son comunes, una sustancia no tóxica puede serlo al cambiar de tamaño.

Asimismo, las nanopartículas pueden comportarse diferente en un cultivo celular o en un organismo. Y pueden traslocarse desde el sitio de exposición hacia otras partes del cuerpo.

No se pueden eliminar todas las incertidumbres que rodean a la primera exposición de una persona a un tipo específico de un nanomaterial en un ensayo clínico de fase I (Resnik & Tinkle, 2007, p. 345).

La administración de fármacos - drug delivery system – ha sido una de las principales aplicaciones de la nanomedicina, abriendo las puertas hacia una personalización. No obstante, a nivel mundial, los estudios han sido realizados principalmente por industrias farmacéuticas.

En 2007, por ejemplo, más de 200 empresas estuvieron involucradas en la investigación y desarrollo de la Nanomedicina y había al menos una docena de productos en proceso. Ya para 2023 habían más de 50 productos nanomédicos en el mercado. Se espera un gran impacto de la nanotecnología en el tratamiento del cáncer, principalmente dirigir la quimioterapia hacia tejidos malignos. También en neurología hay avances, como el desarrollo de nanocables para monitorear el cerebro, implantes cerebrales de nanofibras y nanomallas para reparar tejidos neurales (Resnik & Tinkle, 2007, p. 345).

Según estimaciones, la demanda mundial ha experimentado un notable incremento: de 111.900 millones de dólares en 2016, se espera que alcance los 261.063 millones en 2023 (Das *et al.*, 2021, p. 209).

2.2 ACCESO

Otra preocupación mencionada en la literatura científica es el acceso. Los productos nanomédicos son costosos y los mercados que los consumen se centran en Europa, América del Norte y Asia Pacífico (Das *et al.*, 2021, p. 210). El acceso a las nanomedicinas es un tema importante por resolver porque en países en vías de desarrollo, la ciudadanía no puede acceder a estas, ni tampoco ser asumidas por el

Estado, situación que profundizaría la brecha de salud entre países. Por otro lado, hay países que dominan el conocimiento y las innovaciones en nanomedicina, como es el caso de República de Corea, Canadá y Alemania (Wasti *et al.*, 2023, p. 7).

Que las nanomedicinas sean personalizadas y rentables aún es un tema pendiente. De acuerdo con experiencias pasadas, los desarrollos de I+D bajan sus precios cuando expira el tiempo de la patente y se desarrollan productos genéricos. También se facilita el acceso cuando las economías de escala mejoran la eficiencia de la producción o en escenarios de competencia.

Otras medidas en materia de propiedad intelectual a tomar en consideración son desarrollar sistemas de financiamiento para que las personas con escasos recursos puedan beneficiarse de las nanomedicinas, evitar que los fabricantes tengan un control excesivo sobre el mercado, alentar a las empresas a participar en esfuerzos internacionales para facilitar la negociación de acuerdos comerciales justos. (Resnik & Tinkle, 2007, p. 348).

2.3 CUESTIONES ÉTICAS ADICIONALES

Existen otros aspectos éticos relevantes vinculados a la investigación en nanomedicina, como el consentimiento informado, la privacidad del paciente, la clasificación de los productos nanomédicos y la aplicación del principio de precaución. Aunque no serán abordados en este capítulo, resulta pertinente mencionarlos dada su importancia en el debate actual (Wasti *et al.*, 2023, p. 6).

3 PARTICIPACIÓN PÚBLICA

De acuerdo con Dutch Research Agenda (2024), existe evidencia de que el público general percibe mayores beneficios con la inmunoterapia que con la nanomedicina, aunque esta última pueda cambiar y mejorar significativamente el sistema de salud al ofrecer nuevas herramientas de diagnóstico para detectar enfermedades en etapas tempranas o dirigir el tratamiento sólo a las células enfermas.

Los juicios acerca de los riesgos y los beneficios, así como la percepción social sobre las innovaciones médicas invasivas juegan un papel importante a la hora de ser aceptadas por la ciudadanía. Con tecnologías emergentes, marcos jurídicos débiles o inexistentes respecto a qué aplicaciones son aceptables y cuáles no, se necesita involucrar la participación del público desde etapas tempranas.

A través de un diálogo social entre la comunidad científica, la sociedad, expertos en ética y tomadores de decisión se podría incursionar en un compromiso público previo

a que se desarrollen o se pongan en marcha medidas políticas o soluciones tecnológicas (Dutch Research Agenda, 2024).

La idea es promover en encuentros deliberativos, comisiones de estudio, grupos de evaluación, nuevos canales de participación y democratización de la ciencia (Graiño, 2011, p. 301) que permitan escuchar la opinión ciudadana e integrarla, en la medida de lo posible en la toma de decisiones. Se entiende que una participación temprana por parte del público en la discusión y eventual negociación de nuevos desarrollos en ciencia y tecnología conducirá a resultados más satisfactorios para todos los involucrados, en lugar de reaccionar frente al descontento del público.

Hoy en día, cobran cada vez más importancia la participación de grupos de la sociedad civil u organizaciones no gubernamentales (ONGs) en los asuntos científicos, como agentes para impulsar la participación ciudadana (Bucchi & Trench, 2014:6). Aún así, las políticas públicas y el debate público continúan siendo una mínima expresión del conocimiento generado a través de la investigación (Trench, 2008:7). Los gobiernos europeos han sido los primeros en adoptar técnicas de participación en asociación con las ONGs; no obstante, y ahí la crítica, el conocimiento válido es aquel que se convierte en tecnología, servicio o producto, excluyéndose de este proceso el conocimiento reflexivo e interpretativo de las Ciencias Humanas y Sociales. Asimismo, uno de los riesgos de validar el conocimiento científico de manera democrática, podría absolver a los políticos de las decisiones negativas en relación a la sociedad y su entorno (Trench, 2008:8).

Lo ideal sería que la ciudadanía pueda participar en las decisiones públicas de la ciencia, pero para ello debe contar con información que le permita tomar o apoyar decisiones correctamente informadas. Sin embargo, la finalidad de este modelo de comunicación de la ciencia no es mejorar el nivel de los contenidos científicos o del conocimiento público, sino más bien incidir en la política y la gestión de la ciencia (Graiño, 2011:302).

4 CONCLUSIONES FINALES

La Nanomedicina enfrenta varios desafíos importantes. Uno de ellos está relacionado con la toxicidad de las nanopartículas y, paralelamente, la necesidad de desarrollar marcos regulatorios y protocolos de seguridad internacionales para estandarizar la evaluación y mitigación de posibles daños a una exposición y acumulación involuntaria de los nanomateriales (Wasti *et al.*, 2023, p. 6). También es importante que se estandarice la fabricación mediante Buenas Prácticas de Fabricación (GCP).

Otro desafío crucial es que el consumo de los productos nanomédicos se concentran en regiones específicas. De igual manera, la investigación también está

polarizada. Esto exacerba las brechas de salud entre países. Hay que indagar soluciones políticas y económicas para que haya un acceso amplio.

Finalmente, la participación pública tiene que estar presente en la toma de decisiones respecto a la Nanomedicina. Garantizar un diálogo entre la comunidad científica, la sociedad y las autoridades podría permitir que los desarrollos nanomédicos se alineen a los valores y las expectativas de la ciudadanía. Asimismo, el diálogo social también puede plantear nuevas preguntas éticas y filosóficas que no se habían contemplado durante la investigación.

En definitiva, para navegar los desafíos de la Nanomedicina, se requiere un enfoque multidisciplinario que aborde las cuestiones éticas, de acceso y de participación pública de manera integral.

BIBLIOGRAFÍA

Bucchi, M., & Trench, B. (Eds.). (2014). *Routledge handbook of public communication of science and technology* (2nd ed.). Routledge.

Das, A., Deka, D., Abrar, S. S., Pathak, S., & Banerjee, A. (2021). Ethics in nanomedicine. En A. Malik, S. Afaq, & M. Tarique (Eds.), *Nanomedicine for cancer diagnosis and therapy* (pp. 203–2019). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-33-6145-3_4

Dutch Research Agenda. (2024). *Nanomedicine in society: Nanotechnology and its societal impact for improved diagnosis, prevention, and treatment of diseases*. <https://www.nwo.nl/en/researchprogrammes/dutch-research-agenda-nwa/research-along-routes-by-consortia-nwa-orc/nwa-orc-2024/themes/nanomedicine-in-society-nanotechnology-and-its-societal-impact-for-improved-diagnosis-prevention-and-treatment-of-diseases>

Graño Knobel, S. (2011). *La comunicación pública de contenidos complejos*. Universidad Autónoma de Madrid.

Halwani, A. A. (2022). Development of pharmaceutical nanomedicines: From the bench to the market. *Pharmaceutics*, 14(1), 106. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14010106>

Resnik, D. B., & Tinkle, S. S. (2007). Ethics in nanomedicine. *Nanomedicine*, 2(3), 345–350. <https://doi.org/10.2217/17435889.2.3.345>

Rivera, J., Gutiérrez, L., Herranz, F., & Morales, P. (2025). *Conexión nanomedicina: La red que impulsa la nanotecnología al servicio de la vida*. *Encuentros Multidisciplinares*, (79). <https://www.encuentros-multidisciplinares.org>

Patra, D., Haribabu, E., & McComas, K. A. (2010). Perceptions of nano ethics among practitioners in a developing country: A case of India. *Nanoethics*, 4(2), 67–75. <https://doi.org/10.1007/s11569-010-0086-7>

Trench, B. (2008). Toward an analytical framework of science communication models. En D. Chen, L. Guo, & C. Shi (Eds.), *Communicating science in social contexts: New models, new practices* (pp. 119–135). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8598-7_7

Wasti, S., Lee, I. H., Kim, S., Lee, J.-H., & Kim, H. (2023). Ethical and legal challenges in nanomedical innovations: A scoping review. *Frontiers in Genetics*, 14, 1163392. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1163392>

CAPÍTULO 2

APLICACIÓN DE LA ELECTRICIDAD Y LA ELECTRÓNICA EN LA INGENIERÍA INDUSTRIAL: INTEGRACIÓN DE SENSORES, ELECTRO-NEUMÁTICA Y CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES

Data de submissão: 24/04/2025

Data de aceite: 12/05/2025

Raymundo Escalante Wong

Licenciado en ingeniería Eléctrica
Tecnológico Nacional de México (TECNM)-
campus Veracruz, Veracruz, Ver.
Av. Miguel Ángel de Quevedo 2779
Formando Hogar, 91897
Veracruz, Ver.

Miguel Ángel Quiroz García

Doctor en Ciencias Pedagógicas
Instituto Tecnológico de Veracruz
Av. Miguel Ángel de Quevedo 2779
Formando Hogar, 91897
Veracruz, Ver.
<https://orcid.org/0000-0001-5570-744X>

María del Carmen Nolasco Mata

Maestría en Ciencias
Instituto Tecnológico de Veracruz
Av. Miguel Ángel de Quevedo 2779
Formando Hogar, 91897
Veracruz, Ver.

Marycarmen Arana Altamirano

Graduado en Ingeniería Electrónica
Instituto Tecnológico de Veracruz
Av. Miguel Ángel de Quevedo 2779
Formando Hogar, 91897
Veracruz, Ver.

Violeta del Rocío Hernández Campos

Master en Ingeniería Administrativa
Centro de Estudios Superiores de Veracruz
Av. Miguel Ángel de Quevedo 2779
Formando Hogar, 91897
Veracruz, Ver.

RESUMEN: El presente artículo analiza la importancia y aplicación de la electricidad y la electrónica en el ámbito de la Ingeniería Industrial. Se abordan temas fundamentales como los sensores y transductores eléctricos, destacando su papel en la automatización y control de procesos industriales. Se exploran los conceptos de electro-neumática y su simbología, esenciales para la comprensión e implementación de sistemas automatizados. Además, se describe el funcionamiento y las características principales del PLC (Controlador Lógico Programable), así como su programación básica, enfatizando su utilidad en entornos industriales modernos. Finalmente, se presenta un proyecto práctico de electricidad y electrónica industrial, integrando los conocimientos teóricos con su aplicación real, lo que permite demostrar el impacto directo de estas tecnologías en la optimización de procesos industriales. Este estudio reafirma la necesidad de una sólida formación en estas áreas dentro de la carrera de Ingeniería Industrial.

PALABRAS CLAVE: sensores; electrónica Industrial; PLC; electro-neumática; ingeniería industrial.

ELECTRICAL AND ELECTRONIC APPLICATIONS IN INDUSTRIAL ENGINEERING: INTEGRATING SENSORS, ELECTRO-PNEUMATIC SYSTEMS, AND PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS

ABSTRACT: This article analyzes the importance and application of electricity and electronics in the field of Industrial Engineering. Fundamental topics such as electrical sensors and transducers are addressed, highlighting their role in the automation and control of industrial processes. The concepts of electro-pneumatics and their symbols, essential for the understanding and implementation of automated systems, are explored. In addition, the operation and main characteristics of the PLC (Programmable Logic Controller) are described, as well as its basic programming, emphasizing its usefulness in modern industrial environments. Finally, a practical project on industrial electricity and electronics is presented, integrating theoretical knowledge with its real application, which allows demonstrating the direct impact of these technologies on the optimization of industrial processes. This study reaffirms the need for solid training in these areas within the Industrial Engineering career.

KEYWORDS: sensors; industrial electronics; PLC; electro-pneumatics; industrial engineering.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la Ingeniería Industrial se enfrenta al reto constante de optimizar procesos productivos, reducir costos y mejorar la calidad en los sistemas de manufactura y servicios. Para lograr estos objetivos, el dominio de herramientas tecnológicas como la electricidad y la electrónica se ha convertido en un pilar fundamental dentro de la formación del ingeniero industrial.

Este artículo tiene como objetivo principal explorar el campo de aplicación de la electricidad y la electrónica en la Ingeniería Industrial, destacando su relevancia en la automatización y control de procesos. Se estudiarán temas esenciales como los sensores y transductores eléctricos, que permiten la interacción entre sistemas físicos y señales eléctricas; los principios de la electro-neumática y su simbología, indispensables en el diseño de sistemas de control automático; y el funcionamiento del PLC (Controlador Lógico Programable), una herramienta clave en la industria moderna. Además, se presentará una visión introductoria a la programación básica del PLC, facilitando la comprensión de su uso práctico. Finalmente, se desarrollará un proyecto aplicado que integra los conocimientos adquiridos, reforzando el vínculo entre la teoría y la práctica.

A través de este estudio, se busca demostrar cómo la integración de conceptos eléctricos y electrónicos en la Ingeniería Industrial contribuye significativamente al

desarrollo de soluciones eficientes, sostenibles e innovadoras en el entorno industrial contemporáneo.

2 METODOLOGÍA

El presente estudio adopta un enfoque descriptivo-aplicado, con el objetivo de analizar y demostrar la relevancia de los conocimientos en electricidad y electrónica dentro del ámbito de la Ingeniería Industrial, mediante una integración teórico-práctica de los conceptos fundamentales y su aplicación en un proyecto simulado de automatización.

Diseño de la investigación: Se empleó un diseño cualitativo de tipo exploratorio y didáctico, enfocado en la identificación, descripción y contextualización de componentes eléctricos y electrónicos comúnmente utilizados en sistemas industriales. Además, se desarrolló un proyecto práctico simulado que permite evidenciar la aplicabilidad de los conceptos analizados en un entorno productivo automatizado.

- **Técnicas de recopilación de información: Revisión bibliográfica:** Se realizó una recopilación y análisis de fuentes bibliográficas especializadas (libros, manuales técnicos y artículos académicos) que abordan temáticas relacionadas con sensores, transductores, sistemas electro-neumáticos y PLCs. Las fuentes seleccionadas fueron evaluadas según su relevancia, actualidad y validez académica, conforme a las normas APA (7ª ed.).
- **Análisis documental:** Se interpretaron normativas técnicas (como la norma IEC 61131-3 para programación de PLC y la simbología de sistemas electro-neumáticos según ISO 1219 y DIN ISO 5599), así como manuales de fabricantes para comprender las especificaciones técnicas de los componentes utilizados.

3 DESARROLLO DEL ESTUDIO APLICADO

Para ejemplificar la aplicación práctica de los conceptos teóricos, se diseñó un proyecto de automatización industrial en un entorno de laboratorio o simulación, con las siguientes características:

- **Objetivo del proyecto:** Diseñar e implementar un sistema automatizado de clasificación de piezas basado en sensores eléctricos y controlado mediante un PLC.
- **Componentes empleados:** Se utilizaron sensores inductivos y capacitivos, actuadores neumáticos, una válvula 5/2 con solenoide, una cinta transportadora simulada, y un PLC programado en lenguaje Ladder (LD).

- **Lógica de control:** La programación se estructuró para permitir la identificación, clasificación y conteo de piezas según su naturaleza (metálica o plástica), activando los actuadores correspondientes según las señales recibidas.

Criterios de validación: La validez del enfoque aplicado se evaluó mediante los siguientes criterios:

- **Coherencia entre teoría y práctica:** Se verificó que los elementos técnicos del proyecto respondieran a los principios expuestos en la parte teórica.
- **Viabilidad técnica:** Se aseguró que los elementos del sistema propuesto sean técnicamente implementables en un entorno educativo o industrial básico.

Pertinencia educativa: Se valoró el impacto formativo del proyecto para estudiantes de Ingeniería Industrial, en términos de adquisición de competencias en automatización y control.

4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4.1 SENSORES Y TRANSDUCTORES ELÉCTRICOS

Los **sensores** son dispositivos diseñados para **detectar un fenómeno físico o químico** y responder con una señal útil. Según su principio de funcionamiento y el tipo de señal que proporcionan, los sensores pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- **Sensores analógicos:** Proporcionan una señal continua proporcional a la magnitud medida (por ejemplo, un termistor que varía su resistencia con la temperatura).
- **Sensores digitales:** Generan señales discretas, generalmente de tipo todo o nada (por ejemplo, un sensor de proximidad inductivo que detecta la presencia de un objeto metálico).

Inductive sensors XS



Capacitive sensors XT



<https://telemecaniquesensors.com/us/es/products/inductive-capacitive-proximity-sensors>

Existen diversos tipos de sensores utilizados en la industria, entre los más comunes se encuentran:

- Sensores de proximidad (inductivos, capacitivos, ópticos)
- Sensores de presión y temperatura
- Sensores fotoeléctricos
- Sensores de posición (encoders)
- Finales de carrera o interruptores de límite

4.2 TRANSDUCTORES

Por su parte, un **transductor** es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra. En el contexto de la automatización industrial, se suele referir a aquellos que **transforman una magnitud física en una señal eléctrica** (o viceversa). A menudo, los sensores se consideran un tipo de transductor, aunque no todos los transductores son sensores.

Por ejemplo

- Un **termopar** convierte calor en una señal de voltaje.
- Un **strain gauge** (galga extensiométrica) convierte la deformación mecánica en una variación de resistencia eléctrica.

Un **potenciómetro** convierte el desplazamiento en una variación de voltaje.

4.2.1 Aplicaciones en Ingeniería Industrial

El uso de sensores y transductores en Ingeniería Industrial es clave para:

- Supervisar variables críticas en procesos de manufactura.
- Implementar sistemas de control de calidad automatizados.
- Optimizar el uso de recursos y energía.
- Mejorar la trazabilidad y eficiencia de las líneas de producción.

En conjunto, estos dispositivos permiten que los sistemas industriales tomen decisiones automáticas, generen alarmas, actúen sobre otros dispositivos y registren información para su análisis posterior, lo que se traduce en una mejora significativa en la productividad y seguridad de los procesos.



<https://zamtsu.com/producto/equipo-de-transductores-e-instrumentacion/>

4.4 CONCEPTOS DE ELECTRO-NEUMÁTICA Y SIMBOLOGÍA

La **electro-neumática** es una rama de la automatización industrial que combina los principios de la neumática (uso del aire comprimido para generar movimiento) con el control eléctrico, permitiendo la automatización de procesos mediante señales eléctricas que activan o desactivan componentes neumáticos. Esta tecnología se utiliza ampliamente en la industria por su bajo costo, facilidad de instalación, mantenimiento reducido y alta velocidad de respuesta.

En un sistema electro-neumático, los elementos de mando eléctricos (como pulsadores, finales de carrera, sensores o relés) generan señales que controlan componentes neumáticos (como cilindros, válvulas distribuidoras o actuadores). Estos sistemas son esenciales en procesos de ensamblaje, empaquetado, transporte de materiales, y muchas otras aplicaciones industriales.

Uno de los aspectos más importantes en el diseño e implementación de circuitos electro-neumáticos es la simbología normalizada, que permite representar de forma clara y precisa los componentes y su funcionamiento dentro de un esquema. La normativa **ISO 1219** y la **DIN ISO 5599** son estándares comúnmente utilizados para representar esquemas neumáticos y electro-neumáticos.

4.5 FUNCIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL PLC



<https://kwoco-plc.com/es/siemens-vs-omron-plc-comparison/>

El **Controlador Lógico Programable** o **PLC (Programmable Logic Controller)** es un dispositivo electrónico diseñado específicamente para controlar de manera automática procesos industriales mediante la recepción, procesamiento y envío de señales digitales y/o analógicas. Su versatilidad, robustez y facilidad de programación lo han convertido en uno de los pilares fundamentales de la automatización en la Ingeniería Industrial.

4.5.1 Funcionamiento Básico

El funcionamiento del PLC se basa en un ciclo de escaneo continuo, que consta de las siguientes etapas:

1. **Lectura de entradas:** El PLC recibe señales de sensores, interruptores, botones, etc., a través de sus entradas digitales o analógicas.
2. **Ejecución del programa:** Con base en las instrucciones almacenadas en su memoria (programa del usuario), el PLC toma decisiones lógicas o aritméticas.
3. **Actualización de salidas:** Dependiendo del resultado del programa, el PLC activa o desactiva salidas, que a su vez controlan actuadores, válvulas, motores, entre otros.
4. **Comunicación y diagnóstico:** En paralelo, el PLC puede enviar datos a interfaces de usuario (HMI), redes industriales o sistemas SCADA, y realizar funciones de diagnóstico interno.

Este ciclo se repite constantemente, con una velocidad que depende del modelo del PLC y la complejidad del programa.

4.5.2 Características Principales

Algunas de las características más destacadas del PLC son:

- **Modularidad:** Muchos PLC permiten ampliar sus capacidades mediante módulos adicionales de entradas/salidas, comunicación o funciones especiales.
- **Robustez:** Están diseñados para operar en ambientes industriales exigentes, con resistencia al polvo, vibraciones y temperaturas extremas.
- **Flexibilidad de programación:** Los PLC pueden ser programados utilizando distintos lenguajes definidos por la norma **IEC 61131-3**, siendo el más común el **diagrama de escalera (Ladder Diagram)**.
- **Reprogramabilidad:** El programa puede ser modificado sin necesidad de alterar físicamente el sistema de control, lo que facilita ajustes y mejoras.
- **Interfaz con otros sistemas:** Pueden integrarse fácilmente con redes industriales (como Modbus, Profibus, Ethernet/IP), sensores inteligentes, HMI y sistemas de supervisión.

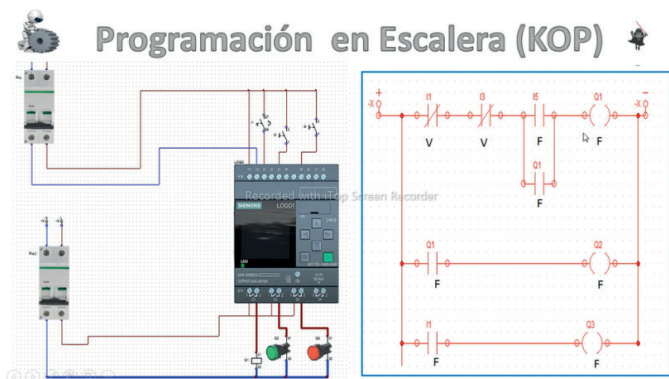
4.6 APLICACIONES EN LA INGENIERÍA INDUSTRIAL

En la Ingeniería Industrial, el uso de PLCs permite automatizar tareas repetitivas, aumentar la eficiencia de las líneas de producción, mejorar la seguridad operativa y reducir el margen de error humano. Desde el control de una cinta transportadora hasta sistemas de ensamblaje robotizado, los PLCs ofrecen una solución confiable, económica y escalable.

En la Ingeniería Industrial, el uso de PLCs permite automatizar tareas repetitivas, aumentar la eficiencia de las líneas de producción, mejorar la seguridad operativa y reducir el margen de error humano. Desde el control de una cinta transportadora hasta sistemas de ensamblaje robotizado, los PLCs ofrecen una solución confiable, económica y escalable.

4.7 PROGRAMACIÓN BÁSICA DEL PLC

La **programación del PLC** es el proceso mediante el cual se definen las instrucciones que el controlador ejecutará para tomar decisiones lógicas y controlar un proceso. La programación básica permite crear automatismos simples pero funcionales, como encender o apagar motores, activar alarmas, o manejar secuencias de trabajo con sensores y actuadores.



PLC 5 PROGRAMACIÓN DE PLC EN ESCALERA DE ARRANQUE Y PARO DE UN MOTOR CON CONTACTOS CERRADOS DE LOGO

<https://www.youtube.com/watch?v=llm6FJuwXRg>

4.8 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

La norma **IEC 61131-3** establece cinco lenguajes de programación estandarizados para PLCs. Los más comunes, especialmente en niveles básicos, son:

- **Diagrama de escalera (Ladder Diagram - LD)**

Basado en lógica de relés tradicionales, es el más utilizado en la industria. Su estructura visual de contactos (entradas) y bobinas (salidas) facilita la comprensión y modificación del programa. Ejemplo: Un botón activa un motor, y otro lo apaga.

- **Texto estructurado (Structured Text - ST)**

Similar a lenguajes de programación de alto nivel como Pascal o C. Se usa para tareas complejas como cálculos matemáticos, comparaciones o manipulación de datos.

- **Diagrama de bloques funcionales (Function Block Diagram - FBD)**

Representa funciones mediante bloques conectados por líneas de señal. Es útil para programación orientada a funciones específicas como temporizadores o contadores.

4.9 ELEMENTOS BÁSICOS EN UN PROGRAMA

Un programa básico de PLC suele incluir los siguientes elementos:

- **Entradas digitales:** Como pulsadores, sensores de fin de carrera o interruptores.

- **Salidas digitales:** Como relés, lámparas, válvulas o motores.
- **Temporizadores:** Para generar retrasos controlados (TON, TOFF).
- **Contadores:** Para registrar eventos (por ejemplo, contar productos).
- **Contactos:** Normalmente abiertos (NO) o cerrados (NC), que representan condiciones lógicas.
- **Bobinas:** Representan salidas que se activan o desactivan según la lógica del programa.

4.10 EJEMPLO PRÁCTICO: ENCENDIDO DE UN MOTOR

Un ejemplo típico en programación básica es el control de encendido de un motor con un botón de arranque y uno de parada. En Ladder Diagram se observa, como sigue:

```

|---[ I0.0 ]---[/ I0.1 ]---+----( Q0.0 )
|                           |
|   [ Q0.0 ]-----+

```

- **I0.0:** Pulsador de marcha (normalmente abierto)
- **I0.1:** Pulsador de parada (normalmente cerrado)
- **Q0.0:** Salida al motor
- **Q0.0 en el segundo renglón:** Auto mantenimiento (retención del motor encendido)

4.11 APLICACIÓN EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

La programación básica del PLC es una habilidad clave para los ingenieros industriales, ya que permite diseñar e implementar soluciones automatizadas de forma rápida, segura y eficiente. Desde líneas de ensamblaje hasta sistemas de almacenamiento automatizado, los PLCs brindan la base de control necesaria para lograr procesos más competitivos y adaptables.

5 DESARROLLO DEL PROYECTO PRÁCTICO

5.1 OBJETIVO

Diseñar un sistema automatizado de clasificación de piezas según su tipo (metálicas o plásticas) mediante sensores y actuadores controlados por un PLC.

5.2 COMPONENTES UTILIZADOS

- PLC básico con entradas/salidas digitales.
- Sensores inductivos y capacitivos.
- Cilindro neumático de doble efecto.
- Válvula 5/2 con solenoide.
- Cinta transportadora (puede ser simulada).
- Fuente de alimentación y unidad de mantenimiento neumática.
- Pulsadores de parada y marcha.
- Lámparas de señalización (opcional).



<https://vestertraining.com/sensores-plc>

5.3 LÓGICA DE CONTROL

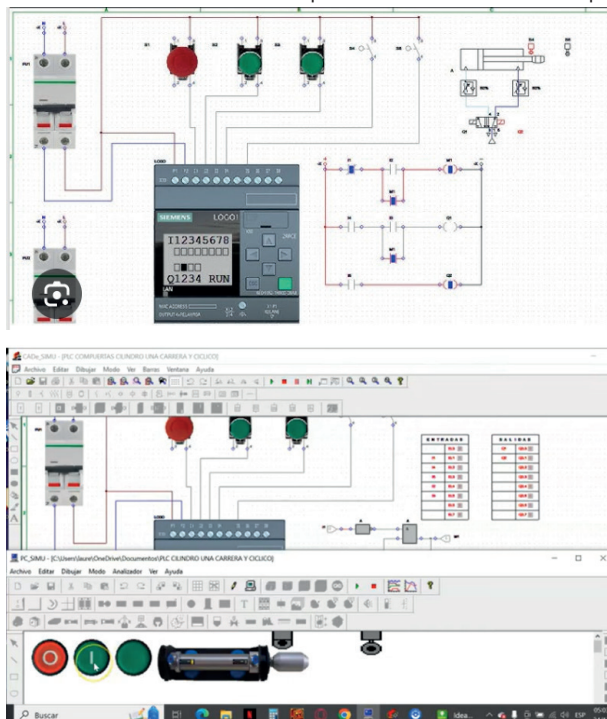
1. El sistema se activa con un botón de inicio.
2. Cada vez que una pieza pasa por los sensores, el PLC identifica su tipo.
3. Si es metálica, activa el cilindro neumático para desviarla.
4. Si es plástica, no activa el cilindro y deja pasar la pieza.
5. Se cuentan ambas piezas por separado mediante contadores internos.
6. Un pulsador de parada detiene la cinta en cualquier momento.

5.4 RESULTADOS ESPERADOS

- Implementación práctica de sensores y transductores.
- Integración de sistemas eléctricos y neumáticos mediante controladores.
- Aplicación de programación básica en Ladder Diagram.
- Mejora de habilidades en interpretación de simbología, lógica de control y montaje de sistemas.

Control de sistemas neumáticos con PLC-LOGO.

PLC 11- 3 control de un cilindro de doble efecto por una electroválvula biestable pc y cade simu.



<https://www.youtube.com/watch?v=YrkRBBYuUZM>

6 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Este proyecto permite al estudiante de Ingeniería Industrial no solo aplicar conocimientos teóricos, sino también desarrollar competencias prácticas en la resolución de problemas reales, mejora de procesos y automatización industrial. Además, promueve el trabajo en equipo, el pensamiento crítico y la adaptación a tecnologías utilizadas actualmente en la industria manufacturera.

7 CONCLUSIÓN

La incorporación de conocimientos en electricidad y electrónica dentro de la formación en Ingeniería Industrial resulta fundamental para enfrentar los retos de la automatización y la eficiencia de los procesos productivos. A través del estudio de sensores, transductores, sistemas electro-neumáticos y la programación de PLC, el ingeniero industrial adquiere herramientas clave para diseñar, implementar y optimizar sistemas de control automatizado. El desarrollo del proyecto integrador no solo permite afianzar estos conceptos técnicos, sino también fomenta el trabajo colaborativo, el

pensamiento crítico y la aplicación práctica del conocimiento en contextos reales de la industria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ortega Torres, C. A. (2016). Mecatrónica: Principios y aplicaciones. Alfaomega Grupo Editor.

Petruzella, F. D. (2011). Automatización industrial (2ª ed.). McGraw-Hill.

Creus Solé, A. (2007). Electroneumática: Manual de teoría y práctica. Marcombo.

Kuo, B. C. (2001). Sistemas de control automático (8ª ed.). Prentice Hall.

Chapman, S. J. (2003). Tecnología de los sistemas eléctricos de potencia (4ª ed.). McGraw-Hill.

Millman, J., & Halkias, C. C. (2002). Electrónica industrial. McGraw-Hill.

Sans Sabrafen, J. (2015). Sistemas neumáticos e hidráulicos. Marcombo.

Hernández Rodríguez, J. A. (2019). Automatismos eléctricos e industriales. Marcombo.

Erickson, K. T. (2005). Controladores Lógicos Programables (PLC). Pearson Educación.

Santos Arteaga, J. (2017). Introducción a la ingeniería industrial. Ediciones Paraninfo.

CAPÍTULO 3

SOLUCIÓN A LA ECUACIÓN DE ONDA PROPAGADA RADIALMENTE PARA EL CAMPO ELÉCTRICO EN COORDENADAS CILÍNDRICAS

Data de submissão: 28/04/2025

Data de aceite: 19/05/2025

Esteban Andrés Zárate

Universidad Juárez
Autónoma de Tabasco
División Académica de
Ciencias Básicas
Cunduacán Tabasco, México
<https://orcid.org/0000-0003-3515-5793>

Mateo Márquez Arias

Universidad Juárez
Autónoma de Tabasco
División Académica de
Ciencias Básicas
Cunduacán Tabasco, México

Israel Benjamín Sánchez Jiménez

Universidad Juárez
Autónoma de Tabasco
División Académica de
Ciencias Básicas
Cunduacán Tabasco, México

Quintiliano Angulo Córdoba

Universidad Juárez
Autónoma de Tabasco
División Académica de
Ciencias Básicas
Cunduacán Tabasco, México
<https://orcid.org/0000-0002-9594-6311>

RESUMEN: El objetivo del presente trabajo es exponer una resolución a la ecuación de onda electromagnética en coordenadas cilíndricas, donde la amplitud de la radiación es dependiente de la distancia radial y el tiempo. Se construye la expresión para la ecuación de onda a partir de las leyes de Maxwell, considerando su propagación en un material homogéneo, lineal e isótropo. La solución analítica es hallada mediante el método de separación de variables, obteniéndose la forma explícita del campo eléctrico de la radiación. Los resultados se presentan también mediante simulaciones gráficas. El estudio de esta solución se enfoca en los efectos que las propiedades del medio producen en la propagación de radiación, encontrándose que la amplitud del campo obedece a una función de Bessel.

PALABRAS CLAVE: radiación electromagnética; geometría cilíndrica; propagación en materia; atenuación.

WAVE EQUATION RESOLUTION RADIALLY PROPAGATED FOR THE ELECTRIC FIELD IN CYLINDRICAL COORDINATES

ABSTRACT: The objective of this work is to present a solution to the electromagnetic wave equation in cylindrical coordinates, where the radiation amplitude depends on the radial distance and time. The wave equation is constructed from Maxwell's equations, considering propagation in a homogeneous,

linear, and isotropic media. The analytical solution is obtained through the separation of variables method, yielding the explicit form of the electric field of the radiation. The results are also presented through graphical simulations. This study focuses on the effects that the properties of the media have on radiation propagation, finding that the field amplitude obeys a Bessel function.

KEYWORDS: electromagnetic radiation; cylindrical geometry; propagation in matter; attenuation effect.

1 INTRODUCCIÓN

En el estudio de la propagación de ondas electromagnéticas es común su resolución analítica considerando fuentes que emiten frentes de onda planos o esféricos. Para la propagación en el vacío, en el caso de ondas planas, si bien los campos oscilan, la irradiancia de los frentes de onda es constante; para el caso esférico, la amplitud de los campos disminuye conforme la onda se propaga a una razón $1/r$; nuestro interés aquí fue hallar la forma analítica en que la radiación se propaga cuando emerge de una fuente cilíndrica. En particular, determinar el comportamiento de las amplitudes e irradiancias de la radiación que, en esta situación exhibirá frentes de onda de distribución tipo Bessel, que bajo condiciones de homogeneidad, linealidad e isotropía en el medio de propagación serán cilíndricos. Además de la obtención de la solución analítica, se determinó también qué influencia tienen las propiedades como la permitividad ϵ y la permeabilidad μ del medio de propagación, esto formulando una ecuación de onda a partir de las leyes de Maxwell para un medio homogéneo, lineal e isótropo en el que su conductividad no fuese obviada, surgiendo así una ecuación diferencial hiperbólica, que fue resuelta mediante separación de variables. En el análisis de la solución pudo observarse que ϵ y μ producen una disminución de la longitud de onda y la conductividad σ produce una resistencia a la propagación de la onda en el medio.

En esta línea de investigación, Nolasco *et al* (2016) obtuvieron una solución a la ecuación de Helmholtz con un tratamiento numérico proporcionando información sobre haces de Bessel adifraccionales. Zárate *et al* (2019) reportaron un análisis teórico de propagación mediante el método del espectro angular y la producción en forma experimental de patrones de difracción de distribución de irradiancia tipo Bessel de orden cero y de primer orden. Por su parte Mousa (2012) analizó de manera teórica una onda atenuada en una guía de onda de material de tipo LHM confinada en un superconductor, mostrando el comportamiento besseliano de las amplitudes de los campos eléctrico y magnético, algo similar a lo que se mostrará en lo sucesivo. Los autores antes referidos no realizaron un trabajo como el que reportamos nosotros en

este artículo, ya que ellos han considerado propagación sólo en medios no conductores, aquí se ha desarrollado y solucionado la ecuación diferencial vectorial de onda para los campos en medios conductores, y hemos comparado estos resultados con los de una propagación en dieléctricos.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema físico estudiado se esquematiza en la Figura 1, la fuente luminosa es situada en el origen de coordenadas y posee simetría cilíndrica. La fuente emite ondas electromagnéticas coherentes y monocromáticas. Para el medio de propagación, se hacen las suposiciones iniciales de que posee conductividad σ , densidad de carga libre ρ_ℓ , densidad de carga de polarización ρ_p , una densidad de corriente $\vec{J}_\ell$, puede polarizarse y modelarse con un campo de polarización $\vec{P}$ y una magnetización $\vec{M}$. Así, a partir de las ecuaciones de Maxwell para la materia:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho_\ell \quad (1)$$

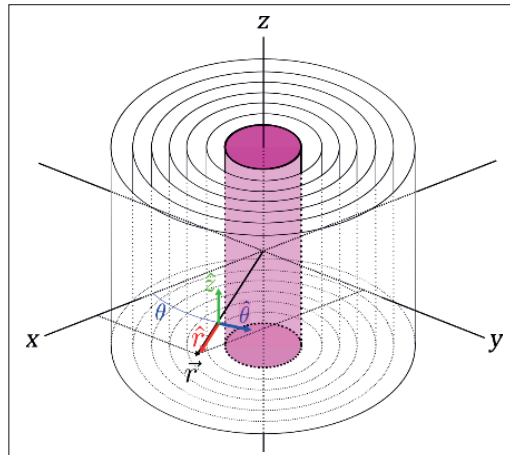
$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}_\ell + \partial_t \vec{D} \quad (3)$$

Aplicando el rotacional en ambos lados de la ley de Faraday (Wangsness, 2001), se obtiene que,

$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{1}{\epsilon_o} \vec{\nabla}(\rho_\ell + \rho_p) + \mu_o \partial_t \vec{J}_\ell + \mu_o \epsilon_o \partial_t^2 \vec{E} + \mu_o \partial_t^2 \vec{P} + \mu_o \partial_t (\vec{\nabla} \times \vec{M}) \quad (5)$$

Figura 1. Fuente de luz cilíndrica monocromática emitiendo radiación tal que sus frentes de onda describen cilindros que se expanden en el espacio.



En el electromagnetismo clásico, la ecuación (5) es la expresión más general posible de $\nabla^2 \vec{E}$ para una onda que se propaga en un medio que posee magnetización, polarización y propiedades de densidad de carga tanto continua como discontinua. Debe notarse aquí el efecto a veces poco considerado que una distribución no uniforme de carga produce en el campo. Si el medio considerado contiene carga no uniformemente distribuida, esta distribución no equitativa producirá zonas de campo menos intenso y zonas de mayor intensidad, que darán lugar a un gradiente y laplaciano no nulos del campo eléctrico, cuya formulación matemática está dada en el primer término del lado derecho de la ecuación (5). Si el medio de propagación se considera ahora isotrópico, lineal y homogéneo, poseerá susceptibilidades χ_ϵ y χ_m ocurriendo que $\vec{P} = \chi_\epsilon \epsilon_o \vec{E}$, $\vec{M} = \chi_m \vec{H}$ y $\vec{J}_\ell = \sigma \vec{E}$, con ello se tiene que:

$$\nabla^2 \vec{E} = \frac{1 - \chi_\epsilon}{\epsilon_o} \vec{\nabla} \rho_\ell + (1 + \chi_m) \mu_o \sigma \partial_t \vec{E} + (1 + \chi_m)(1 + \chi_\epsilon) \mu_o \epsilon_o \partial_t^2 \vec{E}. \quad (6)$$

Definiendo $\epsilon = (1 + \chi_\epsilon) \epsilon_o$ como la permitividad eléctrica del medio y $\mu = (1 + \chi_m) \mu_o$ como la permeabilidad magnética del medio, si el medio no contiene cargas libres se obtiene finalmente

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu \sigma \partial_t \vec{E} + \mu \epsilon \partial_t^2 \vec{E}. \quad (7)$$

Esta es una ecuación diferencial lineal hiperbólica, que se reconoce como una ecuación diferencial de onda vectorial para $\vec{E}$. En esta ecuación resalta la presencia del término $\mu \sigma \partial_t \vec{E}$, que, en analogía con la mecánica de un oscilador amortiguado, se corresponde con un amortiguamiento del campo, por lo que en la solución a esta ecuación cabría esperar un amortiguamiento similar al del oscilador. Para solucionar la ecuación (7) debe recordarse el operador nabla $\vec{\nabla}$ en coordenadas cilíndricas.

$$\vec{\nabla} = \hat{r} \partial_r + \frac{1}{r} \hat{\phi} \partial_\phi + \hat{z} \partial_z. \quad (8)$$

Si el campo eléctrico es dependiente sólo del tiempo y la coordenada r , éste tiene la forma:

$$\vec{E}(r, t) = E_r(r, t) \hat{r} + E_\phi(r, t) \hat{\phi} + E_z(r, t) \hat{z}. \quad (9)$$

Dada la forma de la ecuación para R_z , ésta se puede llevar a la forma canónica de una ecuación diferencial besseliana (Nolasco, 2017). Al hacer $\rho = kr$

$$\frac{1}{r} \partial_r (r \partial_r \vec{E}) = \mu \sigma \partial_t \vec{E} + \mu \epsilon \partial_t^2 \vec{E}, \quad (10)$$

Lo que lleva a las ecuaciones escalares siguientes para las componentes del campo

$$\frac{1}{r} \partial_r (r \partial_r E_r) = \mu \sigma \partial_t E_r + \mu \epsilon \partial_t^2 E_r \quad (11)$$

$$\frac{1}{r} \partial_r (r \partial_r E_\phi) = \mu \sigma \partial_t E_\phi + \mu \epsilon \partial_t^2 E_\phi \quad (12)$$

$$\frac{1}{r} \partial_r (r \partial_r E_z) = \mu \sigma \partial_t E_z + \mu \epsilon \partial_t^2 E_z. \quad (13)$$

De la ley de Gauss se tiene:

$$\frac{1}{r} \partial_r (r \partial_r E_r) = 0 \quad (14)$$

$$E_r(r, t) = E_r(t). \quad (15)$$

La solución de ecuación (11) bajo las condiciones (14) y (15), lleva a que

$$E_r(t) = \Gamma e^{-(\sigma/\epsilon)t}. \quad (16)$$

Asumimos aquí que $\Gamma = 0$, esto es, que la radiación no posee oscilaciones longitudinales, lo cual es válido en medios infinitos cargados y no cargados (Wangsness, 2001), por lo cual

$$E_r(t) = 0 \quad (17)$$

Ahora, considerando que $E_\phi(r, t) = R_\phi(r) T_\phi(t)$ y que $E_z(r, t) = R_z(r) T_z(t)$, para la resolución de las ecuaciones (12) y (13), surgen las ecuaciones siguientes para R_z y T_z :

$$r R_z'' + R_z' + k^2 r R_z = 0 \quad (18)$$

$$\mu \epsilon T_z'' + \mu \sigma T_z' + k^2 T_z = 0. \quad (19)$$

Resolviendo para $T_z(t)$, obtenemos:

$$T_z(t) = e^{-\frac{\sigma}{2\epsilon}t} \left[C_1 \cos \left(\sqrt{\frac{k^2}{\mu\epsilon} - \frac{\sigma^2}{4\epsilon^2}} t \right) + C_2 \sin \left(\sqrt{\frac{k^2}{\mu\epsilon} - \frac{\sigma^2}{4\epsilon^2}} t \right) \right]. \quad (20)$$

Dada la forma de la ecuación para R_z , ésta se puede llevar a la forma canónica de una ecuación diferencial besseliana (Nolasco, 2017). Al hacer $\rho = kr$

$$\frac{1}{k^2} \rho^2 R'' + \frac{1}{k} \rho R' + \rho^2 R = 0. \quad (21)$$

Por lo cual se puede escribir

$$\rho^2 R_{\rho\rho} + \rho R_\rho + \rho^2 R = 0. \quad (22)$$

La solución general de esta ecuación es

$$R_z(r) = C_3 J_0(kr) + C_4 Y_0(kr). \quad (23)$$

Como la función de Neumann Y_0 es singular en el origen, dicha parte de la solución tiene que ser rechazada en todo problema físico donde el origen es parte del dominio de definición sobre el cual se desea resolver la ecuación de Bessel (Delépine, 2004). Por lo cual $E_z(r,t) = R_z(r) T_z(t)$ de acuerdo con las soluciones (20), (22) y lo arriba especificado obtiene la forma

$$E_z(r, t) = e^{-\frac{\sigma}{2\epsilon}t} J_0(kr) \left[K_1 \cos\left(\sqrt{\frac{k^2}{\mu\epsilon} - \frac{\sigma^2}{4\epsilon^2}} t\right) + K_2 \sin\left(\sqrt{\frac{k^2}{\mu\epsilon} - \frac{\sigma^2}{4\epsilon^2}} t\right) \right]. \quad (24)$$

Un procedimiento similar conduce a que

$$T_\phi(t) = e^{-\frac{\sigma}{2\epsilon}t} \left[C_5 \cos\left(\sqrt{\frac{k^2}{\mu\epsilon} - \frac{\sigma^2}{4\epsilon^2}} t\right) + C_6 \sin\left(\sqrt{\frac{k^2}{\mu\epsilon} - \frac{\sigma^2}{4\epsilon^2}} t\right) \right] \quad (25)$$

$$R_\phi(r) = C_7 J_0(kr) + C_8 Y_0(kr) \quad (26)$$

$$E_\phi(r, t) = e^{-\frac{\sigma}{2\epsilon}t} J_0(kr) \left[K_3 \cos\left(\sqrt{\frac{k^2}{\mu\epsilon} - \frac{\sigma^2}{4\epsilon^2}} t\right) + K_4 \sin\left(\sqrt{\frac{k^2}{\mu\epsilon} - \frac{\sigma^2}{4\epsilon^2}} t\right) \right]. \quad (27)$$

Ahora, al definir $\omega = \sqrt{\frac{k^2}{\mu\epsilon} - \frac{\sigma^2}{4\epsilon^2}}$ las expresiones de E_z y E_ϕ se reescriben como

$$E_z(r, t) = e^{-\frac{\sigma}{2\epsilon}t} J_0\left(\sqrt{\omega^2 \mu\epsilon + \frac{\sigma^2}{4\epsilon}} r\right) (K_1 \cos\omega t + K_2 \sin\omega t), \quad (28)$$

$$E_\phi(r, t) = e^{-\frac{\sigma}{2\epsilon}t} J_0\left(\sqrt{\omega^2 \mu\epsilon + \frac{\sigma^2}{4\epsilon}} r\right) (K_3 \cos\omega t + K_4 \sin\omega t). \quad (29)$$

Luego, la solución general de la ecuación de onda para el campo eléctrico, en forma vectorial es

$$\vec{E}(r, t) = e^{-\frac{\sigma}{2\epsilon}t} J_0\left(\sqrt{\omega^2 \mu\epsilon + \frac{\sigma^2}{4\epsilon}} r\right) [(K_1 \hat{z} + K_3 \hat{\phi}) \cos\omega t + (K_2 \hat{z} + K_4 \hat{\phi}) \sin\omega t] \quad (30)$$

3 ANÁLISIS

Una vez obtenida la forma general del campo eléctrico, el que la fuente se localice en el origen del sistema de coordenadas implica que la amplitud del campo es máxima en el origen al ser emitida por la fuente y posiblemente disminuya al extenderse en el espacio. Esta solución particular matemáticamente implica un problema de valor inicial: si se imponen condiciones tales que las componentes escalares de $\vec{E}(r, t)$ tengan amplitud máxima en $r = 0, t = 0$, esto es

$$E_z(0,0) = E_{oz}, \frac{\partial E_z}{\partial t}(0,0) = 0, E_\phi(0,0) = E_{o\phi}, \frac{\partial E_\phi}{\partial t}(0,0) = 0. \quad (31)$$

Con lo cual $K_1 = E_{oz}, K_3 = E_{o\phi}, K_2 = K_4 = 0$.

Bajo estas condiciones, y definiendo $\vec{E}_{o\phi z} = E_{o\phi}\hat{\phi} + E_{oz}\hat{z}$, la forma explícita del campo en la ecuación (30) se reduce a las expresiones siguientes:

$$\vec{E}(r, t) = (E_{o\phi}\hat{\phi} + E_{oz}\hat{z})e^{-\frac{\sigma}{2\epsilon}t}J_0\left(\sqrt{\omega^2\mu\epsilon + \frac{\sigma^2}{4\epsilon}}r\right)\cos(\omega t). \quad (32)$$

$$\vec{E}(r, t) = \vec{E}_{o\phi z}e^{-\frac{\sigma}{2\epsilon}t}J_0\left(\sqrt{\omega^2\mu\epsilon + \frac{\sigma^2}{4\epsilon}}r\right)\cos(\omega t) \quad (33)$$

Esta es la descripción buscada de la radiación en su forma analítica. Una vez resuelta la matemática del problema, resta determinar qué tipo de comportamiento físico sigue el campo eléctrico. Para el estudio físico de la solución, a partir de la expresión general para $\vec{E}(r, t)$ si el material fuera dieléctrico $\vec{E}_D(r, t)$ ($\sigma = 0$) se obtiene:

$$\vec{E}_D(r, t) = \vec{E}_{o\phi z}J_0\left(\frac{\omega n}{c}r\right)\cos(\omega t). \quad (34)$$

Y para el campo $\vec{E}_V(r, t)$ en el vacío ($n=1$):

$$\vec{E}_V(r, t) = \vec{E}_{o\phi z}J_0\left(\frac{\omega}{c}r\right)\cos(\omega t), \quad (35)$$

donde se considera que el índice de refracción del medio n y la velocidad de la luz C satisfacen $n = \sqrt{\mu\epsilon}C$. A partir de (33) se obtienen la densidad volumétrica de energía $u(r, t)$ de la radiación y su irradiancia $I(r, t)$.

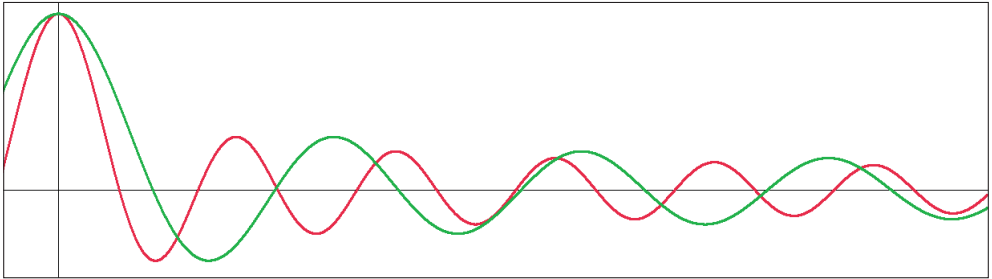
$$u(r, t) = \epsilon E^2 = \epsilon E_{o\phi z}^2 e^{-\frac{\sigma}{\epsilon}t} J_0^2\left(\sqrt{\omega^2\mu\epsilon + \frac{\sigma^2}{4\epsilon}}r\right) \cos^2(\omega t) \quad (36)$$

$$I(r, t) = \frac{c\epsilon}{2} E^2 = \frac{c\epsilon}{2} E_{o\phi z}^2 e^{-\frac{\sigma}{\epsilon}t} J_0^2\left(\sqrt{\omega^2\mu\epsilon + \frac{\sigma^2}{4\epsilon}}r\right) \cos^2(\omega t). \quad (37)$$

4 RESUMEN DE RESULTADOS

Por la forma de la solución particular es visible que la conductividad produce un decaimiento en la amplitud, tanto espacial en el argumento de J_o como temporal en la función exponencial, lo cual concuerda con la hipótesis inicial de que era de esperarse un amortiguamiento similar al de un oscilador armónico amortiguado, y este amortiguamiento temporal desaparece en medios dieléctricos, pero el decaimiento espacial aún persiste. Dicho decaimiento espacial está dado por $J_o(r)$ (tanto en el vacío como en la materia). La conductividad produce además una alteración en la distancia entre frentes de onda del campo (ver Figura 2).

Figura 2. $J_o(r)$ (verde) vs $J_o(nr)$ (rojo). Aquí, $n=1.55$. Para $n>1$, la distancia entre máximos de $J_o(nr)$ disminuye. En la mayoría de los materiales $n>1$, por lo que la propagación en éstos empaqueta más los frentes de onda de la radiación. En cambio, en un material con $n<1$ los máximos de amplitud se alejarían.



Simulaciones gráficas de las ecuaciones (37), (38) y (39) se muestran en la figuras 3 y 4. Los gráficos a), b) y c) muestran la distribución espacial de la magnitud de la amplitud y la irradiancia de una radiación particular a tiempo cero, los gráficos i), ii) y iii) muestran la magnitud de la amplitud y la irradiancia en el espacio (distancia radial) vs el tiempo. Es visible que la radiación es rápidamente absorbida.

Figura 3. Simulaciones de la solución particular a tiempo cero. a) Comportamiento teórico de la amplitud para una fuente de radiación de 632 nm inmersa en agua de mar ($\mu = \mu_o, \epsilon = 80\epsilon_o, \sigma = 5 \text{ Sv}$), La distribución de la irradiancia de esta fuente, con pico en 10 mW/cm^2 es mostrada en b). En c) se muestra la amplitud de la misma fuente en el vacío, allí el decaimiento de la amplitud es mucho más lento.

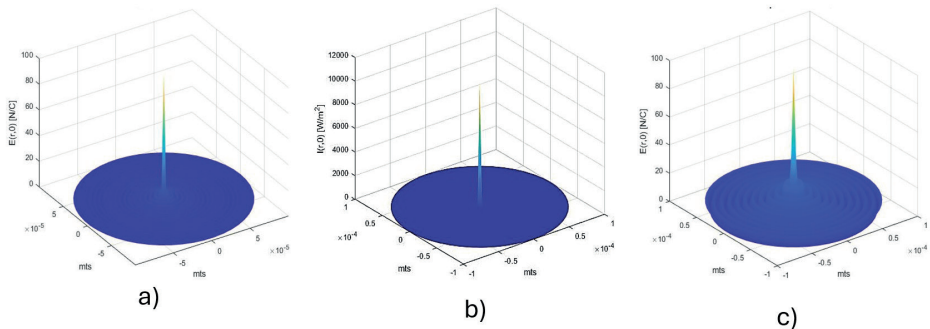
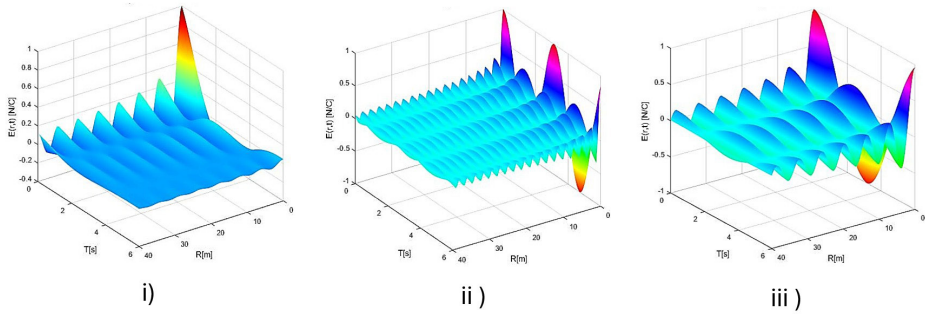


Figura 4. Simulaciones esquemáticas de la solución particular obtenida en R vs T vs E. i) Comportamiento del decaimiento de la amplitud en el tiempo ($\mu = \epsilon = \sigma = E_{\text{ofz}} = 1$). ii) Comportamiento esquemático de la amplitud en el tiempo dentro de un dieléctrico ($\mu = \epsilon = 2, \sigma = 0, E_{\text{ofz}} = 1$). iii) Comportamiento esquemático de la amplitud en el tiempo en el vacío ($\mu = \epsilon = 1, \sigma = 0, E_{\text{ofz}} = 1$). Son visibles el cambio en el empaquetamiento de las ondas y el mayor decaimiento temporal en los conductores.



El decaimiento espacial que persiste aún en el vacío puede explicarse debido a que los frentes de onda, al propagarse en el espacio, poseen una energía que se distribuye sobre la superficie de los frentes, lo cual es consistente con lo obtenido por Mousa (2012). La energía U de las ondas es proporcional a la irradiancia I y al área $2\pi rl$ de los frentes, y la intensidad de cada frente es proporcional al cuadrado de la amplitud A del campo eléctrico; la energía de cada frente es la misma, así que

$$U \propto 2\pi rlI \rightarrow U \propto rA^2 \quad (38)$$

$$\rightarrow A^2 \propto \frac{1}{r} \rightarrow A \propto \frac{1}{\sqrt{r}} \quad (39)$$

Lo que concuerda con Hecht (2000) en la aproximación de $J_o(r)$ para distancias lejanas

$$J_o(r) \simeq \sqrt{\frac{2}{\pi r}} \cos\left(r - \frac{\pi}{4}\right). \quad (40)$$

Los medios dieléctricos, al poseer un índice de refracción $n > 1$ disminuyen la longitud de onda de la radiación emitida, lo que lleva a una atenuación espacial más rápida de la amplitud. Los medios con conductividad $\sigma \neq 0$ dispersan la energía de la radiación debido a la oscilación que ésta induce en los electrones débilmente ligados de estos materiales, que actúan como dipolos (Landau & Lifshitz, 1992), introduciendo con ello el decaimiento exponencial de la amplitud del campo.

5 CONCLUSIONES

Se determinó una expresión general de la ecuación de onda para el campo eléctrico de la radiación en medios materiales, que describe un campo que obedece

al comportamiento de un oscilador amortiguado. Lo más destacable es la rapidez con que la radiación puede ser absorbida, siendo un proceso de duración ínfima en medios conductores y un poco más largo para medios de menor conductividad, con límite en el vacío. Los dieléctricos, aún con conductividad nula, producen un decaimiento del campo de manera espacial, siendo más resistivos a la propagación de las ondas, empaquetándolas aún más debido a la geometría de las superficies de distribución de la densidad de energía. Si se tratara de un dieléctrico con $n < 1$ la atenuación sería más lenta. El campo obtenido muestra un comportamiento ondulatorio espacial distinto a lo que resulta en los casos de propagación plana y esférica, aquí las ondulaciones no siguen un comportamiento sinusoidal, sino *besseliano*.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Deléphine, D. (2004). *Métodos matemáticos III*. Instituto de física de la universidad de Guanajuato.
- Hecht, E. (2000). *Notas de óptica*. España: Addison-Wesley.
- Landau, L., & Lifshitz, E. (1992). *Teoría clásica de los campos*. España: Reverté.
- Mousa, H. M. (2012). Attenuation in a Cylindrical Left Handed Material (LHM) Wave-Guide Structure. *Optics and Photonics Journal*, 2(1), 46-53.
- Nolasco, J. A. (2017). *Familias de campos ondulatorios fundamentales de la ecuación de Helmholtz en sistemas de coordenadas curvilíneas ortogonales*. Instituto nacional de astrofísica, óptica y optoelectrónica.
- Nolasco, J. A., Moheno, G. A., & Cerda, S. C. (2016). Ondas viajeras en coordenadas cilíndricas circulares. *Journal of Basic Sciences*, 2(5), 34-40.
- Wangsness, R. K. (2001). *Campos electromagnéticos*. México: Limusa.
- Zárate, E. A., Córdova, Q. A., Tepach, G. G., & Nolasco, J. A. (2019). Modelo matemático de difracción en región convergente y divergente de una lente esférica. *Revista Mexicana de Física*, 65(3), 299-306.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS VARIACIONES DEL COMPORTAMIENTO DEL FUEGO, DURANTE UNA QUEMA PRESCRITA

Data de submissão: 20/04/2025

Data de aceite: 06/05/2025

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 simulación del comportamiento del fuego puede apoyar la toma de decisiones en el manejo de incendios forestales, por lo que se han desarrollado varios sistemas de simulación. Sin embargo, su implementación implica conocer varios factores, como varias características de los combustibles forestales (carga, densidad aparente, relación área/volumen, contenido de calor, etc.), las cuales influyen en su combustión. Por lo que, con fines prácticos, se usa el concepto de “modelos de combustibles”, dentro del cual las características de los combustibles se consideran constantes. No obstante, la distribución de combustibles dentro de una zona dada, no siempre es homogénea, implicando variaciones espaciales de las cargas de combustibles y, por lo tanto,

del comportamiento del fuego. Debido a esto, en el presente trabajo se hizo un análisis comparativo de simulaciones del comportamiento del fuego (velocidad de propagación [m/min]), durante el trascurso de una quema prescrita (a favor de la pendiente), en un rodal forestal de pino-encino del estado de Chihuahua (México). Estas simulaciones variaron en relación a: a) modelos de combustibles; b) cargas de combustibles; y c) velocidad del viento. Los modelos probaron fueron: a) M-2, M-8 y M-9, seleccionados de Anderson (1982); b) mismos modelos, pero sustituyendo las cargas de combustibles por las obtenidas en campo, M-2R, M-8R y M-9R; y c) el que resulto de una regresión múltiple, en la que se relacionó la velocidad de propagación de fuego con temperatura, humedad relativa y pendiente. Se generaron las ecuaciones de las tendencias definidas por la correlación entre la humedad relativa (%) y la velocidad de propagación del fuego (m/min), donde el mejor ajuste se definió con la ecuación de la regresión: $VP = 21.689e^{0.037HR}$, la cual puede usarse en forma práctica para una estimación de la velocidad de propagación del fuego (VP), en relación a la humedad relativa (HR). Se concluye que es necesario generar modelos de combustibles específicos para la vegetación analizada, considerando posibles variaciones en densidad, estructura y composición.

PALABRAS CLAVE: modelos de combustibles; cargas de combustibles; humedad relativa.

COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIATIONS IN FIRE BEHAVIOR DURING A PRESCRIBED BURN

ABSTRACT: Simulation of fire behavior can support decision making in forest fire management, therefore several simulation systems have been developed. However, their implementation requires knowledge of various factors, such as different characteristics of forest fuels (loading, bulk density, area/volume ratio, heat content, etc.), which influence their combustion. Therefore, for practical purposes, the concept of “fuel models” is used, within which fuel characteristics are considered constant. However, the distribution of fuels within certain zone is not always homogeneous, which implies spatial variations of fuel loads and therefore of fire behavior. For this reason, in the present work, a comparative analysis of simulations of fire behavior (fire spread rate [m/min]), during the course of a prescribed burn (uphill) in a pine-oak forest stand in the state of Chihuahua (Mexico), was carried out. These simulations were varied in: a) fuel models; b) fuel loads; and c) wind speed. The models tested were: a) M-2, M-8 and M-9, selected from Anderson (1982); b) the same models but with the fuel loads replaced by those obtained in the field, M-2R, M8R and M-9R; and c) the one obtained from a multiple regression in which the rate of fire spread was related to temperature, relative humidity and slope. The equations of trends defined by the correlation between relative humidity (%) and fire spread rate (m/min) were generated, with the best fit defined by the regression equation: $VP = 21.689e^{-0.037HR}$, which can be used in a practical way to estimate the speed of fire spread (VP) as a function of relative humidity (RH). It is concluded that it is necessary to generate specific fuel models for the analyzed vegetation, taking into account possible variations in density, structure and composition.

KEYWORDS: fuel models; fuel loads; relative humidity.

1 INTRODUCCIÓN

En el manejo de incendios forestales, la simulación del comportamiento del fuego puede apoyar la toma de decisiones, sin embargo, se requiere considerar varios factores, como combustibles, topografía, humedad, etc. (Flores, 2023). Más aún, las diversas combinaciones de estos factores complican una precisa predicción del comportamiento del fuego, lo cual, a su vez define el posible nivel de impacto del fuego en los diferentes elementos de los ecosistemas forestales (Johnson y Miyanishi, 2001). De esta forma, la simulación del comportamiento del fuego podrá apoyar la definición de estrategias tanto de prevención y combate de incendios forestales, como de restauración (Stratton, 2006), lo cual se basa en la predicción de, por ejemplo, velocidad de propagación, altura de llama, longitud de llama, intensidad de calor, etc. (Flores, 2023).

En las últimas cuatro décadas, se han desarrollado varios sistemas de simulación del comportamiento del fuego, como por ejemplo los basados en una red neuronal artificial (Wu *et al.*, 2022), BehavePlus (Andrews, 2014), Prometheus (Tymstra,

2010), FlamMap (Finney, 2006), Farsite (Finney, 2004), CARDIN (Martínez *et al.*, 1991) Behave (Burgan y Rothermel, 1984). Todos estos se han desarrollado principalmente modelando la relación del comportamiento del fuego con diversos factores ambientales, como pendiente, viento, combustibles, etc. (Andrews, 2018; Ascoli *et al.*, 2015; Castillo y Garfias, 2010). No obstante, la mayoría de los sistemas de simulación se basan en las teorías desarrolladas por Rothermel (1972), cuya implementación implica evaluar una serie de características de los combustibles, las cuales influyen en su combustión (carga, densidad aparente, relación área/volumen, contenido de calor, etc.). Sin embargo, esta implementación se complica si se consideran las posibles combinaciones de los valores de estas características (Andrews, 2018; Finney *et al.*, 2013), por lo que, con fines prácticos, se definió el concepto de “modelos de combustibles”, dentro del cual las características de los combustibles se mantienen constantes. De esta forma, un modelo de combustibles es una descripción estandarizada (constante) de un conjunto de valores numéricos de las propiedades de los combustibles forestales (Karouni *et al.*, 2014). Desde esta perspectiva, inicialmente Rothermel (1972) definió 11 modelos de combustible, a los cuales Albini (1976) agregó dos modelos más, agrupando los 13 modelos resultantes en cuatro grupos: 1) Ecosistema dominado por pastos; 2) Chaparrales y arbustos; 3) Residuos forestales; 4) Residuos de aprovechamiento forestal. Debido a que estos modelos no cubren todas las condiciones posibles, se han venido desarrollando nuevos modelos, como, por ejemplo, los 40 modelos de Scott y Burgan (2005).

Para la predicción del comportamiento del fuego, se selecciona el modelo de combustibles que mejor se ajuste a una zona forestal dada, no obstante, debe considerarse que la distribución de combustibles dentro de esta zona, no necesariamente es homogénea, implicando variaciones espaciales de las cargas de combustibles (Flores y Omi, 2003). Estas variaciones definen, a su vez, cambios espaciales en el comportamiento del fuego por lo que, si no se consideran estos cambios, las simulaciones generalizadas (basadas en un modelo de combustibles) podrán sobrestimar, o subestimar, el comportamiento del fuego (Flores, 2023). Para ejemplificar esto, se presenta un análisis comparativo de simulaciones del comportamiento del fuego, durante una quema prescrita en relación a variaciones de: a) modelos de combustibles; b) cargas de combustibles; c) humedad de combustibles; y d) velocidad del viento. La información generada permite argumentar que, no obstante que los modelos de combustibles pueden facilitar la simulación del comportamiento del fuego, se debe considerar la variación espacial de los combustibles, para tender a una simulación más realista.

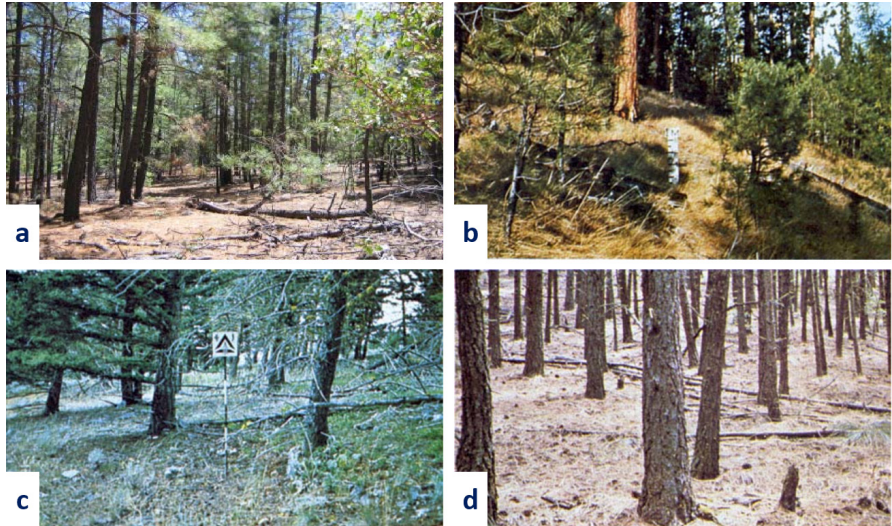
2 MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en un rodal forestal de pino-encino, del estado de Chihuahua, ubicado en el paraje “El Vallecito”, del predio “El Largo y Anexos”, cuyas coordenadas son: latitud 19° 06' 55" y longitud 108° 10' 25.3" (Flores *et al.*, 2010b). El clima que prevalece es el semifrío subhúmedo con lluvias en verano, donde los principales tipos de suelo que predominan son regosol y feozem. El análisis comparativo de este trabajo se llevó a cabo con información del comportamiento del fuego obtenida a través de la implementación de una quema prescrita realizada dicho rodal, donde predomina el *Pinus durangensis* y el género *Quercus*, con alturas promedio de 8.5 y 6.3 respectivamente. El diámetro normal promedio fue de 16.61 cm y 12.6 cm, para *P. durangensis* y *Quercus spp.*, respectivamente. Mientras que la altura de copa promedio es de 4.40 m² para *P. durangensis* y de 16.61 para *Quercus spp.*

2.1 MODELOS DE COMBUSTIBLES

Para llevar a cabo las simulaciones del comportamiento del fuego, primeramente, se seleccionaron de los modelos de combustibles propuestos por Anderson (1982) los que gráficamente coinciden con las condiciones forestales del área de trabajo, para esto se identificó cuál es el conductor primario del fuego (pasto, pasto-arbustos, arbustos, madera muerta, madera en el sotobosque etc.) y las clases de tamaño de combustibles representadas. El uso de fotografías, para designar modelos de combustibles ha sido ampliamente aplicado, lo cual ha derivado en el concepto de fotoseries, que constan de catálogos de fotografías para visualmente clasificar una zona forestal en los modelos de combustibles pertinentes (Labenski *et al.*, 2022; Flores *et al.*, 2010a; Scholl y Waldrop, 1999). De esta forma se usaron los siguientes modelos (Figura 1): M-2= Bosque; M-8= Residuos de bosque cerrado; M-9= Residuos de arbolado de madera dura. Así mismo, las simulaciones basadas en estos modelos se compararon en relación a dos arreglos de cargas de combustibles (Cuadro 1): a) estándares correspondientes a los modelos seleccionados y b) valores reales obtenidos en campo. Para el caso de los combustibles de 1 hora se consideraron los siguientes elementos (National Wildfire Coordinating Group, 2022): ramillas entre 0 y 0.6 cm, hojarasca, zacates y herbáceas.

Figura 1. Modelos de combustíveis similares a las condiciones del área de trabajo (a): Modelo 2 (b); Modelo 8 (c); y Modelo 9 (d). (Modificado de Anderson, 1982).



Cuadro 1. Cargas (t/ha) por tipo de combustibles, correspondientes a modelos de combustibles de Anderson (1982).

Modelo	1-hr	10-hr	100-hr	Vivos
2	4.94	2.47	1.24	1.24
8	3.71	2.47	6.18	0.00
9	7.17	0.99	0.49	0.00
Campo	28.10	2.46	4.57	1.24*

* Valor estándar correspondiente al Modelo 2.

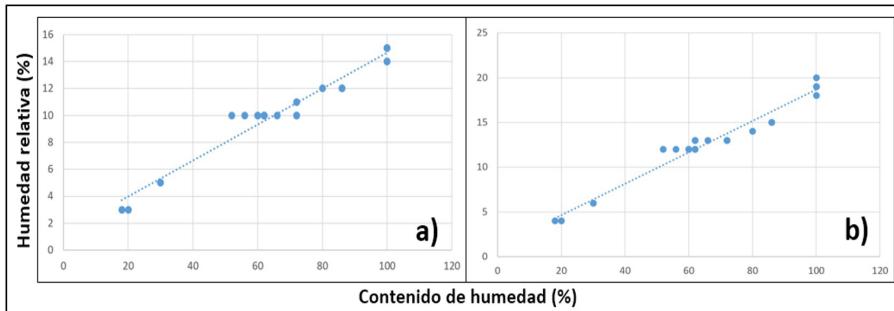
2.2 HUMEDAD DE COMBUSTIBLES

Las simulaciones del comportamiento del fuego se hicieron considerando cambios temporales de la humedad de combustibles (%) y de la velocidad del viento (km/hr). En cuanto al contenido de humedad, en referencia a los combustibles de 1-hora y 10-horas, se consideró la relación de la humedad relativa y contenido de humedad reportada por Flores y Gómez (2011), con la cual se generaron los siguientes modelos (Figura 2) para estimar el contenido de humedad (CH):

$$\begin{aligned}
 CH_{1-hr} &= (0.1334 * HR) + 1.3129 \\
 CH_{10-hr} &= (0.1755 * HR) + 1.1135; \\
 CH_{100-hr} &= (CH_{10-hr} / CH_{1-hr}) * CH_{10-hr}
 \end{aligned}$$

Estos modelos solo toman una fracción de la humedad relativa (RH), debido a que se considera el contenido de humedad de los combustibles en un momento dado, por lo que, para que los combustibles lleguen a su punto de equilibrio total se requiere que trascorra el tiempo de retardo correspondiente al tamaño de cada combustible (p.e. 1-hora, 10-horas) En cuanto a los combustibles vivos, asumió un contenido de humedad del 80%.

Figura 2. Tendencia de la relación de humedad relativa y contenido de humedad de combustibles forestales: a) combustibles de 1-hora ($R^2= 0.955$); b) combustibles de 10 horas ($R^2= 0.965$).



2.3 PROCESOS DE SIMULACIÓN

El análisis comparativo de las diferentes simulaciones del comportamiento del fuego se enfocó en la estimación de la velocidad de propagación (m/min) y la longitud de llama (m), cuyas simulaciones se hicieron con el sistema FUEGO (Flores, 2019; Flores et al., 2007). Donde la simulación de la propagación de incendios superficiales se estimó con base al siguiente algoritmo (Andrews, 2018):

$$ROS = \frac{RI * PFR * (1 + WC + SF)}{BD * EQIG * QIG}$$

dónde: **ROS**= Tasa de propagación (Rate of Spread (chains/hr)); **RI**= Intensidad de reacción (Reaction Intensity); **PFR**= Relación de flujo de propagación (Propagation Flux Ratio); **WC**= Coeficiente del viento (Wind coefficient); **SF**= Factor por pendiente (Slope factor); Factor de pendiente y/o viento (Wind-Slope Factor); **BD**= Densidad aparente (Bulk Density (lbs/cu ft)); **EQIG**= Número de calentamiento efectivo (Effective Heating Number); **QIG**= Calor de pre-encendido (Heat of Preignition (BTU/lb)). Las simulaciones se hicieron a favor de la pendiente, bajo dos perspectivas: a) con los valores de cargas de combustibles estándares, correspondientes a cada uno de los modelos de combustibles (M-2, M-8 y M-9); y b) con los mismos modelos, pero

sustituyendo las cargas de combustibles estándares por las cargas evaluadas en campo (M-2R, M-8R Y M-9R). Otra opción que se comparó, para la estimación de la velocidad de propagación de fuego, fue la ecuación propuesta por Flores *et al.* (2010b), a la que se le denominó REGRESIÓN, donde se correlaciona la tasa de propagación (velocidad de propagación [**VP** m/min]), la humedad relativa (**HR** [%]), temperatura (**T** [C°]) y viento (**V** [km/hr]):

$$VP= 12.2259 - 0.1116HR - 0.278T - 0.162V$$

2.4 CONDICIONES AMBIENTALES

Las evaluaciones de campo (reales) de la velocidad de propagación del fuego se hicieron durante el desarrollo de la quema prescrita, monitoreándose también las variaciones de las condiciones ambientales y el contenido de humedad de los combustibles (Cuadro 2). Estas condiciones se consideraron para las simulaciones del comportamiento del fuego, con base a lo cual se generaron los modelos correspondientes, mismos que representan un cambio fraccional, en relación al punto de equilibrio entre el contenido de humedad de los combustibles y los cambios de humedad relativa. Esto implica que el contenido de humedad de los combustibles no varía al mismo ritmo que las variaciones de la humedad relativa, sobre todo en los combustibles mayores a 1 hora, lo cual limita la precisión de la simulación del comportamiento del fuego. De esta forma, si se quiere tener en cuenta variaciones inmediatas del contenido de humedad de los combustibles, se deberá implementar un modelaje dinámico.

Cuadro 2. Variación de las condiciones ambientales y contenido de humedad (%) de combustibles durante la quema prescrita (adaptado de Flores *et al.*, 2010b).

Hora	T	HR	VV	P	1hr	10hr	100hr	Vivos
07:15	4	87	2	15	12.92	16.38	20.77	80
07:33	6	87	1	15	12.92	16.38	20.77	80
07:38	7	58	2	15	9.05	11.29	14.09	80
07:55	8	60	2	15	9.32	11.64	14.55	80
08:17	8	60	1	15	9.32	11.64	14.55	80
08:20	8	53	5	15	8.38	10.42	12.94	80
08:48	10	61	5	15	9.45	11.82	14.78	80
08:55	15	57	2	15	8.92	11.12	13.86	80

T= Temperatura (C°); **HR**= Humedad relativa (%); **VV**= Velocidad del viento (km/hr); **P**= Pendiente (%).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 COMPORTAMIENTO PROMEDIO

Tomando como base el comportamiento del fuego evaluado directamente en campo, y los modelos seleccionados, las estimaciones en las simulaciones presentaron resultados muy variables (Figura 3), que va desde una subestimación del 7% (M-8R), hasta una sobrestimación 139.5% (M-2R). Donde sobresalen los casos de las estimaciones del modelo M-2 y de la REGRESIÓN, las cuales, en promedio, fueron muy similares al comportamiento del fuego de campo (2.26 m/min), 2.608 y 2.236 respectivamente.

3.2 SIMULACIÓN COMPARATIVA

Las comparaciones de las simulaciones del comportamiento del fuego, de cada uno de los modelos, se presentan en la Figura 4, los cuales resultaron en una alta variación en relación a la velocidad de propagación del fuego. Sin embargo, se distinguen dos grupos, el primero se conforma por los modelos M-8 y M-9, los cuales subestiman considerablemente el comportamiento del fuego. Más aún, al sustituir las cargas de combustibles en cada uno de estos modelos (M-8R y M-9R), por las cargas evaluadas en campo, no se apreció un mejor ajuste al comportamiento del fuego real (Figuras 4b y 4c). Por otra parte, el modelo M-2 y el derivado de la REGRESIÓN se aproximan más a la velocidad del fuego registrada en campo (Figura 5). Sin embargo, el modelo M-2 subestima la propagación del fuego en valores reales altos y, por el contrario, sobrestima cuando los valores reales son menores. Este comportamiento no se mejoró cuando se sustituyeron las cargas de combustibles por los valores reales (Figura 4d), ya que incluso se sobreestimo aún más en los valores reales bajos.

Figura 3. Variaciones de la estimación promedio del comportamiento del fuego, en una quema prescrita a favor de la pendiente: REAL= Medido en campo; REGRESIÓN = Basado en Flores *et al.* (2010b); M-2, M-8 y M-9= Basados en Anderson (1982); M-2R, M-8R y M-9R= Modelos de combustibles con cargas de combustibles estimadas en campo.

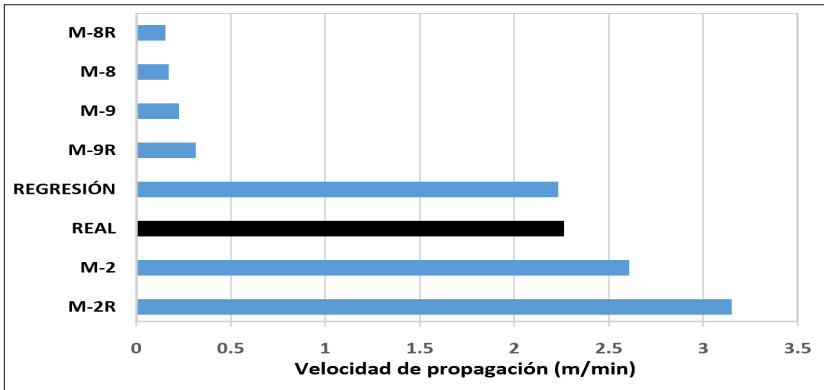
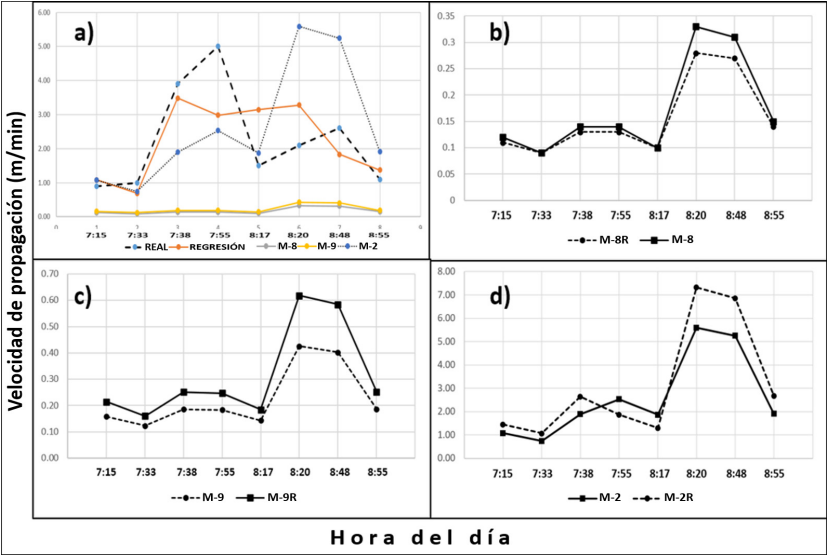


Figura 4. Tendencia de la velocidad de propagación del fuego, en relación a las opciones de estimación: a) Todos los modelos; b) Modelo-8; c) Modelo-9; d) Modelo-2.



El comportamiento del fuego es mayormente influenciado por la humedad relativa, debido a que define el contenido de humedad de los combustibles, lo cual es importante desde la perspectiva de los modelos dinámicos. Sin embargo, las tendencias de correlación no están bien definidas para ninguno de los modelos probados (Figura 6). No obstante, es clara la definición de dos grupos, donde en el primero los valores altos de humedad relativa resultan en valores bajos de la velocidad de propagación del fuego, mientras que en el otro grupo los bajos de humedad relativa definen una mayor velocidad de propagación. Estos resultados permiten establecer un contexto general de la tendencia del comportamiento del fuego.

Figura 5. Modelos que mejor se ajustaron al comportamiento del fuego real (medido en campo).

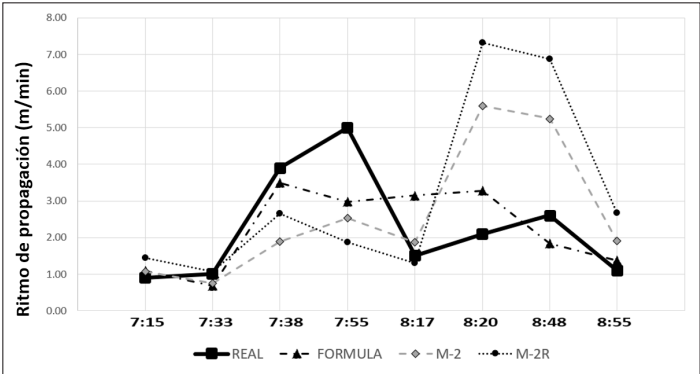
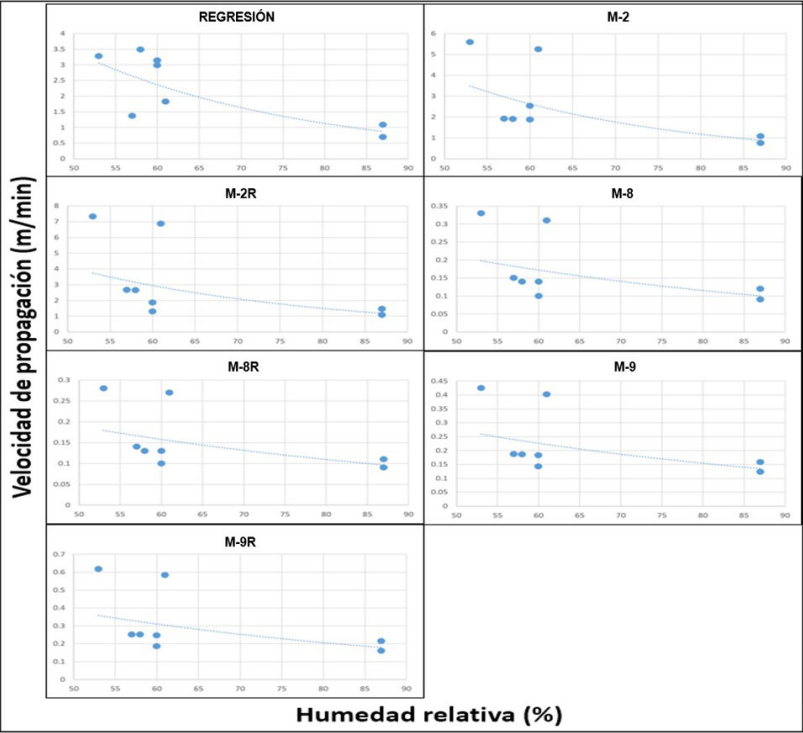


Figura 6. Tendencias de correlación entre la humedad relativa y la velocidad de propagación del fuego, correspondientes a los modelos probados.



Los modelos que se ajustan a las tendencias se presentan en el Cuadro 3, donde se indica que el mejor ajuste se define, en todos los casos, con modelos exponenciales. Donde los mejores ajustes resultaron con el modelo de REGRESION y el modelo M-2. De esta forma, estos modelos se pueden usar para orientar estimar, en forma práctica, la velocidad del fuego con base a la humedad relativa. Es decir, la definición de la regresión a las curvas obtenida para cada modelo, permite sustituir el valor de la humedad relativa, en las ecuaciones resultantes, para estimar la velocidad de propagación del fuego (Karouni *et al.*, 2014).

Cuadro 3. Modelos que definen la tendencia que más se aproximan al valor real de la velocidad de propagación del fuego (VP), basados en su correlación con la humedad relativa (HR).

Modelo	Ecuación	R ²	F	p-valor
REGRESIÓN	$VP = 21.689e^{-0.037HR}$	0.6822	4.47	0.079
M-2	$VP = 29.253e^{-0.04HR}$	0.6156	0.41	0.544
M-2R	$VP = 22.477e^{-0.034HR}$	0.3980	0.09	0.7781
M-8	$VP = 0.5697e^{-0.02HR}$	0.3160	0.12	0.7435
M-8R	$VP = 0.4705e^{-0.018HR}$	0.3322	0.12	0.7375

M-9	$VP = 0.7109e^{-0.019HR}$	0.3186	0.12	0.7383
M-9R	$VP = 1.0564e^{-0.02HR}$	0.3051	0.11	0.7491

Con los modelos generados se puede predecir no solo el comportamiento potencial del fuego, sino eventualmente también sus efectos, sin embargo, es importante considerar los incendios forestales son fenómenos complejos por lo que su modelación requiere de información de varios factores, esencialmente sobre combustible (vegetación), topografía y clima (Fujioka *et al.*, 2009). De esta forma, la utilidad práctica de los modelos generados es que ayudan a definir bajo qué condiciones ambientales el fuego tiende a un comportamiento moderado, con base a lo cual se podría usar este fuego en forma controlada (Flores *et al.*, 2010b). No obstante, como en todo proceso de simulación, se debe especificar su utilidad (ventajas y limitaciones), tanto en tiempo como en espacio (Andrews, 2014). Más aún, se debe considerarse la escala de las predicciones: 1) modelos empíricos, que están relacionados a observaciones de gran escala (Finney *et al.*, 2013); y 2) modelos físicos que consideran los procesos a una escala más puntual, donde contempla la propagación del fuego como resultado de la combustión del material combustible (Prichard *et al.*, 2013). Así mismo, debe tomarse en cuenta que el avance del fuego no se determina por las condiciones promedio de los combustibles, sino que avanza hacia donde se tiene una resistencia menor a la combustión, por ejemplo, donde se tienen combustibles finos y secos (Cruz y Fernández 2008; Frandsen, 1971). No obstante, es importante considerar que cada incendio es diferente, incluso cuando ocurre en el mismo lugar, pudiendo definir un diferente comportamiento del fuego, lo cual es resultado de variaciones (en tiempo y espacio) de las condiciones ambientales (Ruíz, 2009). De acuerdo con esto, es claro que los modelos de simulación generados proporcionan una explicación limitada (Finney *et al.*, 2013), debido a que de acuerdo con Tricone y Anderson (2018): a) la representación de los combustibles (modelos de combustibles) puede ser deficiente; b) se considera que los combustibles muertos se queman incluso en condiciones de humedad relativa alta; y c) los combustibles herbáceos se modelan como secos. De acuerdo con esto, la selección incorrecta de un modelo de combustibles, en la simulación del comportamiento del fuego, puede resultar en estimaciones imprecisas. Por lo que, alternativamente, como se hizo en el presente trabajo, se pudo probar más de un modelo de combustibles para una misma área (Tricone y Anderson, 2018). Más aún, la calibración, que se hizo en este trabajo, de las cargas de los modelos de combustibles, al usar datos de campo, permitió un mejor ajuste con los parámetros ambientales, no obstante, no se debe perder de vista que esta calibración

define solo una aproximación de las características reales de los combustibles (Scott y Burgan 2005; Cruz y Fernandes 2008). Dentro de esta perspectiva, debe considerarse que algunos modelos de combustibles funcionan mejor en incendios forestales extremos, mientras que se requieren modelos específicos cuando se quiere predecir el comportamiento del fuego en quemas prescritas (Scott y Burgan, 2005).

4 CONCLUSIONES

Aunque, en general, los modelos seleccionados no presentaron un fuerte ajuste, para la simulación del comportamiento del fuego, su utilidad del proceso se define desde tres perspectivas: a) permiten conocer la tendencia potencial del comportamiento del fuego; b) la metodología usada apoya la generación de nuevos modelos; y c) se pueden probar modelos de combustibles alternativos. Al respecto se debe considerar que los resultados son específicos para las quemas prescritas realizadas (quema a favor), donde la variación de la simulación de la propagación fue considerable, principalmente en el caso del modelo M-2R. En relación a la simulación de la velocidad de propagación del fuego, cuando se especifica la pendiente como constante, fue clara la influencia de la velocidad del viento. Aunque en forma gráfica (fotográfica), se pueden identificar los modelos de combustibles que puedan corresponder a un área dada, es relevante considerar que este proceso puede ser muy subjetivo, dependiendo, básicamente, de la experiencia del seleccionador y del número de modelos de combustibles con que se cuente. Esto puede implicar que los modelos seleccionados difieran de las condiciones de varias áreas forestales, lo cual sugiere definir el mayor número de modelos de combustibles posible, con lo que, a su vez, se podrán realizar simulaciones del comportamiento del fuego que se ajusten mejor a la realidad. Sin embargo, es importante considerar que la definición de un modelo de combustibles no es un proceso sencillo, ya que implica la evaluación de varios aspectos, tanto de campo como de laboratorio. Más aún, en México son pocos los estudios que reporten en forma integral la evaluación de combustibles y su relación con los modelos de combustibles correspondientes. Debido a esto aún se siguen usando modelos generados en condiciones, relativamente, similares a las del área de estudio. Más aún, considerando que se haga una selección adecuada de los modelos de combustibles, existe la alta posibilidad de que se presenten variaciones espaciales internas de las cargas de combustibles, las cuales pueden alterar el comportamiento del fuego.

BIBLIOGRAFÍA

Albini, F. A. 1976. Estimating wildfire behavior and effects. General Technical Report INT-30, USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT.

Anderson, H. E. 1982. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. General Technical Report INT-122, USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT.

Andrews, P. L. 2014. Current status and future needs of the BehavePlus fire modeling system. *International Journal of Wildland Fire*, 23: 21-33. <http://dx.doi.org/10.1071/WF12167>

Andrews, P. L. 2018. The Rothermel surface fire spread model and associated developments: A comprehensive explanation. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-371. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 121 p.

Ascoli, D., Vacchiano, G., Motta, R., Bovio, G. 2015. Building Rothermel fire behaviour fuel models by Genetic Algorithm optimization. *Journal: International Journal of Wildland Fire*, CSIRO: 1-19. DOI: 10.1071/WF14097

Burgan, R.E., Rothermel, R.C. 1984. BEHAVE: fire behaviors prediction and fuel modeling system--FUEL subsystem. General Technical Report INT-167. Ogden, UT: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 126 p.

Castillo S., M. y Garfias S., R. 2010. Estudio del comportamiento del fuego mediante simulación de incendios forestales en Chile. *Geographicalia*, 58: 80-13.

Cruz, M.G. y Fernandes, P.M. 2008. Development of fuel models for fire behaviour prediction in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stands. *International Journal of Wildland Fire* 2008, 17: 194–204.

Finney, M. A. 2004. FARSITE: Fire Area Simulator--model development and evaluation. Research Paper RMRS-RP-4 Revised. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 47 p.

Finney, M. A. 2006. An Overview of FlamMap Fire Modeling Capabilities. In: Andrews, P. L., Butler, B. W. Fuels Management-How to Measure Success: Conference Proceedings. 28-30 March. Portland, OR. Proceedings RMRS-P-41. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Pp. 213-220.

Finney, M.A., Cohen, J.D., McAllister, S.S., Jolly, W.M. 2013. On the need for a theory of wildland fire spread. *International Journal of Wildland Fire*, 22: 25–36. <http://dx.doi.org/10.1071/WF11117>

Flores G., J. G. 2019. Sistema de simulación puntual del comportamiento del fuego. En Libro de Resúmenes del XIV Congreso Mexicano de Recursos Forestales. 6-9 noviembre, Durango, Durango. P. 246.

Flores G., J.G. 2023. Simulación de las variaciones de la velocidad de propagación del fuego, durante una quema prescrita. *eCUCBA*, 10(19): 45-55.

Flores G., J.G. y Gómez M., L.P. 2011. Estimación práctica de la variabilidad de la humedad de combustibles bajo diferentes ecosistemas forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(5): 45-57.

Flores G., J.G. y Omi, P.N. 2003. Mapping forest fuels for spatial fire behavior simulations using geomatic strategies. *Agrociencia*, 37: 65-72.

Flores G., J.G., Moreno G., D.A., Morfín R., J.E. 2010a. Muestreo directo y fotoseries en la evaluación de combustibles forestales. Folleto Técnico Núm. 4. Centro Experimental Centro-Altos de Jalisco. CIRPAC. INIFAP. 69 pp.

Flores G., J.G., Xelhuantzi C., J., Chávez D., Á.A. 2010b. Monitoreo del comportamiento del fuego en una quema controlada en un rodal de pino-encino. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 16(1): 49-59.

Flores G., J.G.; Gómez M., L.P.; Meléndez G., M. 2007. El sistema de simulación FUEGO y su comparación con el monitoreo del comportamiento del fuego en quemas prescritas. 2da Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. 19-21 septiembre. Universidad Autónoma de Guadalajara. Zapopan, Jalisco.

Frandsen, W. H. 1971. Fire spread through porous fuels from the conservation of energy. *Combustion and Flame*, 16:9-16.

Fujioka, F.M., Gill, A.M., Viegas, D.X., Wotton, M. 2009. Fire danger and fire behavior modeling systems in Australia, Europe, and North America. *Developments in environmental science*, Volume 8. Editors: Bytnerowicz, A., Arbaugh M., Riebau, A., Andersen, C. Elsevier B.V. Pp. 471-497. DOI:10.1016/S1474-8177(08)00021-1

Johnson, E. A. y K. Miyanishi, eds. 2001. *Forest Fires: Behavior and ecological effects*. Academic Press. 594 pp.

Karouni, A., Daya, B., Bahlak, S., Chauvet, P. 2014. A simplified mathematical model for fire spread predictions in wildland fires combining between the models of Anderson and Rothermel. *International Journal of Modeling and Optimization*, 4(3): 197-200.

Labenski, P., Ewald, M., Schmidtlein, S., Ewald F., F. 2022. Classifying surface fuel types based on forest stand photographs and satellite time series using deep learning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 109: 1-17.

Martinez M., J., Vignote, S., Martos, J., Caballero, D. 1991. CARDIN: a computer system for the simulation of wildland fire spread. *Forest Systems*, (1): 121-133. <https://doi.org/10.5424/1299>

National Wildfire Coordinating Group. 2022. Glossary. <https://www.nwcg.gov/term/glossary/one-hour-timelag-fuels>. Fecha de consulta: 15 febrero, 2025.

Prichard, S.J., Sandberg, D.V., Ottmar, R.D., Eberhardt, E., Andreu, A., Eagle, P., Swedin, K. 2013. Fuel characteristic classification system Version 3.0: Technical Documentation. USDA Forest Service. General Technical Report PNW-GTR-887. 79 p.

Rothermel, R.C. 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service Research Paper INT-115. 40 p.

Ruiz G., A.D. 2009. Introducción al comportamiento del fuego. *Recursos Rurais*, 5: 15-19.

Scholl, E.R., Waldrop, T.A. 1999. Photos for estimating fuel loadings before and after prescribed burning in upper coastal plain of the southeast. General Technical Report SRS-26. Southern Research Station. USDA Forest Service. 25 pp.

Scott, J.H. y Burgan, R.E. 2005. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 72 p.

Stratton, R.D. 2006. Guidance on spatial wildland fire analysis: models, tools, and techniques. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-183. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 15 p.

Tricone F. y Anderson, T.R. 2018. Guía para modelos de combustible de comportamiento de fuego en ecosistemas tropicales. Sarteneja, Belize. 31 p.

Tymstra, C.; Bryce, R.W.; Wotton, B.M.; Taylor, S.W.; Armitage, O.B. 2010. Development and Structure of Prometheus: The Canadian Wildland Fire Growth Simulation Model. Nat. Resour. Can., Can. For. Serv., North. For. Cent., Edmonton, Alberta. Inf. Rep. NOR-X-417. 88 p.

Wu, Z., Wang, B., Li, M., Tian, Y., Quan, Y., Liu, J., 2022. Simulation of forest fire spread based on artificial intelligence. Ecological Indicators, 136: 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108653>

CAPÍTULO 5

DIAGNÓSTICO EXPERIMENTAL DO PROBLEMA DE REBAIXAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO DE BISKRA (ARGÉLIA)

Data de submissão: 07/04/2025

Data de aceite: 28/04/2025

Abderrahmane Noui

Centro de Pesquisa Científica e

Técnica sobre Regiões Áridas

CRSTRA, BP 1640, Biskra, Argélia

<https://orcid.org/0000-0002-4383-2259>

CV

Zineb Guesbaya

Departamento de Ciências Agronômicas

Universidade de Biskra, Argélia

RESUMO: A região agrícola de Biskra, marcada por índices pluviométricos anuais muito baixos (150 a 200 mm), enfrenta uma disponibilidade limitada de recursos hídricos renováveis. Essas condições naturais desfavoráveis, exacerbadas pela expansão das atividades agrícolas e pelo aumento das áreas irrigadas, geraram consequências ambientais significativas, especialmente sobre os recursos hídricos. A crescente urbanização, associada ao desenvolvimento industrial e agrícola, resultou em uma degradação considerável da qualidade e quantidade das águas disponíveis. Em algumas áreas, o nível dos lençóis freáticos diminuiu drasticamente, evidenciando uma superexploração

alarmante. Essa situação compromete não apenas a segurança hídrica, mas também a segurança alimentar, dois pilares essenciais para o desenvolvimento sustentável, alinhados ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6 (ODS 6), que visa garantir o acesso à água e ao saneamento para todos. Para enfrentar esses desafios, é crucial implementar uma gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos. Este trabalho propõe soluções práticas para mitigar o problema do rebaixamento das águas subterrâneas na região de Biskra, incorporando abordagens experimentais inovadoras. Entre as metodologias utilizadas estão o Sistema de Informação Geográfica (SIG) e as técnicas de prospecção geofísica, que se destacaram como ferramentas eficazes para inventariar, planejar, gerenciar e desenvolver os recursos hídricos subterrâneos. O SIG desenvolvido neste estudo permite monitorar a evolução do rebaixamento dos lençóis freáticos, avaliar sua magnitude, identificar suas causas subjacentes e localizar as áreas mais vulneráveis. Os resultados mostram uma queda significativa nos níveis das águas subterrâneas, com uma redução média anual de 5% observada no norte e sul da região. Ao longo de dez anos, isso corresponde a uma redução de 50%, e em 44 anos, a queda atinge cerca de 300%. Esses dados destacam a urgência de agir para preservar a segurança hídrica e assegurar a sustentabilidade dos recursos hídricos, condição indispensável para garantir a segurança alimentar nesta

estratégica região agrícola. As soluções propostas incluem a implementação de práticas agrícolas sustentáveis, a promoção de técnicas de irrigação eficientes, a recarga artificial dos aquíferos e a conscientização das comunidades locais sobre os desafios da gestão dos recursos hídricos. Em conclusão, este artigo destaca os impactos ambientais e socioeconômicos da superexploração das águas subterrâneas em Biskra e propõe ações concretas para atender aos objetivos do ODS 6, contribuindo para a segurança hídrica e alimentar da região.

PALAVRAS-CHAVE: Argélia; regiões áridas; Biskra; águas subterrâneas; diagnóstico experimental.

EXPERIMENTAL DIAGNOSIS OF THE GROUNDWATER TABLE DRAWDOWN PROBLEM IN THE BISKRA REGION (ALGERIA)

ABSTRACT: The agricultural region of Biskra, characterized by very low annual rainfall (150 to 200 mm), faces limited availability of renewable water resources. These unfavorable natural conditions, worsened by the expansion of agricultural activities and the increase in irrigated areas, have caused significant environmental impacts, particularly on water resources. Growing urbanization, coupled with industrial and agricultural development, has led to a notable degradation in the quality and quantity of available water. In some areas, groundwater levels have dropped dramatically, indicating alarming overexploitation. This situation compromises not only water security but also food security, two fundamental pillars for sustainable development aligned with Sustainable Development Goal 6 (SDG 6), which aims to ensure universal access to water and sanitation. To address these challenges, it is essential to implement integrated and sustainable water resource management. This study proposes practical solutions to mitigate the problem of groundwater depletion in the Biskra region, using innovative experimental approaches. Among the methodologies employed are Geographic Information Systems (GIS) and geophysical prospecting techniques, recognized as effective tools for inventorying, planning, managing, and developing groundwater resources. The GIS developed in this study allows monitoring the evolution of groundwater depletion, assessing its magnitude, identifying its main causes, and locating the most vulnerable areas. The results reveal a significant decline in groundwater levels, with an average annual reduction of 5% observed in the north and south of the region. Over a ten-year period, this represents a 50% reduction, and over 44 years, the decline reaches approximately 300%. These figures highlight the urgent need for action to preserve water security and ensure the sustainability of water resources, a condition essential for guaranteeing food security in this important agricultural region. The proposed solutions include the adoption of sustainable agricultural practices, the promotion of efficient irrigation methods, artificial aquifer recharge, and raising awareness among local communities about the proper management of water resources. In conclusion, this paper highlights the environmental and socioeconomic impacts of groundwater overexploitation in Biskra and suggests concrete actions to meet the objectives of SDG 6, contributing to the region's water and food security.

KEYWORDS: Algeria; arid regions; Biskra; groundwater; experimental diagnosis.

1 INTRODUÇÃO

A região de Biskra, localizada no sudeste da Argélia, enfrenta desafios significativos na gestão dos recursos de águas subterrâneas. Com uma área de aproximadamente 30.000 km², esta região é caracterizada por um clima árido, marcado por altas temperaturas e precipitações anuais extremamente baixas, frequentemente inferiores a 200 mm (Benhamza et al., 2018). Essas condições climáticas limitam severamente a disponibilidade de água, representando um grande obstáculo para o desenvolvimento sustentável das atividades agrícolas e industriais.

A intensificação da agricultura, impulsionada pelo crescimento populacional e pela crescente demanda por alimentos, bem como a expansão das áreas irrigadas, resultou em uma superexploração alarmante dos lençóis freáticos. Esse fenômeno é exacerbado pela rápida urbanização, que exerce pressão adicional sobre os recursos hídricos. Práticas agrícolas ineficientes, falta de conscientização sobre a gestão sustentável da água e infraestruturas hidráulicas insuficientes agravam ainda mais a situação (Hamidi et al., 2020). Como consequência, observa-se um rebaixamento significativo dos níveis de água subterrânea, ameaçando não apenas a segurança hídrica da região, mas também o equilíbrio dos ecossistemas locais e a viabilidade econômica das comunidades dependentes desses recursos (Kheddam et al., 2016).

Diante dessa preocupante situação, o mapeamento do rebaixamento das águas subterrâneas emerge como uma etapa essencial para compreender a magnitude do problema. Essa abordagem permite identificar áreas de risco, avaliar os impactos da superexploração sobre a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos e propor soluções adaptadas e sustentáveis (Bencherif et al., 2019). As técnicas de prospecção elétrica, que caracterizam a estrutura geológica e hidrogeológica do subsolo, combinadas aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), revelam-se ferramentas cruciais para este tipo de estudo. A integração de dados geoespaciais e hidrológicos possibilita realizar um inventário detalhado dos aquíferos, avaliar as variações de profundidade dos lençóis freáticos e produzir mapas precisos que ilustram o estado dos recursos hídricos, além de identificar as áreas mais vulneráveis aos efeitos combinados das mudanças climáticas e das atividades humanas (Bouderbala et al., 2019).

Este trabalho de pesquisa visa contribuir para o mapeamento do rebaixamento das águas subterrâneas na região de Biskra, utilizando técnicas de prospecção elétrica e SIG. O objetivo principal é fornecer uma base científica sólida para melhorar a gestão dos recursos hídricos, promovendo seu uso sustentável. Por meio de recomendações fundamentadas em dados robustos, este estudo busca sensibilizar tomadores de decisão,

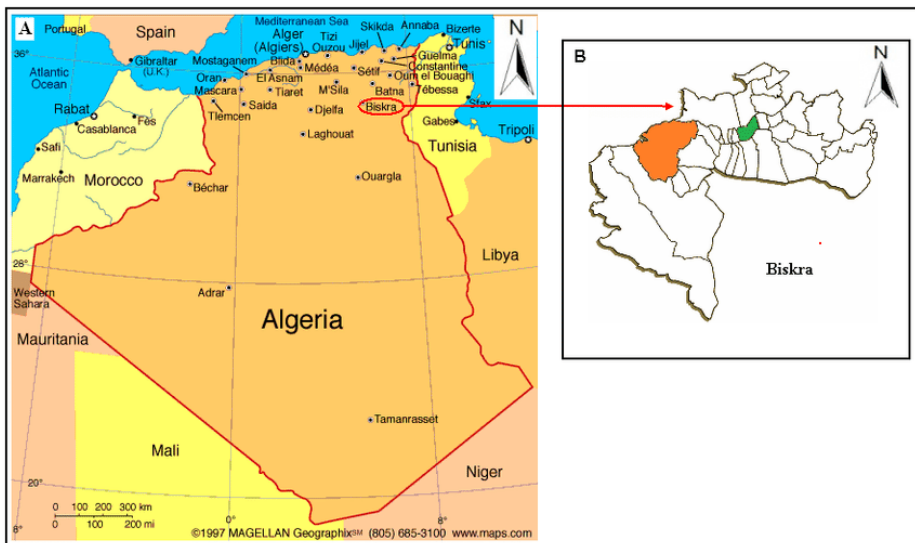
atores locais e agricultores sobre a importância de uma gestão integrada dos recursos hídricos, essencial para garantir a sustentabilidade da agricultura e o desenvolvimento econômico da região. Assim, ele contribui não apenas para a preservação do meio ambiente, mas também para a melhoria das condições de vida das populações locais.

2 APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região de Biskra, localizada no sudeste da Argélia, ocupa uma posição estratégica na fronteira entre as montanhas do Aurès e o deserto do Saara. Ela faz parte da vasta palmeira dos Zibans, famosa por suas exuberantes oásis que contrastam com um ambiente árido e hostil. O clima da região é do tipo desértico, caracterizado por altas temperaturas no verão e precipitações anuais extremamente baixas, geralmente variando entre 150 e 200 mm. Essas condições climáticas tornam os recursos de água subterrânea particularmente preciosos e essenciais para o desenvolvimento econômico e social da região (Tazir et al., 2018).

A economia de Biskra baseia-se principalmente na agricultura, com especialização tradicional no cultivo da tâmara Deglet Nour, mundialmente reconhecida por sua qualidade. No entanto, nos últimos anos, a região diversificou suas atividades agrícolas, incorporando cultivos hortícolas. Essa evolução permitiu impulsionar a economia local e consolidar Biskra como um dos principais polos de produção de legumes na Argélia (Benguedour et al., 2021).

Fig. 01: Mapa da localização geográfica da cidade de Biskra (NOUI & al, 2023).

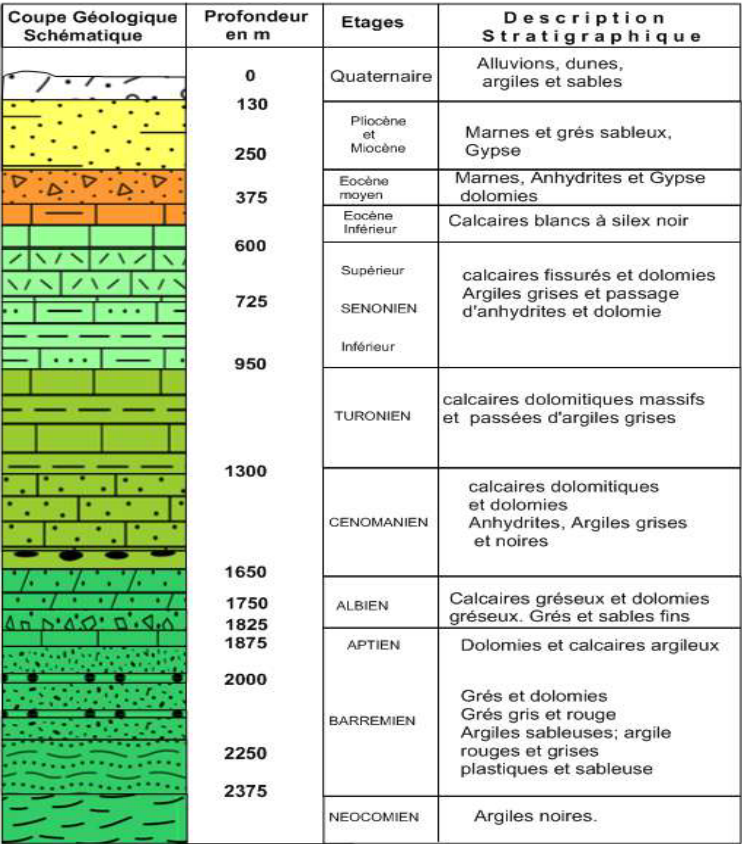


3 GEOLOGIA E GEOFÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO

A região de Biskra foi objeto de numerosos estudos geológicos e geofísicos, incluindo trabalhos conduzidos por R. Laffitte (1939), N. Gousskov (1964), Cornée (1989), G. Mauget (1967), bem como por instituições como CGG, E.NA.GEO, SONATRACH, ANRH e IFES. Esses trabalhos representam referências essenciais para a síntese geológica e geofísica do Saara argelino e ampliaram significativamente nossa compreensão das características geológicas da região de Biskra.

A litoestratigrafia desta planície é dominada por formações cretáceas, incluindo arenitos, margas, calcários e argilas (NOUI & al, 2022). O Turoniano é composto principalmente por camadas de calcário, enquanto o Eoceno e o Senoniano se distinguem por calcários fraturados, margas, argilas e gipsita. Os depósitos mio-pliocenos estão bem desenvolvidos, compostos por arenitos, areias e margas no topo. Por fim, o Quaternário é caracterizado pela presença de aluviões, travertinos provenientes de nascentes, além de detritos originados das encostas e dos sopés das montanhas (Benyelles & al, 2017).

Fig. 02: Perfil litoestratigráfico da região de Biskra (D.M.R.H 1980).



4 MATERIAIS E MÉTODOS

Detector de águas subterrâneas WF 303 GH

- GPS
- Mapas topográficos, geológicos e hidrogeológicos
- Software ARCGIS 10.3
- Ferramentas de campo (martelo, caixa, etc.)
- Meio de transporte

O Dispositivo WF 303 GH possui três sistemas para garantir a detecção de água: um sistema de imagem 3D, um sistema de pesquisa geofísica e um sistema de longo alcance. O dispositivo fornece informações sobre: a densidade do reservatório subterrâneo, a qualidade da água (doce ou salgada) e a profundidade do lençol freático até 1000 metros.

Fig 03: Dispositivo de prospeccção elétrica WF 303 GH (GUESBAYA & al, 2024).



Nosso método de trabalho começa com a instalação de campanhas de prospecção elétrica por toda a região de Biskra, permitindo coletar dados precisos sobre a profundidade dos lençóis freáticos disponíveis. Em seguida, elaboramos o mapa de rebaixamento das águas subterrâneas da cidade de Biskra utilizando Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Essa etapa essencial visa determinar o nível de rebaixamento das águas subterrâneas e otimizar a gestão desse recurso precioso nesta área árida.

a) Trabalho de campo:

- Levantamento junto aos operadores para coletar o histórico de exploração das águas subterrâneas da região de Biskra.

- Estudo in loco para analisar a topografia e a morfologia do terreno.
 - Coleta de dados por meio de prospecção elétrica vertical.
- b) Trabalho de escritório:
- Consulta de mapas topográficos, geológicos e hidrogeológicos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Foram realizadas mais de 107 campanhas geofísicas em diversos setores da região de Biskra, incluindo o centro, o norte, o leste, o sul e o oeste. É importante esclarecer que essas campanhas foram conduzidas para furos perfurados entre 1980 e 2007, e que esses furos foram documentados e catalogados pela ANRH de Biskra em 2008.

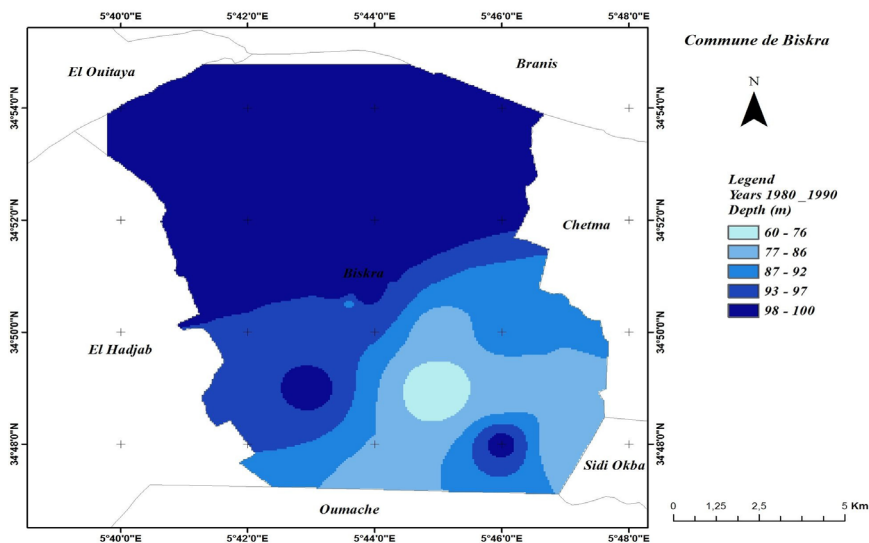
Preparamos mapas que ilustram a queda das águas subterrâneas aproximadamente a cada dez anos, utilizando o ArcGIS 10.3.

Tabela 01: Exemplo dos resultados da prospecção elétrica.

Região	Longitude	Latitude	Altitude	Ano	Profundidade e (m)	Profundidade medida por prospecção elétrica em 2024 (m)
Biskra	05° 47' 07"	34° 48' 33"	58	1980	80	300
Biskra	05° 44' 03"	34° 47' 18"	67	1982	70	390
Biskra	05° 46' 10"	34° 49' 27"	73	1984	100	310
Biskra	05° 46' 34"	34° 48' 04"	71	1985	100	320
Biskra	05° 56' 38"	34° 47' 53"	65	1985	100	280
Biskra	05° 56' 40"	34° 47' 36"	65	1985	100	300
Biskra	05° 46' 33"	34° 50' 54"	92	1985	100	390
Biskra	05° 45' 00"	34° 50' 17"	145	1985	100	380
Biskra	05° 44' 05"	34° 52' 49"	134	1986	100	320
Biskra	05° 44' 06"	34° 52' 50"	129	1986	100	370
Biskra	05° 44' 07"	34° 52' 52"	131	1986	100	350
Biskra	05° 46' 34"	34° 49' 30"	85	1986	60	300
Biskra	05° 46' 49"	34° 50' 38"	89	1986	80	390
Biskra	05° 44' 09"	34° 47' 05"	66	1986	81	370
Biskra	05° 46' 20"	34° 49' 20"	74	1987	100	380
Biskra	05° 45' 46"	34° 50' 39"	82	1988	80	310
Biskra	05° 46' 55"	34° 50' 38"	84	1988	90	320
Biskra	05° 43' 11"	34° 49' 58"	84	1988	100	350
Biskra	05° 43' 30"	34° 49' 43"	90	1988	100	360
Biskra	05° 45' 03"	34° 50' 04"	108	1989	100	320
Biskra	05° 44' 07"	34° 52' 35"	136	1990	100	350
Biskra	05° 44' 12"	34° 52' 56"	130	1990	100	360

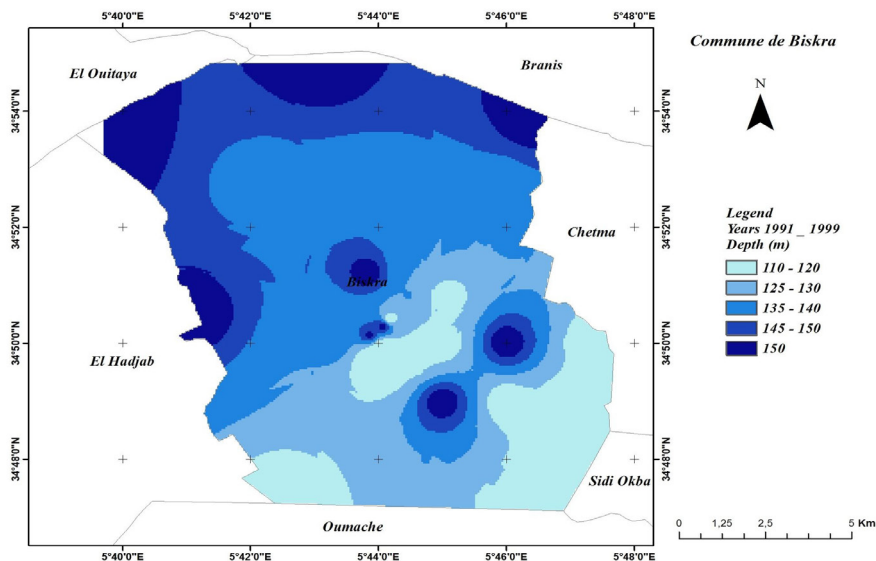
Período: 1980-1990.

Fig 04: Mapa do rebaixamento das águas subterrâneas da região de Biskra (1980-1990).



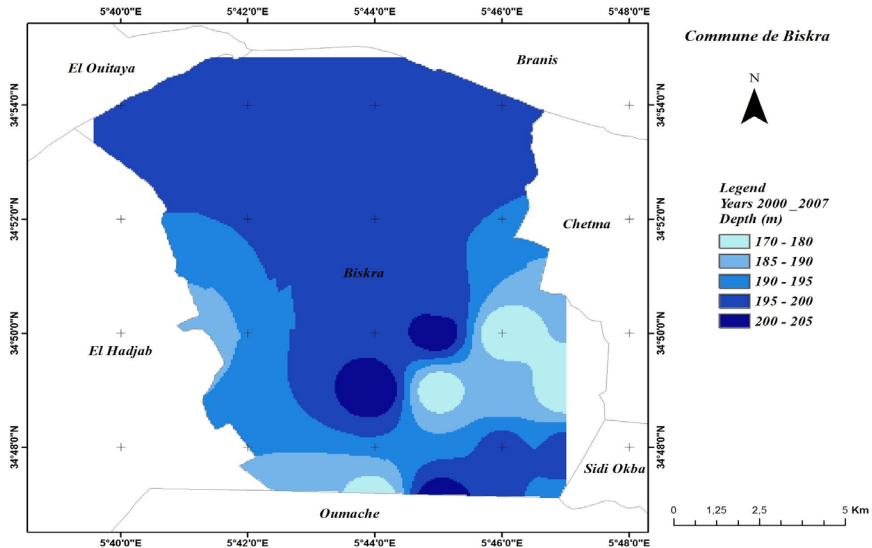
Período: 1991-1999.

Fig 05: Mapa do rebaixamento das águas subterrâneas da região de Biskra (1991-1999).



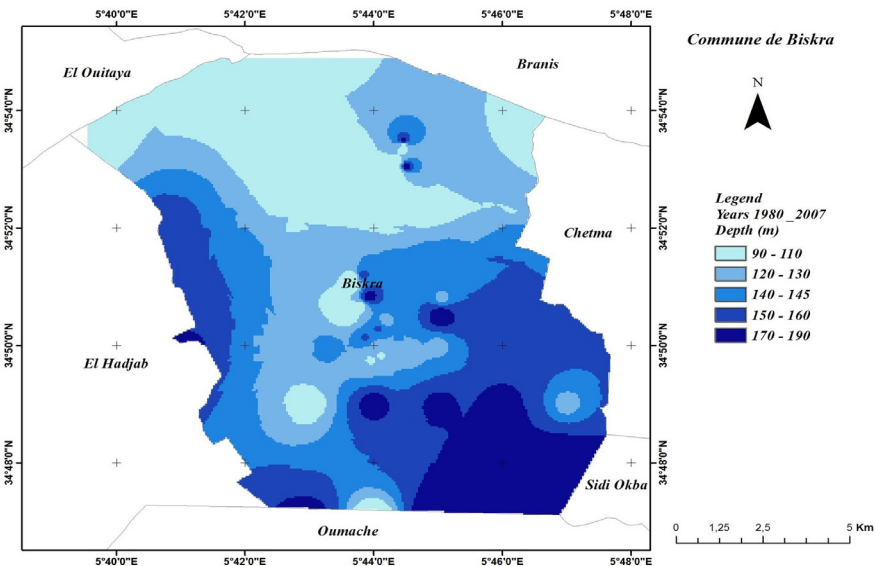
Período: 2000-2007.

Fig 06: Mapa do rebaixamento das águas subterrâneas da região de Biskra (2000-2007).



Período: 1980-2007

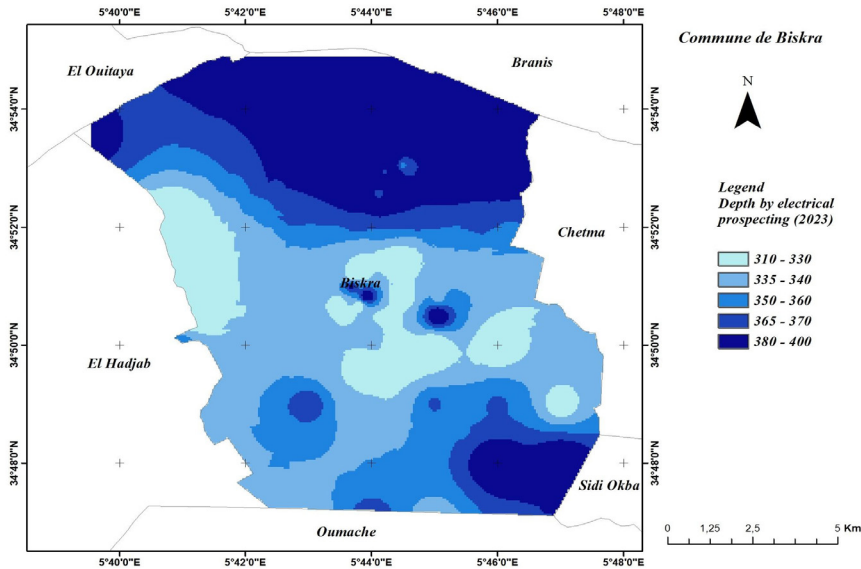
Fig 07: Mapa do rebaixamento das águas subterrâneas da região de Biskra (1980-2007).



Por fim, elaboramos um mapa detalhado que ilustra a queda das águas subterrâneas com base nos dados obtidos por meio da prospecção elétrica. Esse método, reconhecido por sua precisão, permitiu-nos coletar informações essenciais

sobre a profundidade e o estado atual dos lençóis freáticos na região de Biskra. Os dados coletados foram cuidadosamente analisados e integrados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando o software ArcGIS 10.3, a fim de produzir uma representação espacial clara e precisa das áreas afetadas pelo rebaixamento. Esse mapa constitui, assim, uma ferramenta crucial para entender a evolução dos recursos hídricos subterrâneos e orientar as decisões relacionadas à gestão sustentável desses recursos. Ele destaca as áreas mais vulneráveis e permite identificar tendências a longo prazo, oferecendo uma base sólida para estratégias de intervenção e preservação dos aquíferos.

Fig 08: Mapa do rebaixamento das águas subterrâneas da região de Biskra por prospecção elétrica (2023).



Análise dos dados mostra uma diminuição preocupante nos níveis de água subterrânea nas regiões norte e sul de Biskra. Essa queda, ou rebaixamento, manifesta-se por um declínio médio de cerca de 5% ao ano, resultando em uma redução cumulativa de aproximadamente 50% a cada dez anos e uma queda total de até 300% ao longo de um período de 44 anos, ilustrando a magnitude da crise hídrica nesta região árida.

Vários fatores explicam essa redução drástica dos recursos de água subterrânea:

1. Os efeitos das mudanças climáticas: Essas mudanças alteram o ciclo hidrológico natural, causando uma diminuição das precipitações na região. Essa redução das chuvas diminui as oportunidades de recarga natural dos lençóis freáticos, contribuindo para o rebaixamento contínuo.

2. A expansão das áreas irrigadas: A crescente demanda por água para irrigação das culturas intensificou-se com o aumento das áreas agrícolas, aumentando assim os volumes extraídos das reservas de água subterrânea. Isso torna os aquíferos particularmente vulneráveis ao aumento da pressão sobre os recursos hídricos.
3. O uso de métodos tradicionais de irrigação: Embora amplamente utilizadas, essas técnicas de irrigação muitas vezes carecem de eficiência na conservação da água, levando a um desperdício que contribui para o esgotamento das reservas subterrâneas.
4. O desenvolvimento de poços agrícolas não autorizados: A proliferação de poços ilegais e não regulamentados para a extração de água subterrânea agravou a situação. Esses poços descontrolados exploram os recursos hídricos de forma intensiva e desorganizada, sem considerar a sustentabilidade das reservas.

O impacto desses fatores combinados exerce uma pressão crescente sobre os recursos hídricos de Biskra, colocando em risco a sustentabilidade das reservas de água subterrânea e ameaçando o futuro da agricultura, bem como o abastecimento de água potável. Medidas rigorosas de gestão, incluindo a modernização das técnicas de irrigação e a regulamentação estrita dos poços, são, portanto, essenciais para preservar esses recursos vitais para as futuras gerações.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo geofísico e cartográfico realizado na região de Biskra revelou quedas alarmantes nos níveis das águas subterrâneas, especialmente nas áreas norte e sul da região. Os dados mostram uma redução média anual de aproximadamente 5%, o que resulta em um declínio acumulado de cerca de 50% ao longo de uma década e até 300% ao longo de 44 anos. Esses números destacam a gravidade da crise hídrica enfrentada por esta região árida, onde os recursos subterrâneos desempenham um papel vital para o abastecimento de água potável, a agricultura e os ecossistemas locais.

As principais causas dessa situação crítica estão associadas tanto a fatores naturais quanto antrópicos. Entre os fatores naturais, as mudanças climáticas têm alterado o ciclo hidrológico natural, reduzindo as precipitações e limitando a recarga dos aquíferos. No entanto, os impactos humanos são ainda mais determinantes neste processo de degradação. O aumento das áreas irrigadas, o uso de métodos tradicionais de irrigação ineficientes e a proliferação de poços agrícolas não autorizados têm exacerbado a pressão sobre os recursos hídricos subterrâneos, levando à sua rápida exaustão.

Diante desta situação preocupante, é essencial implementar medidas urgentes e estratégicas para mitigar os impactos negativos e garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos. As seguintes recomendações são propostas:

1. Realizar um estudo aprofundado sobre a qualidade dos solos e das águas de irrigação dos poços afetados pelo rebaixamento: É fundamental entender como a queda do nível freático está impactando a qualidade das águas subterrâneas e dos solos utilizados para a agricultura. Isso permitirá identificar áreas de risco e propor práticas adequadas para minimizar os danos ambientais.
2. Adotar medidas urgentes para proibir a construção de poços não autorizados: A proliferação de poços ilegais tem sido uma das principais causas do esgotamento acelerado dos aquíferos. Portanto, é crucial intensificar a fiscalização e implementar políticas rigorosas para controlar e regular a perfuração de novos poços.
3. Sensibilizar os agricultores sobre a importância da irrigação localizada, irrigação por aspersão e irrigação por pivô, eliminando o desperdício de água associado aos métodos tradicionais de irrigação: A promoção de técnicas modernas e eficientes de irrigação pode reduzir significativamente o consumo de água e melhorar a produtividade agrícola. Campanhas de conscientização e treinamentos práticos devem ser organizados para incentivar os agricultores a adotarem essas práticas.
4. Iniciar estudos sobre a possibilidade de recarga artificial direta do aquífero Quaternário a partir do aquífero Continental Intercalaire: A exploração da interconexão entre diferentes aquíferos pode oferecer uma solução promissora para reabastecer as reservas de água subterrânea. Estudos detalhados devem ser conduzidos para avaliar a viabilidade técnica e econômica dessa abordagem.
5. Desenvolver um aplicativo inteligente/plataforma de alerta e governança das águas subterrâneas na região de Biskra: A criação de uma ferramenta digital acessível pode facilitar o monitoramento em tempo real dos níveis de água subterrânea, fornecer alertas sobre áreas críticas e promover uma gestão colaborativa dos recursos hídricos. Essa plataforma pode ser integrada a sistemas de georreferenciamento (SIG) para otimizar a tomada de decisões.

A implementação dessas medidas requer uma abordagem coordenada entre governos, instituições de pesquisa, comunidades locais e outros atores relevantes.

Além disso, é fundamental alinhar essas estratégias aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), particularmente ao ODS 6, que visa garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos.

Em suma, a região de Biskra enfrenta um desafio sem precedentes no que diz respeito à gestão de seus recursos hídricos subterrâneos. Sem intervenções imediatas e bem planejadas, o futuro da agricultura, do abastecimento de água e dos ecossistemas locais estará seriamente comprometido. As recomendações aqui apresentadas buscam não apenas mitigar os impactos atuais, mas também construir uma base sólida para a preservação desses recursos vitais para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

- Al-Bahrani, H. S., Al-Rammahi, A. H., Al-Mamoori, S. K., Al-Maliki, L. A., & Nadhir, A. A. (2022). Groundwater detection and classification using remote sensing and GIS in Najaf, Iraq. *Groundwater for Sustainable Development*, 19, 100838.
- ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques). (2008). Inventaire des points d'eau dans la wilaya de Biskra.
- Bencherif, M., & Bouhadiba, M. (2019). Mapping groundwater depletion in the Biskra region: Assessing risks and proposing sustainable solutions. *International Journal of Water Resources Development*, 35(4), 588-604. <https://doi.org/10.1080/07900627.2018.1552416>
- Benhamza, M., & Boudjemline, F. (2018). Challenges of groundwater resource management in arid regions: Case study of Biskra, Algeria. *Journal of Arid Land Studies*, 12(2), 145-158.
- Benmechiche, M., Bennacer, L., & Laouar, I. K. (2021). Les espaces verts urbains: une nécessité pour la santé et le bien-être des habitants, le cas de Biskra. *Journal of Human Sciences*, 651-661.
- Benguedour, R., & Ferhati, A. (2021). Agricultural diversification and economic development in Biskra, Algeria: The case of Deglet Nour dates and vegetable production. *Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 54(2), 87-98. <https://doi.org/10.21608/jaar.2021.21439>
- Bouderbala, A., & Chaab, M. (2019). Application of Electrical Resistivity Tomography and GIS for Groundwater Characterization and Vulnerability Mapping in Arid Regions: Case Study of Biskra, Algeria. *Hydrological Sciences Journal*, 64(5), 589-605.
- C.G.G (Campagne Générale de Géophysique). (1971). Étude géophysique.
- Cornée, J. (1989). Géologie du Sahara algérien: Synthèse des connaissances actuelles. *Geobios*, 22(3), 275-290.
- DEMHR (Direction des Études de Milieu et de la Recherche Hydraulique). (1980). Notice explicative de la carte hydrogéologique de Biskra, Direction des études de milieu et de la recherche hydraulique, service hydrogéologique.
- E.NA.GEO. (1982). Étude géophysique.
- Gouskov, N. (1964). Geophysical investigations in the Biskra area: Implications for the geological framework of the region. *Annales de Géophysique*, 20(2), 185-200.

GUESBAYA Z., MEBREK N., NOUI A. (2024). Contribution à la cartographie du rabattement des eaux souterraines de la région de Biskra par deux méthodes (la géophysique et le SIG). Mémoire de master en sciences agronomiques – Université de Biskra.

Hamidi, A., & Belaidi, S. (2020). Impacts of Agricultural Intensification and Urbanization on Groundwater Resources in Arid Regions: A Study of Biskra, Algeria. *Journal of Environmental Management*, 15(3), 210-225.

I.F.E.S (Institut Français d'Études Supérieures). (2005). Étude géophysique.

Kheddam, M., & Kachouri, S. (2016). Hydrogeological study of the Biskra region and its impact on the local economy and ecosystems. *Journal of Water Resource and Protection*, 8(10), 1050-1062. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.810093>

Laffitte, R. (1939). Études géologiques et géophysiques dans la région de Biskra. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 9(4), 225-230.

Mauget, G. (1967). Contribution à la connaissance des formations géologiques du Sahara algérien: Analyse lithostratigraphique. *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, 22(5), 451-467.

Mebrek, N., Noui, A., Guesbaya, Z., Kameli, M., & Hadji, R. (2025). Assessing Groundwater Depletion in the Biskra Region (Algeria) Using Electrical Survey Techniques and GIS. *Algerian Journal of Arid Regions*, 18(1), 31-40.

NOUI, A. (2023). CONTRIBUTION DE LA PROTECTION DE LA VILLE DE BISKRA (ARGÉLIE) CONTRE INONDATIONS PELA GABIONNAGE DE OUED SIDI ZERZOUR. *PROCEEDING XXX CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA*, 07 au 11 novembre 2022.

NOUI, A., & GUESBAYA, Z. (2022). Modélisation numérique de l'équilibre hydrogéologique – application à la nappe mio-pliocène de Biskra. *Communication Science et Technologie*, Vol. 20, No. 02, 57-62.

SONATRACH. (1999). Géologie de l'Algérie, 93 pages.

Tazir, M., & Bouarfa, S. (2018). Hydrological characteristics and water resource management in Biskra, Algeria: A case study of the Ziban palm grove region. *Journal of Arid Land*, 10(3), 415-425. <https://doi.org/10.1007/s40333-018-0066-3>

CAPÍTULO 6

BREEDING DROUGHT RESISTANCE AND HEAT TOLERANCE TO MITIGATE CLIMATIC CHANGE EFFECTS ON CROPS

Data de submissão: 20/03/2025

Data de aceite: 11/04/2025

Cándido López-Castañeda

Postgrado en Recursos Genéticos y

Productividad-Genética

Colegio de Postgraduados

Campus Montecillo

Carretera México-Texcoco

km 36.5CP 56230

Montecillo, Texcoco, Estado de México

<https://orcid.org/0000-0001-5342-7962>

ABSTRACT: The objective of this study was to assess the plant response to soil water deficit and heat in a group of bread wheat, triticale and barley varieties under glasshouse and outdoors conditions. Thirty-two bread wheats, two barleys and a triticale were included. A complete block design with three replicates was used. The experimental unit was a PVC tube 1 m tall and 10.5 cm diameter with an individual plant. Both experiments were planted in July 28, 2010. A fertilizer rate of 80-40-00 was applied to the soil. This showed that plants under water and heat stress in a glasshouse produced less biomass, dry weight of roots and shoot, and had lower root/shoot ratio than plants with less heat stress outdoors. The barley varieties

produced greater biomass and dry weight of roots and shoot, and they had greater root/shoot ratio than the bread wheat and triticale varieties in glasshouse conditions with higher level of water and heat stress. The better performance of barley varieties in glasshouse conditions could be used as a valuable attribute of drought resistance and heat tolerance, and it could be used as a selection criterion in the plant breeding programs.

KEYWORDS: *Hordeum vulgare* L.; *Triticum aestivum* L.; *Triticosecale* Wittmack; dry weight of roots; dry weight of shoot.

RESISTENCIA A LA SEQUÍA Y TOLERANCIA AL CALOR PARA MITIGAR LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS CULTIVOS

RESUMEN: El objetivo del presente estudio fue evaluar la respuesta de la planta al déficit hídrico del suelo y calor en un grupo de variedades de trigo harinero, triticale y cebada en condiciones de invernadero e intemperie. Se incluyeron 32 genotipos de trigo harinero, dos cebadas y un triticale. Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental fue un tubo de PVC de 1 m de alto y 10.5 cm de diámetro con una planta individual. Los dos experimentos se sembraron el 28 de julio de 2010. Se aplicó la dosis de fertilización 80-40-00. Se determinó que las plantas sujetas a estrés hídrico y alta temperatura en invernadero produjeron menos biomasa,

peso seco de raíces y parte aérea, y tuvieron menor cociente de raíz/parte aérea que las plantas con menor estrés por calor en condiciones de intemperie. Las variedades de cebada produjeron mayor biomasa, peso seco de raíces y parte aérea, y tuvieron mayor cociente raíz parte aérea que las variedades de trigo harinero y triticales en condiciones de invernadero con mayor nivel de estrés hídrico y por calor. El mejor comportamiento genético de las variedades de cebada en condiciones de invernadero puede considerarse como un atributo de resistencia a sequía y tolerancia a calor, y podría utilizarse como criterio de selección en los programas de mejoramiento genético.

PALABRAS CLAVE: *Hordeum vulgare* L.; *Triticum aestivum* L.; *Triticosecale* Wittmack; peso seco de raíz; peso seco de parte aérea.

1 INTRODUCTION

Global food security is being haunted by the rapid increase in population and drastic changes in the climate (Lesk *et al.*, 2016). In the wake of changing climate, drought, and heat stress have become the most important limiting factors to crop productivity and ultimately to the food security. Severe droughts cause substantial decline in crop yields through negative impacts on plant growth, physiology, and reproduction (Barnabas *et al.*, 2008). Average global combined temperature of land and ocean surface has increased by 0.85 °C between 1880 and 2012 (IPCC, 2014). An average increase of at least 0.2 °C per decade is projected from now onwards. The rising concentration of the greenhouse gases is becoming a major cause of the global warming. Over the past 250 years a 30 and 150 % rise in the concentration of the CO₂ and methane has been observed (Friedlingstein *et al.*, 2010). Drought and heat stresses limit plant growth and productivity more than any other environmental factor. For instance, global wheat production was simulated to decline by 6 % for each degree Celsius rise in temperature (Asseng *et al.*, 2015). Although increasing temperatures are also beneficial for crop production in some cooler regions of the world, overall impact on global food security is still negative (Challinor *et al.*, 2014). Plants are subjected to the drought conditions when either the water supply to the roots is limited or the loss of water through transpiration is very high (Anjum *et al.*, 2011). The severity of the damage caused by the drought is generally unpredictable as it is driven by various factors including, the rainfall patterns, moisture holding capacity of the soil, and water losses through evapotranspiration. Drought and heat stresses interfere with growth, nutrient and water relations, photosynthesis, assimilate partitioning and ultimately cause a significant reduction in crop yields. The present research work was pursued to assess the response of a group of bread wheat, barley and triticales genotypes under drought and heat stress in glasshouse and outdoors conditions.

2 MATERIALS AND METHODS

Two experiments in large tubes were carried on at Colegio de Postgraduados at Montecillo, Municipality of Texcoco, State of Mexico (19° 29' N, 98° 54' O, elevation 2250 m above sea level) in the summer-fall growing season 2010. Thirty-two genotypes of bread wheat representing a historical sample of old and modern bread wheats from Mexico and the United States of America, and a triticale and two barley genotypes were included (Table 1).

Table 1. Germplasm used for the experiments.

Pedigree	Year of release	Country of origin	Plant genetic characteristics
Old Mexican landraces			
Kentana 48	1948	Mexico	Tall (rht), bread wheat
Yaqui 50	1950	Mexico	Tall (rht), spring
Temp. M-87/Col.1718 CPRST-13-13T (F ₄)	1998	Mexico	Tall
Yaqui 48	1948	Mexico	Tall, (rht), awnless
Old parental green-revolution lines			
Gabo	1945	Australia	Tall, (rht), bread wheat
Marroqui	1948	Morocco, North Africa	Tall, (rht), bread wheat
Pre-breeding genotypes of the green-revolution			
Nainari 60	1960	Mexico	Tall, (rht), bread wheat
Penjamo 62	1962	Mexico	Tall, (rht), spring
Bajio 67	1967	Mexico	Tall, (rht), spring
Tobari 66	1966	Mexico	Tall, (rht), bread wheat
Green-revolution genotypes			
Decade 1970's			
Salamanca S-75	1975	Mexico	Semi-dwarf
Cleopatra VS-74	1974	Mexico	Semi-dwarf
Tanori F-71	1971	Mexico	Semi-dwarf
Jupateco F-73	1973	Mexico	Semi-dwarf
Yecora Rojo	1975	USA	Semi-dwarf
Decade 1980's			
Galvez M-87	1987	Mexico	Semi-dwarf
Mexico M-82	1982	Mexico	Tall
Tonichi S-81	1981	Mexico	Semi-dwarf
Seri M-82	1982	Mexico	Semi-dwarf
Genaro T-81	1981	Mexico	Semi-dwarf

Opata 85 (Cheel)	1985	Mexico	Semi-dwarf
Decade 1990's			
Verano S-91	1991	Mexico	Semi-dwarf
Romoga F-96	1996	Mexico	Semi-dwarf
Juchitepec	1996	Mexico	Semi-dwarf
Borlaug M-95	1995	Mexico	Short
Modern			
Nahuátl F-2000	2000	Mexico	Semi-dwarf
Rebeca F-2000	2000	Mexico	Semi-dwarf
Era F 2000	2000	Mexico	Semi-dwarf
Tlaxcala F-2000	2000	Mexico	Semi-dwarf
Summit	2005	CA, USA	Semi-dwarf
Blanca Grande	2005	CA, USA	Semi-dwarf
Other bread wheats			
Cal Rojo	-	Los Altos, CA, USA	Tall
Triticale			
Triticale 118 (Spring)	-	CA, USA	Tall, spring
Barley			
Lenetah (Barley, spring, two-row)	-	Idaho, USA	Tall, two-row, spring
Cleopatra (Barley, spring, six-row)	-	Mexico	Tall, six row, spring

Experiments were sown in July 28, 2010 in wet soil; one experiment was placed in a glasshouse and the another one was set up outdoors. Seeds of 35 mg weight were used for all genotypes. A complete randomized block design with three replicates was used. The experimental unit was an individual plant grown in a large PVC tube (1 m tall and 10.5 cm diameter) filled out with soil. Soil used was a silt-loam, rich in organic matter with 33.9 % field capacity, 20.5 % permanent wilting percentage, 9 % organic matter, 6.9 pH and 1.5 dSm⁻¹ electric conductivity. Nitrogen and phosphorous were applied to the soil at a rate of 80 and 40 kg ha⁻¹, respectively. Plants grown in glasshouse conditions were watered every other day up to flowering and plants grown outdoors were exposed to rainfall (462 mm) and they were added with water as needed up to flowering. Soil born pests and diseases were prevented with the application of Quatz® IV, Twin-Chain (Alterna-agro, s.a. de c.v., Mexico) at a dosage of 1L ha⁻¹ 25 days after sowing. Neither pests nor diseases were observed on the aerial plant organs.

At physiological maturity whole shoot was removed and placed in paper bags to be oven dried for 72 h at a temperature of 70 °C. Dry weight of shoot (DWS, g) was determined for all plants. Plant roots in large tubes were left in a glasshouse until the soil

dried up. Then, plastic bags with soil and roots were placed on a table and length of the longest root (LR, cm) was measured from the soil surface to the root tip with a wooden ruler. Roots were separated from soil and they were taken to an oven and dry weight (DWR, mg) was determined. Plant biomass (BM = DWR + DWS, g) and root/shoot ratio (RSR = DWR / DWS) were calculated. Maximum and minimum temperatures were recorded by using a data logger (Hobo® model H08-004-02, United States) placed at 1.8 m height from the soil surface in both experiments. Rainfall occurred in the outdoors experiment was measured with a gauge (Young Tipping Bucking Rain Gauge, model 52202/52203, United States) (Table 2). Data were analyzed using the SAS Program for Windows version 9.4 (SAS, 2012). Least significant difference (Lsd Tukey, $P \leq 0.05$) was calculated for the comparison of means.

Table 2. Monthly weather statistics during the growing season.

Environment	May	June	July	August	September	October
Glasshouse						
Maximum temperature (°C)	35.8	34.1	31.3	30.1	30.2	30.4
Minimum temperature (°C)	11.1	12.6	12.5	11.9	11.4	7.1
Outdoors						
Maximum temperature (°C)	33.7	32.9	27.3	26.8	26.4	25.4
Minimum temperature (°C)	6.3	8.6	10.1	9.2	8.2	0.5
Precipitation (mm)	10.5	49.2	208.6	149.5	44.3	0.0

3 RESULTS AND DISCUSSION

Soil moisture deficit after flowering caused water stress in the glasshouse and outdoors plants. Water stress in the glasshouse plants was increased by the higher mean maximum and minimum air temperatures (32 and 11.1 °C) than in the outdoors plants (28.8 and 7.2 °C). Exposure of bread wheat plants to suboptimal (below 2 °C) or super optimal (25 °C) temperatures may reduce grain yields by inducing pollen sterility (Sánchez *et al.*, 2014).

Genetic variability among genotypes of bread wheat, barley and triticale for all measured plant traits was significant, except for the length of the longest root in the outdoors plants. The range of variation among genotypes for biomass, dry weight of roots, dry weight of shoot, root/shoot ratio and length of the longest root was higher (12.7, 37.5, 12.2, 10.3 and 2.2-fold) in the glasshouse plants than in the outdoors plants (2.4, 9.0, 2.3, 9.7

and 1.9-fold) (Table 3). The fold range variation for dry weight of roots and shoot, observed in this study was greater than that determined in seedlings of durum wheat grown in phytoagar gel in laboratory conditions, where the range fold for dry weight of roots and shoot was 1.7 and 1.5, respectively (Sanguineti *et al.*, 2007). Differences in root and shoot growth between these experiments and the laboratory experiment of Sanguineti *et al.* (2007) were due to the longer growth period given to the glasshouse and outdoors plants; this allowed a greater root and shoot development at physiological maturity. The lack of difference in length of the longest root among genotypes in the outdoors experiment was probably due to the high level of precipitation and greater soil moisture availability before flowering of plants.

Table 3. Fold range, significance of F and mean, minimum and maximum values for total biomass (BM), dry weight of roots (DWR), dry weight of shoot (DWS), root/shoot ratio (RSR) and length of the longest root length (RL) in the glasshouse and outdoors plants.

Genotype	Glasshouse					Outdoors				
	BM (g)	DWR (g)	DWS (g)	RSR	RL (cm)	BM (g)	DWR (g)	DWS (g)	RSR	RL (cm)
Mean	4.48	0.08	4.4	0.018	38.8	17.9	0.3	17.6	0.020	46.9
Minimum	1.52	0.02	1.50	0.004	24.7	10.9	0.1	10.8	0.006	34.8
Maximum	19.05	0.75	18.3	0.041	54.7	25.7	0.9	25.2	0.058	67.8
Fold range	12.7	37.5	12.2	10.3	2.2	2.4	9.0	2.3	9.7	1.9
Significance	**	**	**	**	*	*	**	*	*	ns
CV (%)	43.3	65.3	41.8	52.1	33.2	25.9	66.4	26.2	72.9	25.7

F value: *(P≤0.05); **(P≤0.01); ns=no significant.

Genetic variability in root and shoot traits among species showed that barley had 80, 90, 79 and 60 % higher BM, DWR, DWS and RSR, and 11 cm extra length of the longest root than bread wheat, and 68, 69, 68 and 2 % greater BM, DWR, DWS and RSR than triticale in the glasshouse plants (Table 4). Unexpectedly, in the outdoors experiment, triticale had 43 and 48 % greater DWR and RSR than barley, and 28, 43, 27 and 39 higher BM, DWR, DWS and RSR than bread wheat (Table 4). The higher BM, DWR, DWS and RSR in barley than bread wheat and triticale in the glasshouse was similar to that observed among barley, bread wheat, durum wheat, triticale and oat by the 2-leaf stage in a growth cabinet (López-Castañeda *et al.*, 1996). However, the outstanding behavior of triticale in the outdoors experiment as compared with bread wheat and barley may be ascribed to less heat stress as air temperatures outdoors were cooler than in the glasshouse plants.

Table 4. Biomass (BM), dry weight of roots (DWR), dry weight of shoot (DWS), root/shoot ratio (RSR) and root length of the longest root (RL) in the glasshouse and outdoors plants.

Species	Glasshouse					Outdoors				
	BM (g)	DWR (g)	DWS (g)	RSR	RL (cm)	BM (g)	DWR (g)	DWS (g)	RSR	RL (cm)
Barley	18.19	0.55	17.64	0.0308	48.9	24.0	0.4	23.6	0.016	48.3
Triticale	5.80	0.17	5.63	0.0302	43.3	23.7	0.7	23.0	0.031	48.5
Bread wheat	3.58	0.05	3.53	0.0123	37.9	17.1	0.3	16.8	0.019	46.7
Lsd (P≤0.05)	1.2	0.08	1.09	0.0041	7.6	2.7	0.1	2.7	0.008	7.1

Finally, the results outlined here show the importance of roots and shoot in the response of plants to water and heat stress. There is no doubt that the roots have a direct connection with the shoot in a such way that the perception of soil water deficit triggers the signals to the shoot. So, that the plant may react quickly performing the necessary physiological adjustments to ensure survival and accumulation of dry matter in the reproductive organs.

4 CONCLUSIONS

Glasshouse plants experienced greater level of water and heat stress than outdoors plants; glasshouse plants produced lower biomass dry weight of roots and shoot, and they had lower root to shoot ratio than outdoors plants. Barley produced greater biomass, dry weight of roots and shoot, and had root to shoot ratio than bread wheat and triticale in glasshouse conditions with high water and heat stress, but in outdoors conditions with less heat stress triticale was the outstanding species.

REFERENCES

Anjum, S. A., L. C. Wang, M. Farooq, M. Hussain, L. L. Xue, and C. M. Zou. 2011. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *Journal of Agronomy and Crop Science* 197:177-185. doi:10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x.

Asseng, S. *et al.*, 2015. Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change* 5:143-147.

Barnabas, B., Jäger, K., and Fehér, A. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell and Environment* 31:11-38.

Challinor, A. J., J. Watson, D. B. Lobell, S. M. Howden, D. R. Smith, and N. Chhetri. 2014. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change* 4:87-291.

Friedlingstein, P., R. A. Houghton, G. Marland, J. Hackler, T. A. Boden, T. J. Conway *et al.* 2010. Update on CO₂ emissions. *Nature Geoscience* 3:811–812.

IPCC. 2014. “Climate Change 2014: Synthesis Report,” in *Proceedings of the Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, eds. Core Writing Team, R. K. Pachauri, and L. A. Meyer (Geneva: IPCC), 151.

Lesk, C., P. Rowhani and N. Ramankutty. 2016. Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature* 529:84–87.

López-Castañeda, C., R.A. Richards, G.D. Farquhar and R.E. Williamson. 1996. Seed and seedling characteristics contributing to variation in early vigor among temperate cereals. *Crop Science* 36:1257-1266.

Sánchez, B., A. Rasmussen and J. R. Porter. 2014. Temperatures and the growth and development of maize and rice: a review. *Global Change Biology* 20:408–417.

Sanguineti, M.C., S. Li., M. Maccaferri, S. Corneti, F. Rotondo, T. Chiari and R. Tuberosa. 2007. Genetic dissection of seminal root architecture in elite durum wheat germplasm. *Annals of Applied Biology* 151:291-305.

SAS. 2012. SAS 9.4 for windows. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

CAPÍTULO 7

CULTIVARES DE COENTRO FERTILIZADO COM A MISTURA DE ADUBOS ORGÂNICOS INCORPORADO AO SOLO NA REGIÃO SEMIÁRIDA

Data de submissão: 07/04/2025

Data de aceite: 25/04/2025

Paulo César Ferreira Linhares

Doutor em Fitotecnia
Universidade Federal Rural do
Semi-árido (UFERSA)
Mossoró- Rio Grande do Norte, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1311270866082988>

Patrício Borges Maracajá

Doutor em Engenharia Agrônômica
Universidade Federal de
Campina Grande
Sousa, Paraíba, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5767308356895558>

Aline Carla de Medeiros

Doutora em Engenharia de Processos
Instituição: Universidade Federal de
Campina Grande
Sousa, Paraíba, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6587099361548333>

José Nilson de Matos Fernandes

Mestre em sistemas Agroindustrial
Secretaria de Estado da Educação e
Tecnologia da Paraíba-PB
Pombal- Paraíba, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5187180495743385>

Lunara de Sousa Alves

Doutora em Agronomia
Universidade Federal da Paraíba (UFP)
Catolé do Rocha- Paraíba, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9342098885435389>

Karen Geovana da Silva Carlos

Graduada em Agronomia
Universidade Federal Rural do
Semi-árido (UFERSA)
Mossoró- Rio Grande do Norte, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9043613394529842>

Joaquim Odilon Pereira

Doutor em Agronomia
Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho (UNESP)
Mossoró- Rio Grande do Norte, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4509885782390778>

Walter Martins Rodrigues

Doutor em Matemática
Universidade de São Paulo (USP)
Mossoró- Rio Grande do Norte, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9658022121769752>

Fagno Dallino Rolim

Doutor em Engenharia de Processos
Universidade Federal de
Campina Grande, UFCG, Brasil
Cajazeiras, PB, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3383231688101302>

Sonally Yasnara Sarmento Medeiros Abrantes

Mestre em Sistemas Agroindustriais
Universidade Federal de
Campina Grande, UFCG, Brasil
Campina Grande-PB, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9698590890633492>

Ordânio Pereira de Almeida

Graduado em Medicina
Faculdade Ipemed de
Ciências Médicas (UFERSA)
São Paulo-São Paulo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5673825510298601>

Maria Eduarda Sarmento Medeiros Abrantes

Graduanda em Medicina
Faculdade de Ciências Médicas da Paraíba
Ciências Médicas, Brasil
João Pessoa, Paraíba – Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6130283237044944>

RESUMO: A utilização de espécies espontâneas do semiárido é de grande importância para os agricultores que trabalham no sistema familiar de produção de hortaliças, nesse sentido, objetivou-se avaliar cultivares de coentro fertilizado com a mistura de adubos orgânicos incorporado solo na região semiárida. A pesquisa foi conduzida na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, pertencente à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), no período de junho a agosto de 2023. O delineamento utilizado foi o de blocos completos casualizados em esquema fatorial 5 X 2, com três repetições. O primeiro fator foi constituído de cinco doses de flor-de-seda (*Calotropis procera*) incorporada ao solo (0,0; 7,0; 14,0; 21,0 e 28,0 t ha⁻¹) e o segundo fator constituído pelas cultivares de coentro (Verdão e Super-verdão). O espaçamento utilizado foi de 0,1 x 0,05 m com cinco plantas cova⁻¹, correspondendo a 1000 plantas m⁻² de área. As características avaliadas foram: altura de planta (cm planta⁻¹); número de hastes (unidades planta⁻¹); produção (g m⁻² de área), número de molhos (unidades m⁻² de área) e massa seca (g m⁻² de área). O melhor desempenho agrônômico foi observado na dose 28,0 t ha⁻¹, com produção e número de molhos de 561,23 e 5,62, respectivamente. Em relação às cultivares de coentro, a cultivar verdão foi estatisticamente superior a Super-verdão, com valores de 353,33 e 3,60 para produção e número de molhos de coentro, respectivamente. A utilização de fontes alternativas para a adubação de hortaliças constitui em fator importante para os produtores.

PALAVRAS-CHAVE: espécie espontânea; produção orgânica; agricultura familiar.

CORIANDER CULTIVARS FERTILIZED WITH A MIXTURE OF ORGANIC FERTILIZERS INCORPORATED INTO THE SOIL IN THE SEMIARID REGION

ABSTRACT: The use of spontaneous species from the semiarid region is of great importance for farmers working in the family vegetable production system. In this sense, the objective of this study was coriander cultivars fertilized with the mixture of organic fertilizers incorporated into the soil in the semiarid region. The research was conducted at the Rafael Fernandes Experimental Farm, belonging to the Federal Rural University of Semi-Árido (UFERSA), from June to August 2023. The design used was a randomized complete block design in a 5 x 2 factorial scheme, with three replications. The first factor consisted of five doses of rooster tree (*Calotropis procera*) incorporated into the soil (0.0; 7.0; 14.0; 21.0 and 28.0 t ha⁻¹) and the second factor consisted of the coriander cultivars (Verdão and Super-verdão). The spacing used was 0.1 x 0.05 m with five plants per hole, corresponding to 1000 plants m⁻² of area. The characteristics evaluated were: plant height (cm plant⁻¹); number of stems (plant⁻¹ units); production (g m⁻² of area), number of bunches (m⁻² units of area) and dry mass (g m⁻² of area). The best agronomic performance was observed at the dose of 28.0 t ha⁻¹, with production and number of bunches of 561.23 and 5.62, respectively. Regarding the coriander cultivars, the cultivar Verdão was statistically superior to Super-Verdão, with values of 353.33 and 3.60 for production and number of bunches of coriander, respectively. The use of alternative sources for fertilizing vegetables is an important factor for producers.

KEYWORDS: spontaneous species; organic production; family farming.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura orgânica é bastante difundida entre os agricultores com baixo nível tecnológico na região de Mossoró, RN, e que não dispõem de recursos para proporcionar produtividades adequadas que garanta a sustentabilidade do sistema, tendo em vista que, a fonte de adubo utilizado pelos agricultores, constitui-se no uso exclusivo de esterco (bovino e caprino), gerando aumento dos custos de produção, já que nem sempre o produtor tem disponível em suas propriedades esse insumo orgânico (Linhares et al., 2014).

A cultura do coentro (*Coriandrum sativum* L.) é a hortaliça mais produzida no semiárido de Mossoró, RN, sendo cultivada para consumo in natura, onde são comercializados em feiras e centros comerciais. Na região semiárida, os plantios dessa hortaliça são realizados em áreas de produção com agricultores familiares, buscando maior produção de alimentos e sustentabilidade ambiental nesta atividade (Linhares et al., 2023).

A semeadura é realizada em áreas com predominância de solos arenosos e argilosos, sendo realizada a lanço ou em fileiras, com número médio de plantas de 800 a 1.000 plantas m⁻² (Linhares et al., 2023).

Nessas áreas de produção que cultivam em sistema orgânico, é bastante evidente o uso de esterco (bovino, caprino e ovino) na fertilização do solo, no entanto, o agricultor nem sempre tem disponível em sua propriedade esse recurso, o que aumenta os custos de produção (Linhares et al., 2014).

De acordo com Linhares et al. (2021), a utilização de resíduos vegetais na agricultura promove uma melhoria na estrutura do solo, contribuindo para maior infiltração de água, aumentando o teor de matéria orgânica do solo, favorecendo a microbiota e tornando o ambiente edáfico mais adequado para o cultivo agrícola.

As espécies mais utilizadas como adubo verde são as leguminosas, pois produzem quantidades de fitomassa verde e seca muito lábil, o que favorece uma estreita relação carbono-nitrogênio (C/N), no entanto, espécies de outras famílias podem ser utilizadas com essa finalidade, no que tange a ciclagem de nutrientes em comparação as espécies introduzidas (Linhares, 2013). Entre essas espécies, destaca-se a flor-de-seda (*Calotropis procera*) de grande ocorrência na região semiárida, apresentando a seguinte concentração química: 600 g kg⁻¹ de carbono (C); 22,5 g kg⁻¹ de nitrogênio (N); 10,8 g kg⁻¹ de fósforo (P); 14,0 g kg⁻¹ de potássio (K); 9,8 g kg⁻¹ de magnésio (Mg); 11,5 g kg⁻¹ de cálcio (Ca) e relação carbono nitrogênio de 27/1 (Linhares et al., 2024).

Diversos trabalhos já foram desenvolvidos com espécies espontâneas do semiárido, trazendo resultados satisfatórios no que tange na produção de hortaliças, como os desenvolvidos na cultura da rúcula (Linhares, 2007; Almeida et al., 2015; Oliveira, 2015; Paula, 2011); alface (Linhares, 2009a; Linhares et al., 2009b; Linhares et al., 2011) e cenoura (Silva, 2019 e Linhares et al., 2014).

Visando alternativas agroecológicas, muitos pesquisadores têm desenvolvido pesquisas com agricultores que buscam uma agricultura sustentável com sistemas diversificados com baixo uso de insumos químicos (Altieri, 2002), sendo de grande valia para os agricultores que trabalham no sistema de agricultura orgânica.

Dado a importância de buscar alternativas de adubação, dentro das áreas de cultivo para a fertilização do solo e melhor desenvolvimento da cultura, objetivou-se estudar cultivares de coentro fertilizado com a mistura de adubos orgânicos incorporado ao solo na região semiárida.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, pertencente à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) (Figura 1), no período

de junho a agosto de 2023, na região semiárida do Brasil com coordenadas geográficas de latitude entre 5°03'37"S e longitude entre 37°23'50"W Gr, com altitude acima do nível do mar de 72 m (Rêgo et al., 2016). De acordo com Kottek et al. (2006) e pela classificação de Köppen, o clima local é do tipo BSwH', seco e muito quente, sendo a estação seca normalmente de junho a janeiro e a chuvosa de fevereiro a maio. A precipitação média anual é de 673,9 mm e a umidade relativa média é de 68,9%.

Antes da instalação do experimento, foram retiradas amostras de solo na profundidade de 0-20 cm, as quais foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm. Em seguida, foram analisados no Laboratório de Química e Fertilidade de Solos da UFRSA, cujos resultados foram os seguintes: pH (água 1:2,5) = 7,0; Ca = 220,8 mg dm⁻³; Mg = 125,2 mg dm⁻³; K = 47,56 mg dm⁻³; Na = 12,9 mg dm⁻³; P = 88,29 mg dm⁻³ e M.O. = 1,6 g kg⁻¹.

2.2 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO E TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados, com os tratamentos arranjos em esquema fatorial 5 x 2, com três repetições. Os tratamentos consistiram de cinco quantidades de flor-de-seda (0,0; 7,0; 14,0; 21,0 e 28,0 t ha⁻¹ em base verde), sendo o segundo fator constituído por duas cultivares de coentro (verdão e super-verdão).

Cada parcela foi composta por doze fileiras de plantas espaçadas de 0,1 m x 0,05 m, sendo 05 plantas cova⁻¹, correspondendo a 1.000 plantas m⁻² de canteiro, o que corresponde à população de plantas economicamente viáveis para exploração agrônoma (Linhares et al., 2014). A área total da parcela foi de 1,44 m² com área útil de 0,80 m², contendo 800 plantas. A cultivar de coentro semeado foi o "Verdão" e "Super-verdão", muito utilizada pelos agricultores, de coloração bastante esverdeada e ciclo de 30 a 35 dias da sementeira à colheita.

O preparo do solo consistiu em limpeza manual, retirada da vegetação espontânea presente na área experimental e levantamento manual dos canteiros, utilizando a enxada como ferramenta.

A espécie espontânea flor-de-seda (*Calotropis procera*) foi coletada dentro da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em área de vegetação nativa, sendo ceifadas com ferramenta manual (facão) e incorporadas nas parcelas experimentais. Foram retiradas três amostras e encaminhadas para o laboratório de fertilidade de solo do Centro de Ciências Agrárias, onde foram determinadas as análises químicas, com os seguintes valores: 600 g kg⁻¹ de carbono (C); 22,5 g kg⁻¹ de nitrogênio (N); 10,8 g kg⁻¹ de fósforo (P); 14,0 g kg⁻¹ de potássio (K); 9,8 g kg⁻¹ de magnésio (Mg); 11,5 g kg⁻¹ de cálcio (Ca) e relação carbono nitrogênio de 27/1 (Figura 1).

Figura 1. Ilustração da flor-de-seda (*Calotropis procera*) em período de floração (A) e vegetativo (B) na região semiárida. Foto: Pesquisador D.Sc. Paulo César Ferreira Linhares.



A



B

O preparo do solo consistiu de uma gradagem, em seguida foi realizado o levantamento dos canteiros através de máquina agrícola, utilizando rotocanteirador. Durante a condução do experimento foram capinas manuais para manter a cultura livre da competição de plantas daninhas. As irrigações foram realizadas por aspersão, durante todo o ciclo da cultura, em dois turnos de regra, manhã e tarde com duração de 30 minutos cada. O plantio foi realizado trinta dias após a incorporação segundo recomendação de Linhares et al. (2012). Durante o período de permanência dos resíduos no solo, antecedendo a semeadura foram efetuadas irrigações com a finalidade de manter a umidade do solo a 70% da capacidade de campo, sendo essa, uma condição ideal para o processo de nitrificação (Meurer, 2007).

2.3 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS NA CULTURA DO COENTRO

Aos trinta e três dias após a semeadura, procedeu-se as análises das características agrônômicas da cultura do coentro, sendo realizada em campo a avaliação da altura de planta, fazendo-se a medição em cada parcela experimental, sendo medido com régua milimétrica com resultados expressos em centímetro planta⁻¹.

Após a colheita em campo outras características foram avaliadas: número de hastes (fazendo-se a contagem das folhas de uma amostra de trintas plantas,

sendo expresso em unidades planta⁻¹); produtividade (foi realizada a pesagem de todas as plantas dentro da área útil da parcela em balança de precisão de 1,0g, sendo expresso em gramas m⁻² de área); número de molhos (para a determinação dessa característica, dividiu-se o peso da massa verde por 100g, valor referente a uma unidade molho de coentro) e massa seca (utilizou-se uma amostra de trinta plantas por parcela experimental, pesada em balança de precisão de 1,0g, colocada em estufa de circulação de ar a 65°C até massa constante, sendo expressos os resultados em gramas m⁻² de área.).

3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi realizada de acordo com os métodos convencionais de análise de variância (Banzatto & Kronka, 2006), utilizando o software estatístico ESTAT (Barbosa, Malheiros & Banzatto 1992). O procedimento de ajuste da curva de resposta foi realizado com o software ESTAT (Barbosa, Malheiros e Banzatto, 1992) e para o fator qualitativo (cultivares de coentro) utilizou-se o teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade, aplicando análise de regressão e condução de teste de hipótese que auxilia o pesquisador aceitar ou rejeitar uma hipótese estatística baseado nos resultados experimentais (Assis, Sousa & Linhares, 2020; Assis, 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As diferentes quantidades de flor-de-seda incorporada ao solo apresentaram efeito significativo ao nível $p < 0,01$ de probabilidade para a interação (doses de flor-de-seda versus cultivares de coentro) na característica número de folhas (Tabela 1). No entanto, houve efeito significativo ao nível de significância de $p < 0,01$ de probabilidade para o fator doses de flor-de-seda nas características altura de planta, produção de coentro, número de molhos e massa seca de coentro. Para o fator cultivares de coentro, houve efeito significativo ao nível de $p < 0,01$ de probabilidade para número de folhas, produção de coentro e massa seca, não havendo diferença para altura de planta (Tabela 1).

O uso de flor-de-seda como fertilizante orgânico foi fator preponderante no desenvolvimento agrônomo das cultivares de coentro, tendo em vista que essa espécie é rica em nitrogênio, com concentração de 20,3 g kg⁻¹ (Linhares et al., 2024). Segundo Linhares (2013) as espécies mais utilizadas como adubo verde são as leguminosas, pelo fato de produzirem quantidades de fitomassa verde e seca bastante lábil, o que favorece

a relação carbono-nitrogênio (C/N) estreita, no entanto, espécies espontâneas do semiárido podem proporcionar os mesmos benefícios que as leguminosas na fertilidade do solo.

Tabela 1. Valores de F para altura de planta, expresso em cm planta⁻¹ (AP), número de hastes, expresso em unidades planta⁻¹ (NH), produtividade de coentro, expresso em g m⁻² (PD), número de molhos, expresso em unidades m⁻² (NM) e massa seca, expresso em g m⁻² (MS) de coentro em função de diferentes quantidades de flor-de-seda em cultivares de coentro na região semiárida.

Causas de Variação	GL	AP	NH	PD	NM	MS
Doses de flor-de-seda (A)	4	480,5**	56,3**	63,44**	62,16**	53,3**
Cultivares de coentro (B)	1	3,3 ^{ns}	6,1**	4,72**	5,17**	5,7**
A X B	4	1,6 ^{ns}	4,3*	1,11 ^{ns}	2,16 ^{ns}	1,6 ^{ns}
Tratamentos	9	---	---	---	---	---
Blocos	2	12,5**	3,1 ^{ns}	10,14**	9,88**	8,79**
Resíduo	18	---	---	---	---	---
Média	-----	10,92	3,70	331,0	3,35	40,18
Desvio padrão	-----	0,65	0,37	56,26	0,40	3,85
Coefficiente de variação (%)	-----	5,95	9,80	16,99	11,94	9,58

**= significativo a 1% *= significativo a 5% ns= não significativo.

Na avaliação da altura de planta em função das diferentes doses de flor-de-seda incorporada ao solo, observou aumento com o aumento das doses, valor máximo de 18,22 cm planta⁻¹ na dose de 28 t ha⁻¹ (Figura 2). Em relação às cultivares de coentro, não se observou diferença estatística ao nível de p<0,01 e p<0,05 de probabilidade com valores médios de 11,16 e 10,67 cm planta⁻¹ para a cultivar verdão e Super-verdão, respectivamente (Tabela 2). Comportamento superior a referida pesquisa, foi observado por Santos et al. (2023) avaliando a produtividade do consórcio de rúcula com coentro fertilizado com a mistura de palha de carnaúba (*Copernicia prunifera*) mais esterco bovino, encontraram altura de planta de 19,38 cm planta⁻¹ na quantidade de 3,0 kg m⁻² da mistura de esterco mais palha de carnaúba, valor superior a respectiva pesquisa. Essa superioridade pode estar relacionada com a quantidade utilizada, o que difere da referida pesquisa.

Resultado semelhante foi observado por Linhares et al. (2024) estudando a eficiência agrônômica do mata-pasto (*Senna uniflora*), planta espontânea do semiárido como adubo verde na produtividade do coentro, com altura de planta de coentro de 18,79 cm planta⁻¹ na dose de 4,5 kg m⁻².

Figura 2. Altura de planta de coentro em função de diferentes doses de flor-de-seda incorporado ao solo.

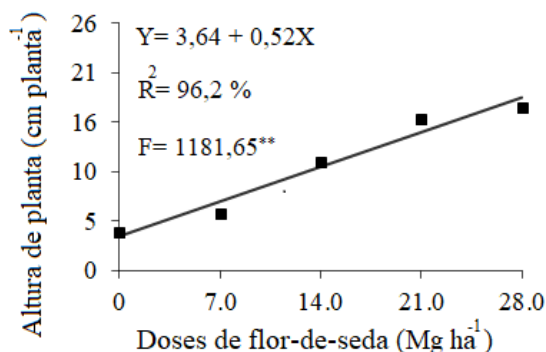


Tabela 2. Altura de planta em função de cultivares de coentro adubado com diferentes doses de flor-de-seda incorporada ao solo.

Cultivares de coentro	Altura de planta (cm planta ⁻¹)
Verdão	11,16 a
Super-verdão	10,67 b

*Médias seguidas letras diferentes na coluna difere estatisticamente pelo teste F ao nível de $p < 0,05$ de probabilidade.

Desdobrando-se as doses de flor-de-seda dentro das cultivares de coentro (verdão e super-verdão), observou-se que em ambas, não houve um ponto de máxima produção para número de hastes, com valores de 5,54 e 5,17 unidades planta⁻¹ na dose de 28,0 t ha⁻¹, respectivamente (Figura 3). Em relação às cultivares de coentro, houve desdobramento, observando diferença estatística apenas nas doses de 14,0; 21,0 e 28,0 t ha⁻¹, sendo a cultivar verdão superior a super-verdão (tabela 3). Linhares et al. (2012) estudando quantidades e tempos de decomposição da jitrana (*Merremia aegyptia* L.) no desempenho agrônomo do coentro, encontraram número de hastes planta⁻¹ de 8,7; 9,5; 10,2 e 10,1 nos tempos de incorporação de 0; 10; 20 e 30 dias, respectivamente, valores superiores a referida pesquisa.

Essa superioridade se deva provavelmente a concentração de nitrogênio, sendo a jitrana (*Merremia aegyptia* L.) com maior teor que o mata-pasto, assim como, Santos et al. (2023) avaliando a produtividade do consórcio de rúcula com coentro fertilizado com a mistura de palha de carnaúba (*Copernicia prunifera*) mais esterco bovino, encontraram número de hastes de 6,12 unidades planta⁻¹ na quantidade de 3,0 kg m⁻² da mistura de esterco mais palha de carnaúba, valor inferior a respectiva pesquisa.

Figura 3. Desdobramento das diferentes doses de flor-de-seda dentro das cultivares de coentro (verdão e super-verdão) no número de hastes.

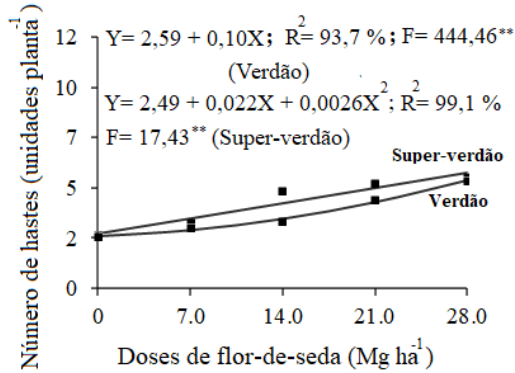


Tabela 3. Desdobramento das cultivares de coentro (verdão e super-verdão) dentro das doses de flor-de-seda incorporada ao solo no número de folhas de coentro.

Cultivares de coentro	0 t ha ⁻¹	7,0 t ha ⁻¹	14,0 t ha ⁻¹	21,0 t ha ⁻¹	28,0 t ha ⁻¹
Verdão	2,33 a	3,00 a	4,33 a	5,00 a	5,33 a
Super-verdão	2,33 a	3,00 a	3,33 b	4,00 b	5,00 a

*Médias seguidas letras diferentes na coluna difere estatisticamente pelo teste F ao nível de $p < 0,05$ de probabilidade.

A máxima dose aplicada de flor-de-seda (28,0 t ha⁻¹) foi o que proporcionou a maior produção e número de molhos de coentro, com valores máximos de 561,23 g m⁻² e 5,62 unidades de molhos m⁻² de área (Figura 4A e 4B). Em relação às cultivares de coentro, houve efeito significativo ao nível de significância de $p < 0,05$ de probabilidade com valores de 353,33 e 308,66 g m⁻² de área, correspondendo a 3,6 e 3,1 unidades de molhos de coentro (100g) para as cultivares verdão e super-verdão, respectivamente (Tabela 4). Segundo Linhares et al. (2024) o número de molhos constitui em uma característica de suma importância para os agricultores que labutam nessa atividade. Valores inferiores foram observados por Santos et al. (2023) avaliando a produtividade do consórcio de rúcula com coentro fertilizado com a mistura de palha de carnaúba (*Copernicia prunifera*) mais esterco bovino, encontraram produtividade de 482,4 g m⁻² da mistura de esterco mais palha de carnaúba, valor inferior a respectiva pesquisa.

Linhares et al. (2023) encontraram produção máxima de 1470 g m⁻², correspondendo a 29,4 unidades m⁻² de molhos (50g) na quantidade de 4,0 kg m⁻² de jitrana (*Merremia aegyptia* L.) mais esterco bovino, sendo superior a referida pesquisa. Essa superioridade se deve provavelmente a mistura de adubos orgânicos. Tavella et al. (2010) estudando o cultivo orgânico de coentro em plantio direto utilizando composto orgânico, obtiveram produtividade média de 6,5 t ha⁻¹, equivalente a 650 g m⁻² na dose de 30,0 t ha⁻¹ de composto orgânico, inferior ao referido estudo. Já Linhares et al. (2015)

estudando o rendimento de coentro (*Coriandrum sativum* L.) adubado com esterco bovino em diferentes doses e tempos de incorporação no solo encontraram rendimento de 645,3 kg ha⁻¹ na dose de 60 t ha⁻¹, equivalente a 645 g m⁻² na dose de 6,0 kg m⁻² de área, sendo superior a referida pesquisa.

Figura 4. Produção de coentro (A) e número de molhos (B) em função de diferentes doses de flor-de-seda incorporado ao solo.

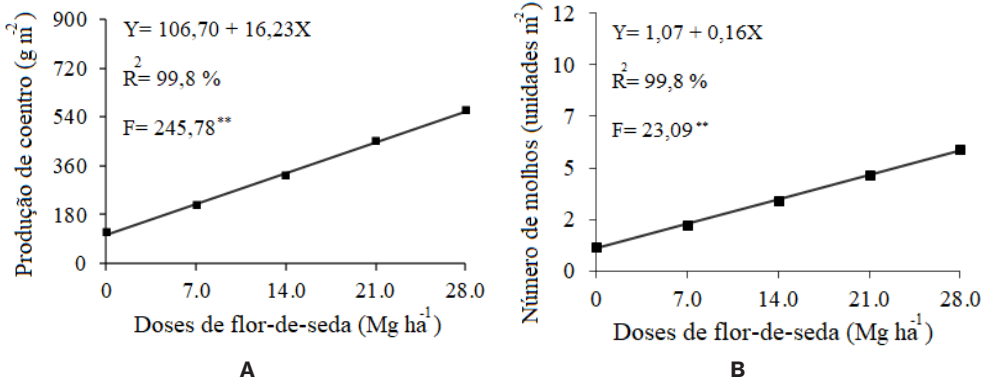


Tabela 4. Produção de coentro, expresso em g m⁻² e número de molhos, expresso em unidades m⁻², em função de cultivares de coentro adubado com diferentes doses de flor-de-seda incorporada ao solo.

Cultivares de coentro	Produção (g m ⁻²)	Molhos (unidades m ⁻²)
Verdão	353,33 a	3,60 a
Super-verdão	308,66 b	3,10 b

*Médias seguidas letras diferentes na coluna difere estatisticamente pelo teste F ao nível de p<0,05 de probabilidade.

Em relação à massa seca de coentro, observou que a maior dose de flor-de-seda incorporada ao solo (28,0 t ha⁻¹) obteve 68,39 g m⁻² de massa seca (Figura 5). Entre a maior dose (28,0 t ha⁻¹) e a menor (0,0 t ha⁻¹) houve acréscimo de 56,43 g m⁻². Entre as cultivares de coentro, houve efeito significativo ao nível de p<0,05 de probabilidade, com valores de 40,6 e 34,9 g m⁻² de massa seca (Tabela 5). Linhares et al. (2012) avaliando quantidades e tempos de decomposição da jitrana (*Merremia aegyptia* L.) no desempenho agrônomo do coentro, encontraram massa seca no valor de 595,3 kg ha⁻², equivalente a 59,53 g m⁻² aos 30 dias de incorporação antes a semeadura, superior ao presente trabalho, assim como, Linhares et al. (2023) avaliando a produtividade do coentro em função da incorporação de adubos verdes com jitrana (*Merremia aegyptia* L.), flor-de-seda (*Calotropis procera*) e mata-pasto (*Senna uniflora* L.) em uma região semiárida do Brasil encontraram massa seca com valores de 126,6 e 103,8 g m⁻² para jitrana (*Merremia aegyptia* L.) e flor-de-seda, respectivamente, na quantidade de 1,6 kg m⁻², sendo esses valores superiores ao presente estudo.

Figura 5. Massa seca de coentro em função de diferentes doses de flor-de-seda incorporado ao solo.

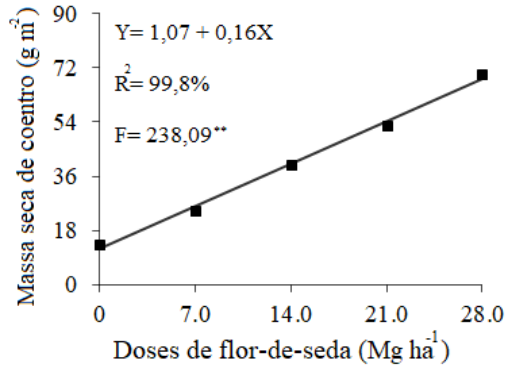


Tabela 5. Massa seca de coentro em função de cultivares de coentro adubado com diferentes doses de flor-de-seda incorporada ao solo.

Cultivares de coentro	Massa seca (g m ⁻²)
Verdão	40,6 a
Super-verdão	34,9 b

*Médias seguidas letras diferentes na coluna difere estatisticamente pelo teste F ao nível de p<0,05 de probabilidade.

5 CONCLUSÕES

O melhor desempenho agronômico foi observado na dose 28,0 t ha⁻¹, com produção e número de molhos de 561,23 g m⁻² e 5,62 unidades m⁻², respectivamente. Em relação às cultivares de coentro, a cultivar verdão foi estatisticamente superior a Super-verdão, com valores de 353,33 g m⁻² e 3,60 unidades m⁻² para produção e número de molhos de coentro, respectivamente.

A utilização de fontes alternativas para a adubação de hortaliças constitui em fator importante para os produtores.

6 AGRADECIMENTO

Ao Grupo de Pesquisa Jitirana-CNPQ, que desde 2005, desenvolve pesquisas com espécies espontâneas do semiárido [jitirana (*Merremia aegyptia* L.), flor-de-seda (*Calotropis procera*), mata-pasto (*Senna uniflora* e *Senna obtusifolia* L.) e palha de carnaúba (*Copernicia prunifera*) na produção orgânica de hortaliças e à UFRS (Universidade Federal Rural do Semi-Árido), pela estrutura física, na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, para a realização dos trabalhos científicos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. M. B.; LINHARES, P. C. F.; LIBERALINO FILHO, J.; NEVES, A. P. M.; MORAIS, S. L. S. **Efeito residual da jitrana, flor-de-seda e mata-pasto no cultivo da rúcula em sucessão a beterraba**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v.10, n.2, p.42-48. 2015.
- ASSIS, J. P.; SOUSA, R. P.; LINHARES, P. C. F. **Testes de hipóteses estatísticas**. EdUFERSA. 2020. <https://livraria.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/165/2020/08/testes-de-hipoteses-estatisticas-edufersa.pdf>
- ASSIS, J. P. **Regressão linear simples, correlação linear simples, regressão linear múltipla e correlação linear múltipla**. EdUFERSA, 310p. 2013. <https://livraria.ufersa.edu.br/regressao-e-correlacao-linear-simples-e-multipla/>
- ALTIERI, M. **Agroecology: scientific basis for sustainable agriculture** (Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável). Guaíba: Agropecuária, 592p. 2002.
- BARBOSA, J. C.; MALHEIROS, E. B.; BANZATTO, D. A. **ESTAT: Um sistema de análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: Unesp, Versão 2.0. 1992.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA**. Brazilian system of soil classification (Sistema brasileiro de classificação de solos). 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 306p, 2018.
- KOTTEK, M.; GRIESER, J.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. **Mapa mundial da classificação climática de Köppen-Geiger atualizada**. Meteorologische Zeitschrift, v.15, n.2, p.259-263. 2006.
- KRONKA, S. N.; BANZATO, D. A. **Estat: System for statistical analysis (Estat: sistema para análise estatística. Versão)**. 2.3.ed. Jaboticabal: Funep, 243 p. 1995.
- LINHARES, P. C. F.; COSTA, A. S. DE. O.; GAMA NETA, I. F. DA.; SOUSA, R. P. DE.; ASSIS, J. P. DE.; ALVES L. DE S.; ARAUJO P. C. D.; PEREIRA, J. O.; RODRIGUES, W. M. **Eficiência agrônômica do mata-pasto (*Senna uniflora* L.), planta espontânea do semiárido como adubo verde na produtividade do coentro**. OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, v.22, n.5, p.4514. 2024. <https://doi.org/10.55905/oelv22n5-030>
- LINHARES, P. C. F.; ALVES, L. DE. S.; SOUSA, R. P. DE.; ASSIS, J. P. DE.; ARAUJO, P. C. D.; PEREIRA, J. O.; RODRIGUES, W. M.; SILVA, U. L. DA.; AMÂNCIO, J. F. **Eficiência agrônômica da rúcula em cultivo sucessivo a alfafa fertilizada com espécies espontâneas do semiárido**. CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES, v.17, n.5, p.e6898. 2024. <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.5-184>
- LINHARES, P. C. F.; SOUSA, J. DA S.; MARACAJÁ, P. B.; MEDEIROS, A. C.; ALVES, L. DE. S.; SILVA, U. L.; CARLOS, K. G. DA. S.; SOUZA JÚNIOR, D. S. DE. **Coriander yield as a function of green manure incorporation of hairy woodrose (*Merremia aegyptia* L.), rooster tree (*Calotropis procera*) and kills pasture (*Senna uniflora* L.) in a semiarid region of Brazil**. DELOS: DESARROLLO LOCAL SOSTENIBLE, p.16, n.46, p. 2370–2385. 2023. <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/977>
- LINHARES, P. C. F.; MARACAJÁ, P. B.; LIBERALINO FILHO, J.; ASSIS, J. P.; SOUSA, R. P.; MEDEIROS A. C. **Jitrana (*Merremia aegyptia* L. Urban) [livro eletrônico]: Potencialidade de uso como espécie espontânea do semiárido na adubação verde de hortaliças**. In: LINHARES, P.C.F.; CUNHA, L.M.M.; SILVA, N.V.; NEVES, A.M.; MEDEIROS, B.B.M.; PAIVA, A.C. Fitomassa verde e seca, teores e acúmulo de macronutrientes da jitrana (*Merremia aegyptia* L. Urban) em diferentes estádios fenológicos–Nova Xavantina, MT: Ed. Pantanal. 96p. Cap. 2, p.24-45. 2021.

LINHARES, P. C. F.; PEREIRA, M. F. S.; MOREIRA, J. C.; PAIVA, A. C. C.; ASSIS, J. P.; SOUSA, R. P. **Rendimento do coentro (*Coriandrum sativum* L.) adubado com esterco bovino em diferentes doses e tempos de incorporação no solo.** Revista Brasileira de Plantas Medicinais, v.17, n.3, p.462-467. 2015.

LINHARES, P. C. F.; MARACAJÁ, P. B. M.; PEREIRA, F. S.; ASSIS, J. P.; SOUSA, R. P. **Roostertree (*Calotropis procera*) under different amounts and períodos of incorporation on yield of coriander.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v.9, n.3, p.07-12. 2014.

LINHARES P. C. F. **Adubação verde como condicionadora do solo.** Revista Campo e negócios, v.11, n.127, p.22-23. 2013.

LINHARES, P. C. F.; PEREIRA, M. F. S.; ASSIS, J. P.; BEZERRA, A. K. H. **Quantidades e tempos de decomposição da jirirana no desempenho agrônomo do coentro.** Ciência Rural, v.42, n.2, p.243-248. 2012.

LINHARES, P. C. F. (2009). **Vegetação espontânea com adubo verde no desempenho agroeconômico de hortaliças folhosas.** Departamento de Ciências Agrônômicas e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Tese), Mossoró. 109p. 2009.

LINHARES, P. C. F.; SILVA, M. L.; BEZERRA, A. K. H.; SILVA, J. S.; SILVA, U. L. **Avaliação da decomposição da jirirana em cobertura no desempenho agrônomo de rúcula.** Revista Caatinga, v.22, n.3, p.1983 -2125, 2009.

LINHARES, P. C. F.; BEZERRA NETO F.; VASCONCELOS, S. H. L.; MARACAJÁ, P. B.; BENEDITO, C. P. **Quebra de dormência em sementes de jirirana.** Revista Caatinga, v.2, n.2, p.37-41, 2007.

MEURER, E. J. **Factors influencing plant growth and development.** In: Novaes, RF, Alvarez, V. V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (eds.) Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS. 2007; 65-90, 2007.

OLIVEIRA, L. A. A.; BEZERRA NETO, F.; SILVA, M. L.; OLIVEIRA, O. F. N.; LIMA, J. S. S.; BARROS JÚNIOR, A. P. **Viabilidade agrônômica de policultivos de rúcula/cenoura /alface sob quantidades de flor-de-seda e densidades populacionais.** Revista Caatinga, v.28, n.2, p.116-126, 2015.

PAULA, V. F. S. **Viabilidade agroeconômica de consórcios de cenoura e rúcula em diferentes quantidades de jirirana e arranjos espaciais.** Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, RN. 63p, 2011.

RÊGO, L. G. S.; MARTINS, C. M.; SILVA, E. F.; SILVA, J. J. A.; LIMA, R. N. S. **Pedogênese e classificação de solos de uma fazenda experimental em Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil.** Revista Caatinga, v.29, n.4, p.1036-1042, 2016.

SANTOS, M. DE. F. A.; LINHARES, P. C. F.; ALVES, L. DE. S.; CARLOS, K. G. DA. S.; SILVA, U. L.; CARDOSO, E. DE. A.; SOUSA, R. P.; ASSIS, J. P. **Produtividade do consórcio de rúcula com coentro fertilizado com a mistura de palha de carnaúba (*Copernicia prunifera*) mais esterco bovino.** Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, 6 (2), 1727-1743. 2023. <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/60770>

SILVA, J. N. **Viabilidade agroeconômica em associações de cenoura e caupi-hortaliça em ambiente semiárido.** Tese (Doutorado)- Universidade Federal Rural do Semi-Árido, programa de Pós-graduação em Fitotecnia, 109f. 2019.

TAVELLA, L. B.; GALVÃO, R. O.; FERREIRA, R. L. F.; ARAÚJO NETO, S. E.; NEGREIROS, J. R. S. **Cultivo orgânico de coentro em plantio direto utilizando cobertura viva e morta adubado com composto.** Revista Ciência Agrônoma, v.41, n.4, p.614-618, 2010.

CAPÍTULO 8

ADUBAÇÃO ORGÂNICA COM FLOR-DE-SEDA (*Calotropis procera*) EM ADIÇÃO COM ESTERCO BOVINO NA PRODUÇÃO DE RABANETE

Data de submissão: 07/04/2025

Data de aceite: 25/04/2025

Paulo César Ferreira Linhares

Doutor em Fitotecnia
Universidade Federal Rural do
Semi-árido (UFERSA)
Mossoró- Rio Grande do Norte, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1311270866082988>

Lunara de Sousa Alves

Doutora em Agronomia
Universidade Federal da Paraíba (UFP)
Catolé do Rocha- Paraíba, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9342098885435389>

Wyara Ferreira Melo

Doutora em Engenharia de Processos
Universidade Federal de Campina Grande
Sousa, Paraíba, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8885615330187933>

Aline Carla de Medeiros

Doutora em Engenharia de Processos
Universidade Federal de Campina Grande
Sousa, Paraíba, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6587099361548333>

Joaquim Odilon Pereira

Doutor em Agronomia
Universidade Estadual Paulista
Júlio de Mesquita Filho (UNESP)
Mossoró- Rio Grande do Norte, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4509885782390778>

Walter Martins Rodrigues

Doutor em Matemática
Universidade de São Paulo (USP)
Mossoró- Rio Grande do Norte, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9658022121769752>

Karen Geovana da Silva Carlos

Graduada em Agronomia
Universidade Federal Rural do
Semi-árido (UFERSA)
Mossoró- Rio Grande do Norte, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9043613394529842>

Sonally Yasnara Sarmento Medeiros Abrantes

Mestre em Sistemas Agroindustriais
Universidade Federal de
Campina Grande, UFCG, Brasil
Campina Grande-PB, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9698590890633492>

Maria Eduarda Sarmento Medeiros Abrantes

Graduada em Medicina
Faculdade de Ciências Médicas da Paraíba
Ciências Médicas, Brasil
João Pessoa, Paraíba – Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6130283237044944>

Andressa Pedroza Pereira da Silva

Bacharelado em Enfermagem
Universidade Federal de
Campina Grande, UFCG, Brasil
Cajazeiras, PB, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8506901843096968>

Ordânio Pereira de Almeida

Graduado em Medicina
Faculdade Ipemed de Ciências Médicas (UFERSA)
São Paulo-São Paulo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5673825510298601>

Fagno Dallino Rolim

Doutor em Engenharia de Processos
Universidade Federal de Campina Grande
UFCG, Brasil
Cajazeiras, PB, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3383231688101302>

Francisco Andesson Bezerra da Silva

Bacharelado em Enfermagem
Universidade Católica de Santos-SP
Cajazeiras, PB, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1848928950322135>

RESUMO: Espécies espontâneas estão presentes dentro do extrato herbáceo da caatinga, surgindo de forma espontânea em função do banco de sementes presente no solo, sendo de grande relevância a sua utilização como adubo com a mistura de outras fontes. O experimento foi desenvolvido na fazenda experimental Rafael Fernandes, pertencente à Universidade Federal Rural do Semiárido-UFERSA, com o objetivo de avaliar adubação orgânica com flor-de-seda (*Calotropis procera*) em adição com esterco bovino na produção do rabanete. O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram da avaliação da mistura de seis quantidades de flor-de-seda (*Calotropis procera*) mais esterco bovino (*Calotropis procera*) (0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0 e 25,0 t ha⁻¹ em base seca). O plantio do rabanete foi realizado trinta dias após a incorporação, sendo cultivada a variedade *Crimson Gigante*. As características avaliadas foram: altura de planta, número de folhas, diâmetro de raízes, raiz mais parte área, número de molhos de rabanete e massa seca de raízes. A maior eficiência agrônômica do rabanete foi observada na quantidade de 18,46 t ha⁻¹, com valor máximo de 778g m⁻², equivalente a 15,55 unidades de molhos m⁻². A mistura de fontes alternativas de adubos é de suma importância para o suprimento de nutrientes do solo. A flor-de-seda (*Calotropis procera*), assim como o esterco bovino, são fontes de adubos encontrados dentro das áreas de produção de hortaliças na região do estudo.

PALAVRAS-CHAVES: adubação orgânica; agricultura familiar; espécie espontânea da caatinga.

ORGANIC FERTILIZATION WITH ROOSTER TREE (*CALOTROPIS PROCERA*) IN ADDITION TO CATTLE MANURE IN RADISH PRODUCTION

ABSTRACT: Spontaneous species are present within the herbaceous extract of the caatinga, arising spontaneously due to the seed bank present in the soil, and their use

as fertilizer with the mixture of other sources is of great relevance. The experiment was developed at the Rafael Fernandes experimental farm, belonging to the Federal Rural University of Semiárido-UFERSA, with the aim of evaluating organic fertilization with rooster tree (*Calotropis procera*) in addition to cattle manure in radish production. The experimental design used was complete randomized blocks with six treatments and four replications. The treatments consisted of evaluating the mixture of six quantities of rooster tree (*Calotropis procera*) plus cattle manure (0; 5.0; 10.0; 15.0; 20.0 and 25.0 t ha⁻¹ on a dry basis). The radish was planted thirty days after incorporation, and the *Crimson Gigante* variety was cultivated. The characteristics evaluated were: plant height, number of leaves, root diameter, root plus part area, number of radish bunches and dry mass of roots. The greatest agronomic efficiency of radish was observed in the amount of 18.46 t ha⁻¹, with a maximum value of 778 g m⁻², equivalent to 15.55 units of sauces m⁻². The mixture of alternative fertilizer sources is of utmost importance for the supply of soil nutrients. Rooster tree (*Calotropis procera*), as well as cattle manure, are sources of fertilizers found within the vegetable production areas in the study region.

KEYWORDS: organic fertilization; family farming; spontaneous species of the caatinga.

1 INTRODUÇÃO

O rabanete (*Raphanus sativus* L.) consiste em uma hortaliça de ciclo curto (25 a 30 dias) na região de Mossoró-RN, onde é cultivada por agricultores em sistema familiar de produção, sendo a produção comercializada na feira agroecológica de produtos orgânicos, aumentando a renda do produtor.

Essa hortaliça é originária da região mediterrânea e pertence à família das Brassicaceae, possuindo raiz globular de coloração avermelhada com polpa branca e sabor picante (Maia et al., 2011). Essa olerícola possibilita ao agricultor múltiplas colheitas anuais, contribuindo para a sustentabilidade agrícola econômica (Souza et al., 2020). Essa olerícola é produzida por agricultores familiares utilizando como fonte de adubo, esterco (bovino, caprino e ovino), sendo de grande relevância para os que labutam nessa atividade.

A mistura de adubos orgânicos constitui em fontes de nutrientes para as plantas, quando adicionadas ao solo, além do mais, a matéria orgânica contribui para a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológico do solo. Vale salientar, que essas fontes de adubo, gera custos para os agricultores em função de que nem sempre há a disponibilidade em suas propriedades, necessitando a compra em outros locais.

Segundo Finatto et al. (2013) o esterco bovino tornou-se o adubo orgânico mais utilizado devido ao fornecimento de potássio e fósforo.

No entanto, outras fontes de adubos, podem ser utilizadas de forma exclusiva, sendo adicionado ao solo ou colocado em cobertura, assim como através da mistura com

esterco, nesse contexto, dentro do extrato herbáceo da caatinga, existe muitas espécies que surgem de forma espontânea sem nenhum custo adicional para o produtor, como a flor-de-seda (*Calotropis procera*), espécie que está presente em diversos tipos de solos, permanecendo verde durante todo ano, com composição química de 600 g kg⁻¹ de carbono (C); 22,5 g kg⁻¹ de nitrogênio (N); 10,8 g kg⁻¹ de fósforo (P); 14,0 g kg⁻¹ de potássio (K); 9,8 g kg⁻¹ de magnésio (Mg); 11,5 g kg⁻¹ de cálcio (Ca) e relação carbono nitrogênio de 27/1 (Linhares et al., 2024).

Dado a importância do cultivo de olerícolas na região semiárida por agricultores que cultivam no sistema familiar de produção utilizando fontes orgânicas de adubos, objetivou-se avaliar as características agrônômicas do rabanete sob diferentes quantidades da mistura de flor-de-seda (*Calotropis procera*) com esterco bovino incorporado ao solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, localizada no distrito de Lagoinha, zona rural de Mossoró-RN, em solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Argissólico franco arenoso (EMBRAPA, 2018). O distrito de Lagoinha está situado nas seguintes coordenadas: latitude 5°03'37"S e longitude de 37°23'50"W Gr, com altitude de aproximada de 72 m, distando 20 km da cidade de Mossoró-RN. Antes da instalação do experimento foram retiradas amostras de solo na profundidade de 0-20 cm, as quais foram secas ao ar e peneirada em malha de 2 mm, em seguida foram analisadas no Laboratório de Química e Fertilidade de Solos da UFRS, cujos resultados foram os seguintes: pH (água 1:2,5) = 6,0; Ca = 2,0 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,5 cmol_c dm⁻³; K = 0,18 cmol_c dm⁻³; Na = 0,16 cmol_c dm⁻³; P = 32,7 mg dm⁻³ e M.O. = 0,20%.

2.2 ESTATÍSTICA EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram da avaliação da mistura de seis quantidades de flor-de-seda (*Calotropis procera*) com esterco bovino (0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0 e 25,0 t ha⁻¹ em base seca). Cada parcela constou de seis fileiras de plantas espaçadas de 0,2 m x 0,1 m com doze plantas por fileiras, sendo as fileiras laterais consideradas bordaduras. A área total das parcelas foi de 1,44 m² e a área útil de 0,80 m², contendo 40 plantas. A cultivar de rabanete plantado foi a *Crimson Gigante*. Realizaram-se tratos culturais, como controle de plantas daninhas, além do revolvimento solo para

o melhor desenvolvimento da cultura. Durante a condução do experimento fizeram-se irrigações com a finalidade de manter a umidade do solo em condições ideais para o desenvolvimento do rabanete.

A colheita da flor-de-seda (*Calotropis procera*) foi realizado dentro do estrato herbáceo da caatinga, seguindo as recomendações de Linhares et al. (2021) sendo efetuado o corte do ápice até a inserção verde da planta, o que corresponde a uma relação folha/caule de 50% (Figura 1).

Figura 1. Corte da flor-de-seda (*Calotropis procera*) no extrato herbáceo da caatinga na região de Mossoró-RN. Foto: Pesquisador D.Sc. Paulo César Ferreira Linhares.



É de suma importância esse procedimento para que o material vegetal que vai ser utilizado como adubo verde, atenda às necessidades dos microrganismos decompositores sem precisar recorrer ao N do solo. Após o corte, foram retiradas três amostras e encaminhadas ao laboratório de fertilidade de solos do Centro de Ciências Agrárias para a determinação química, cujos valores foram os seguintes: 535 g kg⁻¹ de carbono; 20,0 g kg⁻¹ de nitrogênio; 11,5 g kg⁻¹ de fósforo; 16,3 g kg⁻¹ de potássio; 10,2 g kg⁻¹ de cálcio e 14,3 g kg⁻¹ de magnésio e relação carbono nitrogênio de 27/1.

3 CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DO RABANETE

A colheita do rabanete foi realizada aos 30 dias após a semeadura. Foram realizadas as seguintes características: altura de planta (para essa característica, as avaliações foram realizadas em campo, sendo medidas 10 plantas da área útil, da base até a inflexão, sendo expresso em cm); número de folhas (foram contadas as folhas de 10 plantas da área útil, sendo expresso em unidades planta⁻¹); Produtividade de rabanete (foram coletadas todas as plantas da área útil, sendo pesado juntamente com as raízes,

que consiste na forma como é comercializado, sendo os dados expressos em kg m⁻²) e massa da matéria seca de raízes (para tanto, as raízes foram lavadas em água corrente, para retirada de solo, cortadas em eixo transversal e longitudinal, sendo pesadas em balança de precisão de 0,01 g, seguida de secagem em estufa de aquecimento com ar forçado a 65 °C, até massa constante).

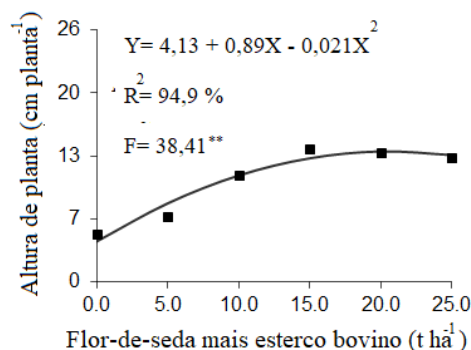
4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi realizada de acordo com os métodos convencionais de análise de variância (Banzatto; Kronka, 2006), utilizando o software estatístico ESTAT (Barbosa, Malheiros e Banzatto 1992). O procedimento de ajuste da curva de resposta foi realizado com o software ESTAT (Barbosa, Malheiros e Banzatto 1992), aplicando análise de regressão e condução de teste de hipótese que auxilia o pesquisador aceitar ou rejeitar uma hipótese estatística baseado nos resultados experimentais (Assis, Sousa e Linhares, 2020; Assis, 2013).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

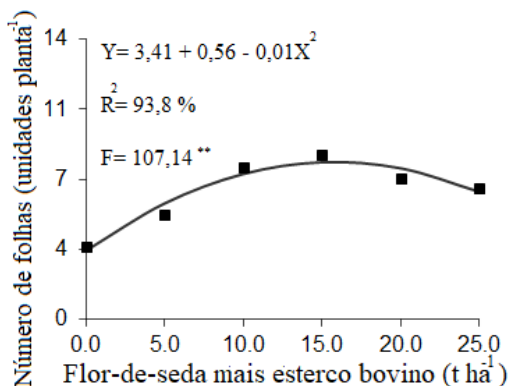
Para a altura da planta, houve um ponto de máxima com a incorporação da mistura de flor-de-seda mais esterco bovino, com altura de 13,57 cm planta⁻¹ na dose de 21,2 t ha⁻¹ (Figura 2). O aumento da altura da planta na cultura do rabanete foi influenciado de sobremaneira com o aumento da aplicação do mata-pasto incorporado ao solo. Linhares et al. (2023) estudando o cultivo orgânico de rabanete fertilizado com jitrana (*Merremia aegyptia* L.) na presença e ausência do esterco bovino encontraram altura máxima de 10,7 cm planta⁻¹ com a aplicação de 2,0 kg m⁻² de jitrana, sendo inferior a referida pesquisa. Possivelmente a menor quantidade de adubo aplicado nesse trabalho contribuiu para um valor aquém da referida pesquisa.

Figura 2. Altura de planta de rabanete em função de quantidades de flor-de-seda (*Calotropis procera*) mais esterco bovino incorporado ao solo.



Para o número de folhas, houve comportamento semelhante à altura de planta com ponto máxima na dose de 16,5 t ha⁻¹ com valor de 7,90 unidades planta⁻¹ (Figura 3). Linhares et al. (2023) estudando o cultivo orgânico de rabanete fertilizado com jitrana (*Merremia aegyptia* L.) na presença e ausência do esterco bovino encontraram 9,36 unidades de folhas planta⁻¹, com a aplicação de 2,0 kg m⁻² de jitrana, sendo superior a referida pesquisa. Linhares et al. (2010) avaliando o efeito residual da jitrana (*Merremia aegyptia* L.) encontraram 8,0 folhas planta⁻¹ com a aplicação de 15,6 t ha⁻¹. Assim como, Linhares et al. (2013) observaram número máximo de folhas de rabanete na quantidade de 14,0 t ha⁻¹, com valor máximo de 7,1 folhas planta⁻¹ 20 dias antes do plantio da tuberosa, em cultivo de verão.

Figura 3. Número de folhas de rabanete em função de quantidades de flor-de-seda (*Calotropis procera*) mais esterco bovino incorporado ao solo.



A produtividade de raiz mais parte área foi influenciado de sobremaneira com adição da mistura de flor-de-seda (*Calotropis procera*) mais esterco bovino incorporado no solo, com valor máximo de 778 g m⁻², equivalente a 15,55 unidades m⁻², na dose de 18,46 t ha⁻¹ (Figura 4A e 4B). Na massa seca de raízes mais parte área, houve um ponto de máxima produção, valor de 139,1 g m⁻² na quantidade de 17,4 t ha⁻¹ da mistura de flor-de-seda mais esterco bovino (Figura 5). A matéria seca é uma característica de suma importância na avaliação do rabanete, pois evidencia o crescimento da hortaliça. Linhares et al. (2023) estudando o cultivo orgânico de rabanete fertilizado com jitrana (*Merremia aegyptia* L.) na presença e ausência do esterco bovino obtiveram produtividade de 1.319,5 g m⁻², com a aplicação de 2,0 kg m⁻² de jitrana (*Merremia aegyptia* L.), sendo superior a referida pesquisa.

Oliveira et al. (2023) avaliando a produtividade de rabanete fertilizado com a mistura de jitrana com palha de carnaúba com valor máximo de 1.626,66 g m⁻² na quantidade de 4,5 kg m⁻² da mistura de adubos orgânicos, valor esse superior a referida

pesquisa. Provavelmente, a maior quantidade da mistura de adubos orgânicos contribuiu de sobremaneira para um valor aquém da referida pesquisa. Linhares et al. (2010) estudaram a produtividade do rabanete em sistema orgânico de produção e encontraram produtividade comercial de 9529, 9171, 9389 e 8327 kg ha⁻¹, equivalentes a 952, 917, 938 e 833 g m⁻² para os tempos 0, 10, 20 e 30 dias de incorporação na dose de 15,6 t ha⁻¹, superior a referida pesquisa.

Figura 4. Raiz mais parte área (A) e número de molhos (B) de rabanete em função de quantidades de flor-de-seda (*Calotropis procera*) mais esterco bovino incorporado ao solo.

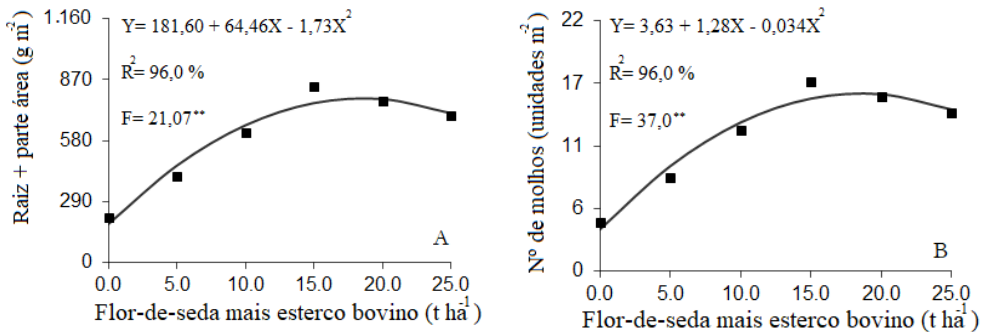
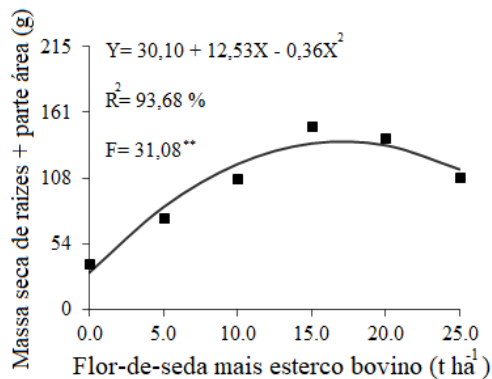


Figura 5. Massa seca de raízes mais parte área de rabanete em função de quantidades de flor-de-seda (*Calotropis procera*) mais esterco bovino incorporado ao solo.



6 CONCLUSÃO

A maior eficiência agrônômica do rabanete foi observada na quantidade de 18,46 t ha⁻¹, com valor máximo de 778g m⁻², equivalente a 15,55 unidades de molhos m⁻². A mistura de fontes alternativas de adubos é de suma importância para o suprimento de nutrientes do solo.

A flor-de-seda (*Calotropis procera*), assim como o esterco bovino, são fontes de adubos encontrados dentro das áreas de produção de hortaliças na região do estudo.

7 AGRADECIMENTO

Ao Grupo de Pesquisa Jitirana-CNPQ, que desde 2005, desenvolve pesquisas com espécies espontâneas do semiárido [jitirana (*Merremia aegyptia* L.), flor-de-seda (*Calotropis procera*), mata-pasto (*Senna uniflora* e *Senna obtusifolia* L.) e palha de carnaúba (*Copernicia prunifera*) na produção orgânica de hortaliças e à UFRS (Universidade Federal Rural do Semi-Árido), pela estrutura física, na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, para a realização dos trabalhos científicos.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, J. P., SOUSA, R. P., & LINHARES, P. C. F. **Testes de hipóteses estatísticas**. EdUFERSA. 2020. <https://livraria.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/165/2020/08/testes-de-hipoteses-estatisticas-edufersa.pdf>
- ASSIS, J. P. **Regressão linear simples, correlação linear simples, regressão linear múltipla e correlação linear múltipla**. EdUFERSA, 310p. 2013. <https://livraria.ufersa.edu.br/regressao-e-correlacao-linear-simples-e-multipla/>
- BARBOSA, J. C.; MALHEIROS, E. B.; BANZATTO, D. A. **ESTAT: Um sistema de análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal: Unesp, Versão 2.0. 1992.
- BANZATO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4ª. ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 237 p.
- CECCONELLO, S. T.; & CENTENO, L. N. **Avaliação de diferentes dosagens de vermicomposto produzido a partir de frutas, legumes e verduras na produção de rabanete (*Raphanus Sativus* L.)**. Revista Thema, v. 13, n. 1, p. 93–102, 2016. DOI: 10.15536/thema.13.2016.93-102.315.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de solos. Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2018. 306 p.
- FERNANDES, Arthur Vinicius Felinto. **Produção do rabanete adubado com esterco bovino, biofertilizante e adubação mineral**. 2022. 36f. Bacharel em Agronomia-Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências E Tecnologia Agroalimentar, Pombal-PB.
- FINATTO, J.; ALTMAYER, T.; MARTINI, M. C.; RODRIGUES, M.; BASSO, V.; & HOEHNE, L. **A importância da utilização da adubação orgânica na agricultura**. Revista destaques acadêmicos, v.5, n.4, p.85-93, 2013.
- LINHARES, P. C. F.; SOUSA, R. P.; ASSIS, J. P.; MEDEIROS, A. C.; AMÂNCIO, A. V. A. F.; RODRIGUES, W. M.; SANTOS, M. E. P.; CARLOS, K. G. S.; DANTAS, T. L. A.; CARDOSO, E. A. **Organic cultivation of radish fertilized with scarlet starglory (*Merremia aegyptia* L.) in the absence and presence of bovine manure**. In: Pesquisas agrárias e ambientais: Volume XV / Organizadores Alan Mario Zuffo, Jorge González Aguilera. – Nova Xavantina-MT: Pantanal, p. 49-58, 2023.
- LINHARES, P. C. F.; SOUSA J. da. S.; MARACAJÁ, P. B.; MEDEIROS, A. C.; ALVES, L. de. S.; SILVA, U. L.; CARLOS, K. G. da. S.; & SOUZA JÚNIOR, D. S. **Coriander yield as a function of green manure incorporation of hairy woodrose (*Merremia aegyptia* L.), rooster tree (*Calotropis procera*) and kills pasture (*Senna uniflora* L.) in a semiarid region of Brazil**. DELOS: DESARROLLO LOCAL SOSTENIBLE, v.16, n.46, p.2370–2385. <https://doi.org/10.55905/rdelosv16.n46-024>.

LINHARES, P. C. F.; PEREIRA, M. F. S.; SILVA, M. L.; MARACAJÁ, P. B.; SOUZA, A. A. T. **Otimização da quantidade de jitrana incorporada ao solo no rendimento agrônomo do rabanete.** Agropecuária Científica no Semi-árido, v.9, n.2, p. 42-48, 2013.

LINHARES, P. C. F. L.; PEREIRA, M. F. S.; OLIVEIRA, B. S.; HENRIQUES, G. P. S. A.; MARACAJÁ, P. B. **Produtividade de rabanete em sistema orgânico de produção.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v.5, n.5, p. 94-101, 2010.

MAIA, P. M. E.; AROUCHA, E. M. M.; SILVA, M. O. P.; SILVA, R. C. P.; OLIVEIRA, F. A. **Desenvolvimento e qualidade do rabanete sob diferentes fontes de potássio.** Revista Verde, v. 6, n. 1, p. 148-153, 2011.

OLIVEIRA, L. K. G.; LINHARES, P. C. F.; SOUZA JÚNIOR, D. S.; SOUZA, M. E. C.; MESQUITA, A. A. S.; SALVINO, B. S.; ROSÁRIO, P. C. M.; SOUSA, R. P.; ALVES, L. S.; AMÂNCIO, J. F.; & RODRIGUES, W. M. **Evaluating the Productivity of Radish Fertilized With a Mixture of Hairy Woodrose (*Merremia aegyptia* L.) and Carnauba Straw (*Copernicia prunifera*).** Asian Journal of Research in Crop Science, v.8, n.4, p.513-21, 2023. <https://doi.org/10.9734/ajrcs/2023/v8i4232>

SANÓ, L.; JOAQUIM JÚNIOR, C. Z.; BARBOSA, I. J.; MANGO, B. D.; N'BALI, N. N.; KÓR, D. G.; FERNANDES, M. D.; EMBANÁ, M. D.; & DA COSTA, N. **Resposta de rabanete vermelho "SAXA-220" em função de diferentes proporções de esterco bovino sob diferentes ambientes de cultivo.** CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES, v.16, n.10, p.18757-18772. <https://doi.org/10.55905/revconv.16n.10-003>

CAPÍTULO 9

AGRICULTURA DE PRECISÃO E FORMAÇÃO DIGITAL: O PAPEL TRANSFORMADOR DOS AGRICULTORES NO PROJETO HIBA

Data de submissão: 11/05/2025

Data de aceite: 26/05/2025

Elsa da Piedade Chinita Soares Rodrigues

Instituto Politécnico de Beja- Portugal

Centro de Investigação em

Qualidade de Vida (CIEQV)

Centro de Investigação e Desenvolvimento

Tecnológico e Artístico

<https://orcid.org/0000-0001-8445-6651>

RESUMO: O projeto HIBA – Hub Iberia Agrotech visa criar um ecossistema plurirregional para a agrodigitalização, promovendo a inovação sustentável através de Digital Innovation Hubs (DIH). O IPBeja como participante ativo neste projeto Transfronteiriço, contribuiu significativamente no desenvolvimento de determinadas áreas, tal como “Desenvolvimento de Capacidades de Formação e Ambientes de Experimentação para a Inovação Empresarial Digital”. Para que pudessemos responder a este desafio foram realizadas entrevistas aplicadas a agricultores, foram identificadas lacunas formativas que sustentaram o desenvolvimento de MOOCs nas áreas de sensores de solo, Arduino, sistemas de informação geográfica (SIG) e Hidroponia. Estas entrevistas funcionaram como um processo de engenharia de requisitos,

permitindo ajustar os conteúdos à realidade e experiência dos utilizadores. O artigo discute como os agricultores se posicionam como mentores da inovação, enquanto se adaptam às tecnologias digitais para melhorar a eficiência e sustentabilidade das suas práticas, com aplicações diretas na agricultura.

PALAVRAS-CHAVES: agricultores; digitalização agrícola; MOOCs.

PRECISION AGRICULTURE AND DIGITAL TRAINING: THE TRANSFORMATIVE ROLE OF FARMERS IN THE HIBA PROJECT

ABSTRACT: The HIBA - Hub Iberia Agrotech project aims to create a multi-regional ecosystem for agrodigitalisation, promoting sustainable innovation through Digital Innovation Hubs (DIH). As an active participant in this cross-border project, IPBeja has contributed significantly to the development of certain areas, such as ‘Development of Training Capacities and Experimentation Environments for Digital Business Innovation’. To respond to this challenge, interviews were carried out with farmers and training gaps were identified that supported the development of MOOCs in the areas of soil sensors, Arduino, geographic information systems (GIS) and hydroponics. These interviews acted as a requirement engineering process, allowing the content to be adjusted to the reality and experience of the users. The article discusses how farmers position themselves as mentors of innovation,

while adapting to digital technologies to improve the efficiency and sustainability of their practices, with direct applications in agriculture.

KEYWORDS: farmers; agricultural digitization; MOOCs.

1 INTRODUÇÃO

O projeto HIBA(HIBA, 2020) – Hub Iberia Agrotech pretende fomentar a criação de um ecossistema colaborativo para a agrodigitalização no Espaço Sudoeste Europeu, através da articulação de Digital Innovation Hubs (DIH), promovendo a iniciativa empresarial, a competitividade, a sustentabilidade e a reativação económica pós-Covid-19. O projeto abrange regiões de Espanha e Portugal, promovendo a cooperação entre: Administrações públicas; Universidades; PME's e start-ups; Organizações sem fins lucrativos; Centros de investigação e inovação. O público-alvo do HIBA são os agricultores e empresários agroalimentares, empreendedores e *startups*, associações e formadores, grupos de desenvolvimento local.

O HIBA assenta em 5 pilares, sendo eles:

1) Formação e Capacitação Digital, que tem por objetivo e ações as seguintes:

- Objetivo: Desenvolver competências digitais em diferentes níveis de formação e perfis de utilizadores.
- Ações:
 - Cursos de formação (presenciais e online)
 - Sessões práticas em *Living Labs*
 - Capacitação em tecnologias digitais aplicadas ao setor agroalimentar

2) Experimentação e Testagem Tecnológica

- Objetivo: Permitir que empresas testem e validem inovações tecnológicas.
- Ações:
 - Acesso a infraestruturas experimentais
 - Testes de algoritmos com dados reais
 - Demonstrações de tecnologias emergentes (ex: sensores, IA, IoT)

3) Integração e Interoperabilidade de Dados

- Objetivo: Tornar os dados interoperáveis e acessíveis para uso em inovação. A tecnologia usada é a FIWARE (Foundation for the Internet of Future, Europe).
- Ações:
 - Gestão e depuração de dados
 - Criação de bases de dados confiáveis para testes
 - Apoio à tomada de decisão baseada em dados

4) Empreendedorismo e Inovação

- Objetivo: Estimular a criação de novas empresas e ideias inovadoras.
- Ações:
 - Apoio a incubadoras e aceleradoras
 - Mentoria para *startups*
 - Conexão com investidores e redes de inovação

5) Cooperação Transfronteiriça

- Objetivo: Estabelecer uma rede colaborativa entre os principais agentes do setor agroalimentar ibérico.
- Ações:
 - Criação de uma rede de DIHs
 - Partilha de boas práticas
 - Projetos conjuntos entre regiões de Portugal e Espanha

Como foi referido o (IPBeja) participa no projeto em diversos pilares, contudo neste artigo iremos focar unicamente o pilar formação no projeto HIBA, que tem como objetivo capacitar os profissionais do setor agroalimentar com competências digitais essenciais para a transformação digital da cadeia de valor agroalimentar, através de cursos teórico-práticos, presenciais e online.

Os cursos do projeto HIBA estão organizados em torno de cinco áreas tecnológicas chave para a digitalização do setor agroalimentar:

Observação da Terra

- Uso de imagens de satélite e drones para monitorização agrícola.
- Aplicações em previsão de colheitas, deteção de pragas, etc.

1) Irrigação Inteligente

- Tecnologias para otimização do uso da água.
- Sistemas de rega baseados em sensores e dados climáticos.

2) Internet das Coisas (IoT)

- Sensores conectados para monitorização em tempo real.
- Aplicações em rastreabilidade, logística e controlo ambiental.

3) Robótica Agrícola

- Máquinas autónomas para colheita, plantação e monitorização.
- Integração com sistemas de IA.

4) Assistentes Virtuais com Inteligência Artificial

- Ferramentas de apoio à decisão baseadas em IA.
- *Chatbots* e interfaces inteligentes para agricultores e técnicos

É de referir que os cursos estão estruturados em três níveis, adaptados a diferentes perfis de utilizadores, tabela 1.

Tabela 1. Cursos e níveis.

Nível	Publico-Alvo	Conteúdo Principal
Básico	Agricultores, estudantes do ensino secundário	Introdução às tecnologias digitais, conceitos fundamentais
Intermédio	Técnicos agrícolas, formadores, PME	Aplicações práticas, integração de tecnologias no campo
Avançado	Engenheiros, investigadores, gestores de inovação	Análise de dados, interoperabilidade, desenvolvimento de soluções personalizadas

A oferta dos cursos passa por diferentes modalidades, e-learning(MOOCs) gratuitos e acessíveis em português e espanhol. Presencias, em centros de formação e *Living Labs*, e em sessões demonstrativas em campo. Salientemos que a plataforma HIBA oferece um número bastante significativo de cursos modulares com assistentes virtuais para apoio contínuo ao utilizador.

A plataforma permite que os agricultores possam adquirir outras valências para puderem competir mundialmente, a agricultura deixou de ter somente o âmbito interno. Para tal é necessário capacitar os agricultores digitalmente, considerando o seu papel central na promoção de uma agricultura mais inovadora, resiliente e ambientalmente consciente.

Hoje, a agricultura enfrenta desafios associados à sustentabilidade ambiental, eficiência económica e segurança alimentar. Neste contexto, a digitalização tem assumido um papel fulcral na modernização destes setores, através da integração de tecnologias como sensores, Internet das Coisas (IoT), big data e plataformas de formação digital. A agricultura de precisão, como vertente tecnológica emergente, oferece respostas concretas a estas necessidades. Como tal a digitalização para ser efetiva depende da relação entre todos os intervenientes, como por exemplo engenheiros tecnológicos e agricultores. Os engenheiros de software podem ter suposições incorretas sobre o que os agricultores precisam. As entrevistas e os questionários vão permitir anular essas suposições. Estas ajudam a alinhar as tecnologias com a realidade local , como: tipo de cultura; condições climáticas regionais; nível de alfabetização digital do agricultor. Para além de que muitos agricultores enfrentam limitações de infraestrutura, como: o cesso limitado à internet; baixa disponibilidade de energia elétrica. Em conclusão as entrevistas revelam um conjunto de restrições, permitindo o desenho de soluções viáveis.

Salientemos que envolver os agricultores no processo de levantamento de requisitos cria um sentimento de participação. O que permite aumentar a aceitação e adoção das soluções tecnológicas propostas, criando um ambiente de confiança, adoção e validação das hipóteses.

2 METODOLOGIA: O PAPEL DAS ENTREVISTAS NA CONCEÇÃO DOS MOOCS

O desenvolvimento dos MOOCs no âmbito do projeto HIBA foi precedido de uma fase de levantamento de requisitos junto dos principais destinatários – os agricultores. Esta abordagem centrou-se na realização de entrevistas presenciais e semiestruturadas, compreendendo tanto questões fechadas como abertas, com o objetivo de captar as reais necessidades formativas no contexto da agricultura de precisão.

Este processo pode ser enquadrado na lógica da engenharia de software educacional, especialmente na fase de elicitação de requisitos (Sommerville, 2011). Ao integrar metodologias qualitativas numa lógica de *design thinking* (Brown, 2009), procurou-se colocar os utilizadores no centro da conceção, garantindo a relevância, aplicabilidade e aceitação dos MOOCs.

O recurso a entrevistas como técnica de recolha de dados permitiu a construção de uma base sólida para o desenho instrucional dos cursos. Entrevistas semiestruturadas são frequentemente utilizadas em estudos que envolvem mudança organizacional e inovação em comunidades rurais (Brinkmann, 2018), uma vez que possibilitam uma compreensão profunda das práticas, representações e obstáculos enfrentados pelos participantes.

Além disso, estudos recentes sobre inovação tecnológica na agricultura demonstram que abordagens qualitativas, como a escuta ativa e as entrevistas, são eficazes na identificação de perceções locais e na redução da resistência à adoção de tecnologias. Segundo (Kreitmair et al., 2024), experiências significativas com ferramentas digitais aumentam a motivação dos agricultores para adotá-las, sendo que as entrevistas qualitativas permitem captar estas experiências com maior profundidade. Por sua vez, (Rizzo et al., 2023) sustentam que compreender os fatores sociais e psicológicos associados à adoção da agricultura de precisão requer abordagens que vão além da análise estatística, sendo essencial integrar métodos qualitativos no processo de investigação.

A utilização de entrevistas abertas e fechadas no projeto HIBA revela-se metodologicamente adequada para captar a complexidade das necessidades dos agricultores em contextos socioculturais diversos. Ao contrário dos questionários

estandardizados, que tendem a limitar as respostas a categorias pré-definidas, as entrevistas permitem uma exploração mais profunda das percepções, práticas e expectativas dos participantes.

As entrevistas que realizamos permitiu identificar as áreas prioritárias de formação: Sensores de Potencial de Humidade do Solo; Microcontroladores (Arduíno) e a Rega de Precisão; Sistemas de Informação Geográfica (QGIS); Hidroponia. O guião utilizado para as entrevistas incluía perguntas diretas e abertas, como: Qual o nível de experiência com ferramentas digitais? - Que tipo de tecnologia já utiliza na sua exploração? -Que obstáculos encontra na adoção de novas tecnologias? -Que aspetos gostaria de melhorar na sua prática agrícola? -Como adquiriu conhecimento sobre essas tecnologias?

Além disso, foram realizadas perguntas sobre benefícios observados e expectativas futuras, num total de 14 perguntas fechadas e subsequentes derivações qualitativas.

A título ilustrativo, um agricultor referiu: *“Percebi que os sensores de humidade me poupam água e tempo. Antes, regava todos os dias à mesma hora, agora só quando é preciso.”* Esta afirmação evidencia não apenas o benefício prático, mas uma mudança de mentalidade, crucial para a sustentabilidade agrícola.

Esta estratégia está alinhada com o modelo de *participatory design* (Spinuzzi, 2005), em que os utilizadores finais não são apenas fontes de dados, mas coautores da solução tecnológica.

A análise qualitativa dos dados recolhidos seguiu uma lógica de codificação temática, com base na proposta de (Braun e Clarke 2006), permitindo identificar padrões recorrentes, como o desconhecimento sobre sensores, o interesse pela automação da rega e a curiosidade sobre práticas como a hidroponia.

Na prática, os resultados das entrevistas fundamentaram o desenho dos MOOCs em quatro áreas prioritárias, tabela 2:

Tabela 2. MOOCs Desenvolvidos.

Necessidade Identificada	MOOC Desenvolvido
Falta de controlo da humidade do solo	Sensores de Potencial de Humidade do Solo
Interesse em automação da rega	Microcontroladores e a Rega de Precisão /Arduíno)
Dificuldade em rastrear a propriedade	Sistemas de Informação Geográfica (QGIS)
Curiosidade sobre cultivos sem solo	Hidroponia

No plano técnico, este processo reforça o valor da engenharia de requisitos em contextos não tradicionais como a educação rural. A partir das entrevistas, foi possível

definir personas, identificar *pain points*, e rastrear *learning outcomes*, o que permitiu estruturar conteúdos adequados às competências digitais dos agricultores.

3 DESENVOLVIMENTO DOS MOOCS COMO FERRAMENTA DE CAPACITAÇÃO

O desenvolvimento de MOOCs (Massive Open Online Courses) como ferramenta de capacitação tem-se revelado uma estratégia eficaz para promover o acesso ao conhecimento em regiões com recursos limitados, incluindo zonas rurais e agrícolas. Segundo (Ma e Lee, 2023), a integração de MOOCs em contextos economicamente desfavorecidos, através de abordagens pedagógicas adaptadas como o modelo ARCS (Atenção, Relevância, Confiança e Satisfação), demonstrou maior eficácia na motivação e retenção dos aprendentes quando comparada ao ensino presencial tradicional.

No setor agrícola, os MOOCs têm sido utilizados para promover a adoção de práticas sustentáveis e tecnologias emergentes. Um exemplo notável é o curso “Precision Agriculture for Smallholders”, disponibilizado através da plataforma Coursera, que capacitou agricultores em técnicas de agricultura de precisão, uso de sensores e análise de dados para otimização de recursos. Outro caso relevante é o programa “Digital Agriculture MOOC” promovido pela “Food and Agriculture Organization (FAO)”, que oferece formação gratuita sobre agricultura digital, incluindo o uso de drones, IoT e inteligência artificial, com foco em países em desenvolvimento Mgendi (2024), que demonstrou impacto positivo na capacitação de agricultores em práticas de agricultura de precisão, com ganhos em produtividade e sustentabilidade.

Estes cursos demonstram que, quando bem desenhados, os MOOCs podem contribuir para reduzir desigualdades no acesso à formação técnica e científica, promovendo a inclusão digital e o desenvolvimento rural sustentável. A literatura aponta ainda que a eficácia dos MOOCs aumenta significativamente quando combinados com redes locais de apoio e estratégias de aprendizagem colaborativa, como demonstrado no projeto europeu ECO, centrado nos chamados “Social MOOCs”.

Os MOOCs desenvolvidos (Candeias et al., 2023) tem uma organização de fácil entendimento ao serem divididos pelos resultados das entrevistas. Cada um destes MOOCs foi estruturado com base nas áreas a abranger e divididos por níveis. Para cada nível existem um conjunto de vídeos didáticos, exercícios práticos e recursos complementares. Por exemplo, o MOOC sobre sensores de humidade do solo inclui demonstrações da instalação de sensores tensiométricos em campo, análise dos dados recolhidos e ligação a microcontroladores para automação da rega. No final do MOOC o agricultor saberá realizar a preparação, instalação e interpretar a leitura dos tensiómetros e dos sensores de resistência.

No que concerne ao MOOC Microcontroladores e a Rega de Precisão, que pertence ao nível avançado, tem como objetivo transmitir o conhecimento para a criação de um protótipo de rega automatizada. Durante os vídeos é detalhado passo a passo o desenvolvimento de uma sonda de potencial de humidade no solo com um microcontrolador Arduino. O MOOC demonstra detalhadamente os componentes do instrumento Arduino, a sua programação e o seu ensaio.

Enquanto no MOOC de Hidroponia foram abordados os temas relacionados o que é a hidroponia, as vantagens e desvantagem deste processo de cultivo, o que se pode cultivar e como cultivar.

Em relação ao MOOC Sistemas de Informação Geográfica – QGIS, o agricultor desenvolve a capacidade de criar projetos no QGIS, criar informação vetorial, editar a mesma, fazer análise espacial a informação vetorial, saber onde encontrar informação geográfica em formato digital relativa a Portugal e, como extra, saber como usar o QGIS para calcular o Índice NDVI.

É de salientar que todo processo de criação dos MOOCs implicou um trabalhar contínuo com técnicos da área da agricultura e com os agricultores. O fruto desta simbiose tem sido verificado através de eventos científicos/tecnológicos criados entre nós e os agricultores, onde são transmitidos os conhecimentos científicos e demonstrações.

4 AGRICULTORES COMO MENTORES DA INOVAÇÃO

A experiência do projeto HIBA permitiu observar uma mudança de paradigma na relação entre inovação tecnológica e o utilizador final – o agricultor. Ao invés de serem considerados meros destinatários de conhecimento técnico, os agricultores foram envolvidos desde a fase inicial do processo de conceção dos MOOCs, assumindo um papel ativo na orientação e validação das soluções propostas.

Esta abordagem contribuiu para reconfigurar a lógica tradicional de transferência de tecnologia, geralmente caracterizada por um modelo vertical (*top-down*), em que a inovação é concebida por centros de investigação ou empresas tecnológicas e posteriormente difundida para o terreno (Klerkx e Leeuwis, 2009). Em contraste, o projeto HIBA adotou uma abordagem participativa e ascendente (*bottom-up*), valorizando o conhecimento empírico, a experiência prática e as necessidades reais da comunidade agrícola.

4.1 DA ESCUTA ATIVA AO PAPEL DE MENTORES

As entrevistas realizadas revelaram um conjunto de saberes implícitos que os agricultores detêm, resultantes de décadas de observação direta dos ciclos naturais,

dos solos e da resposta das culturas. Este conhecimento, frequentemente invisível aos olhos da ciência formal, constitui uma base essencial para uma inovação tecnológica contextualizada e sustentável (Chambers, 1994).

Neste processo, a escuta ativa e o diálogo estabelecido com os agricultores conduziram a decisões estratégicas sobre os conteúdos dos MOOCs: quais as tecnologias mais relevantes, os formatos mais acessíveis e os exemplos mais próximos da realidade dos formandos. Os agricultores não apenas descreveram necessidades, mas também sugeriram soluções, partilharam boas práticas e anteciparam obstáculos, demonstrando um papel de mentoria sobre o processo de inovação digital no setor agrícola.

Assim, os agricultores deixaram de ser considerados utilizadores finais passivos, assumindo-se como mentores da inovação, no sentido definido por (Wenger et al., 2011), onde os membros de uma comunidade de prática contribuem ativamente para a aprendizagem coletiva e a construção de conhecimento.

4.2 COMPARAÇÃO COM OUTROS PROJETOS EUROPEUS

Projetos como o EU SmartAgriHubs (SmartAgriHubs, 2020) ou o FarmBeats da Microsoft (Microsoft, 2022) têm promovido a disseminação de tecnologias digitais na agricultura. No entanto, muitas destas iniciativas partem de uma lógica de desenvolvimento orientado pela tecnologia, com limitada integração da experiência dos utilizadores na fase de design (Eastwood et al., 2019). Ao contrário, o projeto HIBA posiciona o agricultor como cocriador da solução, numa lógica de agricultura centrada no utilizador. Esta distinção pode ser ilustrada na seguinte tabela comparativa, tabela 3:

Tabela 3. Comparação entre projetos.

Projeto/Abordagem	Modelo de Inovação	Papel do Agricultor	Grau de participação
SmartAgriHubs(EU)	<i>Top-down</i>	Recetor de soluções	Limitado
FarmBeats (Microsoft)	Tecnocêntrico	Testador/consumidor	Baixo
Projeto HIBA	Bottom-up participativo	Mentor e coautor da inovação	Elevado

Este contraste evidencia que a inclusão significativa dos agricultores no processo de conceção tecnológica pode potenciar não só a adesão às soluções propostas, mas também a sua adaptabilidade e escalabilidade.

4.3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS: INVESTIGAÇÃO-AÇÃO E COCRIAÇÃO

A metodologia adotada enquadra-se nos princípios da investigação-ação participativa (Reason e Bradbury, 2013), onde os participantes não são apenas objetos de

estudo, mas sujeitos ativos na construção do conhecimento e das soluções. Este modelo promove um ciclo contínuo de reflexão, ação e transformação, com forte enraizamento local. Adicionalmente, a abordagem de cocriação de valor (Prahalad e Ramaswamy, 2004) aplicada ao contexto agrícola implica reconhecer os agricultores como parceiros no processo de inovação, valorizando as suas competências, perspectivas e objetivos próprios. Através da sua participação, os agricultores contribuíram para:

- A definição das prioridades formativas;
- A validação de exemplos contextualizados;
- A adequação da linguagem e do ritmo dos MOOCs;
- A legitimação da proposta pedagógica junto de pares.

Como refere (Bawden, 1995), a sustentabilidade agrícola exige não apenas inovação técnica, mas sobretudo inovação social, o que implica redesenhar os processos de aprendizagem, governança e difusão do conhecimento.

5 CONTRIBUTOS PARA A SUSTENTABILIDADE E INOVAÇÃO NA AGRICULTURA

A sustentabilidade agrícola contemporânea não pode ser dissociada da inovação tecnológica e da capacitação digital dos seus principais intervenientes – os agricultores. Estes são chamados não apenas a adotar novas ferramentas, mas a participar ativamente no seu desenvolvimento, numa lógica de co-inovação e apropriação tecnológica (Eastwood et al., 2019). O projeto HIBA revela-se exemplar ao articular três eixos fundamentais: sustentabilidade ambiental, inovação tecnológica e inclusão social – formando o que pode ser descrito como um triângulo de sustentabilidade digital na agricultura.

5.1 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL

A introdução de práticas agrícolas mais sustentáveis através da tecnologia representa uma viragem paradigmática no setor. A utilização de sensores de humidade do solo, estações meteorológicas automáticas e sistemas de rega inteligente permite ao agricultor tomar decisões baseadas em dados, reduzindo desperdícios e otimizando recursos. Este tipo de tecnologia, integrada em sistemas de agricultura de precisão, minimiza a aplicação excessiva de fertilizantes e pesticidas, contribuindo para a redução da contaminação de solos e águas subterrâneas (Gebbers e Adamchuk, 2010).

Para além disso, a adoção de técnicas como a hidroponia, também abordadas nos MOOCs do projeto HIBA, promove o uso eficiente da terra e da água, contribuindo para sistemas agrícolas mais resilientes às alterações climáticas. Estas práticas possibilitam uma produção sustentável e contínua em ambientes controlados, permitindo inclusive

a produção em áreas urbanas ou de baixa fertilidade. De acordo com (Pretty et al., 2018), estas soluções integram-se nas abordagens de redesenho agrícola para uma intensificação sustentável, que alia produtividade à conservação dos ecossistemas.

5.2 INOVAÇÃO TECNOLÓGICA APROPRIADA

A inovação tecnológica só é efetiva quando responde às realidades do terreno. Neste sentido, o projeto HIBA destaca-se ao promover o uso de ferramentas de baixo custo, como o Arduino para a automatização agrícola, ou o QGIS para a cartografia participativa e análise espacial. Estas tecnologias, apresentadas nos cursos online, são acessíveis, replicáveis e adaptáveis às necessidades dos agricultores locais (Wolfert et al., 2017).

Além disso, os MOOCs permitem que agricultores, técnicos e formadores adquiram competências de forma flexível, ao seu ritmo e sem barreiras geográficas. Este modelo formativo responde à crescente necessidade de educação contínua e ao desafio da literacia digital em meios rurais. De acordo com (Silva et al., 2020), a aprendizagem em ambientes virtuais pode reforçar a autonomia e promover o empoderamento dos participantes. Também (Pretty et al., 2018) reforçam que a integração de tecnologias digitais em ambientes agrícolas exige não apenas inovação técnica, mas também institucional e educativa, a fim de promover mudanças sistemáticas e sustentáveis.

5.3 INCLUSÃO E COESÃO SOCIAL

Um dos principais méritos do projeto HIBA é a valorização do conhecimento empírico dos agricultores. Ao escutá-los, integrá-los no desenho das formações e incentivar o diálogo com especialistas, reforça-se a sua centralidade no processo de inovação. Esta abordagem bottom-up contrasta com modelos tradicionais de inovação agrícola, frequentemente impostos de forma top-down, e promove a inclusão de grupos historicamente marginalizados da revolução digital (Klerkx e Rose, 2020).

A construção de comunidades de prática entre agricultores, formadores e investigadores, fomentadas pelos espaços digitais criados no âmbito do projeto, permite o desenvolvimento de redes de suporte e colaboração contínua. Estas redes funcionam como ecossistemas de inovação social, fortalecendo a coesão das comunidades locais e promovendo a resiliência económica e cultural dos territórios. Segundo (Eastwood et al., 2019), o envolvimento ativo dos agricultores nas dinâmicas de inovação contribui não só para a legitimidade das soluções propostas, mas também para o reforço das capacidades coletivas nos territórios rurais.

5.4 O TRIÂNGULO DA SUSTENTABILIDADE DIGITAL

A convergência entre sustentabilidade ambiental, inovação tecnológica e inclusão social é representada simbolicamente através de um triângulo (Figura 1), no qual o agricultor ocupa o centro. Esta representação evidencia que a sustentabilidade não pode ser alcançada de forma isolada, sendo necessário promover soluções integradas e participadas. Cada vértice representa um tema-chave: um é dedicado à sustentabilidade ambiental, ilustrado com vegetação exuberante e símbolos da natureza; outro vértice destaca a inovação tecnológica com engrenagens e motivos digitais; e o terceiro vértice simboliza a inclusão social por meio de ícones de pessoas diversas e comunidade. As cores são brilhantes e dinâmicas, enfatizando a interdependência e a sinergia entre esses conceitos na busca por um futuro sustentável.

Figura 1- Triângulo da Sustentabilidade Digital.



No projeto HIBA, este modelo foi operacionalizado por meio de uma estratégia formativa que alia teoria e prática, com conteúdos co-construídos e aplicáveis ao contexto local. A inovação é, assim, entendida como um processo coletivo e situado, em que os diferentes agentes (agricultores, investigadores, decisores políticos e educadores) atuam em conjunto para transformar as práticas agrícolas. Isto está em consonância com as propostas de redes de inovação agrícola colaborativa sugeridas por (Sulaiman et al., 2021), que destacam o papel das instituições locais e dos atores sociais na geração de soluções sustentáveis.

Esta abordagem permite alinhar os objetivos do projeto com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), nomeadamente o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ao promover práticas agrícolas eficientes e ecológicas, e o ODS 4

(Educação de Qualidade), ao disponibilizar oportunidades de aprendizagem acessíveis e relevantes (ONU, 2015).

6 CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

O projeto HIBA demonstra que a transformação digital na agricultura não se limita à disseminação de tecnologias, mas exige uma abordagem integrada que valorize o conhecimento local, promova a inclusão e fomente a inovação contextualizada. Ao posicionar os agricultores como cocriadores de soluções formativas e tecnológicas, o projeto alinha-se com as mais recentes abordagens de inovação participativa e desenvolvimento sustentável (Knickel et al., 2009), (Eastwood et al., 2019).

As entrevistas realizadas com agricultores desempenharam um papel crucial na identificação de necessidades reais de formação, permitindo que os MOOCs desenvolvidos fossem mais relevantes, aplicáveis e eficazes. Este processo reforça a importância do levantamento de requisitos participativo como etapa fundamental na concepção de tecnologias educativas em contextos rurais (Sommerville, 2011),

A experiência do projeto evidencia ainda que a formação digital orientada para o campo agrícola pode servir como vetor de mudança estrutural, contribuindo para:

- A melhoria da eficiência produtiva com práticas agrícolas mais sustentáveis (Pretty et al., 2018);
- O fortalecimento da literacia digital e da autonomia dos agricultores (Silva et al., 2020);
- A criação de redes de aprendizagem colaborativa e comunidades de prática rurais (Sulaiman et al., 2021);
- A maior inclusão dos agricultores em processos de inovação e planejamento de políticas públicas (Klerkx & Rose, 2020).

7 RECOMENDAÇÕES

Fomentar políticas públicas que valorizem modelos bottom-up de inovação, centrando os programas de digitalização agrícola nas necessidades locais dos produtores e nas dinâmicas comunitárias (OECD, 2019). Reforçar o investimento em plataformas formativas abertas e modulares, como os MOOCs, adaptadas aos contextos rurais e com materiais desenvolvidos em coautoria com os utilizadores finais – os agricultores (Pampouri et al., 2017).

Criar incentivos à experimentação e adaptação tecnológica local, através de programas de apoio à inovação no terreno, formação técnica contínua e disponibilização de ferramentas de código aberto e baixo custo, como o Arduino e o QGIS. Estabelecer

redes de mentoria entre agricultores experientes e novos utilizadores das tecnologias digitais, promovendo o intercâmbio intergeracional de saberes e práticas. Integrar os resultados dos projetos como o HIBA em estratégias nacionais e europeias para os ODS, especialmente o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ODS 4 (Educação de Qualidade) e ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestruturas), reconhecendo o papel das tecnologias digitais como alavanca para o desenvolvimento rural sustentável (ONU, 2015).

Em síntese, os contributos do projeto HIBA ultrapassam os limites da capacitação técnica, operando uma mudança de paradigma no modo como se concebe a inovação agrícola: de um modelo vertical e tecnocrático, para uma abordagem colaborativa, aberta e centrada no agricultor enquanto mentor da transformação digital.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAWDEN, R. **On the systems dimension in FSR**. *Journal of Farming Systems Research Development*, v.5, p. 2-18, 1996.

BRAUN, V.; CLARKE, V. **Using thematic analysis in psychology**. *Qualitative Research in Psychology*, v. 3, n. 2, p. 77-101, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>

BRINKMANN, S. **The Interview**. In: DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. (Ed.). *The SAGE Handbook of Qualitative Research*. 5. ed. Chapter 26, P. 576-599, Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2019.

BROWN, T. **Change by design: How design thinking creates new alternatives for business and society**. Boston: Harvard Business Press, 2009.

CANDEIAS, V., RODRIGUES, E., LUZ, L., TOMAZ, A., ALMEIDA, A., BRITO, I.S. **O Papel dos MOOCs na Agricultura de Precisão**, Actas de las V Jornadas ScienCity 2022, págs. 14-17, 2023 ISBN: 9798375732176. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8975810>

CHAMBERS, R. **Participatory rural appraisal (PRA): Analysis of experience**. *World Development*, v. 22, 1437-1454, 1994. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/0305-750X\(94\)90030-2](http://dx.doi.org/10.1016/0305-750X(94)90030-2)

EASTWOOD, C.; KLERKX, L.; AYRE, M.; DELA RUE, B. **Managing socio-ethical challenges in the development of smart farming: From a fragmented to a comprehensive approach for responsible research and innovation**. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, v. 32, n. 5-6, p. 741-768, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10806-017-9704-5>

GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V. I. **Precision agriculture and food security**. *Science*, v. 327, n. 5967, p. 828-831, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1183899>

GODFRAY, H. C. J. et al. **Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People**. *Science*, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010. Disponível em: DOI: 10.1126/science.1185383

HIBA- Hub Iberia Agrotech, <https://hubiberiaagrotech.eu/pt/inicio-2/>

KLERKX, L.; ROSE, D. **Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways?** *Global Food Security*, v. 24, 100347, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>

KNICKEL, K., BRUNORI, G., RAN, S.; PROOST J. **Towards a better conceptual framework for innovation processes in agriculture and rural development: From linear models to systemic approaches**. *Journal of Agricultural Education and Extension*, v. 14, n. 2, p. 131-146, 2009. DOI: 10.1080/13892240902909064

KNITSCH, V., DANIEL, L. & WELZ, J. **Mapping varieties of farmers' experience in the digital transformation: a new perspective on transformative dynamics**. Precision Agric 25, 1958–1981 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11119-024-10148-7>

KVALE, S.; BRINKMANN, S. **InterViews: Learning the Craft of Qualitative Research Interviewing**. 3. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2015.

MA, L.; LEE, C. S. **Leveraging MOOCs for learners in economically disadvantaged regions**. Education and Information Technologies, v. 28, p. 12243–12268, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11461-2>

MICROSOFT. **FarmBeats: AI and IoT for Agriculture**. Redmond: Microsoft, 2022. <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/farmbeats-iot-agriculture/publications/?msocid=361e2f1e8847617c2b5c3a3c89206030>

MGENDI, G. **Unlocking the potential of precision agriculture for sustainable farming**. Discov Agric, v. 2, p. 87, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s44279-024-00078-3>

OECD. **Innovation, Agricultural Productivity and Sustainability in Portugal**. Paris: OECD Publishing, 2019. Disponível em: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2019/10/innovation-productivity-and-sustainability-in-food-and-agriculture_81e0c513/c9c4ec1d-en.pdf

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Organização das Nações Unidas**, 2015. <https://unric.org/pt/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/>

PAMPOURI, ANASTASIA; KOSTELIDOU, STYLIANI; SIONTA, ELENI; SOUITSME, MARIA; MAVROPOULOS, AZARIAS **Massive Open Online Courses (MOOCs): A review**. Education and Information Technologies, v. 22, n. 4, p. 1527–1550, 2017. DOI:10.21125/inted.2021.1468

PRAHALAD, C. K.; RAMASWAMY, V. **Co-creation experiences: The next practice in value creation**. Journal of Interactive Marketing, v. 18, n. 3, p. 5–14, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1094996804701073>

PRETTY, J.; BENTON, T. G.; BHARUCHA, Z. P.; DICKS, L. V.; FLORA, C. B.; GODFRAY, H. C. J.; WRATTEN, S. D. **Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification**. Nature Sustainability, v. 1, n. 8, 2018. Disponível em: 10.1038/s41893-018-0114-0

REASON, P.; BRADBURY, H. (Ed.). **The SAGE Handbook of Action Research: Participative Inquiry and Practice**. Thousand Oaks: SAGE, 2013.

RIZZO, G., MIGLIORE, G., SCHIFANI, G., VECCHIO, R. **Key factors influencing farmers' adoption of sustainable innovations: a systematic literature review and research agenda** (2023). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13165-023-00440-7>

SILVA, P. et al. **O papel dos MOOCs na Agricultura de Precisão**. In: Actas das III Jornadas ScienCity 2020. [S. l.: s. n.], 2020.

SMARTAGRIHUBS. **Final Report on SmartAgriHubs Achievements**. European Union Horizon 2020 Project, 2021. <https://www.smartagrihubs.eu/>

SOMMERVILLE, I. **Software Engineering**. 9. ed. Harlow: Pearson Education, 2011.

SPINUZZI, C. **The methodology of participatory design**. Technical Communication, v. 52, n. 2, p. 163–174, 2005. https://www.researchgate.net/publication/233564945_The_Methodology_of_Participatory_Design

WENGER, E.; TRAYNER, B.; DE LAAT, M. **Promoting and assessing value creation in communities and networks: A conceptual framework**. Open Universiteit, 2011. Disponível em: <https://wenger-trayner.com/resources/publications/evaluation-framework/>

WOLFERT, S.; GE, L.; VERDOUW, C.; BOGAARDT, M. J. **Big data in smart farming – A review**. Agricultural Systems, v. 153, p. 69–80, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>

CAPÍTULO 10

INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN LA TRANSFERENCIA DE MATERIA EN ZANAHORIAS COCIDAS

Data de submissão: 16/05/2025

Data de aceite: 26/05/2025

Oscar Daniel Galvez

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Mendoza
Departamento de Materias Básicas
Mendoza – Argentina
<https://orcid.org/0000-0003-4427-3994>

Mariela Beatriz Maldonado

CONICET
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Mendoza
Departamento de Ingeniería Química
Mendoza – Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-4188-8005>

Juan Ignacio González Pacheco

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Mendoza
Departamento de Ingeniería Química
Mendoza – Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-4447-8562>

RESUMEN: Esta Tesis tiene por objetivo general estudiar la difusión del arsénico en las zanahorias. El objetivo específico fue medir cómo difunde el arsénico usando la ley de Fick, con concentraciones entre 5 y 15 mgL⁻¹ a una temperatura constante. Las zanahorias

enteras, con su piel, se cocinaron a 98°C en soluciones con diferentes niveles de arsénico (5, 10 y 15 mgL⁻¹). Se cortaron las zanahorias en tres partes: superior, media e inferior. Para calcular los coeficientes de difusión del arsénico, se usó un modelo cilíndrico homogéneo. Se establecieron las condiciones para resolver el modelo matemático y seleccionar las fronteras y el mecanismo de difusión. Los resultados mostraron coherencia con el aumento de concentraciones de arsénico (5, 10 y 15 mgL⁻¹) en la solución a 98°C durante 30 minutos de cocción. Los coeficientes de difusión promedios en la región superior fueron 1,45E-08, 1,49E-08 y 1,53E-08 m²s⁻¹ para concentraciones arsenicales de 5, 10 y 15 mgL⁻¹ respectivamente. Además, se observó que la concentración de arsénico se relacionaba con la distancia radial y la penetración en el tejido de la zanahoria, así como con la altura del corte. A 5 mgL⁻¹, la difusión fue menor que a 10 y 15 mgL⁻¹ para los mismos tiempos, ya que la velocidad de avance del arsénico disminuyó con menor concentración. En las tres regiones (superior, media e inferior), el contenido de arsénico bajó desde la periferia hacia el centro de la zanahoria, similar a otros estudios de difusión de solutos en alimentos. Parte de los resultados y metodología fue publicada en la revista HELIYON.

PALABRAS CLAVE: arsénico; coeficientes efectivos de difusión; modelo cilíndrico; transferencia de masa; zanahoria.

INFLUENCE OF ARSENIC CONCENTRATION ON MASS TRANSFER IN COOKED CARROTS

ABSTRACT: This thesis aims to study the diffusion of arsenic in carrots. The specific objective was to measure how arsenic diffuses using Fick's law, with concentrations ranging from 5 to 15 mgL⁻¹ at a constant temperature. Whole carrots, with their skin, were cooked at 98°C in solutions with different levels of arsenic (5, 10, and 15 mgL⁻¹). The carrots were cut into three parts: upper, middle, and lower. To calculate the arsenic diffusion coefficients, a homogeneous cylindrical model was used. Conditions were established to solve the mathematical model and to select the boundaries and diffusion mechanism. The results showed consistency with the increasing arsenic concentrations (5, 10, and 15 mgL⁻¹) in the solution at 98°C during 30 minutes of cooking. The average diffusion coefficients in the upper region were 1.45E-08, 1.49E-08, and 1.53E-08 m²s⁻¹ for arsenic concentrations of 5, 10, and 15 mgL⁻¹, respectively. Additionally, it was observed that the arsenic concentration was related to the radial distance and penetration into the carrot tissue, as well as the height of the cut. At 5 mgL⁻¹, diffusion was lower than at 10 and 15 mgL⁻¹ for the same times, as the rate of arsenic advancement decreased with lower concentration. In all three regions (upper, middle, and lower), the arsenic content decreased from the periphery towards the center of the carrot, similar to other studies on solute diffusion in foods. Part of the results and methodology were published in the journal HELIYON.

KEYWORDS: arsenic; effective diffusion coefficients; cylindrical model; mass transfer; carrot.

1 INTRODUCCIÓN

El problema de preparar alimentos en áreas donde el agua contiene arsénico no ha sido bien estudiado. Por eso es importante investigar cómo se difunde el arsénico en las zanahorias. Esto es relevante porque el arsénico, que es muy tóxico y puede concentrarse durante la cocción. Además, la presencia de arsénico en los alimentos preocupa por sus posibles efectos negativos en la salud pública (Khosravi-Darani et al., 2022; Shrivastava, 2021; Upadhyay et al., 2019).

El arsénico (As) se encuentra de forma natural en el suelo y en formaciones geológicas, y puede llegar a las aguas subterráneas por disolución o lixiviación. Las actividades industriales también han aumentado las concentraciones de arsénico en varios lugares. Como resultado, muchos países han registrado niveles de arsénico en el agua potable que superan los límites permitidos por las normas vigentes. Este elemento entra en la cadena alimentaria principalmente a través del consumo y cocción con agua contaminada, la absorción por cultivos irrigados con esa agua y la ingesta de organismos marinos (CIMA, 2013; Marchetti et al., 2021; Smedley & Kinniburgh, 2002).

En los sistemas alimentarios, la transferencia de moléculas y solutos pequeños ocurre mediante varios mecanismos, siendo la difusión molecular el principal proceso

de transporte. La cuantificación y posterior modelación matemática que describe la difusión es necesario para entender tanto el movimiento del agua como la difusión de pequeñas moléculas y solutos en los alimentos, proporcionando resultados satisfactorios en ingeniería y procesos tecnológicos (Cussler, 2009; Saravacos & Maroulis, 2001; Tijssens et al., 2001).

2 DESARROLLO

Se utilizaron zanahorias híbridas bienales del tipo Nantesa de un productor en Mendoza, Argentina. Dado que la zanahoria es un material biológico, fue difícil predecir cómo se difundiría el arsénico en su matriz. Por lo tanto, se usó el grado de terneza como punto final del ensayo, ya que no había otro método de referencia. El tiempo de cocción se determinó según el grado de terneza en las regiones superior, media e inferior, con un objetivo de $\leq 3,0 \text{ kg/m}^2$ (Galvez et al., 2018). Esto permitió suponer que las condiciones finales de cocción eran iguales para todas las zanahorias de un mismo lote y característica físico-biológicas semejantes. Se trabajó con tres concentraciones de arsénico: 5, 10 y 15 mgL^{-1} . Las zanahorias enteras, con su piel, se cocinaron a $98^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ en un baño termostatzado Technicon Autoanalyzer II con agitación a 1150 rpm.

La solución de arsénico se preparó a partir de una solución madre de 1000 mgL^{-1} de arsénico, que contenía 1,320 g de trióxido de diarsénico (As_2O_3) y 4,000 g de NaOH, y luego se diluyó con agua destilada (resistividad 100 mOhms) hasta 1 L (Rice et al., 2012). En cada ensayo se usaron 15 zanahorias y se tomaron 9 muestras de cada zanahoria para determinar el arsénico total. La cantidad de arsénico en la zanahoria se evaluó en función de la concentración de la solución de arsénico durante la cocción, manteniendo la temperatura constante, y se extrajeron tres zanahorias en cada intervalo de tiempo. Las zanahorias se cortaron para obtener muestras según la altura del corte (longitud de la zanahoria) y la distancia radial. La Figura 1 muestra la secuencia de cortes para la muestra de la región superior, y se siguió el mismo procedimiento para las muestras de las regiones media e inferior.

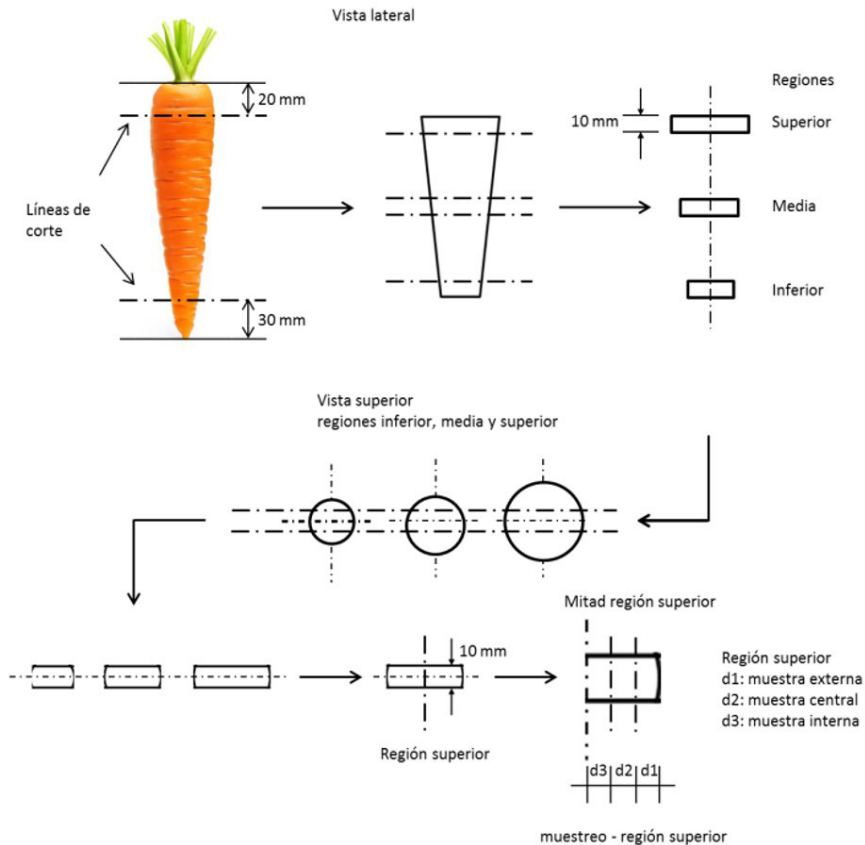
Antes de determinar el arsénico, se realizó una mineralización ácida a las muestras de zanahoria, y luego se midió el arsénico total en un espectrofotómetro de absorción atómica Unicam 929, usando el método estandarizado 3114.C de generación continua de hidruro/espectrometría de absorción atómica (Rice et al., 2012). Antes de sumergir las zanahorias en la solución de arsénico, se recubrieron los extremos con pintura asfáltica impermeable al agua para evitar la transferencia longitudinal del soluto durante la cocción.

La codificación en las leyendas de las figuras corresponde a una muestra (d1, d2 o d3) de una región específica de la zanahoria (superior, media o inferior). Por ejemplo, “d1” se refiere a la porción radial próxima a la parte exterior de la pulpa de zanahoria en una región determinada, como se muestra en la Figura 1.

Se realizó una aproximación del modelo cilíndrico sólido semi-infinito considerando al cuerpo geométrico homogéneo en su totalidad, sin discriminar las partes morfológicas principales de la zanahoria (*xilema* y *floema*).

El cilindro considerado estuvo compuesto por pulpa en su totalidad. La zanahoria cuenta con una concentración inicial de arsénico y su superficie estuvo expuesta a una concentración de solución arsenical constante, Cs.

Figura 1. Secuencia de cortes para la obtención de muestras.



El modelo cilíndrico se basó en los siguientes supuestos.

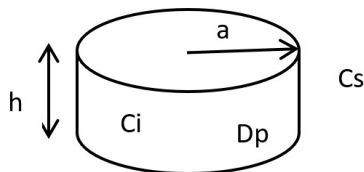
1. La difusión molecular es el único mecanismo de transporte dentro del sólido, de manera que se desprecia transporte convectivo ($v_x=v_y=v_z=0$).
2. La difusión se considera sin generación de sustancias por reacción química.
3. La pulpa de la zanahoria es homogénea e isotrópica con concentración inicial (c_i) uniforme.
4. La difusión molecular es unidireccional.
5. La superficie adquiere instantáneamente la concentración de la solución arsenical en el momento de inmersión de las zanahorias en la misma, debido a la gran agitación (1150 rpm) del líquido rodeando las superficies (elevado número de Biot).

$$C_i(x_i, t) = C_{i(xsup)} = C_{soluc} ; t > 0$$

6. Se considera proceso isotérmico.

En Figura 2 se muestra el modelo cilíndrico macizo para la muestra región superior.

Figura 2. Modelo cilindro macizo.



Donde:

Cs: concentración de arsénico en la superficie externa de la zanahoria en $[\mu\text{g/g As}]$.

Ci: concentración inicial de arsénico promedio en $[\mu\text{g As/g de zanahoria}]$, valor hallado de las muestras obtenidas de 27 zanahorias.

Dp: coeficiente de difusión de pulpa en $[\text{m}^2\text{s}^{-1}]$.

a: radio de pulpa de la región considerada (superior, media o inferior) en $[\text{m}]$.

h: altura de las porciones superior, medio e inferior en $[\text{m}]$.

El modelo matemático aplicado en esta investigación fue extraído de (Carslaw & Jaeger, 1959), anteriormente se trabajó en un modelo de placa delgada (Galvez et al., 2024).

Aplicando la segunda ley de Fick para un gradiente de concentración en una sola dirección, la variación de la concentración en el tiempo se puede calcular con la siguiente ecuación en coordenadas cilíndricas:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_p \left(\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial C}{\partial r} \right) \quad (1)$$

La cual describe los cambios de la concentración con las variables temporal t y espacial r . Donde D_p es el coeficiente de difusión de la pulpa asumido constante durante el proceso. La ecuación 1 está sujeta a las siguientes condiciones: inicial y de frontera:

$$\begin{aligned} \text{CI: } C &= 0; 0 \leq r \leq a; t = 0 \\ \text{CF: } C &= C_s; r = a; t > 0 \end{aligned} \quad (2)$$

La solución general de la ecuación 1 con la condición: inicial y de frontera de la ecuación 2 es:

$$C = C_s - \frac{2C_s}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-D_p \alpha_n^2 t}}{\alpha_n} \frac{J_0(r \alpha_n)}{J_1(a \alpha_n)} \quad (3)$$

Donde los valores propios, α_n son las raíces positivas de $J_0(a \alpha_n) = 0$

La concentración volumétrica promedio de la ecuación 3 es:

$$\langle C \rangle = \frac{2}{a^2} \int_0^a r C dr \quad (4)$$

Resolviendo la integral

$$\langle C \rangle = C_s \left(1 - \frac{4}{a^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-D_p \alpha_n^2 t}}{\alpha_n^2} \right) \quad (5)$$

Los valores de los coeficientes de difusión promedio se calcularon de la ecuación 5 con los datos experimentales volumétricos de concentración de arsénico y radio promedio de las regiones superior, medio e inferior en cada intervalo de tiempo.

3 LIMITACIONES DEL MÉTODO USADO

- Se consideró a la pulpa como isotrópica y homogénea, cuando en realidad tienen configuraciones morfológicas distintas. A fin de resolver el modelo

difusional en la varias publicaciones consultadas (Maldonado et al., 2011; Maldonado & Perez, 2014; Maldonado & Zuritz, 2003, 2004) se utilizó la resolución de la 2° ley de Fick que determina un coeficiente de difusión D_p para la pulpa.

- Se aplica a un determinado rango de temperatura y concentración de arsénico.

4 RESULTADOS

Se realizó el blanco del ensayo midiendo la concentración de arsénico en zanahorias sin someterlas a cocción a fin de verificar el contenido inicial del mismo. Los datos experimentales representan el valor promedio de tres repeticiones expresadas en microgramo de arsénico total por gramo de zanahoria ($\mu\text{gAs/g}$ zanahoria). A éstos se les descontó el contenido inicial de arsénico. El contenido de arsénico igual a 0,127 $\mu\text{g/g}$ zanahoria representa el valor promedio de 243 muestras analizadas, obtenidas de 27 zanahorias crudas antes de iniciar los ensayos, dada la variabilidad biológica de las zanahorias.

En la Tabla 1 se presentan valores de los coeficientes de difusión efectivos de arsénico de las regiones superior, media e inferior en pulpa de zanahoria para los tres tratamientos a una temperatura de 98°C.

Tabla 1. Coeficientes efectivos promedio de difusión (m^2s^{-1}) en modelo cilindro macizo homogéneo.

Región	5 mgL^{-1}			10 mgL^{-1}			15 mgL^{-1}		
	m^2s^{-1}	r^2	RMSE	m^2s^{-1}	r^2	RMSE	m^2s^{-1}	r^2	RMSE
Superior	1,45E-08	0,9957	0,0463	1,49E-08	0,9713	0,0618	1,53E-08	0,9858	0,0466
Medio	1,51E-08	0,9868	0,0540	1,80E-08	0,9954	0,0186	1,88E-08	0,9639	0,0747
Inferior	1,96E-08	0,9978	0,0172	1,96E-08	0,9842	0,0393	1,97E-08	0,9949	0,0249

Del análisis de Tabla 1 se observó que los valores de D_p aumentaron al incrementar la concentración de arsénico de la solución a una temperatura constante de 98°C durante la cocción de las zanahorias.

Se observó que al aumentar el gradiente de concentración de arsénico aumentó la velocidad de avance de las moléculas de arsénico, lo cual también fue corroborado por Maldonado et al. (2003). Los valores hallados de difusividad de arsénico en zanahoria estuvieron en el orden de 1,45E-08 a 1,97E-08 m^2s^{-1} , estos fueron consistente con lo hallado por Melquiades et al. (2009), en procesos de hidratación o rehidratación con

agua destilada en zanahorias peladas y cortadas en placas entre $3,46\text{E-}10$ a $4,59\text{E-}10 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ en el rango de temperaturas entre $40\text{-}80^\circ\text{C}$ (Melquiades et al., 2009).

Por su parte, Zambrano et al. (2007) reportó coeficientes de difusión de agua entre $6,11\text{E-}09$ a $3,18\text{E-}09 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a temperaturas entre $50\text{-}93^\circ\text{C}$ para zanahorias liofilizadas y rehidratadas con agua y soluciones de cloruro sódico y ácido ascórbico. Della Rocca et al. (2014) hallaron un valor del coeficiente de difusión efectiva del agua de $1,57\text{E-}9 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ por Osmodehidrocongelación, deshidratando las zanahorias en inmersión de soluciones de sacarosa y cloruro sódico (Della Rocca et al., 2014; Zambrano et al., 2007). Ambos valores son consistentes con los hallados en este trabajo.

También los coeficientes de difusión reportados en la Tabla 1 son consistentes con Saravacos y Maroulis (2001) quienes hallaron valores típicos de difusividad de humedad de varios productos alimenticios a distintas temperatura, entre ellos para zanahoria: $2,00\text{E-}10 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a 30°C , de $2,20\text{E-}12$ a $7,46\text{E-}09 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ para 20°C y 100°C (Saravacos & Maroulis, 2001).

Por su parte estos valores son menores que los hallados por Matusek et al. (2002) para difusión de azúcares en zanahorias, cuyos valores fueron del orden de $10^{-11} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ lo cual es consistente dado que la masa molecular de los azúcares es mucho mayor que la del arsénico (Matusek & Merész, 2002).

5 CONCLUSIONES

Se cuantificó el fenómeno de difusión en la zanahoria a la temperatura de 98°C a las concentraciones de arsénico de 5, 10 y 15 mgL^{-1} . Los coeficientes efectivos promedios de difusión variaron con las concentraciones de arsénico y los valores hallados para las regiones superior, medio e inferior fueron de $1,45\text{E-}08$; $1,51\text{E-}08$ y $1,96\text{E-}08 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ para la concentración de As de 5 mgL^{-1} , $1,49\text{E-}08$; $1,80\text{E-}08$ y $1,96\text{E-}08 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ para la concentración de As de 10 mgL^{-1} y de $1,53\text{E-}08$; $1,88\text{E-}08$ y $1,97\text{E-}08 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ para solución arsenical de 15 mgL^{-1} .

Se observó una correspondencia de las concentraciones de arsénico con la distancia radial y avance de penetración de la solución arsenical en el tejido de la zanahoria y la altura del corte realizado en la muestra. En las tres regiones; superior, media e inferior se observaron comportamientos similares donde el contenido de arsénico descendió desde la periferia hacia el centro de la zanahoria, consistente con los datos de los coeficientes de difusión calculados, donde el coeficiente efectivo de difusión en la región central fue menor que el distancia radial hacia afuera de la zanahoria.

Actualmente, en el avance de la Tesis, se está trabajando en el desarrollo de un modelo cilindro compuesto.

REFERENCIAS

- Carslaw, H. S., & Jaeger, J. C. (1959). *Conduction of heat in solids*. Clarendon press.
- CIMA. (2013). Arsénico en agua. In *Agua + Humedales*. <https://www.funintec.org.ar/contenidos/aguahumedales-es-el-primer-libro-de-la-serie-futuros/>
- Cussler, E. L. (2009). *Diffusion: mass transfer in fluid systems*. Cambridge university press.
- Della Rocca, P., Roche, L., Languasco, J., & Mascheroni, R. %J R. T. y C. (2014). *Modelado de la Cinética de Conservación de Zanahoria (Daucus Carota) por Osmodehidrocongelación*. 24, 141–159.
- Galvez, O. D., Maldonado, M. B., Affranchino, G., & Perez, R. C. (2018). *Resultados parciales en estudios de difusión de arsénico en Daucus carota sp.*
- Galvez, O. D., Maldonado, M. B., Vargas, M. C., Affranchino, G., & Pacheco, J. I. G. %J H. (2024). *Estimation of diffusion coefficients during carrots cooking in arsenious solution at different temperatures*. 10(2).
- Khosravi-Darani, K., Rehman, Y., KATSOYIANNIS, I., Kokkinos, E., & ZOUBOULIS, A. (2022). *Arsenic Exposure via Contaminated Water and Food Sources*. *Water*, 14 (12), 1884.
- Maldonado, M. B., & Perez, R. C. (2014). *A theoretical model of the diffusion process to spherical and isotropic fruits*.
- Maldonado, M. B., & Zuritz, C. A. (2003). Modelación matemática del proceso de tratamiento con hidróxido sódico de aceitunas verdes de mesa. *Grasas y Aceites*, 54(2), 180–187.
- Maldonado, M. B., & Zuritz, C. A. (2004). Difusión de sodio durante el tratamiento alcalino de aceitunas variedad Aloreña. *Grasas Aceites*, 55, 409–414.
- Maldonado, M. B., Zuritz, C. A., Wuilloud, R. G., Bageta, C. R., Terreni, J., & Sánchez, M. J. (2011). A simple model of the diffusion phenomena taking place during the debittering process of green table olives. *Grasas y Aceites*, 62(1), 39–48.
- Marchetti, M. D., Tomac, A., & Perez, S. %J R. A. de S. P. (2021). *Perfil de riesgo para la inocuidad de alimentos: presencia de arsénico en Argentina*. 13, 191–200.
- Matusek, A., & Merész, P. %J P. P. C. E. (2002). *Modelling of sugar transfer during osmotic dehydration of carrots*. 46(1–2), 83–92.
- Melquíades, Y. I., López, C., & Rosas, M. E. (2009). Estudio de la cinética de rehidratación de zanahoria (*Daucus Carota*) deshidratadas. *Información Tecnológica*, 20(3), 65–72.
- Rice, E. W., Baird, R. B., Eaton, A. D., & Clesceri, L. S. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Vol. 10). American public health association Washington, DC.
- Saravacos, G. D., & Maroulis, Z. B. (2001). *Transport properties of foods*. CRC Press.
- Shrivastava, A. (2021). *Dietary Arsenic Exposure: Sources and Risks*. 95–125.
- Smedley, P. L., & Kinniburgh, D. G. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17(5), 517–568.
- Tijssens, L. M. M., Hertog, M., & Nicolaï, B. M. (2001). *Food process modelling* (Vol. 59). Woodhead Publishing.
- Upadhyay, M. K., Shukla, A., Yadav, P., & Srivastava, S. %J F. chemistry. (2019). *A review of arsenic in crops, vegetables, animals and food products*. 276, 608–618.
- Zambrano, M. L., Rodríguez, D. B., & Álvarez, A. (2007). Estudio cinético y de superficie de respuesta para la rehidratación de zanahorias (*Daucus carota*) liofilizadas. *Información Tecnológica*, 18(4), 47–56.

CAPÍTULO 11

THE EXPRESSION TECHNIQUES OF “IRREVOCABLE SADNESS” AND “INVISIBILITY”: BRAUTIGAN’S POETICS AS UNVERBALIZED ABSENCE THE SYMBOLIC FUNCTION OF SPECIFIC NUMBERS (3003, 45, 33) AND THE INTERSECTION OF CYCLICAL TIME, ETERNAL PRESENT, AND POETIC NUMEROLOGY IN WORKS FROM EARLY “THE MARBLE TEA” TO FINAL “SO THE WIND WON’T BLOW IT ALL AWAY” (AMERICAN LITERARY TRENDS 1950S-1980S)

Data de submissão: 07/05/2025

Data de aceite: 19/05/2025

Yasuko Kawahata

Rikkyo University

Graduate School of Sociology

3-34-1 Nishi-Ikebukuro, Toshima-ku

Tokyo, 171-8501, JAPAN

<https://orcid.org/0000-0001-8459-0906>

ABSTRACT: This study examines Richard Brautigan’s distinctive poetic expressions across his literary corpus from early works like “Laying the Marble Tea” (1959) to his final publication “So the Wind Won’t Blow It All Away” (1982). The research focuses on three interconnected aspects of Brautigan’s poetics: his symbolic employment of specific numbers (3003, 45, 33) as cross-textual codes; his non-linear temporal concepts that challenge conventional chronology through “cyclical time” and “eternal present”; and his methodical approach to expressing the ineffable through techniques of “verbally unexpressed absence.” Analysis reveals that Brautigan’s numerical expressions function beyond quantitative indicators as poetic devices with multilayered symbolism, creating a numerical aesthetics that prioritizes subjective experience over

objective certainty. His temporal expressions systematically disrupt linear progression through strategic techniques like point observation, anachronism, and time slice, while his treatment of “irrevocable sadness” operates through intentional textual absences, symbolic substitution, and calculated utilization of blank space. This paper argues that Brautigan’s literary innovations constitute a sustained philosophical critique of conventional frameworks of perception and representation, positioning him not merely as a counterculture figure but as a significant literary innovator whose experimental approach to language offers relevant insights into contemporary questions of memory, loss, and existential meaning.

KEYWORDS: irrevocable sadness; the invisible; symbolic numerology; eternal present; cyclical time; verbally unexpressed absence.

1 INTRODUCTION

This paper analyzes the characteristic poetic expressions in Richard Brautigan’s works (1935-1984), focusing on his unique treatment of numbers, temporal expressions, and approaches to “the invisible.” Examining works such as “Trout Fishing in America” (1967), “The Tokyo-Montana Express” (1978), and “June 30, June 30” (1978), this study

investigates the repetitive use of specific numbers (3003, 45, 33) and the distinctive temporal-spatial expressions that characterize Brautigan's literary world. Analysis reveals that Brautigan's numerical expressions function not merely as quantitative indicators but as poetic "codes" with multilayered symbolism. Furthermore, his works demonstrate two primary temporal concepts – "cyclical time" and "the enduring moment" – through which Brautigan challenges conventional modern, rational, and linear spatiotemporal recognition, exploring more subjective, cyclical, and fragmentary worldviews. Additionally, the paper examines Brautigan's unique approach to "the invisible" and "the inexpressible" as both a critique of the limitations of linguistic expression and an exploration of its possibilities.

1.1 POINT OBSERVATION AS TEMPORAL EXPRESSION: "ETERNAL PRESENT" AND EARLY WORK "LAYING THE MARBLE TEA"

A new perspective on Brautigan's temporal expression introduces the concepts of "point observation" and "eternal present" as key to understanding the poetic and philosophical significance of his temporal representations.

Time philosopher Elizabeth Grant notes that "Brautigan's temporal expressions function as 'point observations' that cut specific moments from flowing time and preserve them permanently." In works like "Revenge of the Lawn," extremely precise time settings freeze particular moments for detailed observation. Grant suggests that "this technique functions similarly to photographic snapshots, extracting and eternalizing moments from constantly changing reality."

Phenomenological critic Janet Lee analyzes the concept of "time slice," observing that "Brautigan cuts the continuous flow of time through temporal expressions and examines its cross-sections in detail." Expressions like "Tokyo at 3:15" in "The Tokyo-Montana Express" present a cross-section of Tokyo at a specific time, prioritizing the multilayered expansion of a moment over narrative development along a timeline.

The concept of "eternal present" is particularly characteristic of the temporal expressions in "Laying the Marble Tea." Literary scholar Paul Martinez notes that "the thorough use of present tense in Brautigan's early poetry demonstrates a strong fixation on the 'here and now' moment." In poems from "Laying the Marble Tea," expressions such as "as of 10:12 AM" reflect attempts to find infinite depth within the present moment rather than in the past or future.

Regarding the "repetition of time" in "June 30, June 30," psychoanalytic critic Anna Winter argues that "the repeated reference to the same time indicates the circularity of time and a compulsive repetitive process of memory." The repetition of specific dates and

times (like “June 30th at 3:27 PM”) disrupts the linear progression of time, foregrounding the experience of time as an enduring moment.

The concept of “relativity of time” relates to expressions in Brautigan’s works that demonstrate the divergence between objective clock time and subjective time experience. Philosopher Martin Held points out that “in Brautigan’s works, there is often a significant gap between the objective time shown by clocks and the quality of time experienced internally by characters.” Time is portrayed as variable, relativized by individual psychological states or emotions, rather than as an absolute standard.

These temporal expressions constitute Brautigan’s poetics of “eternal present.” He explores the quality of subjective time that is experienced, felt, and remembered, rather than mechanical and objective time measured by clocks. Through the technique of “point observation” that freezes and observes specific moments in detail, he seeks to discover permanence and depth within the flow of time.

Table 1. Temporal Expressions and Eternal Present in Brautigan’s Works.

Temporal Concept	Expression Methods and Examples
Point Observation	Detailed observation of the world at specific times. Precise time designations such as “Sad Autobiography at 4:19 PM” in “Revenge of the Lawn.” World depiction as a cross-section of a moment.
Time Slice	Magnification of a moment cut from the continuous flow of time. Expressions like “Tokyo at 3:15” in “The Tokyo-Montana Express.” Slice and reconstruction of reality through specific time points.
Eternal Present	Fixation on the “now” moment, neither past nor future. Sustained use of present tense in “Laying the Marble Tea.” Expressions like “as of 10:12 AM” emphasizing “here and now” experience.
Repetition of Time	Expressions where the same time is repeatedly referenced. Repetition of specific times in “June 30, June 30.” Suggesting circularity of time and perpetuation of specific moments.
Relativity of Time	Expressions showing divergence between objective clock time and subjective time experience. “His clock showed 3 PM, but in her it was still morning.” Relativization of time.

1.2 THE POETICS OF ANACHRONISM: STRATEGIC USE OF ANACHRONISTIC ELEMENTS

A characteristic of temporal expression in Brautigan’s works that has received little attention until now is his strategic use of anachronism. In his works, elements from different

eras are intentionally mixed, prioritizing poetic effect and symbolic meaning over temporal consistency. Cognitive Foundation: Basic vocabulary plays a central role in human cognitive categorization, reflecting fundamental mechanisms of information processing.

Literary historian Edward Saunders points out that “anachronism in Brautigan’s works is not merely an error in historical accuracy but an intentional poetic strategy.” Particularly in “Trout Fishing in America,” modern elements like Coca-Cola and hotel neon signs are abruptly inserted into 19th-century American Western landscape descriptions. According to Saunders, “such anachronistic mixing deconstructs the myth of American historical continuity and creates a multi-layered sense of time where past and present interpenetrate each other.”

Regarding “linguistic anachronism,” linguist Margaret Field analyzes that “Brautigan’s style often intentionally mixes modern slang with old-fashioned expressions, poetic expressions with colloquial expressions.” For example, “Rommel Drives On Deep into Egypt” features a coexistence of World War II military terminology and 1960s counterculture language. Field suggests that “this linguistic anachronism expresses how different eras’ discourses erode each other and challenges the temporal fixity of language.”

Cultural critic Richard Bloom discusses the “historical anachronism” in “Rommel Drives On Deep into Egypt,” arguing that “Brautigan arbitrarily manipulates historical facts and creates historically impossible situations like ‘Rommel and Marilyn Monroe’s picnic,’ thereby challenging assumptions about the objectivity and consistency of historical narratives.” This technique presents history not as a fixed past but as a fluid narrative constantly reconstructed from present perspectives.

An example of “technological anachronism” is the concept of a “trout fishing computer” appearing in “Trout Fishing in America.” Science and technology historian Alan Marks notes that “technological anachronism in Brautigan’s works ignores the historical development process of technology and instead focuses on the existential and social impacts that technology brings.” This approach allows technology to be understood in terms of its universal implications for human intervention in natural environments and social relationships, rather than being bound to specific eras.

Comparative literature scholar Eleanor Chan analyzes “literary anachronism,” noting that “in Brautigan’s works, especially ‘The Tokyo-Montana Express,’ various literary styles from different eras and cultures coexist, including haiku-like conciseness, 19th-century pastoral, modern free verse, and prose poetry.” Chan suggests that “this destruction of literary-historical consistency both demonstrates that literature is not bound to specific eras or traditions and explores the possibilities of different forms of expression.”

These anachronisms are important elements that strengthen the complexity and non-linearity of time in Brautigan's works. Through intentional anachronism, he challenges modern notions of linear temporal progression and historical consistency, creating a complex temporal experience where past, present, and future interpenetrate each other.

Table 2. Forms of Anachronism in Brautigan's Works.

Type of Anachronism	Expression Method and Examples
Physical Anachronism	Coexistence of objects and technologies from different eras. Mixtures of 19th-century landscapes with Coca-Cola and telephone booths in "Trout Fishing in America." Intentional blending of modern elements with classical and pastoral elements.
Linguistic Anachronism	Juxtaposition of modern slang with old-fashioned expressions. Mixing of contemporary American vernacular with World War II military terminology in "Rommel Drives On Deep into Egypt." Layering of language from different eras.
Historical Anachronism	Appearance of historically impossible settings or figures. Creation of historically impossible situations like "Rommel and Marilyn Monroe's picnic." Intentional introduction of chronological contradictions.
Technological Anachronism	Descriptions that contradict the chronological sequence of technological development. Concepts like "trout fishing computers" in "Trout Fishing in America." Liberation of technology from historical context.
Literary Anachronism	Intentional mixing of different literary styles and traditions. Juxtaposition of haiku-like conciseness with free verse and prose poetry in "The Tokyo-Montana Express." Destruction of literary-historical consistency.

2 EXPRESSION OF “IRREVOCABLE SADNESS” AND “THE INVISIBLE”

One of the most noteworthy elements in Brautigan's works is the poetic expression of “irrevocable sadness” and “the invisible.” These are not mere themes but poetic perspectives forming the foundation of his literary world, connected to distinctive expression techniques. “Verbally unexpressed absence” is one of the most characteristic elements in Brautigan's poetic expression. In his works, what should be central is often not directly described but suggested through its periphery or absence. For example, in “Trout Fishing in America,” despite the title, there are few technical descriptions of fishing; instead, the focus is on the landscapes and human relationships surrounding fishing. This “absence of center” is a poetic approach to difficult-to-express things and demonstrates an awareness of the impossibility of direct expression.

In the technique of “symbolic substitution,” abstract loss or absence that is difficult to express is projected onto objects or landscapes. The “faded train” in “The Tokyo-

Montana Express” is not merely a landscape description but symbolizes the fading of time and memory through passage. Similarly, the “uneaten hamburger” in “So the Wind Won’t Blow It All Away” represents the invisible realm of possibilities not chosen.

The theme of “irrevocability of time” appears in various forms in Brautigan’s works. The most notable example is the opening section of “So the Wind Won’t Blow It All Away”: “I wish I could have grabbed the bullet in mid-air, put it back in the .22 rifle, as if it had never been fired or even loaded.” This passage directly expresses the irrevocability of past events and the human desire to reverse them despite its impossibility. This impossible wish highlights the tension between the physical law of time’s unidirectionality and the psychological impulse to resist it.

“Utilization of blank space” is an important rhetorical feature in Brautigan’s works. Particularly in “The Ghost Life of the Toothbrush,” ellipses (...) intentionally omit the core parts of the story, invoking the reader’s imagination while suggesting the existence of domains that cannot be verbalized. Similarly, blank spaces between paragraphs or sudden interruptions of sentences emphasize the presence of what cannot be directly expressed in words. This technique of “speaking by not saying” resonates with the aesthetics of Japanese haiku and is not unrelated to Brautigan’s interest in Japanese culture.

The “aesthetics of the moment” corresponds to what Agosto identifies as “*esthétique de l’instant*.” In Brautigan’s works, value is placed on the intensity or quality of individual moments rather than on duration or development. Particularly the fragmentary observations in “The Tokyo-Montana Express” and the sustained use of present tense in “Laying the Marble Tea” are attempts to find infinite depth in the “here and now” moment. This concentration on moments enables the paradoxical coexistence of transience and permanence, providing a poetic perspective that finds a kind of “eternal present” within the flow of time.

These expression techniques are closely interrelated and collectively form the poetics of Brautigan’s “irrevocable sadness” and “the invisible.” The characteristic of his works is the persistent exploration of the sense of loss or absence that is difficult to verbalize behind the surface humor or eccentricity. This functions not merely as an expression of personal emotions but as an exploration of the limits and possibilities of linguistic expression, and as a philosophical questioning about the essence of time, memory, and existence.

Table 3. Expression of “Irrevocable Sadness” and “The Invisible” in Brautigan’s Works.

Type of Expression	Characteristics and Examples
Verbally Unexpressed Absence	Technique of suggesting through not directly expressing. Lack of technical fishing descriptions in “Trout Fishing in America,” suppression of emotional expression in “Revenge of the Lawn.” What should be central is marginalized, paradoxically emphasizing its importance.
Symbolic Substitution	Technique of symbolizing absence through presence. “Faded train” in “The Tokyo-Montana Express,” “uneaten hamburger” in “So the Wind Won’t Blow It All Away.” Description of loss or absence being projected onto objects.
Irrevocability of Time	Expression of the irreversibility of the past and sense of loss. Impossible wish to “grab the bullet in mid-air” in “So the Wind Won’t Blow It All Away,” freezing of time as “still May 3, 1872” in “Revenge of the Lawn.” Expression of the impossibility of turning back time and attachment to this impossibility.
Utilization of Blank Space	Textual blank spaces and omissions functioning as active meaning. Ellipses (.....) in “The Ghost Life of the Toothbrush,” blank spaces between paragraphs, punctuation indicating hesitation. Rhetorical effect where unexpressed areas paradoxically have strong presence.
Aesthetics of the Moment	Expression finding infinite detail within specific moments. Point observation-like descriptions in “The Tokyo-Montana Express,” sustained use of present tense in “Laying the Marble Tea.” Concentration on moments demonstrating the paradoxical coexistence of transience and permanence.

3 “3003” AS A SINGULARITY: BRAUTIGAN’S CROSS-WORK NUMERICAL SYMBOL

In Brautigan’s works, the number “3003” occupies a special position. This unique number appears repeatedly across multiple works, functioning as a basso continuo throughout the author’s poetic universe. Particularly noteworthy is the semantic connection between the uses of “3003” in “Trout Fishing in America” and “The Tokyo-Montana Express.” Literary researcher Howard McClean points out that “the repetitive appearance of ‘3003’ in Brautigan’s works is not mere coincidence but an intentional numerical symbol constructing his poetic universe.” There exists a deep semantic connection beyond surface differences between the “3003 salmon” in “Trout Fishing in America” and “Hotel Room 3003” in “The Tokyo-Montana Express.”

According to McClean, “In both works, ‘3003’ functions as a number that creates a paradoxically unreal effect. In ‘Trout Fishing in America,’ this number works as irony that quantifies natural abundance in consumerist terms, while in ‘The Tokyo-Montana Express,’ it emphasizes the statelessness and non-place nature of the hotel as a modern anonymous space.”

From a numerological perspective, the structural characteristics of the number “3003” are also noteworthy. Numerologist Isabelle Demus notes that “this number has interesting symbolism as a combination of ‘3’ and ‘0.’ ‘3’ is a number symbolizing completeness, trinity, and mysticism in many cultures, while ‘0’ symbolizes emptiness, infinity, and possibility. ‘3003’ combines these contrasting symbols while also having a symmetrical structure of 3-00-3 visually.”

Music researcher David Campbell points out that “considering Brautigan’s strong interest in music, especially popular music, ‘3003’ may suggest the time display of 3 minutes 00.3 seconds (3:00.3).” “3 minutes” was considered the ideal length for pop songs at the time, resonating with the fragmentary and concise nature of Brautigan’s works. According to Campbell, “‘3003’ embodies the tension between time constraint (3 minutes) and extreme precision (00.3 seconds).”

There is also an important thematic connection regarding the transformation of place between the uses of “3003” in “Trout Fishing in America” and “The Tokyo-Montana Express.” Cultural geographer Eleanor Smith argues that “while the ‘3003 salmon’ in ‘Trout Fishing in America’ indicates the process of commercialization and quantification of the natural environment (river), ‘Hotel Room 3003’ in ‘The Tokyo-Montana Express’ expresses the process where the individuality and uniqueness of place are replaced by modern anonymity.” Common to both is the theme of the essential qualities of place being transformed by abstraction and homogenization through numbers.

Furthermore, from a temporal perspective, “3003” has interesting implications. From the perspective of the 1960s-70s when Brautigan’s works were written, the year 3003 represents the distant future. Literary researcher Paul Erikson notes that “this number suggests an imaginary continuity between the present and the distant future, functioning as a critique of the sense of time in modern society (particularly concepts such as progress or development).” There is a commonality in the temporal perspective that relativizes the present between the yearning for the 19th-century past depicted in “Trout Fishing in America” and the future year implied by “3003.”

Integrating these analyses, “3003” emerges as one of the central symbols in Brautigan’s poetic universe. This number functions not merely as a quantitative indicator but as a poetic device mediating oppositional pairs such as nature and civilization, past and future, abstraction, reality and surreality. The repetitive use of “3003” across works from “Trout Fishing in America” to “The Tokyo-Montana Express” indicates the consistency and development of Brautigan’s literary interests. This repetitive expression of specific numbers (3003, 45, 33, etc.) constituting Brautigan’s poetic numerology will be discussed in more detail later with reference to previous research cases.

Table 4. Appearance and Function of “3003” in Brautigan’s Works.

Work	Appearance Form and Meaning of “3003”
“Trout Fishing in America” (1967)	Appears as “3003 salmon.” The excessive quantification of natural abundance and the surreal effect created by the abnormality of this number. Critique of the consumerist quantification of the natural environment.
“The Tokyo-Montana Express” (1978)	Appears as “Hotel Room 3003.” The contrast between the hotel as a stateless, anonymous modern space and the extreme numerical setting. Symbolic meaning as a place of “temporary residence.”
“Rommel Drives On Deep into Egypt” (1970)	Appears as “3003 wars.” Suggesting the repetition of war and the permanence of historical violence. The mythical dimension paradoxically created by numbers.
Poetic Association and Numerology	The symbolism of the combination of “3” and “0.” The union of the completeness and mysticism of “3” with the emptiness and infinity of “0.” The poetic effect of the visual symmetry (3-00-3).
Musical Reference	“3003” suggesting the time display of 3 minutes 00.3 seconds (3:00.3). Connection with the length of popular music tracks. Possible reference to the “perfect” three-minute length of pop songs.

3.1 POETICS OF BLANK SPACE AND IRREVOCABLE TIME

Richard Brautigan’s literary works occupy a unique position in late 20th-century American literature. Although often mentioned as a Beat Generation writer, his style and sensibility set him apart from the movement’s central figures. This paper examines his poetic world through representative works including “Laying the Marble Tea” (1959), “So the Wind Won’t Blow It All Away” (1982), “Trout Fishing in America” (1967), “Revenge of the Lawn” (1962-1970), “Rommel Drives On Deep into Egypt” (1970), “June 30, June 30” (1978), and “The Tokyo-Montana Express” (1978). The analysis focuses on the expression of “blank space that suggests without words,” “irrevocable time,” and “irrevocable sadness,” using analysis of modifiers, conjugations, and co-occurring words in Japanese translations to approach the essence of Brautigan’s literature. While Brautigan’s works appear superficially light and filled with eccentric humor, they are underlaid with deep loneliness and sense of loss. This duality forms the core of his literary appeal, expressed through “words completely devoid of ostentation.” This paper analyzes the linguistic expressions in each work in detail, suggesting the intentional “blanks” or “absences” created by Brautigan and the sense of irrevocable time and sadness they imply.

3.2 CYCLICAL TIME AND ETERNAL PRESENT: RECONSIDERATION OF NON-LINEAR TEMPORAL EXPRESSION

A new perspective on Brautigan's temporal expression focuses on the concepts of "cyclical time" and "eternal present," which run through his entire body of work as alternatives to modern, linear temporal views. Time researcher Eleanor Cronk argues that "time in Brautigan's works does not progress linearly but moves in a spiral or wave pattern. It is a movement that returns to the same point while bringing slightly different perspectives or depths." This feature is particularly evident in "June 30, June 30," where the repetition of the same date stops the linear progression of time, presenting instead a circular temporal structure. In the seasonal descriptions of Japan in "The Tokyo-Montana Express," an Eastern, cyclical view of time is suggested in contrast to the Western, linear view. Japanese literature researcher Minato Kawamura notes that "Brautigan's Japanese experience brought him insight into a temporal sensibility different from the Western, linear view of time." References to seasonal cycles, particularly the blooming and falling of cherry blossoms, resonate with the Japanese aesthetic sensibility of "mono no aware," where transience and permanence coexist.

The concept of "eternal present" is an important temporal consciousness in Brautigan's work from his early poetry collection "Laying the Marble Tea." Literary critic Peter Schmidt analyzes that "Brautigan's poetic moments deviate from clock-measurable time and are internally expanded. This connects with the mystical tradition of seeing eternity within a moment." For instance, descriptions often appear where moments such as drinking a cup of coffee or viewing a landscape from a window are abnormally expanded, revealing infinite details within them. A characteristic of temporal expression in "Trout Fishing in America" is the "simultaneity" of past and present. Literary researcher Tom Clark evaluates this technique, where 19th-century America and 1960s America coexist without clear distinction in the same textual space: "Brautigan perceives time as geological strata, creating an effect where different eras overlap and become transparent at the same location." These non-linear temporal expressions transcend mere literary technique to reflect Brautigan's worldview and ontology. Skepticism toward linear, progressive temporal concepts and an orientation toward more complex, multi-layered temporal experiences form one of the core elements of his work.

Table 5. Non-Linear Temporal Expression in Brautigan's Works.

Temporal Concept	Expression Method and Examples
Cyclical Time	Repetition of the same date in "June 30, June 30," descriptions of seasonal cycles in "The Tokyo-Montana Express." Emphasis on circular temporal structure through expressions like "again next year" and "on the same day every year." Use of recursive images or motifs (e.g., returning water, fish describing circles).
Eternal Present	Expressions like "today continuing forever" in "Laying the Marble Tea." Descriptive technique expanding and developing specific moments, finding infinite details within them. Use of images of clocks stopping or progressing abnormally slowly.
Simultaneity	Expressions where past and present exist on the same plane. Fusion of the 19th century and 1960s in "Trout Fishing in America." Descriptions of events from different time axes occurring simultaneously (e.g., "between 1926 and 1971").
Discontinuous Time	Expressions indicating temporal leaps or disruptions. Word usage such as "suddenly," "instantaneously," "time jumped." Destruction of temporal continuity through fragmentary chapter structure (especially in "Trout Fishing in America" and "The Tokyo-Montana Express").
Personal Time	Expressions emphasizing the divergence between objective time and subjective experience. Combination of possessive cases and time, such as "her time" or "my summer." Descriptions of time sense changing with psychological state (e.g., "the wait felt like centuries").

4 VERBALIZED PLACES AND MEMORY MAPS: NEW PERSPECTIVES ON SPATIAL EXPRESSION

New perspectives on Brautigan's spatial expression introduce the concepts of "verbalized places" and "memory maps," which show the complex interaction between objective, physical geography and subjective, psychological geography. Spatial theory researcher Elizabeth Harlow notes that "places in Brautigan's works are not merely physical environments but poetic spaces constructed through language." Particularly in "The Tokyo-Montana Express," the phonetic and semantic contrast between the place names "Tokyo" and "Montana" itself forms the structure of the work. According to Harlow, "for Brautigan, uttering a place name is an act of making that place linguistically exist, and simultaneously a process of attributing personal experiences and emotions to that place name." The concept of "geography of naming" represents Brautigan's strong interest in the naming and renaming of places. Cultural geographer Mark Swanson argues that "the naming of places in 'Trout Fishing in America' is related to claims of ownership or interpretative rights over American landscapes." For example, the fictional naming of "Cleveland Wofhauer Memorial trout stream" can

be interpreted as irony toward the privatization or commodification of public spaces. Additionally, the naming of the fictional place “IDEATH” in “In Watermelon Sugar” suggests the connection between the creation of utopia and the creative power of language. Regarding the concept of “memory maps” in “So the Wind Won’t Blow It All Away,” psychologist Robert D. Stokes analyzes that “the childhood landscape Brautigan depicts is a psychological map constructed by emotional memory rather than objective geography.” In this work, the consciousness of the narrator moving between present and past is guided by memory and emotion rather than physical place. According to Stokes, “for Brautigan, the true map is in the mind, where emotional intensity or vividness of memory are important coordinates rather than distance or direction.” The concept of “intersecting spaces” is particularly evident in “The Tokyo-Montana Express.” Japanese literature researcher Shoukitsu Tanakadan notes that “in Brautigan’s works, physically distant places like Tokyo and Montana intersect in the author’s consciousness, generating a kind of ‘third space.’” This third space functions as a creative domain that transcends binary oppositions such as East and West, city and nature, past and present. Regarding the concept of “physical space,” phenomenological critic Helen Morris argues that “Brautigan’s spatial descriptions are constructed not only through visual representation but through full-body sensations including touch, smell, and hearing.” Particularly in the short stories included in “Revenge of the Lawn,” the experience of place is closely tied to bodily sensations, with sensory impressions or physical reactions at the center of spatial recognition rather than abstract geographic information.

These concepts show that Brautigan’s spatial expression is not mere background setting or environmental description, but a poetic experimental field where diverse elements such as language, memory, emotion, and body intersect. The places in his works are dynamic entities constantly generated through processes of verbalization, memorization, and embodiment, rather than objective existences.

Table 6. Poetic Mathematics and Immeasurability in Brautigan's Works.

Spatial Concept	Expression Method and Examples
Verbalized Places	Interest in the poetic effect of place names. Emphasis on the phonetic qualities of place names in "The Tokyo-Montana Express." Connection between place names and personal associations (e.g., "Missouri has a green sound within me"). Themmatization of the act of "creating" places through words.
Geography of Naming	Importance of the act of naming places. Naming of fictional places like "iDEATH" in "In Watermelon Sugar." Renaming of places in "Trout Fishing in America" (e.g., "Cleveland Wofhauer Memorial trout stream"). Description of how the essence or meaning of places is transformed through naming.
Memory Maps	Psychological maps constructed by memory or emotion rather than physical geography. Places of childhood memory in "So the Wind Won't Blow It All Away." Descriptions of landscapes transformed by being imprinted with personal experiences.
Intersecting Spaces	Expressions where different places or domains intersect and fuse. Mixing of Japanese and American landscapes in "The Tokyo-Montana Express." Blurring of spatial boundaries between nature and city, reality and imagination, past and present.
Physical Spaces	Sensory descriptions of places experienced through the body. Spatial comprehension through non-visual senses such as touch, smell, and hearing. Close connection between bodily sensations and places in "Revenge of the Lawn."

4.1 POETIC MATHEMATICS AND THE IMMEASURABLE: INTERPRETATION OF NUMERICAL EXPRESSION

New perspectives on Brautigan's numerical expression introduce the concepts of "poetic mathematics" and "approaching the immeasurable," which are keys to understanding the paradoxical nature of his use of numbers. Mathematics philosopher Victoria Land points out that "Brautigan's numerical expressions could be called 'poetic mathematics,' where the phonetic, suggestive, and symbolic values of numbers are prioritized over their logical and quantitative values." For example, expressions like "7 puddles and 13 clouds" in "Revenge of the Lawn" are likely chosen based on the rhythm or impression and symbolism of the numbers "7" (perfection) and "13" (ominousness) rather than actual countability. According to Land, "in Brautigan's poetic mathematics, $2+2$ might not equal 4. This is because numbers function as attempts to quantify emotions, impressions, and subjective experiences." Expressions like "her smile is 23 degrees of happiness" are paradoxical attempts to express emotions, which are inherently immeasurable, through numbers, and the impossibility itself creates a poetic effect. Regarding the technique of "excessive precision," stylistic researcher

Charles Baxter analyzes that “the meaninglessly accurate numerical expressions used by Brautigan function as irony toward the faith in numbers in modern society through the contrast between the appearance of scientific objectivity and the irrationality of content.” Expressions like “12,845 telephone booths” in “Trout Fishing in America” lose credibility due to their excessive precision, exposing the limitations of understanding reality through numbers. On the other hand, expressions emphasizing “numerical uncertainty” are also seen. Literary critic Michael Davidson points out that “Brautigan often uses intentionally vague quantitative expressions like ‘perhaps 7 or 8’ or ‘1 million or 1,’ expressing resistance to quantitative determination and the essential uncertainty of recognition.” This technique is particularly evident in poems from “Rommel Drives On Deep into Egypt,” suggesting the impossibility of grasping the world through definitive numerical values. The concept of “qualitative numbers” appears particularly in the repetition of “30” in “June 30, June 30.” Literary researcher Sarah Kennedy argues that “the repetition of specific numbers in Brautigan’s works indicates that these numbers are not merely quantitative indicators but have strong personal and symbolic meanings.” The number “30” indicates a temporal demarcation as the end of a month, while possibly also being a date with special meaning in the author’s personal experience.

Regarding the concept of “approaching the immeasurable,” philosopher Ryan Thompson points out that “the most interesting aspect of Brautigan’s numerical expression is the paradoxical attempt to approach the immeasurable through numbers.” As seen in expressions like “a number of stars close to infinity” or “immeasurable sadness,” Brautigan challenges the limits of quantification while ultimately acknowledging the existence of domains that cannot be captured by numbers. This is both a critique of quantification and rationalization in modern society and an exploration of different possibilities of recognition through poetic language. These concepts show that Brautigan’s numerical expression is not merely a stylistic feature but a critical response to quantification and rationalization in modern society, and simultaneously an exploration of new epistemology through poetic language. His “poetic mathematics” is a unique numerical aesthetics that prioritizes poetic truth over logical consistency and subjective experience over objective certainty.

Table 7. Poetic Mathematics and Immeasurability in Brautigan's Works.

Numerical Concept	Expression Method and Examples
Poetic Mathematics	Use of numbers prioritizing poetic effect over logical consistency. Non-logical calculations like "7 puddles and 13 clouds" in "Revenge of the Lawn." Attempts to quantify emotions or impressions through numbers (e.g., "her smile is 23 degrees of happiness").
Excessive Precision	Alienation effect through meaninglessly precise numerical expressions. Excessive precision like "3003 salmon" or "12,845 telephone booths" in "Trout Fishing in America." Contrast between the appearance of scientific objectivity and the irrationality of content.
Numerical Uncertainty	Intentionally vague and unstable quantitative expressions. Expressions like "perhaps 7 or 8" or "1 million or 1." Reflection of resistance to quantitative determination and uncertainty of recognition.
Qualitative Numbers	Numbers with qualitative and symbolic meaning rather than quantitative value. Repetition of "30" in "June 30, June 30." Numbers with personal and psychological connotations (33, 45, etc.).
The Immeasurable	Presentation of objects that are ultimately immeasurable despite attempts to approach them through numbers. Expressions like "a number of stars close to infinity" or "immeasurable sadness." Tension between quantification and non-quantification.

5 CONCLUSION

Through analysis of Richard Brautigan's works, this paper has suggested the distinct characteristics of his poetic expression, particularly focusing on his treatment of time, space, and numbers. His works challenge conventional modern, rational, and linear spatiotemporal recognition while exploring more subjective, cyclical, and fragmentary worldviews. The repetitive use of specific numbers (3003, 45, 33) functions as poetic "codes" with multilayered symbolism, while his approach to "the invisible" and "irrevocable sadness" demonstrates both a critique of the limitations of linguistic expression and an exploration of its possibilities. Richard Brautigan's literary corpus represents a sophisticated system of poetic expression that challenges conventional frameworks of perception and representation. His numerical expressions transcend mere quantitative indication, functioning instead as complex poetic devices imbued with symbolic, personal, and spiritual dimensions. Throughout his works, numbers like 3003, 45, and 33 recur as coded signifiers that construct a numerical aesthetics prioritizing subjective meaning over mathematical precision. This numerical approach complements Brautigan's temporal expressions, which systematically dismantle linear chronology through the concepts of "cyclical time" and "eternal present." By employing techniques such as date repetition, precise time recording, and the strategic freezing of moments, Brautigan creates a temporal landscape where past, present, and future exist simultaneously rather than sequentially. His spatial expressions further extend this subjective reorientation, constructing what

might be termed “verbalized places” and “memory maps” – psychological topographies where objective geography undergoes transformation through the mediating influences of language, memory, and embodied experience. The physical spaces in Brautigan’s works invariably become projections of internal states rather than neutral external settings. Perhaps most distinctive is his approach to articulating “the invisible” – those aspects of experience that resist direct representation. Through techniques of “verbally unexpressed absence,” “symbolic substitution,” and the deliberate “utilization of blank space,” Brautigan suggests rather than states, allowing the inexpressible to emerge paradoxically through its non-expression. This poetics of absence finds its most profound application in Brautigan’s treatment of “irrevocable time,” a concept that pervades his entire body of work. Through impossible wishes to reverse chronology and portrayals of the permanent imprint of past choices on present consciousness, Brautigan creates a literature of temporal longing that speaks to fundamental human experiences of loss, regret, and the relentless forward movement of time. Brautigan’s poetic universe constitutes a persistent challenge to modern frameworks of spatiotemporal recognition and an exploration of alternative modes of understanding through poetic language. His experimental approach to language and reality positions him not merely as a counterculture icon but as a significant literary innovator whose work continues to offer relevant insights into contemporary questions of representation, memory, and existence.

6 ACKNOWLEDGMENTS

In conducting this study, we would first like to express our deepest respect and gratitude to the literary legacy of the late Richard Brautigan. His poetic sensibility and creative expressive techniques opened up new horizons in the representation of the “invisible” and “unspeakable loss” in contemporary literature. In particular, his works from “Putting Down the Marble Tea” to “Before the Wind Blows It Away” form the basis of this study as the trajectory of his continuous search for the limits and possibilities of linguistic expression. We would like to express our sincere gratitude to the many researchers who have provided valuable insights in the development of the theoretical framework of this study. Special thanks go to Professor Elizabeth Grant for clarifying the concepts of “point observation” and “eternal present” in the philosophy of time, Dr. Janet Lee for analyzing “fragments of time” from a phenomenological perspective, and Professor Paul Martinez for elucidating the significance of the present tense in early Brautigan poetry! We are also grateful to Professor Robert D. Stokes for providing the concept of “memory maps,” and to Professor Victoria Land for analyzing Brautigan’s numerical expressions from the

perspective of “poetic mathematics,” which provided an essential theoretical foundation for this paper. Special thanks also go to the scholars of Japanese literature who provided valuable insights into the intersecting spaces of Tokyo and Montana, and to Professor Howard McClean for his pioneering research on the symbolism of “3003” in Brotigan’s work. Finally, we thank all those who have made it possible to shape this research “before the wind blows it away,” in Brotigan’s words. There are still areas where this study falls short, and there are still many elements of Brotigan’s work that need to be clarified. I will continue to work hard on my research.

REFERENCES

Agosto, M.-C. (1987). *La fiction de Richard Brautigan : construction et déconstruction*. (Doctoral dissertation). Retrieved from HAL theses database.

Armota, R. (2015). The Beat Generation, the Marginal Social Group of the Post WWII American Literature: A Study of Chandler Brossard’s *Who Walk in Darkness* and John Clellon Holmes’s *Go*. *Journal of Literature, Languages and Linguistics*, 15, 58-64.

Barber, J. F. (Ed.). (2006). *Richard Brautigan: Essays on the Writings And Life*. McFarland. DOI: 10.5860/choice.44-5515.

Barton, J. L. (2009). The Authorship of Bracton: Again. *Journal of Legal History*, 30(2), 187-198. DOI: 10.1080/01440360903069742.

Basse, J.-B. (2005). Marie-Christine Agosto. Richard Brautigan. *Les Fleurs De Néant*. [Book Review]. *Transatlantica*, (1). DOI: 10.4000/transatlantica.709.

Beat Culture: Icons, Lifestyles, and Impact. (2005). ABC-CLIO. DOI: 10.5040/9798400617089.

Belgrad, D., & Tytell, J. (Eds.). (2023). *The Beats and the Academy: Case Studies of Domestication*. Liverpool University Press. DOI: 10.3828/liverpool/9781638040514.001.0001.

Belletto, S. (2020). *The Beats: A Literary History*. Cambridge University Press.

Bendel, L. (2007). Edie Parker Kerouacs *You’ll Be Okay* und Eileen Kaufmans *Who Wouldn’t Walk with Tigers?* : Unveröffentlichte Autobiographien von Frauen der Beat Generation. *AAA: Arbeiten Aus Anglistik Und Amerikanistik*, 32(1), 79-93.

Bisi, F. Why Does Nobody Hear About the Women of the Beat Generation? *Via Panorâmica: Revista Eletrônica de Estudos Anglo-Americanos*, Ser. 2, (12), 65-79. DOI: 10.21747/2182-9934/via12_2a5.

Bisbort, A. (2009). *Beatniks: A Guide to an American Subculture*. Greenwood Press.

Bisbort, A. (2009). *Beatniks*. Bloomsbury Publishing. DOI: 10.5040/9798400617140.

Block, A. A. (1992). *Anonymous toil : a re-evaluation of the American radical novel in the twentieth century*. University Press of America.

Brautigan, I. (2000). *You Can’t Catch Death: A Daughter’s Memoir*. St. Martin’s Press.

Brautigan, R. (1965). *A Confederate General from Big Sur*. Grove Press.

Brautigan, R. (1991). *A Confederate general from Big Sur, Dreaming of Babylon, and The Hawkline monster* : three books in the manner of their original editions. Houghton Mifflin/Seymour Lawrence.

Brautigan, R. (2000). *The Day They Busted the Grateful Dead*. In G. Ball (Ed.), *Allen Ginsberg*. Oxford University Press. DOI: 10.1093/oso/9780195124705.003.0005.

Camper, F. (2001). Brakhage's Contradictions. *Chicago Review*, 47(4), 150-164. DOI: 10.2307/25304808.

Campbell, J. (1999). *This Is the Beat Generation: New York-San Francisco-Paris*. University of California Press.

Carden, M. P. (2022). Beat Feminisms: Aesthetics, Literature, Gender, Activism by Polina Mackay (review). *Tulsa Studies in Women's Literature*, 41(2), 415-418. DOI: 10.1353/tsw.2022.0032.

Chandraratnam, R. (2009). *The Beat Generation and Counterculture: Paul Bowles, William S. Burroughs, Jack Kerouac*. Peter Lang.

Charters, A. (Ed.). (1993). *The Penguin Book of the Beats*. Penguin Books.

Coote, L. A., & Thornton, T. (2000). Richard, Son of Richard: Richard III and Political Prophecy. *Historical Research*, 73(182), 321-330. DOI: 10.1111/1468-2281.00111.

Cosma, A. (2021). New York, San Francisco and Los Angeles: A Cultural Map of the Beat Generation. *Lingua Cultura*, 15(2), 225-236. DOI: 10.47743/lincu-2021-2-0214.

Dawson, M. V., & Goldsmith, M. L. (2018). *American Literary History and the Turn toward Modernity*. In *The Cambridge History of American Poetry*. Cambridge University Press.

Distefano, G. (2020). Sur Jean le Braelie, «aurifabro Parisiensis» et «varlet de chambre du Roy» Jean le Bon: art et économie. *Études de lettres*, (3-4), 209-224. DOI: 10.4000/EDL.3356.

Dittman, M. J. (2006). *Masterpieces of Beat Literature*. Greenwood Press. DOI: 10.5040/9798400683565.

Dolan, M. (1996). *Modern Lives: A Cultural Re-Reading of "the Lost Generation"*. Purdue University Press.

Encarnación-Pinedo, E. (2022). Off She Went: Travel-Writing in Women of the Beat Generation. *English Studies*, 103(6), 1023-1041. DOI: 10.1080/0013838X.2022.2106406.

Essif, A. A. (2012). Beat Consumption: The Challenge to Consumerism in Beat Literature. *Pursuit: The Journal of Undergraduate Research at the University of Tennessee*, 3(1), Article 10.

Estill, L. (2011). Richard II and the Book of Life. *SEL: Studies in English Literature 1500-1900*, 51(2), 229-249. DOI: 10.1353/SEL.2011.0012.

Faulk, B. J. (2022). Sound Recording Technology and American Literature: From the Phonograph to the Remix. [Review]. *Soundings: An Interdisciplinary Journal*, 105(3), 369-374. DOI: 10.5325/soundings.105.3.0369.

Fazzino, J. (2012). The Beat Manifesto: Avant-Garde Poetics and the Worlded Circuits of African American Beat Surrealism. In L. J. Pentón Herrera (Ed.), *Voicing the VH Voiceless*. Palgrave Macmillan. DOI: 10.1057/9781137014498_5.

- Field, D. (n.d.). Beats, Black Culture and Bohemianism in Mid-Twentieth-Century New York City. In *The Cambridge History of New York City*. Cambridge University Press. DOI: 10.1017/9781108557139.017.
- Francescutti, L. P. (2011). *Baudrillard, una sociología de ciencia ficción*. Plaza y Valdes.
- Gair, C. (2012). "Perhaps the Words Remember Me": Richard Brautigan's Very Short Stories. *Western American Literature*, 46(4), 364-376. DOI: 10.1353/wal.2012.0005.
- Giordano, E. A. (2010). *Maître du monde*. Publication details unknown.
- Greenblatt, S. (1999). *Le cauchemar de la royauté : Richard III*. In *Shakespeare, les feux de l'envie*. Presses Sorbonne Nouvelle. DOI: 10.4000/books.psn.4287.
- Hadjari, M. (2015). *The Beat Generation in Mid 20th Century North America: Conception of a New Social and Artistic Identity*. (Master's thesis, Université d'Oran).
- Harris, O., & Mackay, P. (2016). Selected Bibliography for the Study of the Beat Generation. *CLCWeb: Comparative Literature and Culture*, 18(5). DOI: 10.7771/1481-4374.2979.
- Heath, S. K. (2022). *Mapping a Beat Repertoire: Recovering Everyday Life Performances of the Women of the Beat Generation*. (Doctoral dissertation, Louisiana State University). DOI: 10.31390/gradschool_dissertations.4120.
- Hemmer, K. (Ed.). (2006). *Encyclopedia of Beat Literature*. Facts On File.
- Hicks, J. (1982). *In the Singer's Temple: Prose Fictions of Barthelme, Gaines, Brautigan, Piercy, Kesey, and Kosinski*. University of North Carolina Press.
- Hjortsberg, W. (2012). *Jubilee Hitchhiker: The Life and Times of Richard Brautigan*. Counterpoint.
- Holton, R. (2004). "The Sordid Hipsters of America": Beat Culture and the Folds of Heterogeneity. In T. Materer (Ed.), *American Modernism and the Periodical Press*. Palgrave Macmillan. DOI: 10.1057/9781403982100_2.
- Hume, K. (2001). Brautigan's *Psychomachia*. *Mosaic: A Journal for the Interdisciplinary Study of Literature*, 34(4), 93-108.
- Hutner, G. (Ed.). (1999). *American Literature, American Culture*. Oxford University Press.
- Johns-Putra, A. (2006). The Twentieth and Twenty-first Centuries: Modernist Epic. In *The History of the Epic*. Palgrave Macmillan. DOI: 10.1057/9780230595729_6.
- Kurbonova, S. (2024). The lost generation and its influence on literature and culture in the wake of world war i. *European international journal of philological sciences*, 4, 1-6. DOI: 10.55640/eijps-04-11-01.
- Lane, V. (2017). *The French Genealogy of the Beat Generation: Burroughs, Ginsberg and Kerouac's Appropriations of Modern Literature, from Rimbaud to Michaux*. Bloomsbury Academic.
- Laursen, K. O. (2006). *Kundskab og indvielse – En ikonografisk tolkning af udvalgte B-brakteater*. KUMML, 54, 169-202.
- Lee, A. R. (1996). *The beat generation writers*. Pluto Press.

- Llano, S. M. (2009). *Beating rhetoric: Rhetorical theory in the beat generation*. (Doctoral dissertation, University of Texas at Austin).
- Logan, W. (2001). Twentieth-Century American Poetry, Abbreviated. *Parnassus: Poetry in Review*, 26(1), 75-103.
- Lombard, D. Beat Generation. *La Simplicité Involontaire. Acta fabula*, 12(7). DOI: 10.58282/acta.12171.
- Marrero, M. B. (2014). Contexto sociohistórico y rebeldía en la generación «beat». *La Página*, 12(10), 57-67.
- Marrouchi, M. (2013). Possibles: Of Blodgett/Brault. *Mosaic: A Journal for The Interdisciplinary Study of Literature*, 46(2), 147-168. DOI: 10.1353/MOS.2013.0014.
- Maudet, J.-B. (2016). Richard Brautigan à bord du Tokyo-Montana Express. Les relations entre espace, écriture et identité : réflexions autour d'une « écriture géographique ». *Cybergeog: European Journal of Geography*, document 790. DOI: 10.4000/CYBERGEO.27843.
- Mayanglambam, B. (2024). Relooking beat generation and the spirit of rebellion in howl. *ShodhKosh Journal of Visual and Performing Arts*, 5(1), 600-604. DOI: 10.29121/shodhkosh.v5.i1.2024.1786.
- McClure, M. (1982). *Scratching the Beat Surface*. North Point Press.
- Menz, E. (1994). Der verwundete Bräutigam . Über den Anfang von Lenzens Komödienkunst. In C. Berger & C. Leitgeb (Eds.), *Interpretationen: Dramen des Sturm und Drang*. Reclam. DOI: 10.1007/978-3-322-94235-7_8.
- Morgan, B. (2003). *The Beat Generation in San Francisco: A Literary Tour*. City Lights Books.
- Morgan, B. (2010). *The Typewriter Is Holy: The Complete, Uncensored History of the Beat Generation*. Free Press.
- Mortenson, E. (2010). *Capturing the Beat Moment: Cultural Politics and the Poetics of Presence*. Southern Illinois University Press.
- Myrsiades, K. (Ed.). (2002). *The Beat Generation: Critical Essays*. Peter Lang.
- Newhouse, T. (2000). The Beat Generation and the Popular Novel in the United States, 1945-1970. [Review]. *Choice Reviews Online*, 38(1), 38-0155. DOI: 10.5860/choice.38-0155.
- Newhouse, T. (2000). *The Beat Generation and the Popular Novel in the United States, 1945-1970*. McFarland.
- O'Brien, D. (2013). Lives of the Novelists: A History of Fiction in 294 Lives by John Sutherland's (review). *Philip Roth Studies*, 9(1), 103-105.
- Olsson, F. (2005). Male view of women in the Beat Generation - A study of gender in Jack Kerouac's *On the Road*. (Bachelor's thesis, Högskolan Dalarna).
- Pawlik, J. (2013). Surrealism, Beat Literature and the San Francisco Renaissance. *Literature Compass*, 10(1), 58-71. DOI: 10.1111/LIC3.12029.
- Plummer, S. E. (2010). How is a Woman Like a Watermelon?: Advocating a Psychological and Comparative Examination of Brautigan's Novels. (Master's thesis, California State University, Sacramento).

- Poulos, J. H. (1997). "Shouting Curses": The Politics of "Bad" Language in Richard Wright's *Black Boy*. *Journal of Negro History*, 82(1), 54-66. DOI: 10.2307/2717496.
- Quentel, L. (2018). *Beat Attitude : femmes poètes de la Beat Generation*. [Review]. *Critique d'art*, (51). DOI: 10.4000/CRITIQUEART.37746.
- Rashwan, N. M. F. A. R. (2024). The Beat Movement in the Work of Allen Ginsberg: Lost Souls. *Bulletin of the Faculty of Arts, Alexandria University*, 74(104), 1-38. DOI: 10.21608/bfalex.2024.354391.
- Reynolds, L. S. (2011). *Irrational doorways : religion and spirituality in the work of the Beat Generation*. (Doctoral dissertation, University of Connecticut).
- Seguin, R. (n.d.). United States (20th Century). In *Wiley Blackwell Encyclopedia of Sociology*. Wiley. DOI: 10.1002/9781444337815.wbeatnu002.
- Séguy-Duclot, A. (2015). Le paradoxe de Richard : une solution kolmogorovienne. *Dialogue*, 54(3), 499-527. DOI: 10.1017/S0012217315000323.
- Shelton, H. T. (1994). *General Richard Montgomery and the American Revolution: From Redcoat to Rebel*. New York University Press.
- Skerl, J. (2012). Modern American Counter Writing: Beats, Outriders, Ethnics. [Review]. *American Studies*, 52(1), 215-217.
- Sokolova, I. V. (2020). American short story of the XXI Century. *Science and School*, (4), 35-42. DOI: 10.31862/1819-463X-2020-4-35-42.
- Soto, M. (2004). *The Modernist Nation: Generation, Renaissance, and Twentieth-Century American Literature*. University of Alabama Press.
- Španić, D. (2019). Feminizam i žene beat-generacije. [sic] - časopis za književnost, kulturu i književno prevođenje, 10(1), Article 3. DOI: 10.15291/SIC/1.10.LC.3.
- Starr, C. R. (2004). "I Want to Be with My Own Kind": Individual Resistance and Collective Action in the Beat Counterculture. In T. Materer (Ed.), *American Modernism and the Periodical Press*. Palgrave Macmillan. DOI: 10.1057/9781403982100_4.
- Stembkovska, G. O. (2021). "Creative Viewing": the Beat Generation on Screens in the 21st Century. *Scientific Herald of the South Ukrainian National Pedagogical University named after K. D. Ushynsky. Series: Philology*, 2021(32), 167-173. DOI: 10.31174/send-ph2021-260ix76-12.
- Stephenson, G. (1991). *The Daybreak Boys: Essays on the Literature of the Beat Generation*. [Review]. *American Literature*, 63(3), 553-554. DOI: 10.2307/2927275.
- Sterritt, D. (1998). *Mad to be saved : the Beats, the '50s, and film*. Southern Illinois University Press.
- Stull, W. L. (1984). Richard Brautigan's *Trout Fishing in America*: Notes of a Native Son. *American Literature*, 56(1), 68-80. DOI: 10.2307/2925916.
- Svedjedal, J. (2004). David Gedin, Fältets herrar. Framväxten av en modern författarroll. *Artonhundraåttitalet : Brutus Östlings Bokförlag Symposion. Stockholm/Stehag 2004*. [Review]. *Samlaren*, 125, 388-392.
- Teague, J. E. (2021). *Sound Recording Technology and American Literature: From the Phonograph to*

the Remix. Cambridge University Press. DOI: 10.1017/9781108879002.

Theado, M. (2003). *The beats : a literary reference*. Carroll & Graf Publishers.

Theado, M. (2004). *Beat Generation Literary Criticism*. [Review]. *Contemporary Literature*, 45(4), 746-753. DOI: 10.1353/CLI.2005.0010.

Thies, H. (2020). Brautigan, Richard. In H. L. Arnold (Ed.), *Kindlers Literatur Lexikon (KLL)*. J.B. Metzler. DOI: 10.1007/978-3-476-05728-0_4950-1.

Tytell, J., & Arendt, H. (2016). ART AND LETTERS: The Beat Generation and the Continuing American Revolution. *Salmagundi*, (190/191), 153-168.

Veit, C. (2017). La contestation au rythme de la Beat Generation: Figures contemporaines de la protestation et arrangements de la jouissance. *Topique*, 140(3), 123-133. DOI: 10.3917/TOP.140.0123.

Weng, Z. (2022). *Fuck Off and Die*. In S. Limbrick, N. Muellner, C. Russell, & J. Deniz Sert (Eds.), *Bad Film Histories: Ethnography and the Early Archive*. Cornell University Press. DOI: 10.7591/cornell/9781501763656.003.0006.

Willis, L. L. (1982). Brautigan's *The Hawkline Monster*: As Big as the Ritz. *Critique: Studies in Contemporary Fiction*, 23(2), 87-93. DOI: 10.1080/00111619.1982.9933777.

Zhang, Y. (2013). On the Beat Generation. *Theory and Practice in Language Studies*, 3(12), 2311-2315.

Zita, A. (2018). *How We Understand the Beats. The Reception of the Beat Generation in the United States and the Czech Lands*. Masaryk University Press. DOI: 10.5817/CZ.MUNI.M210-9049-2018.

CAPÍTULO 12

FROM “NAI” (“NOT”) TO “MIRU” (“TO SEE”): AN ANALYSIS OF THE MULTI-LAYERED STRUCTURE OF LINGUISTIC RHYTHMS – TRACING THE FORMATION OF THE DIGITAL PUBLIC SPHERE AND SOCIAL SYNCHRONIZATION PHENOMENA THROUGH BASIC JAPANESE VOCABULARY FROM JANUARY 2011 TO MARCH 2015 –

Data de submissão: 30/03/2025

Data de aceite: 25/04/2025

Yasuko Kawahata

Rikkyo University

Graduate School of Sociology

3-34-1 Nishi-Ikebukuro

Toshima-ku, Tokyo, 171-8501, Japan

<https://orcid.org/0000-0001-8459-0906>

usage transformations. Notably, the analysis revealed that negative expressions centered on “nai” (not/non-existent) play a crucial role in the information propagation pathway from TV exposure to search to SNS; verbs and adjectives occupy more central positions than nouns on Twitter; and seasonal-social rhythms synchronize with SNS language use, forming peaks in March-April and September-October.

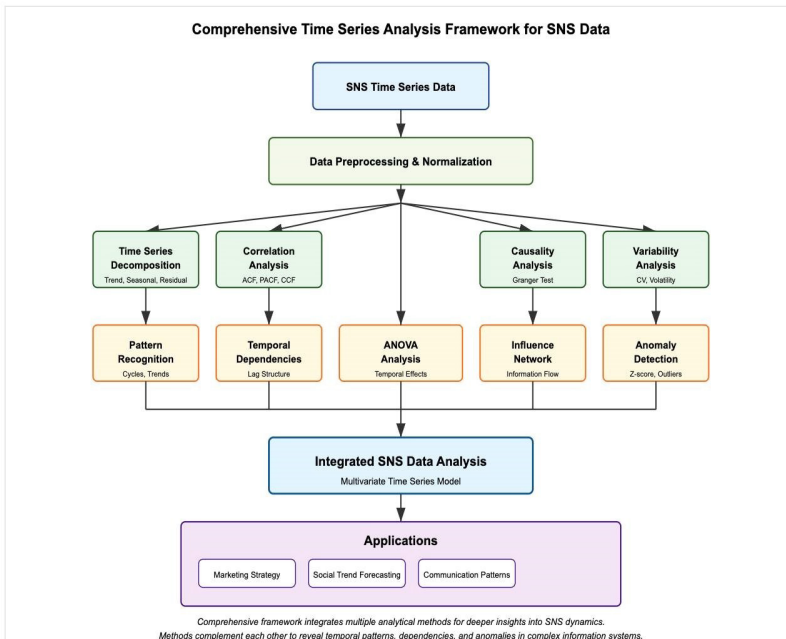
KEYWORDS: Twitter/X; linguistic rhythm; social synchronization; japanese basic vocabulary; granger causality.

ABSTRACT: This paper analyzes the chronological changes in Japanese keywords in domestic SNS spaces, particularly on Twitter (now X), from January 2011 to March 2015. The analysis focuses on 507 keywords selected from Wiktionary’s Japanese Basic Vocabulary 1000 that demonstrated significant posting volumes, examining approximately 25,600 data points extracted from over 780,000 records. Statistical methods including time series decomposition, autocorrelation analysis, cross-correlation analysis, and Granger causality tests were applied to reveal temporal structures and social synchronization phenomena in keyword usage. The results identified developmental stages from the 2011 earthquake impact period to the 2015 optimization period, showing shifts in platform power dynamics (from blog dominance to Twitter hegemony) and language

1 INTRODUCTION

This paper presents a multifaceted analysis of Twitter (now X) and other SNS diffusion trends in Japan from January 1, 2011, to March 31, 2015, utilizing statistical time series analysis methods on Japanese keyword posting volumes. The comprehensive analysis examined diffusion patterns of 507 Japanese keywords (nouns, adjectives, adverbs, particles, and verbs with significant posting volumes), yielding 25,857 data points as monthly aggregates from 786,357 rows of data. Statistical analyses were applied to these data to examine chronological change patterns and relationships between keywords.

Figure 1. Integrated Time Series Analysis Framework.



1.1 MAIN ARGUMENTS

- This paper presents a time series analysis of SNS diffusion trends for 507 Japanese keywords from January 2011 to March 2015, analyzing 25,857 data points as monthly aggregates from 786,357 rows of data.
- The analysis period covers four years following the Great East Japan Earthquake, providing a valuable window for observing SNS language use during a period with minimal commercial intervention.
- The diffusion patterns of basic vocabulary selected from Wiktionary's Japanese Basic Vocabulary 1000, such as "nai/nai" (not/non-existent) and "ooi/ooi" (many/much), reveal the formation process of the digital public sphere.
- The negative expression "nai" proved most effective in mediation analysis, contributing to the elucidation of the information propagation pathway from TV exposure to search to SNS.
- Developmental stages were observed, characterized as: earthquake impact period (2011), postearthquake rebound period (2012), accelerated growth period (2013), maturation period (2014), and optimization period (2015).

- Power dynamics between platforms changed dramatically from blog dominance in 2011 to Twitter hegemony in 2015, accompanied by transformations in language usage patterns.

The article will be published as a book chapter, in E-book format, at the Editora Artemis website. Eventually, our books are made available on partner publishing sites and repositories.

1.2 SELECTION OF ANALYSIS TARGET TERMS BASED ON WIKTIONARY JAPANESE BASIC VOCABULARY 1000

The Japanese terms analyzed in this paper, such as "nai/nai" (not/non-existent), "ooi/ooi" (many/much), "jikan/jikan" (time), "kako/kako" (past), and "yasui/yasui" (cheap/easy), were extracted from Wiktionary's Japanese Basic Vocabulary 10001). This vocabulary list serves as a standard for Japanese language learners and linguistic researchers, systematically collecting high-frequency terms used in everyday communication.

Using high-frequency basic vocabulary as analysis targets offers methodological advantages:

- **Data Sufficiency:** Basic vocabulary appears frequently, ensuring adequate data volume for statistically significant analysis
- **Generalizability:** Using general vocabulary rather than specialized terminology increases the generalizability of results
- **Temporal Stability:** Basic vocabulary experiences relatively little variation over time, making it suitable for long-term time series analysis
- **Cognitive Foundation:** Basic vocabulary plays a central role in human cognitive categorization, reflecting fundamental mechanisms of information processing.

Table 1. Basic Information of Analysis Target Terms.

Term	Part of Speech	Basic Semantic Domain
nai/無い	Adjective	Negation/Nonexistence
ooi/多い	Adjective	Quantity/Degree (Affirmative)
jikan/時間	Noun	Temporal Concept
kako/過去	Noun	Tense Concept
yasui/安い	Adjective	Value/Difficulty Level

2 CHARACTERISTIC ANALYSIS OF JAPANESE TWITTER (NOW X) SPACE FROM 2011-2015

2.1 LIMITED ADVERTISING AND MARKETING INTERVENTION

The Japanese Twitter (now X) space from 2011 to early 2015 featured limited commercial intervention compared to the present. Twitter (now X) advertising targeting Japan was in its initial stage in 2011, and while Promoted Trends were launched in April 2011, full-scale advertising deployment remained limited. Major companies had begun operating official accounts, but systematic utilization as a marketing strategy was still in a developmental stage.

Prevalence of Organic Diffusion Information diffusion on Twitter (now X) during this period demonstrated more organic and natural characteristics compared to the present.

2.2 CHARACTERISTICS OF LANGUAGE USE IN JAPANESE TWITTER (NOW X) SPACE FROM 2011-2015

Distinctive patterns of language use were observed in the Japanese Twitter (now X) space during the analysis period.

Interaction Between Platforms

In the Japanese SNS space, distinctive interaction patterns were observed between Twitter (now X), blogs, and 2ch. A typical information propagation pattern was observed: initial mention on Twitter (now X).

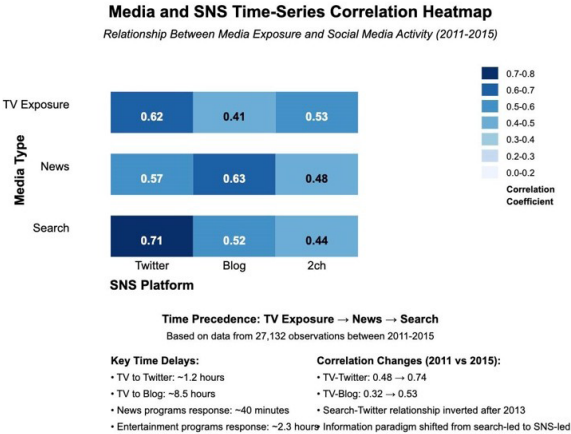
Table 2. Characteristics of Information Diffusion in Japanese Twitter (now X) Space from 2011-2015.

Diffusion Characteristic	Feature
Algorithm	Chronological display was mainstream, with less influence from algorithm-driven display optimization seen today
Nature of RTs	Retweets during 2011-2015 were primarily based on genuine empathy or informational value, with limited influence from organized diffusion campaigns
Viral Phenomena	Spontaneous viral phenomena were central, and sophisticated methods of intentional viral induction seen today were not yet refined

Table 3. Characteristics of Language Use in Japanese Twitter (now X) Space from 2011-2015

Language Characteristic	Observation Result
Emotional Expression	Usage frequency of emotional expression keywords such as "naku" (cry) increased during 2013-2014, showing a trend toward more direct emotional expressions becoming normalized
General Vocabulary	Usage of basic vocabulary such as "hito" (person) and "mazu" (first/ firstly) increased significantly, reaching maximum values during 2014-2015
Action-Related Words	Action-related words such as "au" (meet), "iku" (go), and "kuru" (come) showed large seasonal variations, synchronized with school year cycles and social events

Figure 2. I Correlation Heatmap of Media Exposure and SNS Activity (2011-2015). The TV→Twitter correlation is highest, with response times for each platform also shown.



→ deepening of discussion on 2ch → detailed analysis on blogs. The response speed to current topics was fastest on Twitter (now X), followed by 2ch, then blogs.

Chronological Characteristics of Twitter (now X) Growth Period

The period from 2011 to 2015 corresponds to the growth phase of Twitter (now X) in Japan, with unique development patterns observed.

2.3 DATA CHARACTERISTICS: LANGUAGE USAGE PATTERNS IN JAPANESE SNS SPACE, KEYWORD CLUSTER ANALYSIS

The relationship between Japanese keyword Twitter counts and blog counts is visualized on a logarithmic scale, with cluster analysis results expressed through color coding. The following characteristics can be discerned from this scatter plot.

Table 4. Growth Stages and Characteristics of Twitter (now X) in Japan.

Growth Stage	Characteristic
Initial Expansion Period (2011-2012)	Rapid expansion of user base and recognition as a practical tool, triggered by the Great East Japan Earthquake
Cultural Formation Period (2012-2013)	Establishment of Twitter-specific (now X) expression forms and conversation patterns, formation of unique cultural norms
Mainstreaming Period (2013-2014)	Diffusion to wider age groups and establishment as an everyday communication tool
Early Commercialization (2014-2015)	Beginning of full-scale utilization of corporate accounts and commercial use

Table 5. Characteristic Analysis of Keyword Cluster Scatter Plot.

Observed Characteristic	Detailed Analysis
High-Frequency Keyword Distribution	High-frequency keywords such as "nai" (not) and "mazu" (first/firstly) are concentrated in the upper right region. These show extremely high usage frequency on both Twitter and blogs, functioning as cross-platform basic vocabulary
Cluster Formation	Five clusters (0-4) are identified by color, each formed based on usage frequency and inter-platform balance
Cluster 4 Characteristics	Cluster 4 (yellow), which includes "nai" (not), has the highest frequency and cross-platform characteristics, suggesting that negative expressions play a central role in SNS communication

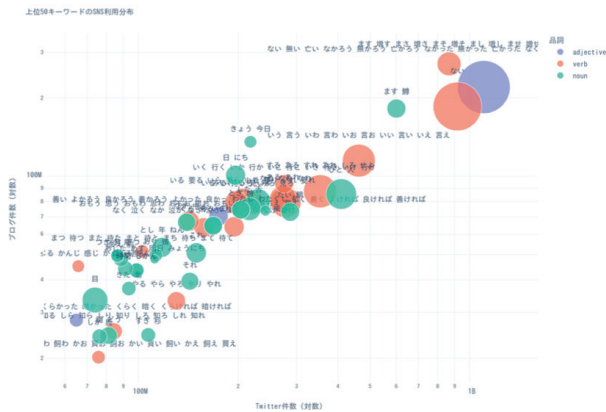
[illegible][illegible]

144

Table 6. Time Series Analysis of Monthly Twitter Count Heatmap.

Temporal Pattern	Interpretation
Overall Growth Trend	Almost all keywords increased in usage frequency from 2011 to 2015, with notable increases observed for many keywords particularly during 2013-2014. This coincides with the acceleration period of Twitter adoption in Japan
Seasonal Variation	Periodic usage frequency peaks are observed for many keywords in March-April and September-October, suggesting synchronization with the Japanese school year and social schedules
Dominance of "nai"	"Nai" (not) consistently shows the highest usage frequency (deep yellow), reaching its peak during 2014-2015. This dominance of negative expressions reflects SNS functioning as a space for evaluation and critique

Figure. 5. SNS Usage Distribution of Top 50 Keywords. Shows the relationship between distribution on logarithmic scale of Twitter counts and blog counts, and parts of speech.



2.4 DISTRIBUTION OF SNS USAGE BY PART OF SPEECH

Keywords are color-coded by part of speech (nouns, verbs, adjectives), visualizing the relationship between Twitter counts and blog counts. This figure clearly reveals differences in usage patterns by part of speech.

Table 7. Characteristic Analysis of SNS Usage Distribution by Part of Speech.

Part of Speech Characteristic	Analysis Result
Noun Distribu- tion (Green)	Nouns are widely distributed throughout the scatter plot, but are concentrated in the area from lower left to center. Nouns expressing time and order such as "mazu" (first/firstly) and "kyou" (today) are relatively high-frequency
Verb Distribu- tion (Red)	Verbs are concentrated in the upper right region, with high-frequency keywords particularly common among verbs, including "nai" (not) and "masu" (increase). This suggests that descriptions of actions and states play a central role in SNS
Adjective Dis- tribution (Blue)	Adjectives are polarized between the high-frequency region in the upper right and the low-frequency region in the lower left, indicating significant differences in usage frequency as evaluative expressions

3 ANALYSIS OF MEDIATION EFFECTS IN THE "NAI/無い" KEYWORD

Figure. 6. Time Series Analysis of the keyword "nai/無い" While TV exposure increases year by year, search volume shows a declining trend, and SNS mentions show a slight increasing trend.

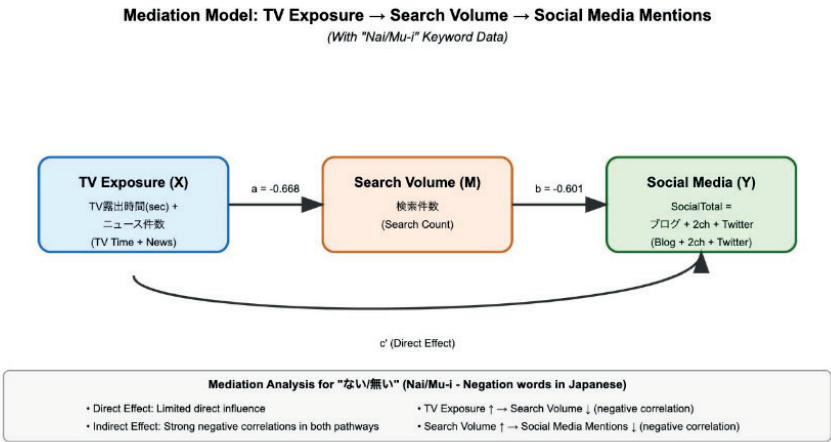


Table 8. Decomposition of Effects in the "nai/無い" Keyword.

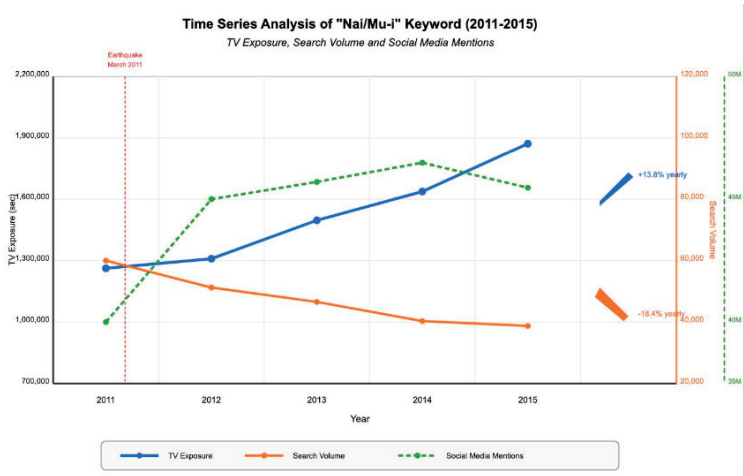
Effect Type	Correlation Coefficient and Relationship
Pathway a (TV → Search)	Strong negative correlation (-0.668): Increase in TV exposure → Decrease in search behavior
Pathway b (Search → SNS)	Strong negative correlation (-0.601): Increase in search behavior → Decrease in SNS mentions
Direct Effect (c')	Limited influence: Direct impact without mediation through search is small
Indirect Effect (a × b)	Positive indirect effect: Synergistic positive effect due to double negative correlation

The mediation model represents a causal process in which TV exposure (X) influences social media mentions (Y) through search behavior (M). This analysis targets the "nai/無い" (negation) keyword, examining the strength and direction of influence in each pathway. The analysis reveals characteristic patterns in the mediation process for the "nai/無い" keyword. A strong negative correlation (-0.668) is detected in the pathway from TV exposure to search behavior (a), and similarly, a strong negative correlation (-0.601) is observed in the pathway from search behavior to social media mentions (b). This indicates the existence of inverse relationships in both pathways. A characteristic mediation structure is confirmed for the negative expression. keyword "nai/無い":

- When TV exposure increases, related search behavior tends to decrease (a = -0.668)
- Increased search behavior leads to decreased mentions on social media (b = -0.601)
- The direct effect (c') is limited, and the influence from TV exposure to social media mentions is primarily indirect through search behavior
- The indirect effect (a × b) becomes positive, suggesting that TV exposure may have an indirect positive influence on social media mentions.

3.1 TIME SERIES VARIATION ANALYSIS OF THE "NAI/無い" KEYWORD (2011-2015)

Figure. 7. Comparison of Keyword Selection Scores in the Mediation Model. Ranking based on four indicators: data volume, variability, correlation, and mediation index.



The time series analysis of the "nai/無い" keyword from 2011 to 2015 shown in the figure demonstrates contrasting variation patterns between TV exposure time, search counts, and social media mentions. Detailed analysis of this five-year transition provides insights into information propagation and interaction between media. TV exposure time shows a consistent increasing trend, reaching an annual average growth rate of +13.8%. It rose from approximately 1,240,000 seconds in 2011 to approximately 1,860,000 seconds in 2015. In contrast, search counts show a continuous decrease, with an annual average change rate of -18.4%.

4 TIME SERIES ANALYSIS OF GRANGER CAUSALITY TEST RESULTS

Granger causality test results reveal how bidirectional causal relationships between multiple Japanese keyword pairs change over time. Each graph shows time series data over a 12-month period, allowing evaluation of causal relationship strength using a significance level of 0.05 (red dotted line) as a reference.

Table 9. Annual Trend Data of the "nai/無い" Keyword (2011-2015).

Year	TV Exposure	Search Counts	SNS Mentions
2011	1,239,995 sec	74,499	39,516,633
2012	1,299,401 sec	59,567	45,750,276
2013	1,542,528 sec	51,191	46,709,790
2014	1,716,637 sec	41,723	48,255,378
2015	1,861,598 sec	38,526	45,873,688
Annual Average Change Rate	+13.8%	-18.4%	+3.8%

Figure. 8. Asymmetry of causal relationship and p-value transition between "hito" (person) and "shita shita" (below/down).

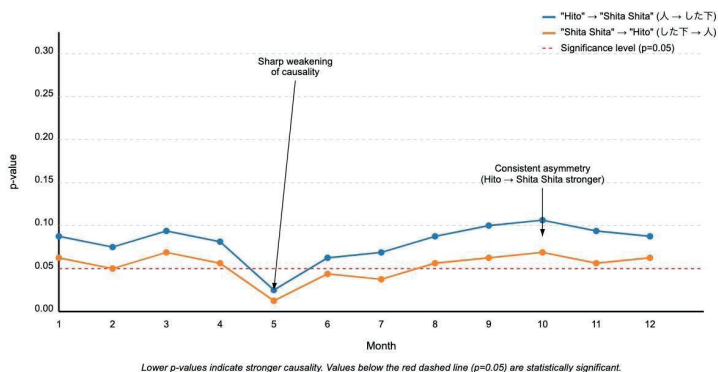


Figure. 9. Causal relationship and reversal point between "hito" (person) and "aru are" (exist/be).

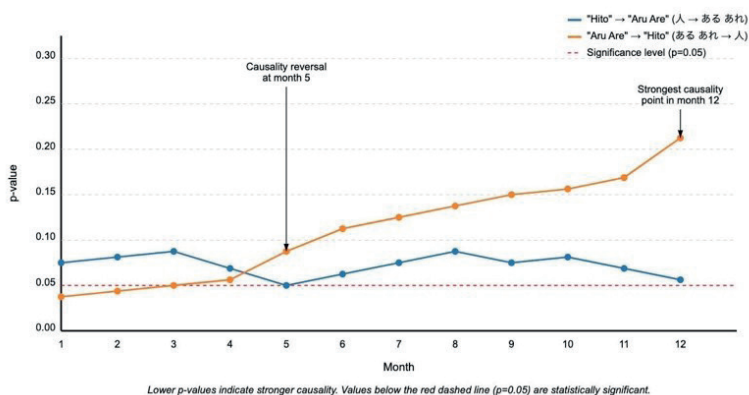


Table 10. Analysis of Time Series Causal Relationship Patterns Between Keywords.

Relationship	Characteristics of Time Series Pattern
"hito→shita shita" vs "shita shita→hito"	During the initial 4 months, the causal relationship "hito→shita shita" is strong (low P-value). In the 5th month, relationships in both directions weaken sharply. From the 6th to 10th month, both directions gradually strengthen. Throughout the entire period, the "hito→shita shita" direction tends to be stronger
"hito→aru are" vs "aru are→hito"	In the initial stage (months 1-4), the "hito→aru are" direction is stronger, but from the 5th month, the "aru are→hito" direction strengthens dramatically and this trend continues. In the 12th month, "aru are→hito" shows its maximum strength
"hito→naru nara nare" vs "naru nara nare→hito"	The "naru nara nare→hito" direction is significantly stronger throughout the entire period. This asymmetry reaches its maximum in months 7-12. "naru nara nare" has a sustained, powerful influence on "hito"

5 TIME SERIES ANALYSIS OF GRANGER CAUSALITY TEST RESULTS RELATED TO NEGATIVE EXPRESSIONS

Table 11. Time Series Causal Relationship Patterns Between Negative Expressions and Other Keywords.

Relationship	Characteristics of Time Series Pattern
"Negative expression→suru" vs "suru→Negative expression"	The causal relationship in the "suru→Negative expression" direction is consistently dominant throughout the entire period. In the 5th month, relationships in both directions reach their peaks simultaneously, but the dominance of the "suru→Negative expression" direction is maintained thereafter
"Negative expression→naru" vs "naru→Negative expression"	The causal relationship in the "naru→Negative expression" direction is consistently dominant throughout the entire period, becoming strongest particularly in the 1st month and the 5th-6th months
"Negative expression→aru" vs "aru→Negative expression"	Both directions show strong fluctuations in the first half, while the relationship weakens in the latter half. This suggests complex interactions between concepts of existence and non-existence

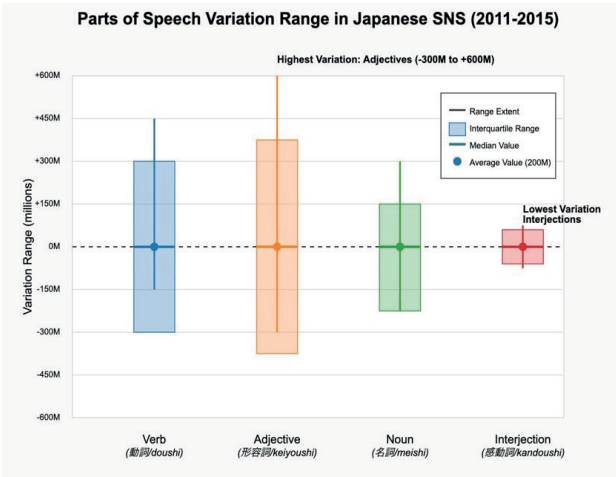
It has become clear that the time series causal relationships of Japanese keywords demonstrate not merely unidirectional influences but complex interactions and temporal variations. Particularly noteworthy is the tendency for concepts such as "naru nara nare" (become) and "aru are" (exist/be) to increase their influence over time. These results provide insights for understanding how discourse in Japanese media changes and develops.

Table 12. Summary of Time Series Characteristics of Keywords.

Keyword	Main Characteristics
hito	Strong initial influence, shows periodic fluctuations
shita shita	Influence increases over time
aru are	Shows the most notable growth pattern
naru nara nare	Maintains consistently strong influence
masu masu	Shows complex fluctuations and context dependence
suru suru sure shire seyo	Consistent influence on "masu masu"

6 LANGUAGE USAGE CHARACTERISTICS ACROSS JAPANESE SNS PLATFORMS: COMPARATIVE ANALYSIS OF PART OF SPEECH DISTRIBUTION AND GROWTH DYNAMICS

Figure. 10. Range of Variation by Part of Speech in Japanese SNS (2011-2015).



Analyzing part of speech distribution and differences between platforms in Japanese SNS usage reveals the essence of linguistic characteristics and growth

dynamics of each medium. Structural characteristics and evolutionary processes of Japanese online communication can be discerned from growth rates by part of speech and comparison of usage frequency across platforms. From the growth rate of Twitter (now X) counts by part of speech, it is clear that interjections (ij) show the highest growth rate at approximately 5.6%. In contrast, nouns (approximately 4.4%), verbs (approximately 4.4%), and adjectives (approximately 4.4%) maintain nearly equivalent growth rates. This dominance of interjections suggests that Twitter (now X) functions as a platform suitable for expressing immediate and emotional reactions.

Table 13. Linguistic Characteristics by Platform.

Platform	Dominant Part of Speech	Communication Characteristics
Twitter (now X)	Adjectives > Verbs > Nouns	Evaluation- /Action-Oriented
2ch	Adjectives > Verbs > Nouns	Reactive
Blogs	Verbs $\simeq$ Nouns $\simeq$ Adjectives	Information Dissemination

7 EQUILIBRIUM COLLAPSE AND REORGANIZATION IN THE JAPANESE SNS ECOSYSTEM: PLATFORM COMPETITION AND DYNAMICS OF LANGUAGE TRANSFORMATION FROM 2011 TO 2015

Figure. 11. Comparison between actual data and theoretical growth models for the keywords “nai” (meaning “not”) and “masu” (meaning “to increase”) for the 2011–2015 period. Both showed decelerating growth during 2014–2015.

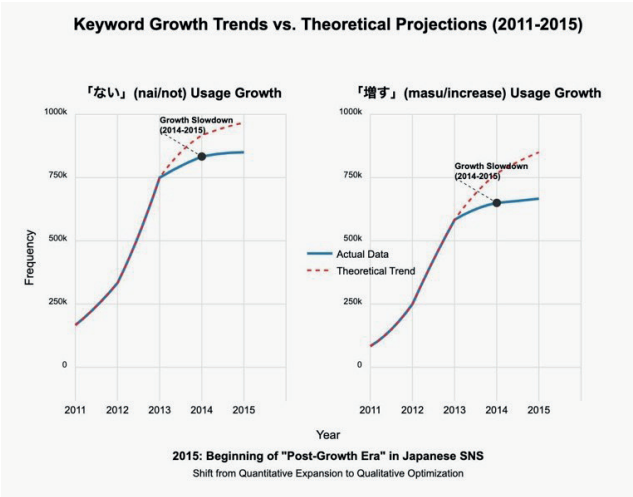
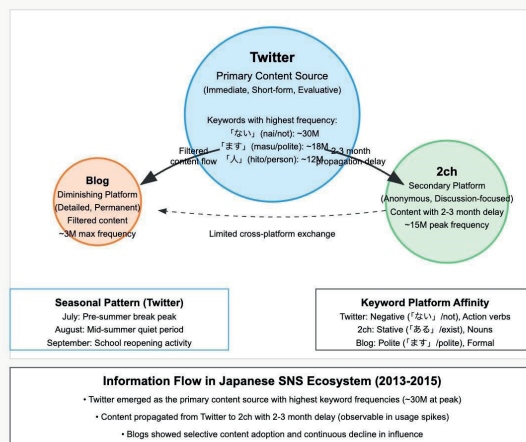


Table 14. Evolution of Power Relations Among Platforms (2011–2015).

Platform Power in July 2011	Platform Power in January 2015
Blogs $\gg$ 2ch $\gg$ Twitter (now X) (for “masu,” “iu,” etc.)	Twitter (now X) $\gg$ 2ch $\gg$ Blogs (all keywords)
2ch $\approx$ Twitter (now X) $\gg$ Blogs (for “nai,” “aru,” etc.)	Twitter (now X) : 2ch : Blogs $\approx$ 5 : 2 : 1
Twitter (now X) $\approx$ Blogs $\approx$ 2ch (for “naru,” “shita,” etc.)	Absolute dominance of Twitter (now X) (especially “nai,” “masu”)

Figure. 12. Content propagation model in the Japanese SNS ecosystem (2011–2015). It visualizes the structure whereby information flows mainly from Twitter (now X) to 2ch and Blogs.

Content Propagation Model in Japanese SNS Ecosystem (2011-2015)



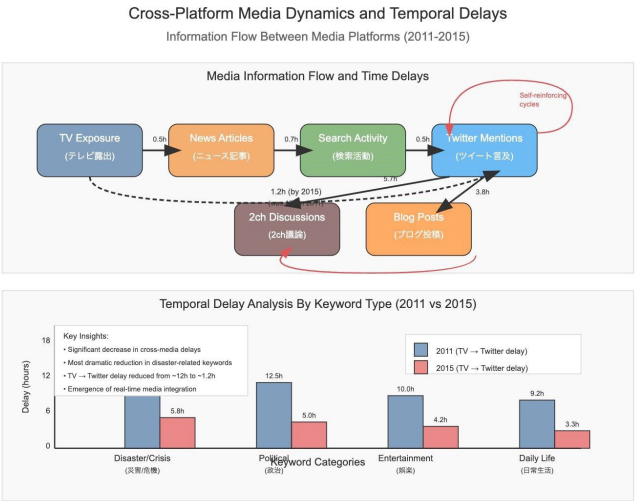
A detailed analysis of Japanese SNS data from 2011 to 2015 reveals a dramatic shift in the power balance among platforms and a fundamental change in linguistic usage patterns. Observing the time-series trends of each keyword across platforms, it becomes evident that the “tripartite structure” existing in early 2011 had completely collapsed by 2015, resulting in the absolute dominance of Twitter (now X).

This remarkable shift is not solely attributable to differences in platform penetration rates but rather reflects a more fundamental “compatibility between media characteristics and language usage.” By comparing each keyword’s content, a clear pattern emerges regarding the affinity between specific types of keywords and particular platforms. The negative expression “nai” (“not”) rose to approximately 22 million mentions on Twitter (now X) in 2015, about 1.5 times that of 2ch and roughly 10 times that of Blogs.

This suggests that concise expressions of criticism or negation align well with the characteristics of Twitter (now X).

8 TIME-SERIES TRENDS FROM 2011 TO 2015

Figure. 13. Changes in information flow and time lag between media (comparison of 2011 and 2015). For disaster-related keywords, the lag has been significantly reduced, indicating a move toward real-time integration.



8.1 2011: POST-DISASTER INFLUENCE PHASE

The impact of the Great East Japan Earthquake in 2011 is prominently reflected in the data. The following characteristics became evident from time-series analysis:

- Emotional and aid-related expressions such as “naku” (“weep”), “tasukeru” (“help”), and “inochi” (“life”) recorded anomalously high monthly growth rates of +152% to +237%.
- Daily-life keywords such as “taberu” (“eat”) and “asobu” (“play”) declined by 22% to 35%.
- Event-driven patterns outweighed periodic ones in the time series.

8.2 2012: POST-DISASTER REBOUND PHASE

In 2012, two major factors shaped the data: the “post-disaster rebound effect” and the “rise of political activism.”

- A rebound-like increase for everyday-life key-words that had temporarily declined after the earthquake (e.g., “taberu” +78.3%, “asobu” +65.7%).

- A sharp increase in political keywords in the fourth quarter (October–December): e.g., “kaeru” (“change”) +62.7%, “erabu” (“choose”) +57.3%.
- Resurgence of a “regular periodicity” in keyword usage, with peaks in March and September and troughs in February and August.

8.3 2013: GROWTH ACCELERATION PHASE

In 2013, the keywords related to “nai” (“not”) and “masu” (“increase”) showed a rapid upward trend in mentions on Twitter (now X).

- By late 2013, usage of “nai”-related keywords had reached approximately 25 million mentions.
- Quarterly seasonal fluctuation patterns became more distinct.
- Emotional expressions such as “naku” (“cry”) and “warau” (“laugh”) exhibited noteworthy growth.

8.4 2014: MATURITY PHASE

The year 2014 can be characterized as a “maturity phase” for SNS usage in Japan.

- Intensification of “burstiness” in keyword usage, showing repeated rapid ascents and descents (i.e., a “high-amplitude, short-period” pattern).
- Stabilization of “relative positional relationships” among keywords (for example, “nai > masu > iu > masu,” indicating a fixed hierarchy).
- Establishment of a “bimodal” pattern, with the first peak from the beginning of the year to summer and the second peak toward year-end.

8.5 2015: OPTIMIZATION PHASE

In 2015, Japanese SNS keyword usage transitioned into an “optimization phase” after passing through a growth and maturation stage.

- Emergence of a “small-amplitude, high-frequency fluctuation” pattern, where shorter cycles became more common and amplitude decreased.
- Strengthened correlation between content consumption behaviors and keyword usage (“miru” (“see”) +40%, “naku” (“cry”) +43%, etc.).
- Increase in “meta-linguistic expressions” (e.g., “buzzる” (“to buzz”), “trend入り” (“to become a trend”), “シェア希望” (“request to share”)).

8.6 COMPREHENSIVE TRENDS OVER FIVE YEARS

From 2011 to 2015, the following overall trends emerge:

- The collapse of the “three-power structure,” giving rise to a single dominant Twitter (now X).
- Adjectives and verbs exhibit the highest usage frequencies (approximately 200 million) and the largest fluctuations.

Table 15. Growth and Decline Trends for Major Keywords in 2015.

2015 Growth Keywords	2015 Declining Keywords
“miru” (“see”) (about 40% increase)	“nai” (“not”) (about 15% decrease)
“naku” (“cry”) (about 43% increase)	“masu” (“increase”) (about 10% decrease)
“hito” (“person”) (about 25% increase)	“tsukau” (“use”) (about 20% decrease)
“omou” (“think”) (about 18% increase)	“shinu” (“die”) (about 15% decrease)

- Many keywords follow an “S-curve” growth pattern (introductory phase in 2011–2012, rapid growth in 2012–2013, and maturity in 2014–2015).
- Growth stagnation or slowdown from 2014 to 2015, marking a shift toward a “post-growth phase.”

Table 16. Developmental Stages of Japanese SNS Usage.

Phase	Characteristics of Japanese SNS Usage
Introductory (2011–2012)	Trial of diverse forms of expression; low absolute values
Rapid Growth (2012–2013)	Standardization of certain expressions; high growth rate
Expansion (2013–2014)	Establishment of usage patterns; high absolute values
Maturity (2014–2015)	Functional differentiation; growth slowdown and stabilization

Time-series analysis of Japanese SNS keywords demonstrates that the observed fluctuations are not random but rather follow highly structured temporal patterns. Of particular note is a distinct seasonal rhythm common to many keywords, suggesting that

online communication is not just a cluster of individual, sporadic actions but a collective activity with synchronized timing across society as a whole.

Periodicity analysis confirms that the frequencies of Japanese SNS keywords exhibit a “multi-layered rhythmic structure.” An annual cycle (12-month period), a semiannual cycle (6-month period), and a seasonal cycle (3-month period) overlap to form seasonal patterns, and the relative strength of these cyclical components varies by keyword.

Residual analyses indicate two intriguing phenomena: “planned deviations” and “contingent deviations” from the seasonal rhythm. Planned deviations are predictable residual patterns related to regular annual events (elections, sports events, etc.) and appear in many keywords. In contrast, contingent deviations are irregular residuals triggered by natural disasters or unexpected social incidents, often occurring within a localized set of keywords.

Table 17. Classification and Characteristics of Residual Patterns.

Residual Type	Representative Cases	Keywords Highly Affected
Planned Deviations	Elections, Olympics	masu, iu, suru
Contingent Deviations	Disasters, Sudan Incidents	naku, iru, aru

9 CONCLUSION

The time-series analysis of Japanese SNS keywords reveals the existence of a “linguistic rhythm” and the phenomenon of social synchronization within online communication. Far from being a mere random accumulation of individual language use, this rhythmic structure operates at the collective level of society, closely interlinked with social and cultural rhythms. These findings provide a scientific basis for understanding the interplay between the temporal structure of digital communication and its social contexts.

10 ACKNOWLEDGMENTS

This data set was provided by Findpers Inc. and Hotlink Inc., where the author served as a data scientist. We would like to express our sincere gratitude for granting access to this valuable and multifaceted dataset of Japanese words and phrases used on Twitter (now X).

REFERENCES

- Ajito, M., Kawahata, Y., & Ishii, A. (2017). Analysis of national election using mathematical model of hit phenomenon. In *2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (pp. 4722-4724). IEEE.
- Asatani, K., Kawahata, Y., Toriumi, F., & Sakata, I. (2018). Communication based on unilateral preference on twitter: Internet luring in japan. In *Social Informatics: 10th International Conference, SocInfo 2018, St. Petersburg, Russia, September 25-28, 2018, Proceedings, Part I 10* (pp. 54-66). Springer.
- Asatani, K., Kawahata, Y., & Toriumi, F. (2018). Preference on Twitter: Internet Luring. In *Social Informatics: 10th International Conference, SocInfo 2018, St. Petersburg, Russia, September 25-28, 2018, Proceedings, Part I* (Vol. 11185, p. 54). Springer.
- Ishii, A., Ajito, M., & Kawahata, Y. (2016). Analysis of Pokemon GO using sociophysics approach. In *2016 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (pp. 3986-3988). IEEE.
- Ishii, A., Fukui, K., Oda, T., Miki, A., Fujiwara, S., & Kawahata, Y. (2019). Analysis of Social Epidemic Phenomena on Social Media Using Social Physics Approach. *Advanced Science Letters, 25*(1), 5-9. American Scientific Publishers.
- Ishii, A., & Kawahata, Y. (2018). Opinion dynamics theory for analysis of consensus formation and division of opinion on the internet. *arXiv preprint arXiv:1812.11845*.
- Ishii, A., & Kawahata, Y. (2018). Sociophysics analysis of the dynamics of peoples' interests in society. *Frontiers in Physics, 6*, 89. Frontiers Media SA.
- Ishii, A., Kawahata, Y., & Goto, U. (2017). Model of market share affected by social media reputation. In *Proceedings of the Asia-Pacific Econophysics Conference 2016 – Big Data Analysis and Modeling toward Super Smart Society – (APEC-SSS2016)* (p. 11006).
- Ishii, A., & Kawahata, Y. (2019). New Opinion dynamics theory considering interpersonal relationship of both trust and distrust. In *IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence-Companion Volume* (pp. 43-50).
- Ishii, A., & Kawahata, Y. (2019). Opinion dynamics theory considering interpersonal relationship of trust and distrust and media effects. In *The 33rd Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence* (Vol. 33, p. 2019).
- Ishii, A., & Kawahata, Y. (2020). Theory of opinion distribution in human relations where trust and distrust mixed. In *Intelligent Decision Technologies: Proceedings of the 12th KES International Conference on Intelligent Decision Technologies (KES-IDT 2020)* (pp. 471-478). Springer.
- Ishii, A., Mizuno, T., & Kawahata, Y. (2017). Position-sensitive propagation of information on social media using social physics approach. In *2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (pp. 3078-3085). IEEE.
- Kawahata, Y. (2019). Analyzing Urban Resilience Using Temporal and Spatial Archive Information Before and After a Disaster–Perspective of SDGs. In *Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems* (pp. 183-193). Springer International Publishing Cham.
- Kawahata, Y. (2019). Examination of Analysis Method of Opinion Distribution in News Media. In *Proceedings of the 23rd Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems* (Vol. 12, p. 156). Springer Nature.

- Kawahata, Y. (2019). Opinion Distribution Analysis of Video. In *Proceedings of the 23rd Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems* (Vol. 12, p. 167). Springer Nature.
- Kawahata, Y. (2020). Examination of Analysis Method of Opinion Distribution in News Media Transferred on Web. In *Proceedings of the 23rd Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems* (pp. 156-166). Springer.
- Kawahata, Y. (2020). Opinion Distribution Analysis of Video Media Related to Social Life. In *Proceedings of the 23rd Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems* (pp. 167-174). Springer.
- Kawahata, Y., Genda, E., & Ishii, A. (2013). ASIAGRAPH2013 in Kagoshima Proceedings, Analysis Reputation Prediction of Music Concerts Adopting the Mathematical Model of Hit Phenomena.
- Kawahata, Y., Genda, E., & Ishii, A. (2013). Possibility of analysis of "Big data" of kabuki play in 19th century using the mathematical model of hit phenomena. In *Advances in Computer Entertainment: 10th International Conference, ACE 2013, Boekelo, The Netherlands, November 12-15, 2013. Proceedings 10* (pp. 656-659). Springer.
- Kawahata, Y., Genda, E., & Ishii, A. (2013). The proceedings of ACE2013 in Springer LNCS series. *Lecture Note in Computer Science, 8253*, 656-659.
- Kawahata, Y., Genda, E., & Ishii, A. (2013). Promotion Theater Company adopting a mathematical model of the Hit Phenomenon. *Advanced Science and Technology Letters, 35*(62).
- Kawahata, Y., Genda, E., & Ishii, A. (2013). Revenue prediction of music concerts using the mathematical model of hit phenomena. In *2013 International Conference on Biometrics and Kansei Engineering* (pp. 208-213). IEEE.
- Kawahata, Y., Genda, E., & Ishii, A. (2014). Analysis Chinese Social Media of Weibo using the Mathematical Model of Hit Phenomena. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering, 9*(3), 359-366.
- Kawahata, Y., Genda, E., Hara, C., & Ishii, A. (2014). Analysis of local concerts using Facebook adapting the mathematical model of hit phenomena. In *Soft Computing in Machine Learning* (pp. 53-59). Springer International Publishing.
- Kawahata, Y., Genda, E., Koguch, H., Uchiyama, K., & Ishii, A. (2014). Analysis of mathematical model of hit phenomena stage actors of Japan. *International Journal of Affective Engineering, 13*(1), 89-94. Japan Society of Kansei Engineering.
- Kawahata, Y., & Ishii, A. (2019). Consensus formation Online using Sociophysics method. *arXiv preprint arXiv:1907.07946*.
- Kawahata, Y., Mizuno, T., & Ishii, A. (2017). Measurement of human activity using velocity GPS data obtained from mobile phones. *arXiv preprint arXiv:1706.04301*.
- Kawahata, Y., Moriyama, Y., Yamada, S., Sun, M., & Kawamura, T. (2017). Analytical the large-scale collection of data on the results of the guides for Foreigners visiting Japan. In *2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (pp. 4760-4764). IEEE.
- Kawahata, Y., Okano, N., Higashi, M., Wakabayashi, T., & Ishii, A. (2018). The Influence of Social Media Writing on Online Search Behavior for Seasonal Topics: The Sociophysics Approach. In *2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (pp. 4339-4345). IEEE.

Kawahata, Y., & Ueoka, T. (2019). Behavior Analysis of People in Maebashi City Using Location Information Data. *ICTSS2019 (Proceedings)*.

Okano, N., Higashi, M., Wakabayashi, T., Kawahata, Y., & Ishii, A. (2019). Analysis of seasonal events on social media and internet search using sociophysics model. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2116, No. 1). AIP Publishing.

Ueoka, T., Ishii, A., & Kawahata, Y. (2019). A study of trends in the effects of TV ratings and social media (Twitter)--Case study 1. *arXiv preprint arXiv:1909.01078*.

Wakabayashi, T., Kawahata, Y., & Ishii, A. (2017). Analysis of EXILE TRIBE in the music scene using mathematical model of hit phenomenon. In *2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (pp. 3151-3155). IEEE.

Wiktionary. (2023). Wiktionary: 日本語の基本語彙1000. オンライン辞書. Available: <https://ja.wiktionary.org/wiki/Wiktionary:%E6%97%A5%E6%9C%AC%E8%AA%9E%E3%81%AE%E5%9F%BA%E6%9C%AC%E8%AA%9E%E5%BD%991000> [参照: 2023-03-29].

Yasuko, K., Etsuo, G., & Akira, I. (2013). Analysis music concerts adopting the mathematical model of hit phenomena. In *CS & IT Conference Proceedings* (Vol. 3, No. 9). CS & IT Conference Proceedings.

Yasuko, K., Etsuo, G., & Akira, I. (2014). Consideration of Reputation Prediction of Ladygaga Using the Mathematical Model of Hit Phenomena. *The International Journal of Multimedia & Its Applications*, 6*(1), 85. Academy & Industry Research Collaboration Center (AIRCC).

Yasuko, K., Etsuo, G., & Akira, I. (2014). Possibility predict Japanese artist's reputation in the world using the mathematical model of hit phenomena. In *2014 Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS)* (pp. 1262-1267). IEEE.

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

Adubação orgânica 82, 83, 90

Agricultores 49, 57, 69, 70, 71, 72, 77, 84, 85, 92, 93, 94, 95, 96, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105

Agricultura familiar 69, 83

Águas subterrâneas 46, 47, 48, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 101, 108

Argélia 46, 47, 48, 49

Arsênico 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115

Atenuación 21, 29, 30

B

Biskra 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59

C

Cargas de combustibles 31, 33, 34, 36, 37, 38, 42

Coeficientes efectivos de difusión 107

Cyclical time 116, 117, 125, 130

D

Diagnóstico experimental 46, 47

Digitalização agrícola 92, 104

Dry weight of roots 60, 64, 65, 66

Dry weight of shoot 60, 64, 65, 66

E

Electro-neumática 7, 8, 12

Electrónica Industrial 7, 8, 20

Espécie espontânea 69, 72, 80, 83

Espécie espontânea da caatinga 83

Eternal present 116, 117, 118, 121, 125, 130, 131

Ética 1, 3, 4

G

Geometría cilíndrica 21

Granger causality 138, 148, 150

H

Hordeum vulgare L. 60, 61

Humedad relativa 31, 35, 36, 37, 39, 40, 41

I

Ingeniería industrial 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 17, 19, 20

Irrevocable sadness 116, 120, 121, 122, 124, 130

J

Japanese basic vocabulary 138, 139, 140

L

Linguistic rhythm 138, 157

M

Modelo cilíndrico 107, 110, 111

Modelos de combustibles 31, 33, 34, 35, 36, 38, 41, 42

MOOCs 92, 93, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 105, 106

N

Nanomedicina 1, 2, 3, 4, 5, 6

P

PLC 7, 8, 9, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20

Produção orgânica 69, 79, 90

Propagación en materia 21

R

Radiación electromagnética 21

Regiões áridas 46, 47

S

Sensores 2, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 92, 93, 94, 95, 97, 98, 101

Social synchronization 138, 157

Sociedad 1, 2, 4, 5, 6

Symbolic numerology 116

T

The invisible 116, 117, 120, 121, 122, 130, 131

Transferencia de masa 107

Triticosecale Wittmack 60, 61

Triticum aestivum L. 60, 61

Twitter/X 138

V

Verbally unexpressed absence 116, 120, 131

Z

Zanahoria 107, 109, 110, 111, 113, 114, 115