

# TACLIA

Revista Científica de Ingeniería de la UNF

Vol. 1 - N° 1 - Diciembre 2025



**FONDO  
EDITORIAL  
UNF**



UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
**FRONTERA**

E-ISSN: 3119-7450

# TACLIA

## Revista Científica de Ingeniería de la UNF

Vol. 1 N° 1 (2025)  
JULIO – DICIEMBRE  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

REVISTA CIENTÍFICA DE INGENIERÍA DE LA UNF  
Vol. 01 N° 01 – Diciembre 2025

Editado por:

©Universidad Nacional de Frontera

Av. San Hilarión N° 101 - Nuevo Sullana - Sullana, Piura, Perú

Teléfono: +51 073-518941

E-mail: fondoeditorial@unf.edu.pe

[www.unf.edu.pe](http://www.unf.edu.pe)

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2025-14886

ISSN: 3119-7450 (En línea)

Diseño y diagramación:

Jefe de Edición y Difusión: Ing. Jaime Valdiviezo Marcelo

Diseño de cubierta: Lic. Luz Delia López Sarango

Publica dos números al año y está arbitrada por evaluadores externos.

#### **Autoridades universitarias**

Dr. José Florentino Molero López : Presidente de la Comisión Organizadora

Dra. Ana María Matos Ramírez : Vicepresidenta de Investigación de la Comisión Organizadora

Dr. Sigifredo Alberto Burneo Sánchez : Vicepresidente Académica de la Comisión Organizadora

#### **Editor en jefe**

Dr. Leandro Alonso Vallejos More

TACLLA, revista científica de Ingeniería fue creada con RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 610-2025-UNF/CO, con fecha 08 de agosto de 2025.

Taclla, Tiene una periodicidad semestral, y en ella se recogen los trabajos sobre investigación científica en el campo de la ingeniería. Todo artículo publicado en esta revista es responsabilidad de los autores.

## Equipo editorial

### Comité editorial Revista Tacla

#### Director

Ing. Jaime Valdiviezo Marcelo  
Universidad Nacional de Frontera, Sullana, Perú

#### Editor Jefe

Dr. Leandro Alonso Vallejos More - Universidad Nacional de Frontera, Sullana, Perú

#### Editores Asociados

Dr. Heber Peleg Cornelio Santiago - Universidad Le Cordon Ble, Lima, Perú  
Dr. Ernesto Hernández Martínez - Universidad Nacional de Jaén, Perú  
Dr. Alfredo Pelayo Calatayud Mendoza - Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú

#### Revisores

M.Sc. Hans Himbler Minchán Velayarce - Universidad Nacional de Jaén, Cajamarca , Perú  
Dr. Frank Fernández Rosillo - Universidad Nacional de Jaén, Cajamarca, Perú  
Dr. Luis Alfredo Espinoza Espinoza - Universidad Nacional de Barranca, Lima, Perú  
MSc. Diego Fernando García Ramon - Universidad do Sao Paulo, Brasil  
Dra. Lucia Ruth Pantoja Tirado - Universidad Nacional Autónoma De Tayacaja, Perú  
Dr. Juan Carlos Rodríguez Soto - Universidad Nacional de Trujillo, Perú  
Dr. Anwar Julio Yarin Achachagua - Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú  
Mg. Richerson Harold Piscoche Chinchay - Universidad Nacional Autónoma De Tayacaja, Perú  
Ph.D Iván Leonardo Medina Alvarado - Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia  
Dr. Freddy William Castillo Palacios - Universidad César Vallejo, Perú  
Mg. Daniel Martínez Pérez - Universidad Nacional de Educación a Distancia, España

#### Equipo Técnico Editorial

Ing. Marcos Fernando Arriola Crisanto - Universidad Nacional de Frontera, Sullana, Perú  
Lic. Luz Delia López Sarango - Universidad Nacional de Frontera, Sullana, Perú  
Ing. Leumin Omar Saavedra Peña - Universidad Nacional de Frontera, Sullana, Perú

## Contenido

EDITORIAL.....	5
Mejorando la estabilidad estructural en caminos rurales con la viga Benkelman: un estudio de caso en el Perú .....	7
Aplicación de pretratamiento ultrasónico en el secado convectivo del mango ciruelo ( <i>Spondias dulcis</i> ): Efectos sobre la cinética de deshidratación y retención de compuestos bioactivos.....	16
Optimización de la aceptabilidad sensorial de galletas con harina de coronta de maíz morado ( <i>zea mays l.</i> ) y <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	28
Mejoramiento del proceso de malteado de arroz ( <i>Oryza sativa</i> ).....	37
Aplicaciones de la Biotecnología Verde más frecuentes en la Agroindustrial .....	45

## EDITORIAL

La Universidad Nacional de Frontera (UNF), a través de su Vicepresidencia de Investigación, se complace en presentar el primer número de TACLLA, Revista Científica de Ingeniería. Esta nueva publicación nace con el firme propósito de consolidarse como un espacio de referencia para la divulgación de conocimiento original y de alto impacto, impulsando desde la ingeniería el desarrollo científico, tecnológico y la innovación.

El nombre TACLLA, que evoca una herramienta ancestral de labranza, simboliza nuestra visión: articular el conocimiento fundacional con la vanguardia tecnológica. Así como la tacla permitió transformar la tierra para generar vida y sustento, esta revista busca ser un instrumento para cultivar ideas, romper fronteras del saber y contribuir al progreso sostenible de nuestra región y el país.

En este volumen, los artículos que presentamos han superado un riguroso proceso de evaluación por pares ciegos, contando con la valiosa participación de especialistas nacionales e internacionales de reconocida trayectoria. Los trabajos reflejan una aplicación metódica y crítica de la investigación en diversas áreas de la ingeniería, desde el procesamiento de datos y el desarrollo de tecnologías aplicadas, hasta la optimización de procesos y la innovación en materiales.

Invitamos cordialmente a los investigadores de la comunidad UNF y de la academia global a sumarse a este proyecto intelectual. TACLLA está abierta a contribuciones que enriquezcan el diálogo científico y promuevan soluciones innovadoras desde la ingeniería.

Agradecemos profundamente a las autoridades, autores, evaluadores y equipo técnico que han hecho posible este primer paso. Su dedicación es el cimiento sobre el cual construimos, juntos, el camino de la ciencia con propósito.

Dr. Leandro Alonso Vallejos More

## EDITORIAL

The National University of Frontera (UNF), through its Vice-Presidency for Research, is pleased to present the first issue of TACLLA, Scientific Journal of Engineering. This new publication is born with the firm purpose of establishing itself as a reference space for the dissemination of original, high-impact knowledge, fostering scientific and technological development and innovation from the field of engineering.

The name TACLLA, which evokes an ancestral farming tool, symbolises our vision: to connect foundational knowledge with technological cutting-edge. Just as the tacla made it possible to transform the land to generate life and sustenance, this journal seeks to be an instrument for cultivating ideas, breaking frontiers of knowledge, and contributing to the sustainable progress of our region and the country.

In this volume, the articles we present have undergone a rigorous double-blind peer-review process, with the valuable participation of distinguished national and international specialists. The contributions reflect a methodical and critical application of research across various areas of engineering, from data processing and the development of applied technologies to process optimisation and materials innovation.

We cordially invite researchers from the UNF community and the global academic sphere to join this intellectual endeavour. TACLLA is open to contributions that enrich scientific dialogue and promote innovative solutions from the field of engineering.

We extend our deepest gratitude to the authorities, authors, reviewers, and technical team who have made this first step possible. Their dedication is the foundation upon which we jointly build the path of science with purpose.

Dr. Leandro Alonso Vallejos More  
EDITOR EN JEFE



**TACLLA**  
revistas.unf.edu.pe/taclla  
doi.org/10.57063/rcitac.v1i1.180



**FONDO EDITORIAL UNF**

ARTÍCULO ORIGINAL



## Mejorando la estabilidad estructural en caminos rurales con la viga Benkelman: un estudio de caso en el Perú

Enhancing structural stability in rural roads with the Benkelman beam: a case study in Peru

Vanessa Figueroa<sup>1</sup> ; Darwin Cornelio<sup>2</sup> ; Victor Ariza<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Huanuco, Huanuco, Perú.

<sup>2</sup> Escuela Especializada en Gestión e Ingeniería, Lima, Perú

<sup>3</sup> Universidad Nacional Federico Villarreal

\* Autor de correspondencia: [variza@unfv.edu.pe](mailto:variza@unfv.edu.pe)

Received: 22 August 2025. Accepted: 15 December 2024. Published: 17 December 2025.

### Abstract

This study evaluates the granular subbase of the Oyon Ambo road in Pasco, Peru, using the Benkelman Beam test, covering from km 181+000 to km 230+000. The non-destructive methodology allowed for measuring pavement deflections under static loads, identifying critical areas that require improvements. Laboratory analyses included granulometric analysis, natural moisture, Atterberg limits, Modified Proctor, and CBR to characterize soil properties. Results indicated that the granular subbase is generally in good condition, with average deflections below admissible limits. However, higher deflections were observed in the critical section between Km 198+180 and Km 198+580, suggesting the need for specific interventions. Recommended measures include additional compaction, replacement of expansive soils, and drainage improvement. This approach provides a solid foundation for future interventions and road conservation strategies, promoting the safety and functionality of the road infrastructure in the Pasco region.

**Keywords:** Granular Sub-base, Benkelman Beam, Pavement Deflections, CBR.

Cite this article:

Figueroa, V.; Cornelio, D. y Ariza, V. (2025). Enhancing structural stability in rural roads with the Benkelman beam: a case study in Peru *Revista Científica de Ingeniería de la Universidad Nacional de Frontera: Taclla*, 1(1), 08-15. doi.org/10.57063/rcitac.v1i1.180

## 1. INTRODUCTION

The structural integrity and longevity of rural road infrastructure are pivotal for regional connectivity and economic development. This study focuses on evaluating the granular subbase of the Dv. Cerro de Pasco – Dv. Chacayan road using the Benkelman Beam test. This road section, spanning from km 181+000 to km 230+000, plays a crucial role in facilitating the transport of people and goods between neighboring communities, particularly in regions with challenging climatic conditions.

Globally, roads are essential for socioeconomic growth, and their performance hinges on their ability to sustain commercial traffic over their design life. In Peru, the road network is divided into three levels: National, Departmental, and Local. The National Road Network comprises over 27,000 km of paved roads, while most of the Departmental and Local Road Networks consist of unpaved roads, highlighting the need for continuous maintenance and evaluation to ensure functionality and safety.

The Dv. Cerro de Pasco – Dv. Chacayan road is a critical segment within the Pasco region's infrastructure, serving as the main conduit for agricultural and commercial transport. However, adverse climatic conditions such as constant rainfall have caused stability problems in the granular subbase (Ariza Flores & Salvador, 2024), necessitating this study. The structural evaluation using the Benkelman Beam measures pavement deflections under static loads, providing crucial data for diagnosing the road's condition and planning improvements (Sanjay et al., 2022).

Non-destructive testing (NDT) methods like the Benkelman Beam have gained prominence due to their efficiency and reliability. The Benkelman Beam test, developed by engineer A. C. Benkelman in 1953, is a widely recognized methodology for assessing the structural capacity of pavements (Jain et al., 2023). This device measures the elastic deformation of a road structure under an applied load, allowing for the identification of critical areas and deficiencies in the granular subbase (Markó et al., 2013). The non-destructive testing methodology employed by the Benkelman Beam is quick, economical, and does not affect the pavement structure (Prabhu et al., 2021), making it ideal for studies like the present one, as well as it was used in other similar cases (Adigopula et al., 2022; Handayani et al., 2023).

A comparative study by (Guzzarlapudi et al., 2016) highlights the effectiveness of the Benkelman Beam and Lightweight Deflectometer (LWD) in evaluating subgrade moduli on low volume roads. The study found that while static moduli

values measured by the Benkelman Beam are generally lower than dynamic moduli values measured by the LWD, both methods provide reliable data with good correlation between static and dynamic moduli. This reinforces the value of using the Benkelman Beam for detailed structural evaluations.

The general objective of this study is to structurally analyze the granular subbase of the aforementioned road section using the Benkelman Beam test. Specific objectives include determining deflections in the granular subbase, identifying admissible deflection values, and proposing solutions for deficiencies found in critical areas. This evaluation will provide essential data on the road's condition, which can be used to present road conservation proposals to relevant authorities and improve the road's safety and functionality.

The research justification is multifaceted. Theoretically, it seeks to understand and document the structural condition of the road, providing a scientific basis for future evaluations and improvements. Practically, the study will enable informed interventions to enhance the load-bearing capacity of the granular subbase, resulting in greater road durability and safety. Methodologically, it aims to demonstrate the efficacy of the Benkelman Beam test as a structural evaluation tool in the Peruvian context. Economically, proper road maintenance will not only reduce long-term repair costs but also improve local transport and economy. Socially, road improvement will reduce accident risks, facilitating safe and efficient transport for the region's inhabitants.

In light of the comprehensive review by (Dwivedi & Suman, 2023) and the comparative analysis by (Guzzarlapudi et al., 2016) this study aims to contribute similarly valuable insights for the Peruvian context. The Benkelman Beam test's ability to measure elastic deformation and diagnose structural deficiencies aligns with the objectives of enhancing pavement quality and durability, ensuring timely and efficient road maintenance.

This research requires mixed evaluation techniques which are very frequent in engineering (Paniura et al., 2023). This study addresses a critical issue in the road infrastructure of the Pasco region through a detailed and methodologically robust evaluation of the granular subbase of the Dv. Cerro de Pasco – Dv. Chacayan road. The expected results will significantly contribute to the knowledge of road management and maintenance under adverse conditions, providing a roadmap for future interventions and improvements in the regional road network.

## 2. RESULTS ANALYSIS

### 2.1 Data Collection and Presentation

Direct observations were used to collect data during road platform inspections and the Benkelman Beam test. Data from equipment dials and laboratory tests on platform samples were used to determine improvement heights in critical areas between kilometers 198+000 and 199+000. Dial readings from the Benkelman Beam test were crucial for analyzing the behavior of the granular subbase and establishing necessary improvement heights. Spreadsheet analysis applied criteria such as admissible load, expansive soils, and low bearing capacity (AASHTO 93).

Field data collected during the Benkelman Beam test were processed in spreadsheets with necessary corrections to ensure data accuracy. Detailed analysis identified patterns and trends in material behavior, allowing for an accurate evaluation of granular subbase conditions and their implications for pavement structure. Final results are shown in Table 1.

**Table 1.**

*Deflectometric result from 198+040 to 198+240*

Progressive (km)	Readings (10 <sup>-2</sup> mm)		Uncorrected Deflections (10 <sup>-2</sup> mm)		DEFLECTOMETRIC RESULTS		Bend radius	Meets
					Fixed deflections			
	L <sub>25</sub>	L <sub>max</sub>	D <sub>0</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>0</sub> x 10 <sup>-2</sup> mm	D <sub>25</sub> x 10 <sup>-2</sup> mm		
198+040	8	16	64	32	64	32	98	OK
198+060	6	12	48	24	48	24	130	OK
198+080	6	11	44	20	44	20	130	OK
198+100	13	17	68	16	68	16	60	OK
198+120	9	19	76	40	76	40	87	OK
198+140	10	20	80	40	80	40	78	OK
198+160	9	14	56	20	56	20	87	OK
198+180	11	15	60	16	60	16	71	OK
198+200	8	15	60	28	60	28	98	OK
198+220	7	16	64	36	64	36	112	OK
198+240	8	14	56	24	56	24	98	OK

## 1.2 Laboratory Analysis

After obtaining laboratory results and identifying the stratigraphic profile of the area to be intervened, a detailed summary table of tests conducted on extracted samples was prepared. This table's main objective was to compile and organize all obtained test information, providing a clear and precise view of soil characteristics. These data enabled a well-founded determination of necessary soil improvement heights. The table specified test results and used parameters, crucial for ensuring optimal and efficient soil improvement work.

## 1.3 Deflectometric Results

The analysis of results obtained from the Benkelman Beam test on the granular subbase of the Dv. Cerro de Pasco – Dv. Chacayan road focuses on evaluating measured deflections in various study segments. During the Benkelman Beam test, deflection measurements were conducted in several critical road segments.

For the segment between Km 197+140 and Km 197+700 L/D, the following notable results were obtained: the average deflections were 47.31 mm/100, with a minimum of 24.00 mm/100 and a maximum of 76.00 mm/100. The recorded standard deviation was 12.65 mm/100, and the characteristic deflection was calculated at 63.76 mm/100. The admissible deflection for this segment is 99.00 mm/100 as shown in Table 2.

**Table 2.**

*Deflectometric results from 197+140 to 197+700*

Progressive (km)	Readings (10 <sup>-2</sup> mm)		Uncorrected Deflections (10 <sup>-2</sup> mm)		DEFLECTOMETRIC RESULTS		Bend radius	Meets
	L <sub>25</sub>	L <sub>max</sub>	D <sub>0</sub>	D <sub>25</sub>	Fixed deflections			
					D <sub>0</sub> x 10 <sup>-2</sup> mm	D <sub>25</sub> x 10 <sup>-2</sup> mm		
197+140	10	12	48	8	48	8	78	OK
197+160	8	14	56	24	56	24	98	OK
197+180	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+200	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+220	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+240	5	10	40	20	40	20	156	OK
197+260	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+280	9	20	80	44	80	44	87	OK
197+300	8	14	56	24	56	24	98	OK
197+320	9	18	72	36	72	36	87	OK
197+340	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+360	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+380	6	13	52	28	52	28	130	OK
197+400	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+420	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+440	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+460	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+480	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+500	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+520	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+540	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+560	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+580	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+600	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+620	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+640	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+660	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+680	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+700	7	12	48	20	48	20	112	OK

For the segment between Km 197+140 and Km 197+700 L/I, the following notable results were obtained: the average deflections were 55.54 mm/100, with a minimum of 36.00 mm/100 and a maximum of 88.00 mm/100. The recorded standard deviation was 10.14 mm/100, and the characteristic deflection was calculated at 68.72 mm/100. The admissible deflection for this segment is 99.00 mm/100.

**Table 3.***Deflectometric results from 197+170 to 197+730*

Progressive (km)	Readings (10 <sup>-2</sup> mm)		Uncorrected Deflections (10 <sup>-2</sup> mm)		DEFLECTOMETRIC RESULTS		Bend radius	Meets
					Fixed deflections			
	L <sub>25</sub>	L <sub>max</sub>	D <sub>0</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>0</sub> x 10 <sup>-2</sup> mm	D <sub>25</sub> x 10 <sup>-2</sup> mm		
197+170	7	14	56	28	56	28	112	OK
197+190	7	13	52	24	52	24	112	OK
197+210	6	12	48	24	48	24	130	OK
197+230	6	12	48	24	48	24	130	OK
197+250	16	25	100	36	100	36	49	OK
197+270	10	15	60	20	60	20	78	OK
197+290	6	9	36	12	36	12	130	OK
197+310	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+330	8	12	48	16	48	16	98	OK
197+350	8	12	48	16	48	16	98	OK
197+370	5	9	36	16	36	16	156	OK
197+390	7	10	40	12	40	12	112	OK
197+410	5	10	40	20	40	20	156	OK
197+430	10	13	52	12	52	12	78	OK
197+450	14	26	104	48	104	48	56	OK
197+470	11	22	88	44	88	44	71	OK
197+490	6	15	60	36	60	36	130	OK
197+510	5	9	36	16	36	16	156	OK
197+530	6	12	48	24	48	24	130	OK
197+550	6	12	48	24	48	24	130	OK
197+570	5	10	40	20	40	20	156	OK
197+590	6	12	48	24	48	24	130	OK
197+610	5	10	40	20	40	20	156	OK
197+630	10	19	76	36	76	36	78	OK
197+650	6	12	48	24	48	24	130	OK
197+670	8	15	60	28	60	28	98	OK
197+690	8	12	48	16	48	16	98	OK
197+710	5	11	44	24	44	24	156	OK
197+730	5	10	40	20	40	20	156	OK

In the section between Km 197+720 and Km 198+160 L/D, the following notable results were obtained: the average deflection was 54.26 mm/100, with a minimum of 40.00 mm/100 and a maximum of 80.00 mm/100. The recorded standard deviation was 10.29 mm/100, and the characteristic deflection was calculated at 67.64 mm/100. The admissible deflection for this section is 99.00 mm/100.

**Table 4.***Deflectometric results from 197+720 to 198+160*

Progressive (km)	Readings (10 <sup>-2</sup> mm)		Uncorrected Deflections (10 <sup>-2</sup> mm)		DEFLECTOMETRIC RESULTS		Bend radius	Meets
					Fixed deflections			
	L <sub>25</sub>	L <sub>max</sub>	D <sub>0</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>0</sub> x 10 <sup>-2</sup> mm	D <sub>25</sub> x 10 <sup>-2</sup> mm		
197+720	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+740	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+760	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+780	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+800	7	12	48	20	48	20	112	OK
197+820	10	15	60	20	60	20	78	OK
197+840	6	12	48	24	48	24	130	OK
197+860	7	14	56	28	56	28	112	OK
197+880	7	13	52	24	52	24	112	OK
197+900	6	13	52	28	52	28	130	OK
197+920	9	19	76	40	76	40	87	OK

197+940	10	20	80	40	80	40	78	OK
197+960	7	17	68	40	68	40	112	OK
197+980	6	12	48	24	48	24	130	OK
198+000	6	13	52	28	52	28	130	OK
198+020	6	12	48	24	48	24	130	OK
198+040	6	13	52	28	52	28	130	OK
198+060	5	10	40	20	40	20	156	OK
198+080	7	14	56	28	56	28	112	OK
198+100	7	14	56	28	56	28	112	OK
198+120	6	12	48	24	48	24	130	OK
198+140	8	16	64	32	64	32	98	OK
198+160	11	22	88	44	88	44	71	OK

1.4 Analysis of the data obtained

Results obtained show variability in measured deflections across different road segments. Generally, average deflection values are below admissible deflections, indicating that the granular subbase is in acceptable condition in most evaluated segments. However, some critical areas with higher deflection values were identified, particularly in the critical sector between Km 198+180 and Km 198+580.

The section between Km 197+140 and Km 197+700 in both lanes presents an average deflection of 47.31 mm/100 in the right lane and 55.54 mm/100 in the left lane. These values are significantly below the admissible deflection of 99.00 mm/100, suggesting that the granular subbase in this section has good load-bearing capacity.

Fig. 1. Sector deflections Km. 197+140 – Km. 197+700 L/D

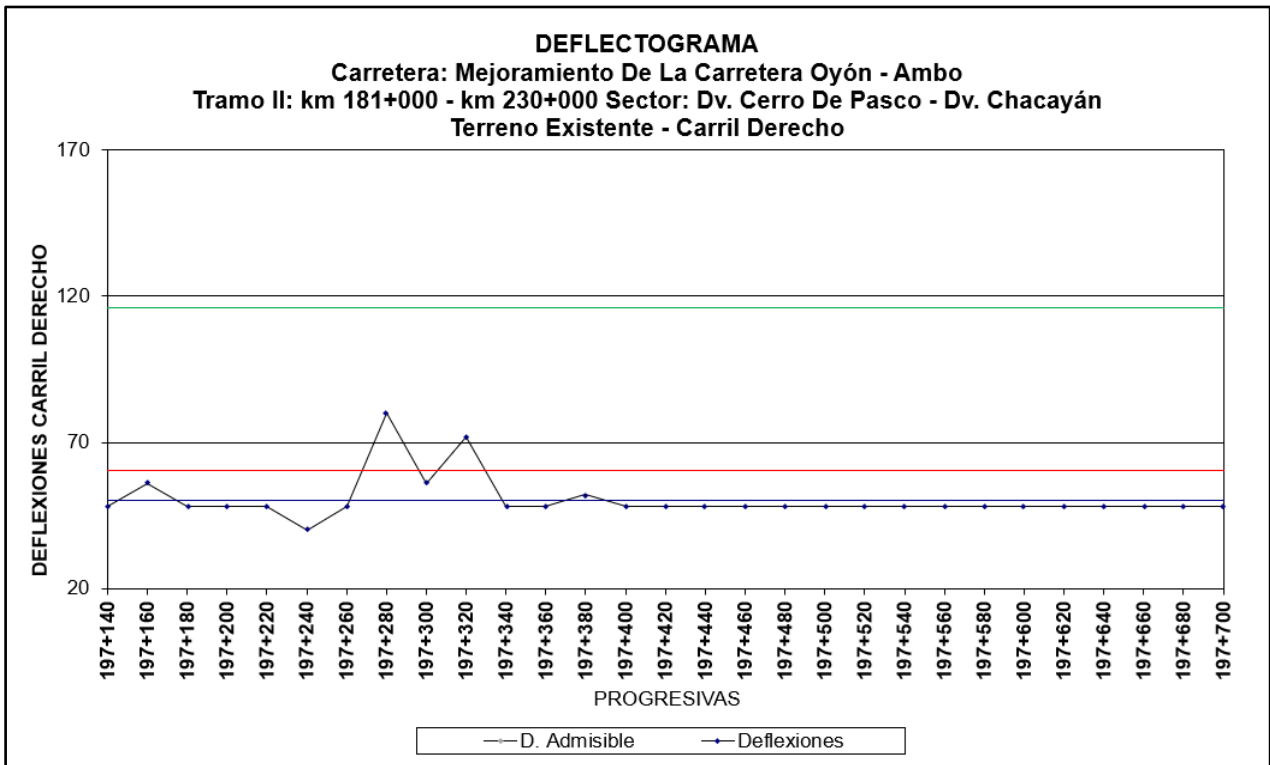
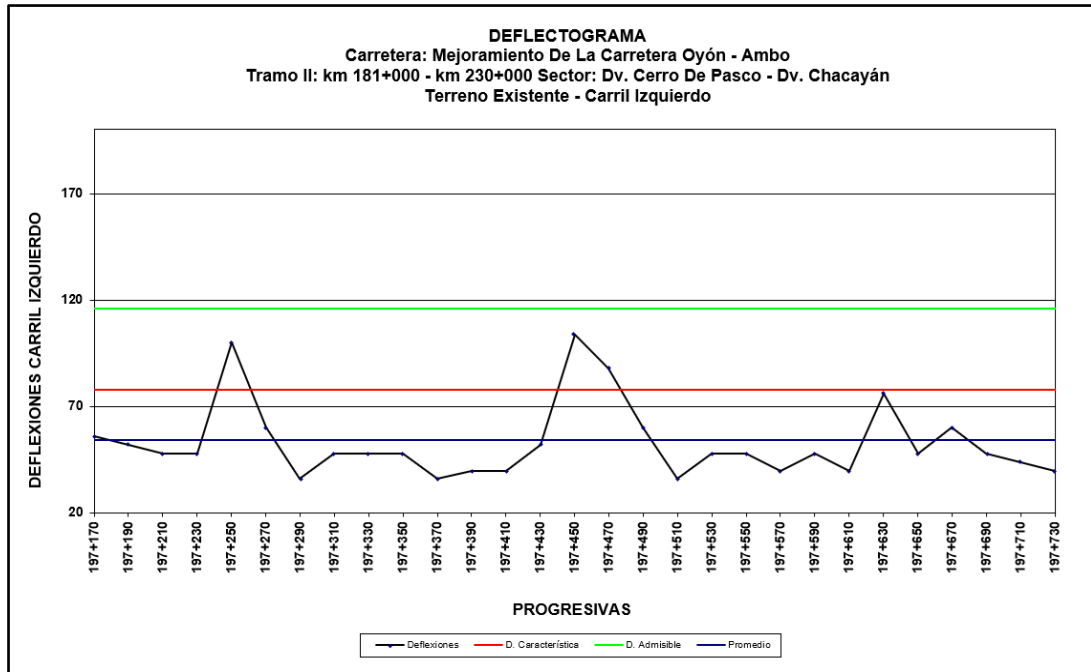
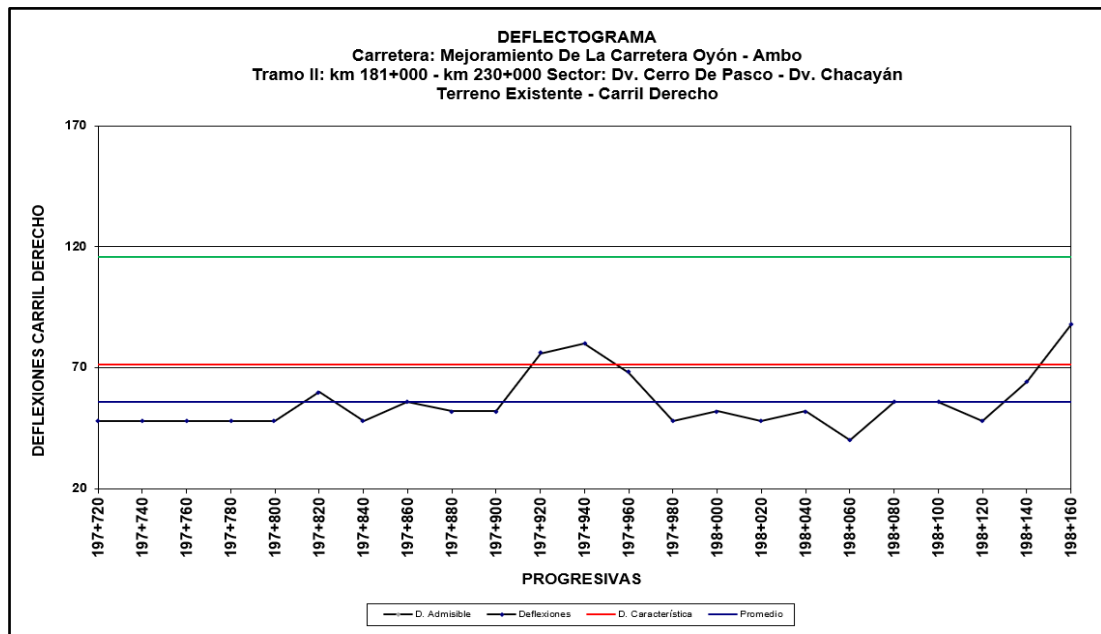


Fig. 2. Sector deflections Km. 197+170 – Km. 197+730 L/I



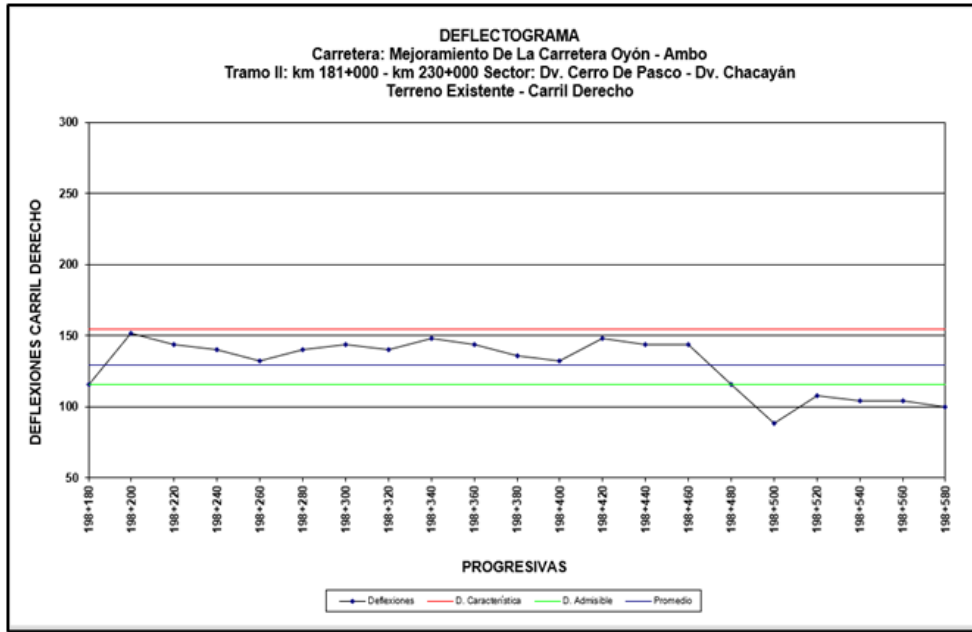
In the section between Km 197+720 and Km 198+160, the deflection values are also below the admissible deflection, with averages of 54.26 mm/100 and 54.00 mm/100 for the right and left lanes, respectively. These results reinforce the conclusion that the granular subbase in these sections is in good condition.

Fig. 3. Sector deflections Km. 197+170 – Km. 197+730 L/I



However, in the critical sector between Km 198+180 and Km 198+580, higher deflections were observed. The right lane presented an average of 62.48 mm/100 and the left lane 66.10 mm/100, with characteristic deflections of 73.32 mm/100 and 80.49 mm/100, respectively. Although these values are still below the admissible deflections of 99.00 mm/100 and 116.00 mm/100, they indicate greater deformation in the granular subbase, suggesting the need for specific interventions to improve its load-bearing capacity.

Fig. 4. Sector deflections Km. 198+180 – Km. 198+580 L/D



The results of the Benkelman Beam test indicate that, in general, the granular subbase of the Dv. Cerro de Pasco – Dv. Chacayán road is in good condition, with some critical sections that could benefit from improvement measures. This analysis provides a solid foundation for planning future interventions and properly managing road conservation in this important transport artery.

1.5. Deflectometric Evaluation in the Granular Subbase

For the deflectometric evaluation, the Benkelman Beam equipment and a beam truck with the following characteristics were used: vehicle classification C2, load weight on the rear axle of 8200 kg, rear axle tires of 10 x 20, and inflation pressure of 552 Kpa (5.6 kgf/cm<sup>2</sup> or 80 PSI). With all equipment calibrated and the beam truck adjusted, the Benkelman Beam test was conducted on the granular subbase layer. Deflection was measured every 20 meters, evaluating even positions on the right lane and odd positions on the left lane. Subsequently, readings from the dials were corrected in an Excel format to determine if soil improvement in the critical sector benefited the structural behavior of the granular subbase.

Tabla 5. Deflectometric result in granular sub-base from 198+180 to 198+580

Progressive (km)	Readings (10 <sup>-2</sup> mm)		Uncorrected Deflections (10 <sup>-2</sup> mm)		DEFLECTOMETRIC RESULTS		Bend radius	Meets
	L <sub>25</sub>	L <sub>max</sub>	D <sub>0</sub>	D <sub>25</sub>	Fixed deflections			
					D <sub>0</sub> x 10 <sup>-2</sup> mm	D <sub>25</sub> x 10 <sup>-2</sup> mm		
198+180	8	15	60	28	60	28	98	OK
198+200	7	16	64	36	64	36	112	OK
198+220	8	14	56	24	56	24	98	OK
198+240	9	15	60	24	60	24	87	OK
198+260	8	14	56	24	56	24	98	OK
198+280	10	19	76	36	76	36	78	OK
198+300	9	15	60	24	60	24	87	OK
198+320	8	16	64	32	64	32	98	OK
198+340	9	17	68	32	68	32	87	OK
198+360	7	15	60	32	60	32	112	OK
198+380	6	13	52	28	52	28	130	OK
198+400	8	15	60	28	60	28	98	OK
198+420	6	11	44	20	44	20	130	OK
198+440	13	17	68	16	68	16	60	OK
198+460	9	19	76	40	76	40	87	OK

198+480	11	15	60	16	60	16	71	OK
198+500	8	16	64	32	64	32	98	OK
198+520	7	14	56	28	56	28	112	OK
198+540	10	20	80	40	80	40	78	OK
198+560	9	15	60	24	60	24	87	OK
198+580	8	17	68	36	68	36	98	OK

After obtaining corrections for even progressions in the right lane and odd progressions in the left lane of the platform, it was observed that the results are optimal and comply with the maximum admissible deflection calculated for the subgrade. Therefore, following the structural evaluation with the Benkelman Beam test, it is concluded that the improvement made in the critical sector is satisfactory and that the granular subbase is adequate.

#### 4. DISCUSSION

This study provides a thorough evaluation of the granular subbase of the Dv. Cerro de Pasco – Dv. Chacayan road using the Benkelman Beam test. The results indicate that, while most sections of the road show deflections within acceptable limits, there are critical areas with higher deflection values, indicating the need for specific interventions to improve the pavement's load-bearing capacity.

A prominent aspect of the study is the identification of critical zones, particularly the segment between Kilometers 198+180 and 198+580. This segment showed higher deflections compared to other road sections, recording averages of 62.48 mm/100 and 66.10 mm/100 for the right and left lanes, respectively. Despite being below the acceptable deflection limits of 99.00 mm/100 and 116.00 mm/100, respectively, these values are significantly higher than the averages observed in other sections, suggesting greater deformation in the granular subbase.

The variability in deflectometric results can be attributed to various factors such as soil geotechnical conditions, the presence of expansive soils, and compaction variations during construction. Laboratory analyses on collected soil samples confirmed the presence of soils with expansive potential in some critical sections. These soils can retain water molecules in their structure, causing volume changes and negatively affecting pavement stability. Liquidity and consistency indices obtained from Atterberg limits tests also indicate the presence of soils that may behave plastically or liquid under certain moisture conditions, contributing to the observed greater deformation.

Comparative studies, such as those by (Guzzarlapudi et al., 2016) have shown that while the Benkelman Beam provides reliable static moduli values, these are generally lower than dynamic moduli values measured by Lightweight Deflectometer (LWD). This suggests that the Benkelman Beam, while effective, might benefit from being complemented by dynamic testing methods for a more comprehensive evaluation. The correlation between static and dynamic moduli values indicates that using both methods could provide a more robust assessment of the subgrade's condition.

Furthermore, the study highlights the importance of using non-destructive testing (NDT) methods like the Benkelman Beam in road infrastructure management. The quick and economical nature of the Benkelman Beam test makes it suitable for routine evaluations, ensuring timely identification and remediation of structural deficiencies. This is particularly important in regions with adverse climatic conditions that can exacerbate pavement deterioration.

The results of this study underline the necessity for targeted interventions in critical sections of the road. Recommendations include additional compaction of the granular subbase, replacement of expansive soils with higher quality materials, and improving drainage to reduce water accumulation. These measures are expected to enhance the pavement's load-bearing capacity, extend the road's service life, and reduce long-term maintenance costs.

#### 5. CONCLUSION

This study on the structural evaluation of the granular subbase of the Dv. Cerro de Pasco – Dv. Chacayan road using the Benkelman Beam test has yielded important conclusions that will significantly contribute to improving the road infrastructure in the region. The results indicate that the granular subbase of the road is generally in good condition, with average deflections below admissible limits in most evaluated sections. However, critical areas with higher deflection values were identified, suggesting the need for specific interventions.

One of the most notable conclusions is the identification of the segment between Km 198+180 and Km 198+580 as a critical sector. This segment showed higher deflections than other road sections, although still within admissible limits. This variability in deflections can be attributed to the presence of expansive soils and particular geotechnical conditions of the soil in these areas. Detailed characterization of soil properties in these critical sections, including liquidity, consistency, and compressibility indices, confirmed the need for specific improvement measures.

The Benkelman Beam test has proven to be an effective and non-destructive tool for structural pavement evaluation. This method allowed for the precise identification of areas requiring immediate attention, providing valuable data for planning maintenance and improvement interventions. The ability to measure the elastic deformation of the pavement under a static load provides a clear view of the granular subbase's structural condition, facilitating informed decision-making.

Recommendations for improvement measures in critical sections include additional compaction of the granular subbase, replacing expansive soils with higher quality materials, and improving drainage to reduce water accumulation. These interventions will not only enhance the pavement's load-bearing capacity but also extend the road's service life and reduce long-term maintenance costs.

Moreover, this study has broader implications for road infrastructure management in other regions with similar geotechnical and climatic conditions. The methodology used can be replicated to evaluate and improve the road network in other contexts, providing a solid foundation for implementing more effective road conservation strategies.

## 6. REFERENCIAS

Adigopula, V. K., Bogireddy, C., & Guzzarlapudi, S. D. (2022). *Comparison of Overlay Design in Between Lightweight Deflectometer and Benkelman Beam Deflection Test Results: A Case Study in India* (pp. 175–182). [https://doi.org/10.1007/978-981-16-9963-4\\_14](https://doi.org/10.1007/978-981-16-9963-4_14)

Ariza Flores, V. A., & Salvador, R. (2024). Adaptive Risk Management in Road Construction: Oyon-Ambo Highway Insights, El Niño 2019 Case Study. *E3S Web of Conferences*, 497, 02020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449702020>

Dwivedi, S., & Suman, S. K. (2023). A comprehensive review on non-destructive testing using LWD and Geogauge for quick QC/QA of pavement layers. *Innovative Infrastructure Solutions*, 8(3), 101. <https://doi.org/10.1007/s41062-023-01061-5>

Guzzarlapudi, S. D., Adigopula, V. K., & Kumar, R. (2016). Comparative studies of lightweight deflectometer and Benkelman beam deflectometer in low volume roads. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 3(5), 438–447. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2016.09.005>

Handayani, F. S., Setyawan, A., Pramesti, F. P., & Widhiarti, N. (2023). Remaining service life prediction using road structure performance data with pavement condition index (PCI) and Benkelman beam (BB) methods. *E3S Web of Conferences*, 429, 05021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342905021>

Jain, R., Alheety, M. A., Rahul, Sharma, J., & Saxena, A. K. (2023). Assessment Performance of Flexible Pavements for Surface Deflection Measure by Benkelman Beam Method. *Macromolecular Symposia*, 407(1). <https://doi.org/10.1002/masy.202200125>

Markó, G., Primusz, P., & Péterfalvi, J. (2013). Measuring the Bearing Capacity of Forest Roads with an Improved Benkelman Beam Apparatus. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 9(1), 97–109. <https://doi.org/10.2478/aslh-2013-0008>

Paniura, C. H. G., Esquivel, M. A. T. Y., Tiza, D. R. H., Yllpa, Y. M., Aguila, O. E. P., Flores, V. A. A., Fontalvo, H. M. R., Luza, T. C., Flores, C. A. B., & Gonzáles, J. L. A. (2023). RESEARCH METHODOLOGIES IN ENGINEERING SCIENCES: A CRITICAL ANALYSIS. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 6(1), 204–222. <https://doi.org/10.31181/oresta/060109>

Prabhu, A., Arpith, S. P., Vahida, K. K., Kumar, D., Bhat, A., & Kumar, A. (2021). *Overlay Design of Flexible Pavements Using Benkelman Beam Deflection Method—A Case Study* (pp. 475–491). [https://doi.org/10.1007/978-981-15-6828-2\\_36](https://doi.org/10.1007/978-981-15-6828-2_36)

Sanjay, R., Tejeshwini, S., Mamatha, K. H., & Dinesh, S. V. (2022). Comparative study on structural evaluation of flexible pavement using BBD and FWD. *Materials Today: Proceedings*, 60, 608–615. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.124>



**TACLLA**  
revistas.unf.edu.pe/taclla  
doi.org/10.57063/rcitac.v1i1.184



**FONDO EDITORIAL UNF**

ARTÍCULO ORIGINAL



## Aplicación de pretratamiento ultrasónico en el secado convectivo del mango ciruelo (*Spondias dulcis*): Efectos sobre la cinética de deshidratación y retención de compuestos bioactivos

Application of ultrasonic pretreatment in convective drying of mango plum (*Spondias dulcis*): Effects on dehydration kinetics and retention of bioactive compounds

Jared Alvarado-Abad <sup>1</sup> ; Luis Alberto Ruiz-Flores <sup>1\*</sup> ; Karina Silvana Gutiérrez-Valverde <sup>1</sup> ; Luis Alfredo Espinoza-Espinoza <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación de Alimentos Funcionales y Bioingeniería, Universidad Nacional de Frontera, Sullana, 20100, Perú

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería, Universidad Nacional de Barranca, Barranca, 15169, Perú.

\*Autor de correspondencia: Luis Alberto Ruiz-Flores - [lruizf@unf.edu.pe](mailto:lruizf@unf.edu.pe)

Received: 20 October 2025. Accepted: 15 December 2025. Published: 17 December 2025.

### Abstract

Healthy eating is essential for students to maintain a balanced lifestyle and prevent diseases. It involves consuming a variety of foods that provide nutrients and proteins, for better academic performance, the present research aimed to carry out effective interventions to promote healthy eating habits in students of the I.E.E José María Arguedas Altamirano of the district of Acraquia, Tayacaja province of the department of Huancavelica.

The present research was descriptive, qualitative, documentary analysis and non-experimental design since we only collected data, likewise, strategic tools were applied such as: SWOT, Smart and an improvement plan, resulting in the students of the José María Arguedas Altamirano de Acraquia. Tayacaja-Huancavelica, have improved their healthy eating habits and ensured better academic performance, optimal health and well-being. Therefore, we conducted the approach of strategies, which helped to improve nutrition and academic performance, to implement our goal we used the SWOT tool, SMART methodology and the Improvement Plan, these made it simpler and more practical compliance in improving school diet.

**Keywords:** Ultrasound, Convective drying, *Spondias dulcis*, Bioactive compounds, Vitamin C, Phenolic, Compounds, Drying kinetics.

### Resumen

El mango ciruelo (*Spondias dulcis*) es una fruta tropical rica en compuestos bioactivos pero subutilizada por su alta perecibilidad. Aunque el secado convectivo permite su conservación, los métodos tradicionales requieren tiempos prolongados que pueden degradar compuestos termosensibles. El pretratamiento ultrasónico surge como tecnología prometedora para acelerar la deshidratación preservando fitoquímicos. El objetivo fue evaluar el efecto del pretratamiento ultrasónico sobre la cinética de secado convectivo y la retención de compuestos bioactivos en harina de *Spondias dulcis*. Se procesaron frutos mediante pretratamiento ultrasónico (37 kHz, 20 y 40 minutos) seguido de secado convectivo a 50, 65 y 80°C. Se evaluó la cinética de deshidratación, vitamina C por espectrofotometría con 2,6-dicloroindofenol, y compuestos fenólicos totales por Folin-Ciocalteu. Se empleó diseño factorial 3x2 con ANOVA ( $\alpha=0.05$ ). El pretratamiento ultrasónico redujo significativamente el tiempo de secado hasta 96% (107 vs 1253 minutos a 80°C). Sin embargo, causó pérdidas sustanciales de compuestos bioactivos, especialmente con exposiciones de 40 minutos. Las menores retenciones fueron 25.30-32.34 mg/100g para vitamina C y 142.44-154.67 mg GAE/100g para fenoles totales. El tratamiento óptimo (20 minutos ultrasonido, 65°C secado) mantuvo 90.05 mg/100g de vitamina C y 297.63 mg GAE/100g de fenoles totales. El pretratamiento ultrasónico acelera efectivamente el secado con ahorro energético considerable, pero compromete la retención de bioactivos. Investigaciones futuras deberían explorar frecuencias alternativas, tiempos de exposición más cortos y caracterización microestructural para optimizar el equilibrio entre eficiencia energética y preservación nutricional.

**Keywords:** ultrasonido, secado convectivo, *Spondias dulcis*, compuestos bioactivos, vitamina C, compuestos fenólicos, cinética de secado.

Cite this article:

Alvarado, C.; Jared et al.. (2025). Aplicación de pretratamiento ultrasónico en el secado convectivo del mango ciruelo (*Spondias dulcis*): Efectos sobre la cinética de deshidratación y retención de compuestos bioactivos. *Revista Científica de Ingeniería de la Universidad Nacional de Frontera: Taclla*, 1(1), 16-26. doi.org/10.57063/rcitac.v1i1.184

## 1. INTRODUCCIÓN

Las frutas tropicales representan una fuente importante de compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes y beneficios para la salud humana, sin embargo, muchas especies permanecen subutilizadas debido a su corta vida útil y estacionalidad (Kalt, 2005). El mango ciruelo (*Spondias dulcis* Parkinson), también conocido como ambarella o manzana dorada, es una fruta tropical climática nativa de Polinesia que se caracteriza por su alto contenido de humedad (87.2-90.0%) y rápida perecibilidad postcosecha (Favier et al., 1993; Graham et al., 2004).

Esta especie presenta un considerable valor nutricional, con contenidos significativos de vitamina C (5.86-35.0 mg/100 g) y compuestos fenólicos (338 mg/100 g), que le confieren propiedades antioxidantes relevantes para la prevención de enfermedades degenerativas (Ishak et al., 2005). A pesar de su potencial nutricional y funcional, *S. dulcis* ha recibido limitada atención científica y comercial, siendo considerada una fruta infrautilizada que merece mayor investigación para su aprovechamiento industrial (Morton, 1987; Ee et al., 2019).

El procesamiento mediante deshidratación representa una estrategia viable para prolongar la vida útil de frutas perecederas y concentrar sus compuestos bioactivos (Zhang et al., 2017). El secado por convección con aire caliente es una de las técnicas más empleadas para la conservación de alimentos debido a su efectividad y economía. Sin embargo, los métodos convencionales de secado frecuentemente requieren tiempos prolongados y temperaturas elevadas, lo que puede resultar en la degradación de compuestos termosensibles como la vitamina C y polifenoles, afectando la calidad nutricional y funcional del producto final (Cohen & Yang, 1995; Miranda et al., 2009).

En este contexto, el desarrollo de tecnologías emergentes que mejoren la eficiencia del secado mientras preserve la calidad de los alimentos ha cobrado relevancia. La aplicación de ultrasonido como pretratamiento antes del secado convencional ha demostrado ser una tecnología prometedora que puede acelerar la transferencia de masa, reducir el tiempo de procesamiento y mejorar la retención de compuestos fitoquímicos (Mothibe et al., 2011; Baeghali et al., 2019). El mecanismo de acción del ultrasonido se basa en el fenómeno de cavitación acústica, que genera compresiones y expansiones alternadas en el tejido vegetal, creando canales microscópicos que facilitan la eliminación de humedad intracelular mediante el denominado "efecto esponja" (Soria & Villamiel, 2010).

Investigaciones previas han reportado efectos positivos del pretratamiento ultrasónico en la cinética de secado de diversas matrices alimentarias. Nowacka et al. (2012) demostraron que el tratamiento con ultrasonido a 35 kHz durante 30 minutos redujo el tiempo de secado de manzana en 31-40% comparado con muestras no tratadas. Similarmente, İzli y Yıldız (2021) observaron que el pretratamiento ultrasónico mejoró la retención de vitamina C en membrillo secado por convección, mientras que Önal et al. (2021) reportaron mayor conservación de compuestos fenólicos en pera tratada con ultrasonido.

No obstante, los efectos del ultrasonido sobre la retención de compuestos bioactivos pueden variar según las condiciones operacionales empleadas. Algunos estudios sugieren que tiempos prolongados de sonicación pueden ocasionar pérdidas de fitoquímicos debido a la ruptura celular excesiva (Stojanovic & Silva, 2007). Por tanto, la optimización de parámetros como frecuencia, tiempo de exposición y temperatura de secado resulta fundamental para maximizar los beneficios del proceso.

Hasta la fecha, no existen estudios que evalúen sistemáticamente el efecto del pretratamiento ultrasónico sobre la cinética de secado y retención de compuestos bioactivos en *Spondias dulcis*. Esta investigación representa el primer acercamiento científico integral para caracterizar el comportamiento de esta especie durante el procesamiento por deshidratación asistida por ultrasonido.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la influencia del pretratamiento ultrasónico (37 kHz, 20 y 40 minutos de exposición) sobre la cinética de secado convectivo a diferentes temperaturas (50, 65 y 80°C) y su efecto en la retención de ácido ascórbico y compuestos fenólicos totales en harina de *Spondias dulcis*. Los resultados de esta investigación contribuirán al desarrollo de tecnologías de procesamiento que permitan la valorización de esta fruta subutilizada, optimizando tanto la eficiencia energética del proceso como la preservación de su valor nutricional y funcional.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Materia prima y reactivos:

Se utilizaron 10 kg de frutos de mango ciruelo (*Spondias dulcis* Parkinson) en estado de madurez fisiológica verde, recolectados en el distrito de Marcavelica, provincia de Sullana, departamento de Piura, Perú (5°10'S, 80°40'O). Los frutos fueron seleccionados manualmente descartando aquellos con daños físicos o fitopatológicos visibles. Las características fisicoquímicas iniciales de la materia prima fueron: humedad 87.26%, pH 2.82, sólidos solubles 8.5°Brix y acidez titulable 0.038%.

Los reactivos empleados para los análisis fitoquímicos incluyeron: 2,6-dicloroindofenol sal sódica, ácido oxálico al 0.4%, patrón de ácido ascórbico (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>6</sub>), reactivo de Folin-Ciocalteu, metanol (CH<sub>3</sub>OH) y carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), todos de grado analítico.

### 2.2. Equipos

El procesamiento y análisis se realizó empleando: equipo de ultrasonido Elmasonic P 30 H (capacidad 3 L),

deshidratador convectivo Maqorito ST-01 (10 bandejas), espectrofotómetro UV-visible Thermoscientific Genesys 150, molinillo pulverizador RAF multifuncional (300 W), centrífuga Hettich Rotofix 32A, balanza analítica A&D HR-250AZ (precisión  $\pm 0.1$  mg), balanza de humedad A&D MX-50, anemómetro digital para medición de velocidad de aire, y agitador vórtex.

### 2.3. Preparación de muestras

Los frutos fueron lavados y desinfectados por inmersión en solución de hipoclorito de sodio (50 ppm, 20 min), posteriormente pelados manualmente y cortados en rodajas de 2 mm de espesor utilizando un cortador calibrado. Las semillas fueron removidas completamente. Las muestras preparadas se almacenaron bajo refrigeración (13°C) hasta su procesamiento.

### 2.4. Pretratamiento ultrasónico

Las rodajas de mango ciruelo fueron sometidas a pretratamiento ultrasónico utilizando un equipo Elmasonic P 30 H operando a 37 kHz de frecuencia. Se empleó una relación agua destilada:fruta de 1:6 (p/v), sumergiendo 200 g de material vegetal en 1 L de agua destilada. Los tiempos de exposición evaluados fueron 20 y 40 minutos. Posterior al tratamiento, las muestras fueron escurridas y secadas superficialmente con papel absorbente para remover el exceso de agua. Se incluyeron muestras control sin pretratamiento ultrasónico.

### 2.5. Proceso de secado

El secado se realizó en un deshidratador convectivo a temperaturas de 50, 65 y 80°C, con velocidad de aire constante de 2.4 m/s y humedad relativa del 37%. Las muestras fueron distribuidas uniformemente en bandejas de acero inoxidable y el proceso se monitoreó mediante pesaje cada 20 minutos hasta alcanzar una humedad final inferior al 10% (base seca), según especificaciones técnicas del Programa Qali Warma (2022).

### 2.6 Obtención de harina

Las muestras secas fueron molidas en un pulverizador RAF (300 W) mediante intervalos de 20 segundos hasta completar 5 ciclos (tiempo total: 1.4 min). Posteriormente se tamizaron utilizando malla N° 70 (210  $\mu$ m) para obtener un polvo homogéneo. La harina resultante fue envasada en bolsas de polietileno herméticas y almacenada en condiciones ambientales controladas hasta su análisis.

### 2.7 Determinación de compuestos fenólicos totales

El contenido de fenoles totales se determinó mediante el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu según Ruiz (2022) con modificaciones. Para la extracción, se pesó 1 g de harina y se añadieron 4 mL de metanol más 1 mL de agua destilada. La mezcla se homogeneizó en vórtex (2500 rpm, 20 min) y se centrifugó (4500 rpm, 20 min). Se realizó una segunda extracción del precipitado y ambos sobrenadantes se combinaron.

Para la cuantificación, se mezclaron 300  $\mu$ L de extracto metanólico con 1.364 mL de agua destilada y 136  $\mu$ L de reactivo Folin-Ciocalteu. Después de 8 minutos en reposo, se añadieron 1.2 mL de carbonato de sodio al 7.5% y la mezcla se incubó 2 horas en oscuridad a temperatura ambiente. La absorbancia se midió a 760 nm utilizando espectrofotómetro UV-visible. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (GAE)/100 g de muestra, empleando una curva de calibración con ácido gálico como estándar.

### 2.8. Determinación de vitamina C

El contenido de ácido ascórbico se determinó según el método de Ruiz (2022) modificado. Se empleó ácido oxálico al 0.4% como solvente de extracción en relación 1:10 (p/v). Un gramo de harina se homogeneizó con 5 mL de ácido oxálico, se agitó en vórtex (2500 rpm, 5 min) y se centrifugó (4000 rpm, 20 min). Se realizó doble extracción y los sobrenadantes se combinaron.

La cuantificación se realizó por espectrofotometría a 520 nm utilizando 2,6- dicloroindofenol al 0.012% como reactivo colorimétrico. Se prepararon dos lecturas: L1 con 200  $\mu$ L de ácido oxálico y 1800  $\mu$ L de dicloroindofenol, y L2 con 200  $\mu$ L de extracto muestra y 1800  $\mu$ L de dicloroindofenol. El contenido de vitamina C se calculó mediante la diferencia (L1-L2) utilizando una curva de calibración con ácido ascórbico estándar. Los resultados se expresaron como mg de ácido ascórbico/100 g de muestra.

### 2.9. Diseño experimental y análisis estadístico

Se empleó un diseño factorial 3x2 evaluando temperatura de secado (50, 65, 80°C) y tiempo de pretratamiento ultrasónico (20, 40 min), más controles sin tratamiento ultrasónico. Todos los tratamientos se realizaron por triplicado (n=3).

Los datos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias significativas entre tratamientos ( $\alpha=0.05$ ). La normalidad de los datos se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Para las comparaciones múltiples se aplicó la prueba de Tukey. El análisis estadístico se realizó utilizando el software Minitab versión 19. El modelo estadístico empleado fue:

$$y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:  $y_{ijk}$  = variable respuesta,  $\mu$  = media general,  $A_i$  = efecto de temperatura,  $B_j$  = efecto de tiempo de ultrasonido,  $(AB)_{ij}$  = efecto de interacción,  $\epsilon_{ijk}$  = error experimental.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Características fitoquímicas de la materia prima

El análisis de la pulpa fresca de *Spondias dulcis* en estado fisiológicamente verde reveló un contenido de compuestos fenólicos totales de  $67.9 \pm 0.61$  mg GAE/100 g y vitamina C de  $15.9 \pm 0.62$  mg de ácido ascórbico/100 g (Tabla 1). Estos valores se encuentran dentro del rango reportado en la literatura para esta especie, confirmando su potencial como fuente de compuestos bioactivos.

Tabla 1

Contenido fitoquímico (mg/100 g de pulpa)

Análisis	Unidad	Cantidad
Fenoles totales	mg ác. gálico/100 g	$67.9 \pm 0.61$
Vitamina C	mg ác. ascórbico/100 g	$15.9 \pm 0.62$

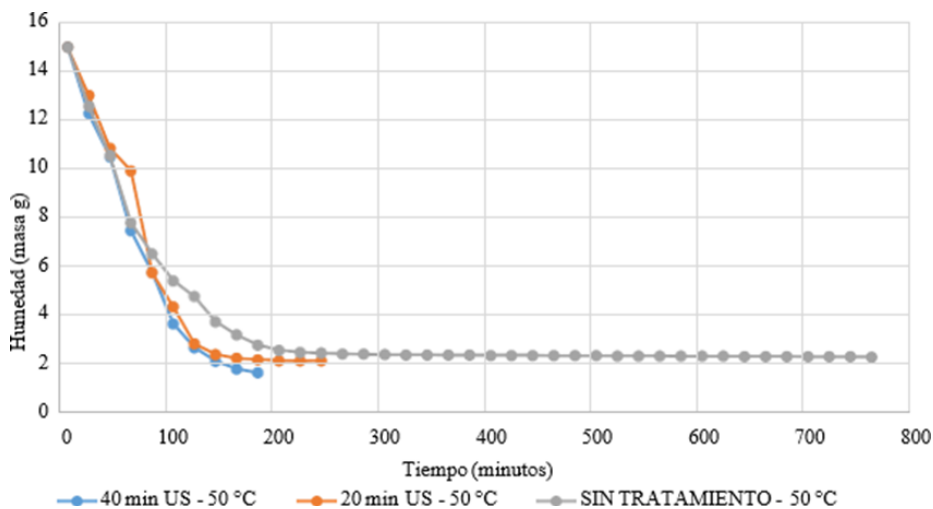
**Nota.** Valores medios  $\pm$  desviación estándar del contenido de compuestos fenólicos y vitamina C en la muestra fresca de mango ciruelo

#### 3.2 Efecto del pretratamiento ultrasónico sobre la cinética de secado

El pretratamiento ultrasónico demostró un efecto significativo en la aceleración del proceso de deshidratación. Las curvas de secado presentadas en las Figuras 1, 2 y 3 muestran que el tiempo de exposición al ultrasonido influyó positivamente en la velocidad de eliminación de humedad. A  $50^\circ\text{C}$ , el tratamiento con ultrasonido durante 40 minutos redujo el tiempo de secado a 187 minutos, representando una reducción del 96% comparado con las muestras control (4233 minutos). Similarmente, el tratamiento de 20 minutos logró un tiempo de secado de 253 minutos, equivalente a una reducción del 94% (Figura 1).

Figura 1

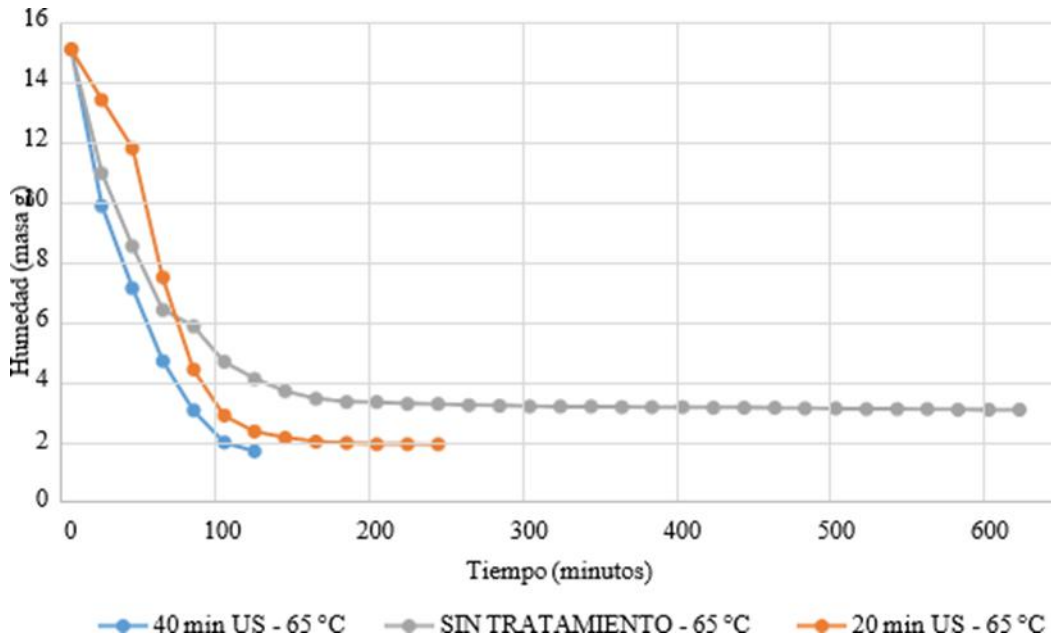
Cinética de secado de rodajas de *Spondias dulcis* a  $50^\circ\text{C}$  con y sin pretratamiento ultrasónico



**Nota.** Curvas de pérdida de humedad en función del tiempo para muestras tratadas con ultrasonido (20 y 40 min) y control sin tratamiento a temperatura de secado de  $50^\circ\text{C}$ .

Figura 2

Cinética de secado de rodajas de *Spondias dulcis* a 65°C con y sin pretratamiento ultrasónico



**Nota.** Evolución temporal de la pérdida de humedad en muestras pretratadas ultrasónicamente (20 y 40 min) comparado con control a 65°C de secado.

A temperaturas de secado más elevadas, la eficiencia del pretratamiento ultrasónico se incrementó notablemente. A 65°C, los tratamientos de 40 y 20 minutos de ultrasonido resultaron en tiempos de secado de 133 y 247 minutos respectivamente, comparado con 1287 minutos para las muestras control (Figura 2). El mayor efecto sinérgico se observó a 80°C, donde el pretratamiento de 40 minutos redujo el tiempo de secado a 107 minutos (reducción del 93%), mientras que el tratamiento de 20 minutos alcanzó 167 minutos (reducción del 88%) frente a 1253 minutos del control (Figura 3).

El análisis estadístico reveló diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre todos los tratamientos evaluados (Tabla 2). El diagrama de Pareto (Figura 4) identificó al tiempo de exposición al ultrasonido como el factor de mayor efecto estandarizado sobre la reducción del tiempo de secado, seguido por la temperatura de secado y su interacción.

Tabla 2

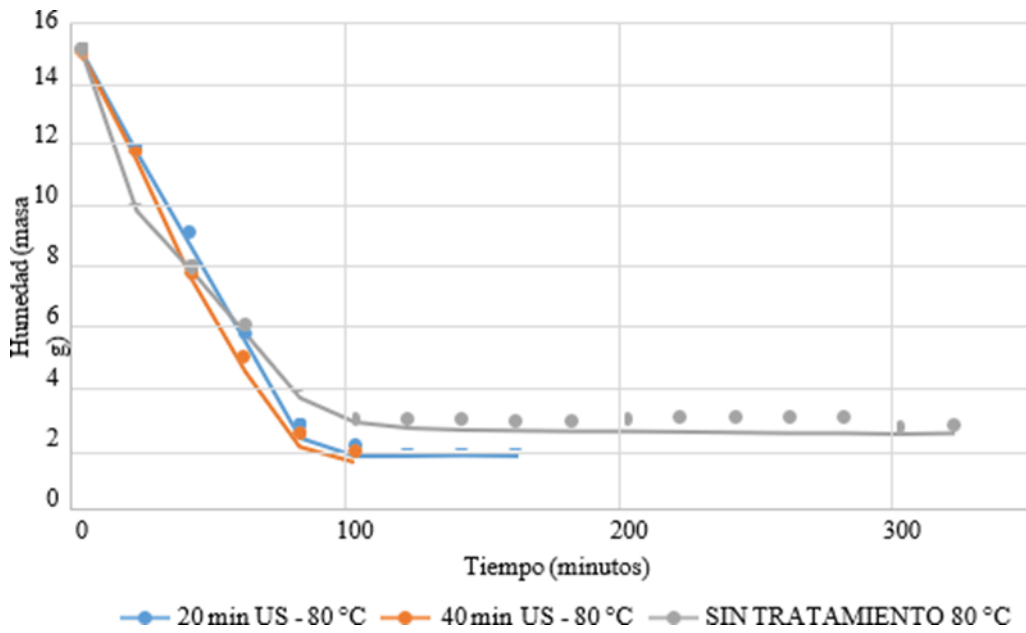
Cantidad de tiempo de secado sobre los tratamientos

Tratamiento	Temperatura de secado °C	Tiempo de ultrasonido	Tiempo de secado
1	50	20	253 ± 12d
2	50	40	187 ± 12e
3	65	20	247 ± 12d
4	65	40	133 ± 12g
5	80	20	167 ± 12f
6	80	40	107 ± 12h
Sin tratamiento por ultrasonido			
C1	50	-	4233 ± 12a
C2	65	-	1287 ± 12b
C3	80	-	1253.00 ± 23c

**Nota:** Medias ± desviación estándar para la prueba de Tukey. Las letras iguales indican grupos homogéneos. La exposición al ultrasonido durante 40 minutos mostró la menor cantidad de compuestos fenólicos totales.

Figura 14

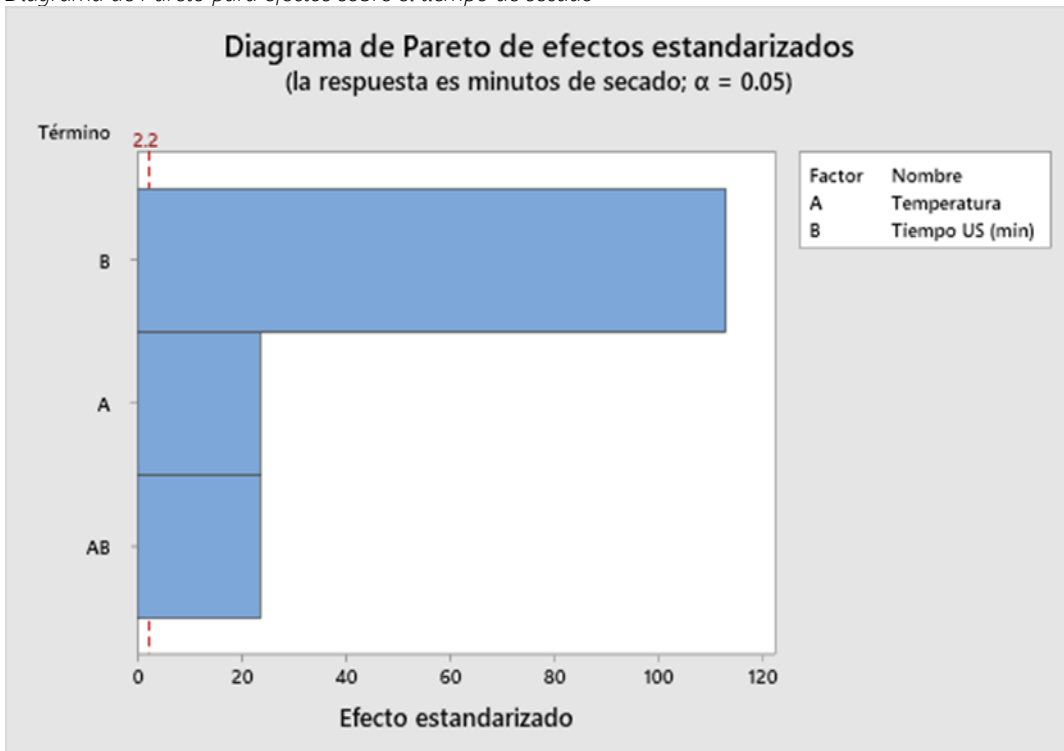
Cinética de secado de rodajas de *Spondias dulcis* a 80°C con y sin pretratamiento ultrasónico



Nota. Comportamiento de deshidratación de muestras con pretratamiento ultrasónico versus control a temperatura de secado de 80°C.

Figura 15

Diagrama de Pareto para efectos sobre el tiempo de secado



Nota. En la figura se muestra el diagrama de Pareto de los efectos estandarizados correspondientes a la temperatura de secado (A), el tiempo de exposición al ultrasonido (B) y su interacción (A\*B). Los resultados evidencian que el tiempo de exposición al ultrasonido constituye el factor con mayor influencia significativa sobre la duración del secado.

### 3.3 Retención de vitamina C

La aplicación del pretratamiento ultrasónico tuvo un efecto adverso sobre la retención de ácido ascórbico en todos los tratamientos evaluados. Los resultados presentados en la Tabla 3 muestran que las muestras sometidas a 40 minutos de ultrasonido presentaron las menores retenciones de vitamina C: 25.30 ± 3.79 mg/100 g a 50°C, 27.54 ± 3.68 mg/100 g a 65°C,

y  $32.34 \pm 5.87$  mg/100 g a 80°C.

En contraste, los tratamientos con 20 minutos de exposición mostraron retenciones significativamente mayores ( $p < 0.05$ ), siendo el tratamiento a 65°C el más efectivo ( $90.05 \pm 7.10$  mg/100 g), seguido por 80°C ( $87.70 \pm 7.40$  mg/100 g) y 50°C ( $41.94 \pm 3.71$  mg/100 g). Las muestras control sin pretratamiento ultrasónico exhibieron las mayores retenciones de vitamina C, particularmente a 50°C ( $164.02 \pm 6.11$  mg/100 g) y 65°C ( $158.0 \pm 26.3$  mg/100 g).

**Tabla 3**

Contenido de vitamina C (mg ác. Ascórbico/100 g de muestra) en harina de mango ciruelo

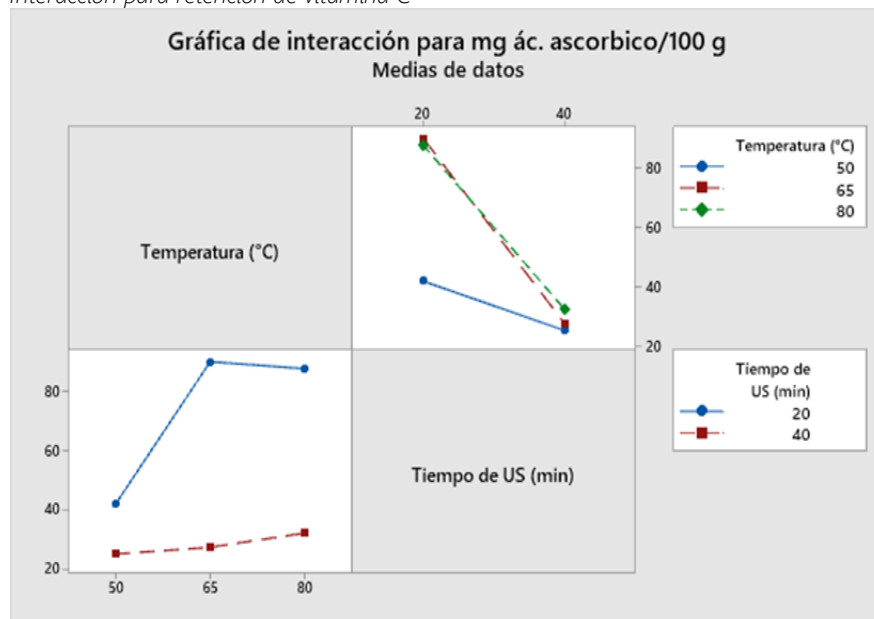
Tratamiento	Variable A:	Variable B	Contenido de Vitamina C
	Temperatura °C	Tiempo US (min)	
1	50	20	$41.94 \pm 3.71$ cd
2	50	40	$25.30 \pm 3.79$ d
3	65	20	$90.05 \pm 7.10$ b
4	65	40	$27.54 \pm 3.68$ cd
5	80	20	$87.70 \pm 7.40$ b
6	80	40	$32.34 \pm 5.87$ cd
1	50	20	$41.94 \pm 3.71$ cd
2	50	40	$25.30 \pm 3.79$ d
3	65	20	$90.05 \pm 7.10$ b
Sin tratamiento por ultrasonido			
C1	50	-	$164.02 \pm 6.11$ a
C2	65	-	$158.0 \pm 26.3$ a
C3	80	-	$55.99 \pm 3.10$ c

**Nota:** Medias  $\pm$  desviación estándar de la prueba Tukey, donde las mismas letras significan grupos homogéneos. El tratamiento a 50°C sin ultrasonido resultó en la mayor retención de vitamina C.

La gráfica de interacción (Figura 5) ilustra claramente el efecto negativo del incremento en el tiempo de exposición al ultrasonido sobre la retención de vitamina C. El análisis de efectos estandarizados (Figura 6) confirmó que el tiempo de exposición al ultrasonido fue el factor de mayor impacto sobre la degradación del ácido ascórbico.

**Figura 5**

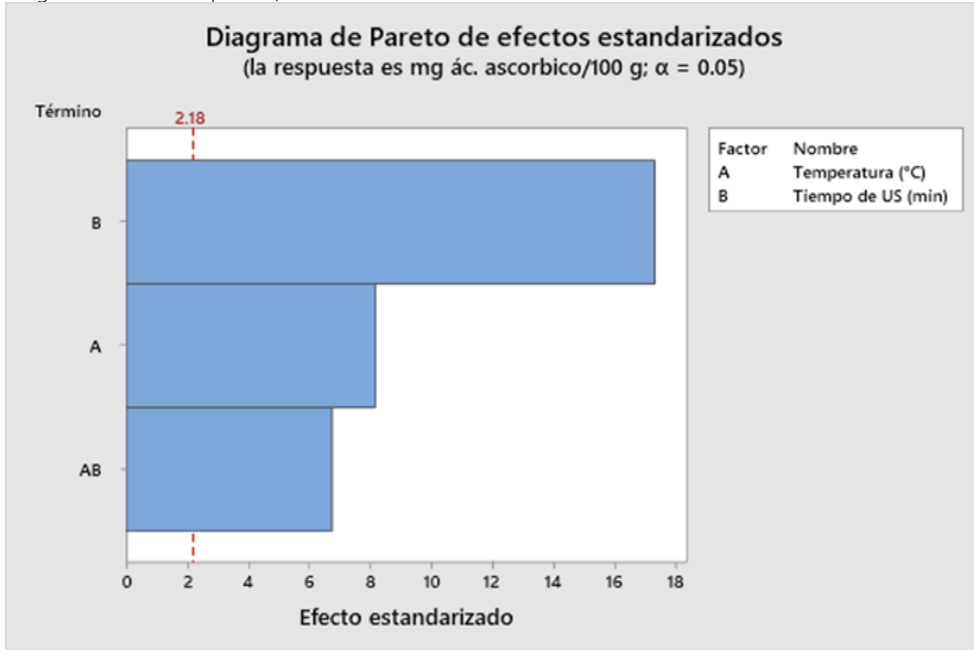
Interacción para retención de vitamina C



**Nota.** La obtención de harina de mango ciruelo con una mayor retención de vitamina C es posible al aplicar un secado a 65 °C combinado con 20 minutos de tratamiento con ultrasonido a 37 kHz, en comparación con 40 minutos de pretratamiento con ultrasonido, donde la retención resulta considerablemente menor.

Figura 6

Diagrama de Pareto para efectos sobre vitamina C



**Nota.** La figura presenta el diagrama de Pareto de los efectos estandarizados correspondientes a la temperatura de secado (A), el tiempo de exposición al ultrasonido (B) y su interacción (A\*B). Se observa que la variable con mayor influencia sobre el contenido de AA es el tiempo de exposición al ultrasonido, seguido por la temperatura de secado.

### 3.4 Retención de compuestos fenólicos totales

Los compuestos fenólicos totales mostraron un patrón de degradación similar al observado para la vitamina C. Los tratamientos con 40 minutos de ultrasonido resultaron en las menores retenciones: 154.67 ± 14.44 mg GAE/100 g a 50°C, 142.44 ± 10.72 mg GAE/100 g a 65°C, y 146.15 ± 26.4 mg GAE/100 g a 80°C (Tabla 4).

Tabla 4

Contenido fenólico total (mg GAE/100 g de muestra) en harina de mango ciruelo

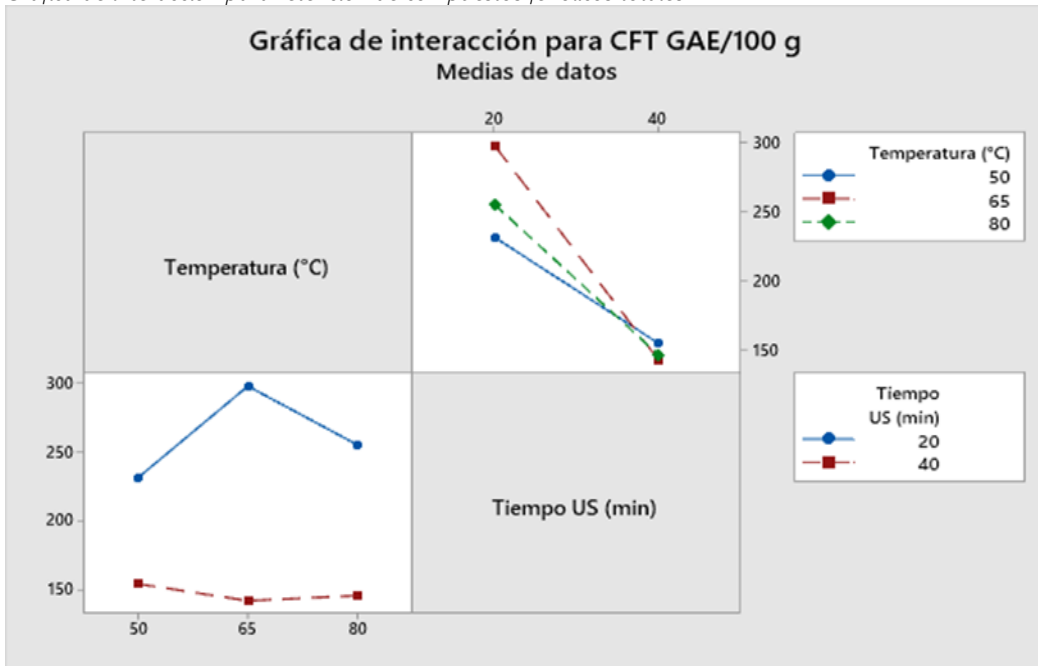
Tratamiento	Variable A: Temperatura °C	Variable B: Tiempo US (min)	Contenido fenólico total
1	50	20	231.33 ± 0 <sup>d</sup>
2	50	40	154.67 ± 14.44 <sup>e</sup>
3	65	20	297.63 ± 16.08 <sup>c</sup>
4	65	40	142.44 ± 10.72 <sup>e</sup>
5	80	20	255.04 ± 11.18 <sup>cd</sup>
6	80	40	146.15 ± 26.4 <sup>e</sup>
<b>Sin tratamiento por ultrasonido</b>			
C1	50	-	385.78 ± 12.05 <sup>b</sup>
C2	65	-	409.11 ± 12.51 <sup>b</sup>
C3	80	-	606.6 ± 43.11 <sup>a</sup>

**Nota:** Medias ± desviación estándar para la prueba de Tukey. Las letras iguales indican grupos homogéneos. La exposición al ultrasonido durante 40 minutos mostró la menor cantidad de compuestos fenólicos totales.

Los tratamientos con 20 minutos de exposición demostraron retenciones superiores, destacando el tratamiento a 65°C con 297.63 ± 16.08 mg GAE/100 g, seguido por 80°C (255.04 ± 11.18 mg GAE/100 g) y 50°C (231.33 ± 0 mg GAE/100 g). Las muestras control sin pretratamiento mantuvieron las concentraciones más altas de compuestos fenólicos, especialmente a 80°C (606.6 ± 43.11 mg GAE/100 g), seguido por 65°C (409.11 ± 12.51 mg GAE/100 g) y 50°C (385.78 ± 12.05 mg GAE/100 g).

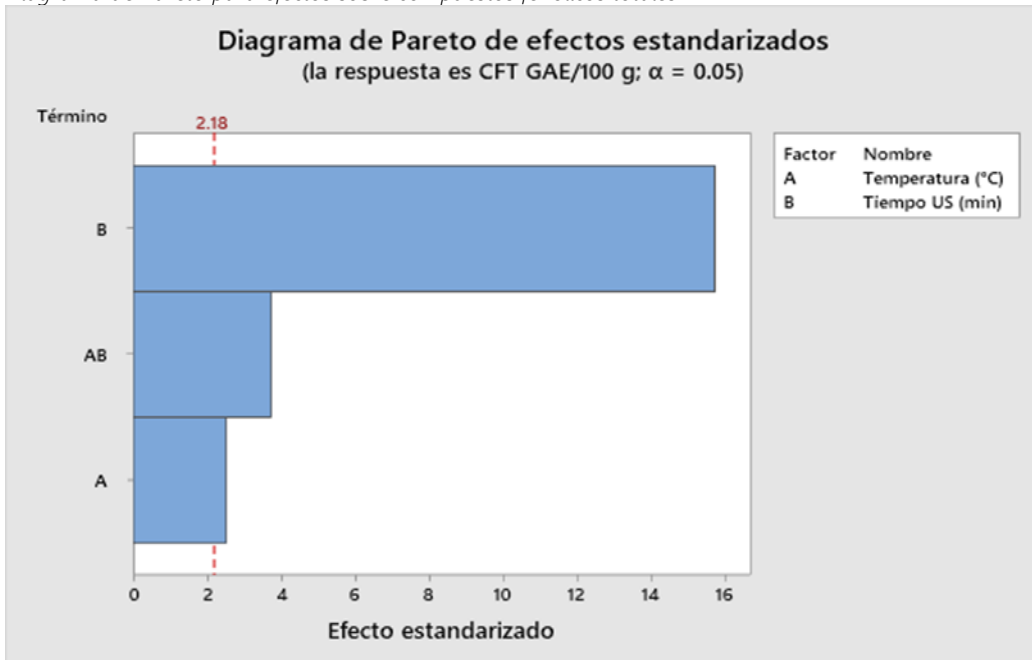
El gráfico de interacción (Figura 7) demuestra que la combinación de 65°C con 20 minutos de ultrasonido maximizó la retención de fenoles totales entre los tratamientos con pretratamiento. El diagrama de Pareto (Figura 8) confirmó que el tiempo de exposición al ultrasonido fue el factor predominante en la degradación de compuestos fenólicos.

**Figura 7**  
Gráfica de interacción para retención de compuestos fenólicos totales



**Nota.** El secado a 65 °C combinado con 20 minutos de tratamiento con ultrasonido permite obtener harina de mango ciruelo con una mayor tasa de retención de compuestos fenólicos totales (CFT), en comparación con una exposición prolongada de 40 minutos, donde la retención disminuye.

**Figura 8**  
Diagrama de Pareto para efectos sobre compuestos fenólicos totales



**Nota.** La figura presenta el diagrama de Pareto estandarizado correspondiente a la temperatura de secado (A), el tiempo de exposición al ultrasonido (B) y su interacción (A\*B). Los resultados indican que el tiempo de exposición es el factor con mayor influencia sobre el contenido fenólico total.

Los resultados del presente estudio demuestran que el pretratamiento ultrasónico acelera significativamente la cinética de secado de *Spondias dulcis*, aunque con efectos adversos sobre la retención de compuestos bioactivos. Estos hallazgos contribuyen al conocimiento científico sobre el procesamiento de frutas tropicales subutilizadas y proporcionan información valiosa para la optimización de procesos de deshidratación.

#### 4.1 Efectos del ultrasonido sobre la cinética de secado

La reducción del tiempo de secado observada en las muestras pretratadas con ultrasonido (hasta 96% a 50°C) confirma la efectividad de esta tecnología emergente para acelerar la transferencia de masa durante la deshidratación. Estos resultados concuerdan con investigaciones previas en otras matrices alimentarias. Nowacka et al. (2012) reportaron reducciones del 31-40% en el tiempo de secado de manzana tratada con ultrasonido a 35 kHz durante 30 minutos, mientras que Corrêa et al. (2016) observaron ahorros del 42- 55% en piña procesada con ultrasonido a 40 kHz.

El mecanismo subyacente a esta aceleración se atribuye al fenómeno de cavitación acústica, que genera compresiones y expansiones alternadas en el tejido vegetal, creando canales microscópicos que facilitan la eliminación de humedad intracelular mediante el "efecto esponja" (De la Fuente-Blanco et al., 2006; Soria & Villamiel, 2010). La mayor efectividad observada con tiempos de exposición prolongados (40 vs. 20 minutos) sugiere que la extensión del daño celular es proporcional a la duración del tratamiento ultrasónico.

La interacción sinérgica entre ultrasonido y temperatura evidenciada en este estudio coincide con los hallazgos de Bozkır y Rayman (2021), quienes reportaron mayor efectividad del pretratamiento ultrasónico a temperaturas elevadas en kiwi. Este efecto puede explicarse por la combinación de la disrupción mecánica inducida por el ultrasonido y el incremento en la movilidad molecular promovido por la temperatura, resultando en una transferencia de masa más eficiente.

#### 4.2. Degradación de vitamina C

La pérdida significativa de ácido ascórbico observada en las muestras tratadas con ultrasonido, particularmente con exposiciones prolongadas (40 minutos), representa un hallazgo crítico para la optimización del proceso. Estos resultados contrastan parcialmente con estudios previos que reportaron efectos preservativos del ultrasonido. İzli y Yildiz (2021) observaron mayor retención de vitamina C en membrillo pretratado con ultrasonido, mientras que Bozkır y Rayman (2021) reportaron retenciones superiores en kiwi tratado ultrasónicamente.

Las discrepancias observadas pueden atribuirse a diferencias en las características de la matriz alimentaria, parámetros operacionales del ultrasonido y condiciones de secado. La estructura celular relativamente frágil de *S. dulcis* podría ser más susceptible al daño oxidativo inducido por cavitación prolongada. La generación de radicales libres durante la cavitación ultrasónica puede promover la oxidación del ácido ascórbico, especialmente cuando se combina con exposición térmica durante el secado posterior (Stojanovic & Silva, 2007).

La mayor retención observada en muestras control sin pretratamiento, aunque con tiempos de secado considerablemente mayores, sugiere que la minimización del estrés oxidativo mediante tiempos de procesamiento reducidos no compensa completamente los efectos deletéreos de la cavitación ultrasónica sobre la vitamina C. Este hallazgo subraya la importancia de optimizar cuidadosamente los parámetros de proceso para equilibrar eficiencia y calidad nutricional.

#### 4.3. Degradación de compuestos fenólicos

El patrón de degradación observado para los compuestos fenólicos totales siguió una tendencia similar a la vitamina C, con pérdidas más pronunciadas en tratamientos de mayor duración. Sin embargo, las muestras control mantuvieron concentraciones superiores, particularmente a 80°C (606.6 mg GAE/100 g), lo que difiere de algunos estudios que reportan efectos protectivos del ultrasonido sobre polifenoles.

Önal et al. (2021) observaron mayor conservación de compuestos fenólicos en pera pretratada con ultrasonido a 35 kHz durante 10 minutos, sugiriendo que tiempos de exposición más cortos pueden ser más efectivos para preservar estos compuestos. Los resultados del presente estudio indican que exposiciones de 40 minutos a 37 kHz pueden exceder el umbral óptimo para la preservación de polifenoles en *S. dulcis*.

La pérdida de compuestos fenólicos durante el tratamiento ultrasónico prolongado puede atribuirse a varios mecanismos: (1) ruptura celular excesiva que expone los polifenoles a enzimas oxidativas, (2) formación de radicales libres durante la cavitación que promueven reacciones de oxidación, y (3) lixiviación de compuestos hidrosolubles durante el pretratamiento acuoso (Witrowa-Rajchert & Rząca, 2009).

### 5. CONCLUSIONES

Este estudio presenta la primera evaluación sistemática del pretratamiento ultrasónico en *Spondias dulcis*, demostrando que la aplicación de ultrasonido a 37 kHz acelera significativamente el proceso de secado convectivo, con reducciones del tiempo de procesamiento de hasta 96% comparado con muestras control. La condición más eficiente, utilizando 40 minutos de ultrasonido a 80°C, completó el secado en apenas 107 minutos, representando un considerable ahorro energético para aplicaciones industriales.

Sin embargo, el pretratamiento ultrasónico mostró efectos adversos sobre la retención de compuestos bioactivos, particularmente con exposiciones prolongadas que resultaron en pérdidas significativas de vitamina C y compuestos fenólicos totales. El tratamiento óptimo identificado, empleando 20 minutos de ultrasonido y 65°C de secado, logró un compromiso aceptable entre eficiencia energética y preservación nutricional, manteniendo 90.05 mg/100 g de ácido ascórbico y 297.63

mg GAE/100 g de fenoles totales.

Esta investigación amplía el conocimiento sobre tecnologías emergentes de procesamiento alimentario en frutas tropicales, contribuyendo a la comprensión de los mecanismos de degradación de compuestos termosensibles y proporcionando bases científicas para la valorización industrial de esta especie subutilizada. No obstante, el estudio presenta limitaciones importantes, incluyendo la evaluación de una sola frecuencia ultrasónica, análisis restringido a dos marcadores bioactivos y ausencia de caracterización microestructural y evaluación económica.

Las investigaciones futuras deberían explorar un rango más amplio de frecuencias ultrasónicas, tiempos de exposición más cortos, caracterización microestructural mediante microscopía electrónica, y evaluación integral de calidad sensorial y viabilidad económica. La extensión de esta metodología a otras frutas tropicales subutilizadas podría contribuir significativamente al desarrollo de cadenas de valor agregado, siempre que se optimicen cuidadosamente los parámetros operacionales para preservar el valor nutricional y funcional del producto final.

## 6. CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran que la investigación se ha llevado a cabo en ausencia de relaciones comerciales o financieras que pudieran interpretarse como un posible conflicto de intereses.

## 7. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

JAA: Redacción – revisión y edición, Redacción – borrador original, Investigación, Análisis formal, Conceptualización.  
LAR-F, KSG-V y LAE-E: Redacción – revisión y edición, Visualización, Supervisión, Metodología, Investigación, Análisis formal, Curación de datos.

## 8. REFERENCIAS

- Baeghbali, V., Niakousari, M., & Ngadi, M. (2019). An update on applications of power ultrasound in drying food: A review. *Journal of Food Engineering and Technology*, 8(1), 29-38.
- Bozkır, H., & Rayman, A. (2021). Influence of ultrasonic and electrical pretreatments on the drying and quality characteristics of kiwi fruit slices. *Gida*, 46(4), 817-829.
- Cohen, J. S., & Yang, T. C. S. (1995). Progress in food dehydration. *Trends in Food Science & Technology*, 6(1), 20-25.
- Corrêa, J. L. G., Rasia, M. C., Garcia-Perez, J. V., Mulet, A., de Jesus Junqueira, J. R., & Cárcel, J. A. (2016). Use of ultrasound in the distilled water pretreatment and convective drying of pineapple. En *Drying and Energy Technologies* (pp. 71-87). Springer.
- De la Fuente-Blanco, S., Riera-Franco de Sarabia, E., Acosta-Aparicio, V. M., Blanco-Blanco, A., & Gallego-Juárez, J. A. (2006). Food drying process by power ultrasound. *Ultrasonics*, 44, e523-e527.
- EE, C. T., Hii, C. L., Ong, S. P., Law, C. L., Jukifile, A., Tan, K. W., & Tan, C. H. (2019). Convective air drying of *Spondias dulcis* and product quality. *International Journal of Food Engineering*, 15(3-4), 2018-0228.
- Favier, J. C., Ireland-Ripeit, J., Laussuc, C., & Feinberg, M. (1993). *Repertoire generale des aliments, Tome 3. Table de composition des fruits exotiques, fruits de cueillette d'Afrique*. ORSTOM, INRA, Technique & Documentation.
- Graham, O. S., Mohammed, M., & Wickham, L. D. (2004). Effects of heat treatments on the quality of miniature golden apples (*Spondias cytherea* Sonn) during low temperature storage. *Food, Agriculture & Environment*, 2(2), 48-53.
- Ishak, S. A., Ismail, N., Mohd Noor, M. A., & Ahmad, H. (2005). Some physical and chemical properties of ambarella (*Spondias cytherea* Sonn.) at three different stages of maturity. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(8), 819-827.
- İzli, G., & Yildiz, G. (2021). Evaluation of high intensity ultrasound pretreatment effects on the physical properties and bioactive compounds of convective dried quince samples. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 645-656.
- Kalt, W. (2005). Effects of production and processing factors on major fruit and vegetable antioxidants. *Journal of Food Science*, 70(1), R11-R19.
- Miranda, M., Maureira, H., Rodríguez, K., & Vega-Gálvez, A. (2009). Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel. *Journal of Food Engineering*, 91(2), 297-304.

- Morton, J. F. (1987). Ambarella. En *Fruits of warm climates* (pp. 240-242). Flair Books.
- Mothibe, K. J., Zhang, M., Nsor-Atindana, J., & Wang, Y. C. (2011). Use of ultrasound pretreatment in drying of fruits: Drying rates, quality attributes, and shelf life extension. *Drying Technology*, 29(14), 1611-1621.
- Nowacka, M., Wiktor, A., Śledź, M., Jurek, N., & Witrowa-Rajchert, D. (2012). Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties. *Journal of Food Engineering*, 113(3), 427-433.
- Önal, B., Adiletta, G., Di Matteo, M., Russo, P., Ramos, I. N., & Silva, C. L. (2021). Microwave and ultrasound pretreatments for "Rocha" pear drying: Impact on phytochemical parameters, color changes, and drying kinetics. *Foods*, 10(4), 853.
- Programa Qali Warma. (2022). Catálogo de especificaciones técnicas de alimentos del Programa Nacional de Alimentación Escolar Qali Warma, Harina de Frutas (Versión N° 02).
- Ruiz Flores, L. A. (2022). Harina de mango (*Mangifera indica*): Efecto del secado convencional sobre el contenido de compuestos bioactivos [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Frontera].
- Soria, A. C., & Villamiel, M. (2010). Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(7), 323-331.
- Stojanovic, J., & Silva, J. L. (2007). Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, colour and chemical properties of rabbiteye blueberries. *Food Chemistry*, 101(3), 898-906.
- Witrowa-Rajchert, D., & Rząca, M. (2009). Effect of drying method on the microstructure and physical properties of dried apples. *Drying Technology*, 27(7-8), 903-909.
- Zhang, M., Chen, H., Mujumdar, A. S., Tang, J., Miao, S., & Wang, Y. (2017). Recent developments in high-quality drying of vegetables, fruits, and aquatic products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(6), 1239-1255.

## 9. DECLARACIÓN DE DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos generados y/o analizados durante el presente estudio forman parte de la tesis titulada "Influencia de la temperatura y tratamiento por ultrasonido en la conservación de fitoquímicos de la harina de mango ciruelo (*Spondias dulcis* Parkinson)", disponible en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Frontera en el siguiente enlace: <https://repositorio.unf.edu.pe/items/7a34cad2-39ab-4e1f-8b61-f62d638c484f>



**TACLLA**  
revistas.unf.edu.pe/taclla  
doi.org/10.57063/rcitac.v1i1.203



**FONDO EDITORIAL UNF**

ARTÍCULO ORIGINAL



## Optimización de la aceptabilidad sensorial de galletas con harina de coronta de maíz morado (zea mays l.) y Pleurotus ostreatus

Optimization of the Sensory Acceptability of Cookies Made with Purple Corn Cob (Zea mays L.) Flour and Pleurotus ostreatus Flour

Nixon J. Aguilar-Cadenillas <sup>1</sup> ; Paul A. Sisniegas-Galvez <sup>1</sup> ; Elmer Y. Zamora Sanchez <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Ingeniería Agroindustrial, Facultad Ciencias agropecuarias, Universidad Nacional De Trujillo, Avenida Juan Pablo II S/N, San Andrés, Trujillo13001, Perú.

\*Autor de correspondencia: Nixon J. Aguilar-Cadenillas - [naguilarc@unitru.edu.pe](mailto:naguilarc@unitru.edu.pe)

Received: 01 December 2025. Accepted: 15 December 2025. Published: 17 December 2025.

### Abstract

This research focused on the development of a cookie using purple corn (*Zea mays* L.) hull flour and *P. ostreatus* mushroom flour as substitute ingredients. A response surface design (RSD) was used to evaluate 11 treatments with proportions between 2% and 10% of purple corn hull flour and 1% and 6% *P. ostreatus* flour, baked at 145 °C for 25 minutes. The results showed that the optimal combination of 5.71% purple corn flour and 2.56% *P. ostreatus* flour produced cookies with high sensory acceptability (hedonic score greater than 8).

**Keywords:** Functional cookies, purple corn flour, *Pleurotus ostreatus* flour, General acceptability, Luminosity.

### Resumen

Esta investigación se enfocó en el desarrollo de una galleta utilizando harina de la coronta de maíz morado (*Zea mays* L.) y harina de hongo *P. ostreatus* como ingredientes sustitutos. Se empleó un diseño experimental de superficie de respuesta (DCCR) para evaluar 11 tratamientos con proporciones entre 2% y 10% de harina de coronta de maíz morado y harina de *P. ostreatus* entre 1% y 6%, horneadas a 145 °C durante 25 minutos. Los resultados mostraron que la combinación óptima de 5.71% de harina de maíz morado y 2.56% de harina de *P. ostreatus* produjo galletas con una alta aceptabilidad sensorial, puntuación hedónica superior a 8.

**Keywords:** Galletas funcionales, Harina de coronta de maíz morado, Harina *Pleurotus ostreatus*, Aceptabilidad general.

### Cite this article:

Aguilar C.; Nixon J; Sisniegas-G., Paul A. y Zamora S.; Elmer Y. (2025). Optimización de la aceptabilidad sensorial de galletas con harina de coronta de maíz morado (zea mays l.) y *Pleurotus ostreatus*. *Revista Científica de Ingeniería de la Universidad Nacional de Frontera: Taclla*, 1(1), 44-54. doi.org/10.57063/rcitac.v1i1.203

## 1. INTRODUCCIÓN

Últimamente la tendencia de desinterés hacia el aprovechamiento de residuos agroindustriales, como es el caso de la coronta de maíz morado. Este subproducto suele destinarse principalmente como combustible para hornos, alimento molido para animales o, en muchos casos, simplemente se desecha tras su uso en la cocción para la preparación de refrescos a base de maíz morado.

De manera similar, ocurre con los hongos comestibles *P. ostreatus*, ampliamente conocidos en la gastronomía oriental, pero poco reconocidos en nuestro país, donde aún se desconocen en gran medida sus propiedades funcionales, a pesar de que pueden cultivarse a gran escala. La creciente tendencia hacia una alimentación poco saludable, caracterizada por el consumo de alimentos no funcionales que promueven diversas enfermedades, es una problemática actual. Este fenómeno se ve exacerbado por la globalización y el marketing digital que impulsa estos productos (Liu, 2023).

El consumo de alimentos sin valor nutricional incrementa el riesgo de enfermedades crónicas (Rousham et al., 2022). Esta propuesta se centra en la elaboración de galletas funcionales, un alimento de consumo rápido, utilizando la coronta de maíz morado y el hongo comestible *P. ostreatus* como ingredientes funcionales para mejorar la salud del consumidor. Las galletas son un tipo de snack horneado, elaborado tradicionalmente con una masa a base de harina de trigo (Espinosa-Páez et al., 2021). *P. ostreatus*, un hongo comestible ampliamente cultivado (China produce el 87% a nivel mundial) pertenece al reino Fungi. Conocido por sus componentes funcionales beneficiosos para la salud este hongo crece en diversos sustratos

como árboles y ramas. Su crecimiento óptimo depende de factores ambientales, que influyen en la eficiencia de sus propiedades. Rico en nutrientes, *P. ostreatus* tiene múltiples aplicaciones, desde compuestos funcionales hasta biorremediación. Existen diversas técnicas de extracción de sus compuestos químicos, incluyendo métodos ultrasónicos, físicos y químicos.

Cabe destacar la gran diversidad de especies de hongos que crecen en diferentes ambientes (Gréta Törös et al., 2022). El maíz morado, y otras variedades de maíz, son cereales con gran potencial en la industria alimentaria. Su uso reduce la necesidad de aditivos, aportando sabor, textura y color, además de propiedades funcionales y nutraceuticas. La coronta del maíz morado, particularmente rica en antocianinas con propiedades anticancerígenas concentra la mayor cantidad de estos compuestos bioactivos, hasta cuatro veces más que el grano. Estos compuestos ofrecen importantes beneficios para la salud, mostrando potencial contra diversas enfermedades.

La composición química única del maíz morado se ve influenciada por factores como las prácticas de cultivo (Salvador-Reyes & Clerici, 2020). Espinosa-Páez et al. (2021), realizó una investigación donde se fermentó frijol y avena con *P. ostreatus* para incrementar sus compuestos bioactivos. Estos ingredientes fermentados se utilizaron luego en la elaboración de galletas, resultando en un producto con mejoradas propiedades funcionales, incluyendo un mayor contenido de proteínas, polifenoles y compuestos antioxidantes.

Kour et al.(2022), en su artículo de revisión sobre compuestos bioactivos en alimentos funcionales y nutraceuticos destaca las propiedades antioxidantes, anticancerígenas, prebióticas y antidiabéticas de los hongos, entre otras, y señala un aumento en el consumo de estos alimentos tras la pandemia de COVID-19. La revisión menciona específicamente al *P. ostreatus*, destacando la actividad anticancerígena de sus  $\beta$ -glucanos y  $\alpha$ -glucanos, la actividad antitumoral de sus proteoglicanos y la actividad antibacteriana de su pleuran. Morris-Quevedo et al. (2021), en su trabajo sobre la elaboración de galletas incorporó un 10% de harina de *P. ostreatus* en sustitución de harina de trigo. Esto incrementó la concentración de proteína, cenizas y fibra, así como los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante. La harina de hongo se obtuvo secándola a 45°C durante 12 horas, protegiéndola de la luz y la humedad. Los resultados sugieren un potencial como alimento funcional o nutraceutico, aunque se requieren más estudios sobre la aceptabilidad sensorial y la vida útil del producto.

El aprovechamiento del olote de maíz violeta representa una alternativa para la gestión de residuos agroindustriales, puesto que concentra una alta cantidad de compuestos funcionales con alternativas buenas para la salud humana (Singh et al., 2019). Su contenido de antocianinas, cuatro veces superior al del grano, inhibe el crecimiento de células cancerígenas, regula el microbiota intestinal y posee propiedades antihiperoglucémicas útiles en la diabetes tipo 2. Además, la quercetina presente contribuye a la lipólisis de los adipocitos, entre otros beneficios (Salvador-Reyes & Clerici, 2020). Los hongos comestibles, como el *P. ostreatus*, ofrecen un gran potencial en la industria alimentaria gracias a sus propiedades funcionales derivadas de su composición química.

Diversas investigaciones destacan sus beneficios para la salud humana (Gréta Törös et al., 2022) atribuidos a compuestos como polisacáridos, lipopolisacáridos, proteínas, péptidos y lípidos. Estos compuestos contribuyen a efectos antiinflamatorios, antitumorales, antioxidantes, anticancerígenos, antivirales y antimicrobianos, entre otros (Waktola & Temesgen, 2020). El objetivo de esta investigación es optimizar el proceso de elaboración de galletas utilizando harina de olote de maíz violeta (*Zea mays* L.) y harina de hongo *P. ostreatus* para crear un producto aceptado por el consumidor.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia Prima

Maíz morado obtenida del mercado central de la provincia de Chepén con las siguientes coordenadas 7°13'41"S 79°25'39"W y hongo *P. ostreatus* obtenido de Lima en seta recién cultivada.

### Obtención de las Harinas para la Elaboración de Galletas

#### Harina de Olote de Maíz.

Como primera operación se desgranó el maíz manualmente para obtener el eje de la mazorca el cual se cortó en rodajas de 0.5 cm de grosor, se secaron a 45 °C en una estufa convectiva marca ketlab, modelo ODHG – 9030A por un tiempo de 24 horas y, finalmente, se molieron en un molino manual y se cernieron para la obtención de harina.

#### Harina de Hongo *P. Ostreatus*.

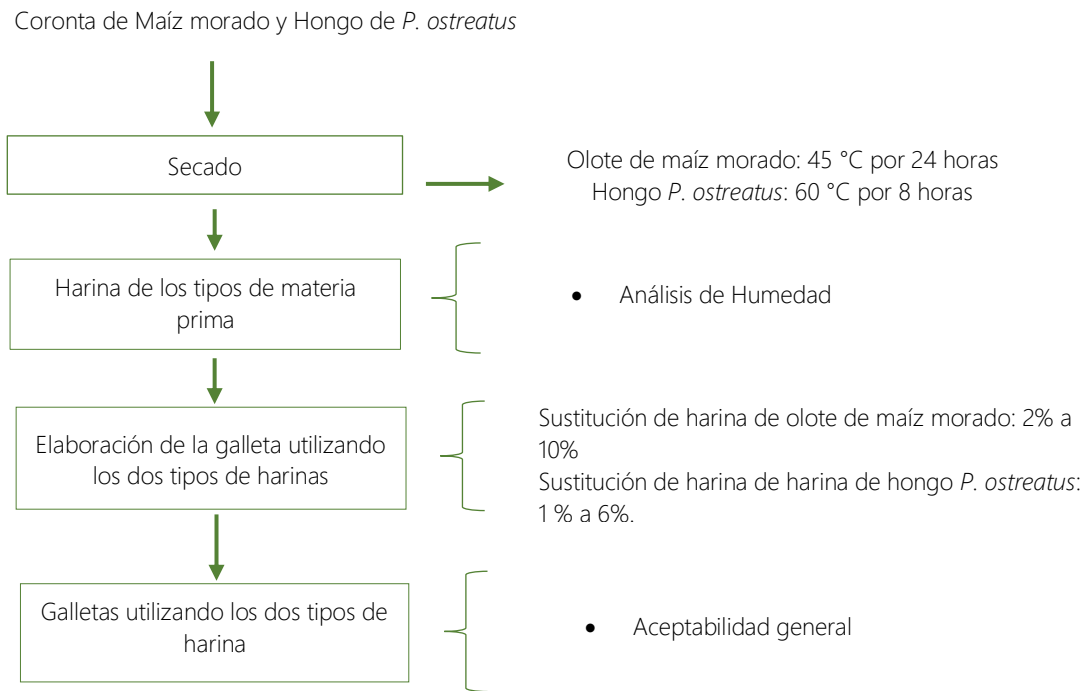
Los hongos recepcionados fueron a costarse en tamaños de 1 cm<sup>2</sup>, se sometieron a un secado en una estufa convectiva marca ketlab, modelo ODHG – 9030A a una temperatura de 60 °C durante 8 horas, para luego ser molidas por un molino manual y cenidas para la obtención de harinas.

### Esquema experimental

En la Figura 1 se muestra el esquema experimental con las variables independientes y dependientes.

Figura 1

Esquema experimental para la elaboración de galletas utilizando los dos tipos de harinas.



**Proceso de Elaboración de Galletas**

El proceso de elaboración de galletas se realizó según el diagrama de flujo mostrado en la figura 2.

**Pesado:** se utilizaron 800 g de harina pesados en una balanza digital XY300-2C (precisión 0.01g). A esta harina se le añadieron 320 g de azúcar rubia, 20 g de leche deshidratada en polvo, 10 g de sal, 8 g de levadura química, 320 g de manteca y 120 g de agua, siguiendo las proporciones de la tabla 1 para el reemplazo de harinas.

**Mezclado y amasado:** sobre una plataforma de acero inoxidable marca Acinox, se mezclaron primero el azúcar, la leche deshidratada, sal y levadura química. Posteriormente, se incorporó la manteca, y finalmente, el agua.

**Laminado cortado:** la masa se extendió sobre una mesa de acero inoxidable a un grosor de 0.4 cm. Después, se utilizó un rodillo metálico para laminar la masa manualmente hasta alcanzar los 4 mm de grosor deseados. Finalmente, se cortó con el molde adecuado.

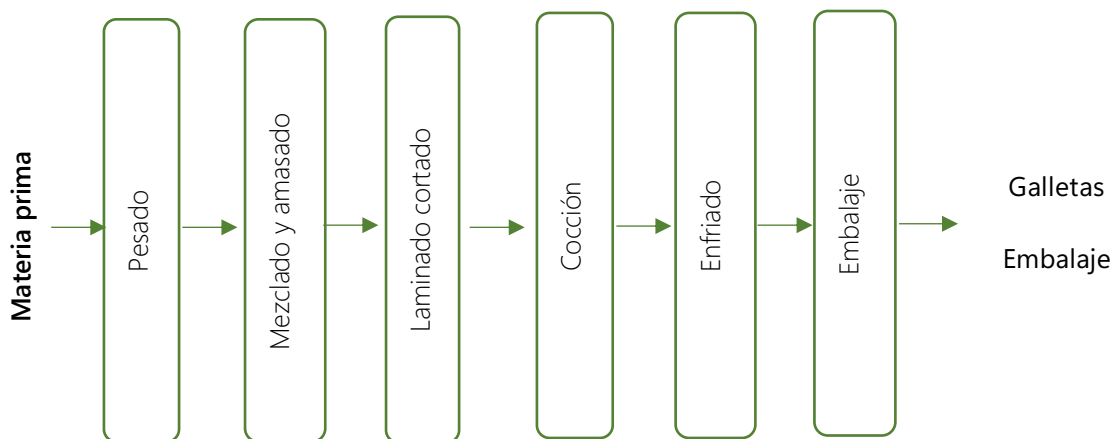
**Horneado:** las galletas se hornearon en un horno rotatorio MAX 1000 a 145°C durante 25 minutos.

**Enfriado:** una vez horneadas, las galletas se sacaron del horno para enfriar por un tiempo de 20 minutos en un área fresca, seca y limpia, antes de ser envasadas a temperatura ambiente.

**Envasado:** por último, las galletas se envasaron en bolsas de plástico resistentes de alta densidad y se sellaron manualmente

Figura 1

Proceso de elaboración de galletas



### Aceptabilidad General

Se evaluó utilizando una escala no estructurada de 10 cm, diseñada para que cada panelista valorara las diferentes formulaciones, según lo indicado en la tabla 1. Un total de 140 panelistas no entrenados expresaron sus juicios sensoriales marcando una línea en la ficha proporcionada. Las respuestas se transformaron en datos cuantitativos, considerando la longitud de la escala, y se tuvo en cuenta que cada panelista debía evaluar 4 muestras simultáneamente (Chavarri Huacacolque, 2019).

### Análisis estadístico

Se empleó un diseño experimental compuesto central rotacional (DCCR), generado con el software STATISTICA, para optimizar la elaboración de galletas con harina de olote de maíz morado y harina de *P. ostreatus*. Este diseño constó de 11 ensayos: cuatro puntos factoriales (2<sup>2</sup>), cuatro puntos axiales (dos por variable) y tres réplicas en el punto central. Un análisis de superficie de respuesta se utilizó para determinar el efecto de las concentraciones de ambas harinas en la aceptabilidad general de las galletas. Los detalles de cada ensayo se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.**

*Diseño estadístico para las variables respuesta Aceptabilidad General*

Ensayo	Harina de olote de maíz morado (%)	Harina de <i>P. ostreatus</i> (%)
1	3.2	1.7
2	8.8	1.7
3	3.2	5.3
4	8.8	5.3
5	2.0	3.5
6	10.0	3.5
7	6.0	1.0
8	6.0	6.0
9 (C)	6.0	3.5
10 (C)	6.0	3.5
11 (C)	6.0	3.5

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de humedad de la harina de tusa de maíz morado fue de 11.5%, cercano al 11.3% reportado por Ureta & Edelmira (2013), En el caso de la harina de *P. ostreatus*, se registró una humedad del 10.2% (base húmeda). Xojlín,( 2023) obtiene como resultado una humedad de 8.06%.

El análisis de aceptabilidad (Tabla 2), muestra una correlación negativa entre el porcentaje de harina de *P. ostreatus* y la puntuación obtenida, independientemente del porcentaje de harina de maíz morado. Las puntuaciones fueron menores a 8 cuando la proporción de harina de *P. ostreatus* era alta, y superiores a 8 cuando era baja. Xojlín (2023), en su estudio contrasta con el estudio de que encontró una alta aceptabilidad ("me gusta mucho") para masas de pie de manzana con sustituciones de harina de *P. ostreatus* al 5%, 10% y 15%, sin diferencias significativas entre ellas. Este recomendó investigar la aceptabilidad en productos de panificación salados . Por otro lado, Irakiza *et al.*(2021),indican que la sustitución con un 5% a 10% de hongo ostra mejora el valor nutricional de los pane

En la tabla 2 se observa que Independientemente de concentración de harina de *P. ostreatus* utilizada, se registraron puntuaciones de aceptabilidad superiores a 8 puntos con altos y bajos porcentajes de sustitución de harina de olote de maíz violeta. Sin embargo, Ureta & Edelmira (2013) sugieren que un 5% de sustitución con harina de maíz morado es óptimo, mostrando mejores características que concentraciones del 10% y 15%.

**Tabla 2**

*Resultados de Aceptabilidad General de la galleta*

Tratamiento	Harina de olote de maíz morado (%)	Harina de <i>P. ostreatus</i> (%)	Aceptabilidad General
1	3.17	1.73	9.11
2	8.83	1.73	8.36
3	3.17	5.27	7.24

4	8.83	5.27	8.92
5	2.00	3.50	8.89
6	10.00	3.50	8.74
7	6.00	1.00	8.59
8	6.00	6.00	7.79
9	6.00	3.50	8.94
10	6.00	3.50	8.94
11	6.00	3.50	8.93

El análisis de varianza (ANOVA) (Tabla 3) indica que la mayoría de las variables estudiadas tienen un efecto altamente significativo ( $p < 0.005$ ) sobre la respuesta, especialmente los términos lineal y cuadrático de la harina de *P. ostreatus*. La F calculada supera la F tabulada, confirmando la existencia de diferencias significativas entre las variables.

**Tabla 3**

ANVA para la variable Aceptabilidad General

Factores	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medios	F-calculada	F- tab	Valor P
(1)Harina de olote de maíz morado(L)	0.065187	1	0.065187	1.73109		0.245368
Harina de olote de maíz morado(Q)	0.040903	1	0.040903	1.08622		0.345057
(2) Harina de hongo <i>P. ostreatus</i> (L)	0.737717	1	0.737717	19.59074		0.006853
Harina de hongo <i>P. ostreatus</i> (Q)	0.879632	1	0.879632	23.35941		0.004743
1L by 2L	1.472120	1	1.472120	39.09346		0.001534
Lack of Fit	0.188265	3	0.062755	7423.4		0.000135
Pure Error	0.000017	2	0.000008			
Regresión	3.16057	3	1.05	39.16	3.0741	9.59685E-05
Resíduos	0.18830	7	0.03			
Total SS	3.348856	10				
(1)Harina de olote de maíz morado(L)	0.065187	1	0.065187	1.73109		0.245368

La Tabla 4 muestra los coeficientes de la ecuación de regresión del modelo de superficie de respuesta, todos altamente significativos ( $p < 0.05$ ). Estos coeficientes indican la importancia de cada variable en la predicción del modelo.

**Tabla 4**

Análisis de regresión para determinar la Aceptabilidad General

Factor	Coefficientes	P
Mean/Interc.	9.962284	0.000001
(1) Harina de olote de maíz morado(L)	-0.265018	0.000065
Harina de olote de maíz morado(Q)	-0.010638	0.000207
(2) Harina de hongo <i>P. ostreatus</i> (L)	-0.015633	0.041787
Harina de hongo <i>P. ostreatus</i> (Q)	-0.126286	0.000010
R2		0.94378
R Ajustado		0.88755

Se presenta la ecuación para determinar la aceptabilidad general en la elaboración de galletas utilizando los dos tipos de harinas

$$Y_1 = 9.962 - 0.265X_1 - 0,0106X_1^2 - 0,015X_2 - 0.126X_2^2 + 0.121X_1X_2 + 0 \quad (1)$$

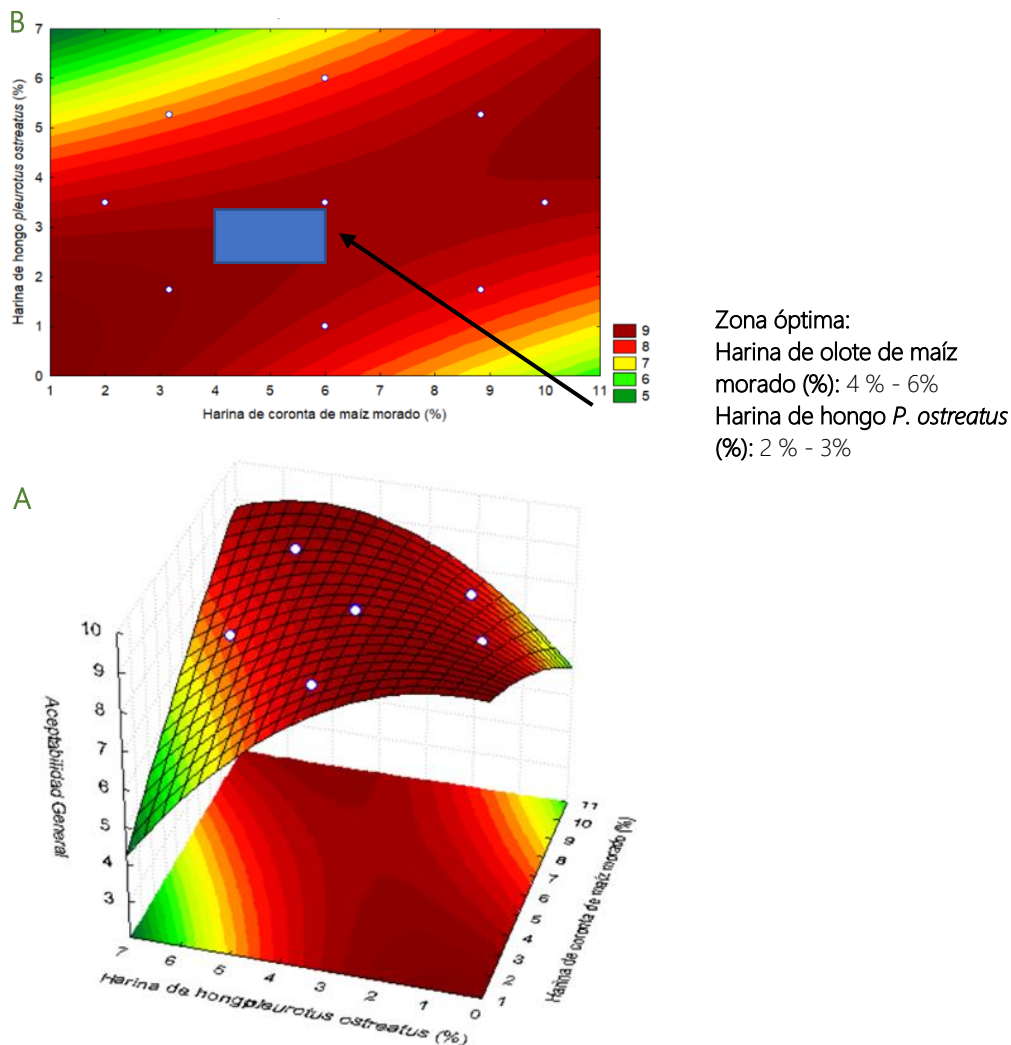
Donde:

Y<sub>1</sub>: Aceptabilidad General; X<sub>1</sub>: Harina de coronta de maíz morado (%); X<sub>2</sub>: Harina de hongo *p. ostreatus* (%)

La Figura 3 muestra las superficies de respuesta (a) y los contornos (b) para la aceptabilidad de las galletas, en función de las concentraciones de harina de maíz morado y de *P. ostreatus*. El análisis indica que la aceptabilidad óptima se alcanza con un 4% a 6% de harina de coronta de maíz morado y un 3% a 4% de harina de *P. ostreatus*. La optimización mediante el software Statistica 7 (Tabla 9) predice valores óptimos de 5.72% de harina de maíz morado y 2.57% de harina de *P. ostreatus* para maximizar la aceptación del consumidor. Es importante considerar que estudios previos reportan rangos de sustitución de harinas en galletas entre 5% y 30%, dependiendo del tipo de harina y las características deseadas (Chavez & J. Silva, 2020; Huatucu Lozano et al., 2020).

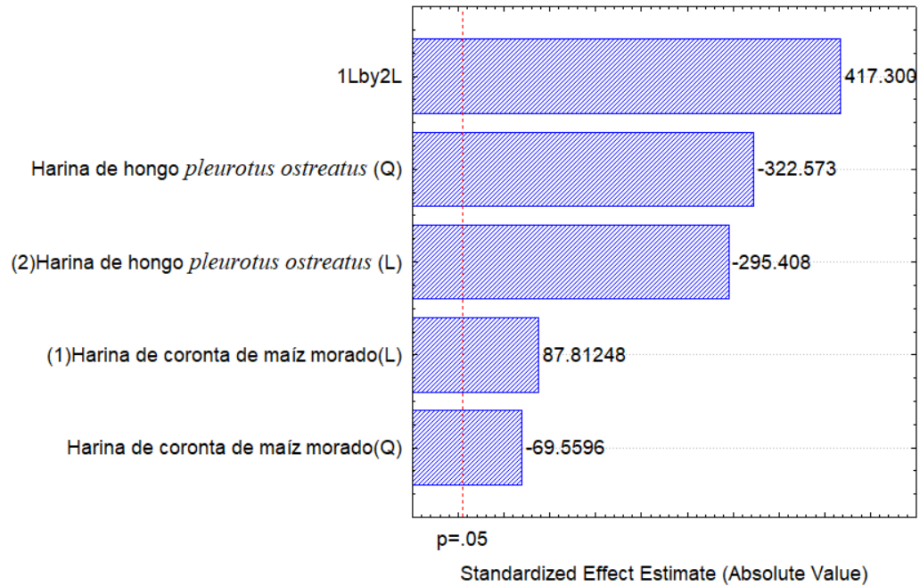
Figura 2

Gráfica de superficie respuesta (a) y gráfica de contornos (b) para la aceptabilidad general.



El diagrama de Pareto (Figura 4) muestra que los términos lineal y cuadrático de ambas harinas (coronta de maíz morado y *P. ostreatus*), así como su interacción, son los factores que más influyen en la aceptabilidad general de las galletas.

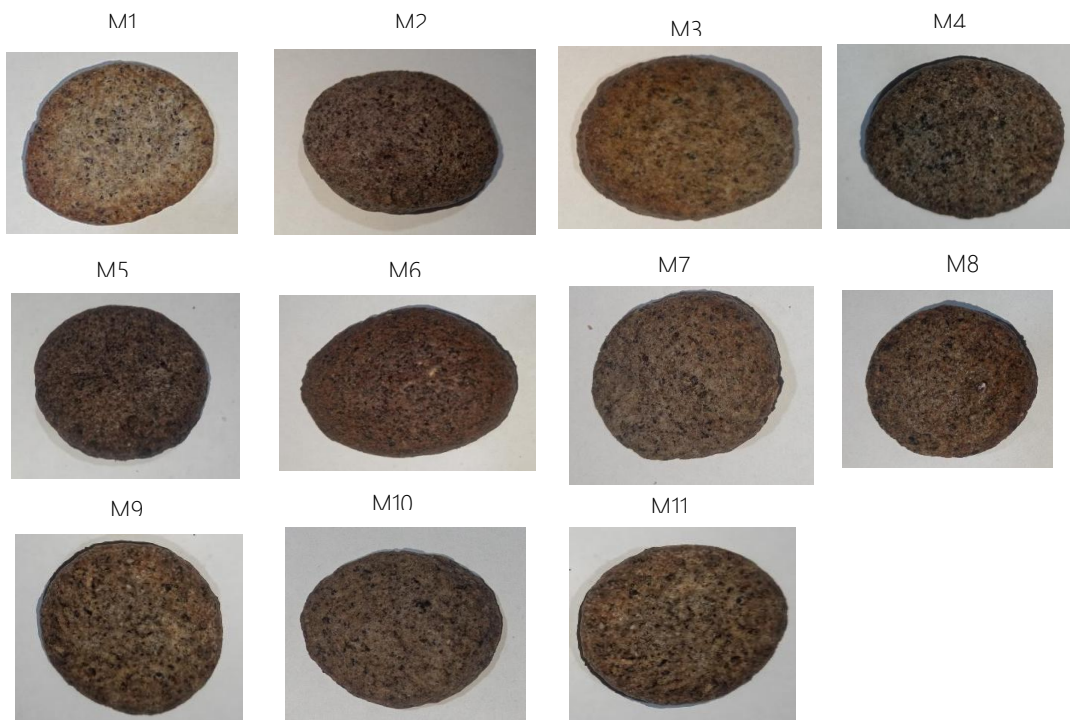
**Figura 3**  
 Diagrama Pareto para la Aceptabilidad General



Las imágenes de la Figura 5 muestran una variación en el color de las galletas, directamente relacionada con las diferentes concentraciones de harina de olote de maíz morado y de *P. ostreatus*. El característico color púrpura a negro del maíz morado se debe a la presencia de antocianinas (Medina-Hoyos et al., 2020; Valle Campos et al., 2019), mientras que las harinas de trigo, generalmente más claras, influyen en el tono final del producto (Paucar-Menacho et al., 2016). Este color final es el resultado de dos procesos: la caramelización, provocada por el calor y las reacciones entre los componentes de la masa, y la reacción de Maillard, que implica la interacción entre proteínas y carbohidratos (Prada Hernández, 2016).

La Figura 5 ilustra la variación de color entre los diferentes tratamientos.

**Figura 4**  
 Imágenes fotográficas de los 11 tratamientos



Para validar el modelo, se elaboraron galletas utilizando las concentraciones óptimas de harina predichas estadísticamente (Tabla 9). Al comparar los valores predichos con los resultados experimentales, se observó un error inferior al 1%, lo que indica una

excelente capacidad predictiva del modelo para optimizar el proceso de elaboración de galletas.

**Tabla 5**

*Validación del modelo*

Varibles independiente		Varibles dependiente			
Harina de olote de maíz morado (%)	Harina de hongo <i>P. ostreatus</i> (%)	Aceptabilidad General			
		Experimental	Estimado	Error (%)	
5.7172	2.5657	9.02	9.0093	0.1	

Se optimizó el proceso de elaboración de galletas empleando dos tipos de harinas que obtuvieron puntuaciones superiores a 8 en las evaluaciones sensoriales. Los parámetros óptimos correspondieron a una formulación con 5.71% de harina de coronta de maíz morado (*Zea mays* L.) y 2.56% de harina de hongo *P. ostreatus*. Asimismo, se determinó que ambos tipos de harinas tuvieron una influencia significativa sobre las variables dependientes, específicamente en la aceptabilidad general y la luminosidad, durante el proceso de elaboración de las galletas.

#### 4. CONCLUSIONES

Los autores declaran que la investigación se ha llevado a cabo en ausencia de relaciones comerciales o financieras que pudieran interpretarse como un posible conflicto de intereses.

#### 5. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Nixon Jhordy Aguilar Cadenillas **JB**  
 Paul Alexis Sisniegas Gálvez **ACB**  
 Elmer Yampier Zamora Sanchez **ACB**

#### 6. REFERENCIAS

- Chavarri Huacacolque, P. (2019). *Optimización del proceso de elaboración de galletas utilizando harina de coronta de maíz morado (Zea mays L.)*.
- Chavez, A. Y. R., & J. Silva, N. B. P. (2020). Evaluación fisicoquímica y sensorial de galletas enriquecidas con harina de castaña (*Bertholletia excelsa*). *Peruvian Agricultural Research*, 2(1), 14–20.
- Espinosa-Páez, E., Hernández-Luna, C. E., Longoria-García, S., Martínez-Silva, P. A., Ortiz-Rodríguez, I., Villarreal-Vera, M. T., & Cantú-Saldaña, C. M. (2021). *Pleurotus ostreatus*: A potential concurrent biotransformation agent/ingredient on development of functional foods (cookies). *Lwt*, 148(March), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111727>
- Gréta Törös, El-Ramady, H., & Prokisch, J. (2022). Edible Mushroom of *Pleurotus* spp.: A Case Study of Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus* L.). *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 6(2022), 51–59. <https://doi.org/10.21608/jenvbs.2022.117554.1161>
- Huatuco Lozano, M., Achulla Parco, B., & Flores Alarcón, J. E. (2020). Efecto de la sustitución parcial de harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harina de granadilla (*Passiflora ligularis* juss) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) en las características fisicoquímicas y sensoriales de galletas dulces. *Tayacaja*, 3(2), 181–197. <https://doi.org/10.46908/rict.v3i2.129>
- Irakiza, P. N., Chuma, G. B., Lyoba, T. Z., Mweze, M. A., Mondo, J. M., Zihahirwa, P. K., Mapatano, S., Balezi, A. Z., & Mushagalusa, G. N. (2021). Fortification with mushroom flour (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm) and substitution of wheat flour by cassava flour in bread-making: Nutritional and technical implications in eastern DR Congo. *Agriculture and Food Security*, 10(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s40066-021-00301-0>

- Kour, H., Kour, D., Kour, S., Singh, S., Jawad Hashmi, S. A., Yadav, A. N., Kumar, K., Sharma, Y. P., & Ahluwalia, A. S. (2022). Bioactive compounds from mushrooms: Emerging bioresources of food and nutraceuticals. *Food Bioscience*, 50(PB), 102124. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102124>
- Liu, Y. (2023). Digital exposure to unhealthy food reduces subsequent consumption of unhealthy food. *Journal of Business Research*, 168(September 2022), 114245. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114245>
- Medina-Hoyos, A., Narro-León, L. A., & Chávez-Cabrera, A. (2020). Purple corn (*Zea mays* L.) crop in the Peruvian Highlands: Adaptation and identification of high-yield and high anthocyanin content cultivars. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 291–299. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.01>
- Morris-Quevedo, H. J., Yebra-Díaz, M. I., Arce-Ferrera, J. L., Perera-Segura, E., & García-Oduardo, N. (2021). *Nutritional and antioxidant properties of novel cookies enriched with oyster mushroom (Pleurotus ostreatus) flour*. 438–451.
- Orellana Pardo, M. A., & Ullauri Martínez, W. M. (2021). Formulación de una mezcla seca de panadería para la elaboración de galletas «sugar-snap» a partir de harina de arroz, almidón de maíz y polvo del hongo pleurotus ostreatus. *Repositorio Universidad Técnica de Machala*, 1–61. [http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14733%0Ahttp://186.3.32.121/bitstream/48000/13770/1/BELDUMA\\_BELDUMA\\_VIVIANA\\_ELIZABETH.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/14733%0Ahttp://186.3.32.121/bitstream/48000/13770/1/BELDUMA_BELDUMA_VIVIANA_ELIZABETH.pdf)
- Paucar-Menacho, L. M., Salvador-Reyes, R., Guillén-Sánchez, J., & Mori-Arismendi, S. (2016). Efecto de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de soya en las características tecnológicas y sensoriales de cupcakes destinados a niños en edad escolar. *Scientia Agropecuaria*, 07(02), 121–132. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.02.05>
- Prada Hernández, M. J. (2016). Estudio del proceso de laminación y horneado en la producción de galletas tipo cracker. *Universidad de Los Andes*.
- Rousham, E. K., Goudet, S., Markey, O., Griffiths, P., Boxer, B., Carroll, C., Petherick, E. S., & Pradeilles, R. (2022). Unhealthy Food and Beverage Consumption in Children and Risk of Overweight and Obesity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Advances in Nutrition*, 13(5), 1669–1696. <https://doi.org/10.1093/advances/nmac032>
- Salvador-Reyes, R., & Clerici, M. T. P. S. (2020). Peruvian Andean maize: General characteristics, nutritional properties, bioactive compounds, and culinary uses. *Food Research International*, 130(December 2019), 108934. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108934>
- Singh, N., Singh, S., & Shevkani, K. (2019). Maize: Composition, bioactive constituents, and unleavened bread. In *Flour and Breads and Their Fortification in Health and Disease Prevention* (2nd ed.). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814639-2.00009-5>
- Ureta, P., & Edelmira, Y. (2013). Sustitución parcial de la harina de coronta de maíz morado (zea mays l.) Por harina de trigo en las características tecnofuncionales del pan artesanal. *Universidad Nacional Del Centro Del Centro De Posgrado*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>
- Valle Campos, M., García Ceccarelli, J., Laos Anchante, D., Yarasca, C. E., Loyola Gonzales, E., & Surco-Laos, F. (2019). Análisis proximal y cuantificación de antocianinas totales en zea mays variedad morada sometido a diferentes procesos de secado. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 85(1), 109–115. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i1.241>
- Waktola, G., & Temesgen, T. (2020). Pharmacological activities of Oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). *Novel Research in Microbiology Journal*, 4(2), 688–695. <https://doi.org/10.21608/nrmj.2020.84017>
- Xojlín, I. con tzep. (2023). *Desarrollo a nivel artesanal de una harina a base de un hongo (pleurotus ostreatus) para su aplicabilidad en un alimento de panificación en el departamento de sololá, guatemala*. 1–89.



**TACLLA**  
revistas.unf.edu.pe/taclla  
doi.org/10.57063/rcitac.v1i1.202



**FONDO EDITORIAL UNF**

ARTÍCULO ORIGINAL



## Mejoramiento del proceso de malteado de arroz (*Oryza sativa*)

Optimization of the Sensory Acceptability of Cookies Made with Purple Corn Cob (*Zea mays* L.) Flour and *Pleurotus ostreatus* Flour

Víctor H. Romero-Ibáñez<sup>1</sup> ; Paul A. Sisniegas-Galvez<sup>1</sup> ; Elmer Y. Zamora Sanchez<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Laboratorio de Ingeniería Agroindustrial, Facultad Ciencias agropecuarias, Universidad Nacional De Trujillo, Avenida Juan Pablo II S/N, San Andrés, Trujillo13001, Perú.

\*Autor de correspondencia: Paul A. Sisniegas-Galvez - pasisniegas@unitru.edu.pe

Received: 01 December 2025. Accepted: 15 December 2025. Published: 17 December 2025.

### Abstract

This study optimized the rice malt brewing process using a design of experiments (DCCR) and response surface analysis, evaluating steeping time, NaOH concentration, and germination time. A predictive model for Brix degrees was generated with an  $R^2$  of 0.8098, using a temperature-cycled mashing program. The optimal conditions for obtaining Brix degrees were: 60 hours of steeping, 0.08867% w/v NaOH, and 62 hours of germination, resulting in an experimental value of 14.5 degrees Brix and a mean relative error (MRE) of 2.5%. The results indicate that maximum soluble solids extraction is achieved with steeping times between 55 and 60 hours, germination times between 60 and 65 hours, and NaOH concentrations between 0.08 and 0.09% w/v.

**Keywords:** Rice malt, germination and optimize.

### Resumen

Este estudio optimizó el proceso de malteado de arroz mediante un diseño de experimentos (DCCR) y análisis de superficie de respuesta, evaluando el tiempo de remojo, la concentración de NaOH y el tiempo de germinación. Se generó un modelo predictivo para los grados Brix con un  $R^2$  de 0.8098, utilizando un programa de maceración con ciclos de temperatura. Las condiciones óptimas para la obtención de grados Brix fueron: 60 horas de remojo, 0.08867% p/v de NaOH y 62 horas de germinación, resultando en un valor experimental de 14.5 grados Brix y un error relativo medio (EmR) de 2.5%. Los resultados indican que la máxima extracción de sólidos solubles se logra con tiempos de remojo entre 55 y 60 horas, tiempos de germinación entre 60 y 65 horas y concentraciones de NaOH entre 0.08 y 0.09% p/v.

**Keywords:** Malta de arroz, germinación y optimizar.

Cite this article:

Romero I.; Víctor H; Sisniegas-G., Paul A. y Zamora S.; Elmer Y. (2025). Mejoramiento del proceso de malteado de arroz (*Oryza sativa*). *Revista Científica de Ingeniería de la Universidad Nacional de Frontera: Taclla*, 1(1), 44-54. doi.org/10.57063/rcitac.v1i1.202

## 1. INTRODUCCIÓN

En mayo de 2024, la producción de arroz en cáscara llegó a 524,056 toneladas, un 7% más que en el mismo mes de 2023. Este aumento se concentró principalmente en La Libertad (40%), Lambayeque (11.1%) y San Martín (4.4%), que en conjunto representaron el 71.7% de la producción nacional (INEI, 2024). Si bien el arroz es un alimento básico en la dieta peruana, su uso se limita principalmente al consumo directo, desaprovechando su potencial como materia prima en otros sectores. Su aplicación en la elaboración de cerveza y bebidas energéticas, por ejemplo, representa una oportunidad de diversificación y valor agregado.

Diversas investigaciones como García Paz et al.(2024), exploran la sustitución de la cebada por otros cereales en la elaboración de cerveza, buscando replicar el sabor y características de las cervezas tradicionales. Este trabajo se centra en desarrollar una malta de arroz especial para su uso en la producción cervecera.

La malta se obtiene germinando y secando semillas de cereal, lo que activa las enzimas hidrolíticas presentes en el grano. Este proceso induce cambios significativos, como el incremento de alfa y beta amilasas y la hidrólisis parcial de reservas (pared celular, gomas, proteínas y almidón) en el endospermo. Sin embargo, la malteación del arroz presenta un desafío: su sacarificación incompleta durante el macerado impide la degradación completa del almidón en azúcares fermentables, requisito esencial para la elaboración de cerveza (Castañeda Ricardo et al., 2021; Edney & Izydorczyk, 2003).

Durante la germinación, el arroz experimenta importantes cambios en su estructura. Este proceso, fundamentalmente, se basa en la acción de las enzimas que rompen los enlaces de almidón. que degradan el almidón. Esto

genera un aumento en la viscosidad, cambios en las propiedades térmicas y una reducción en el tiempo de cocción. Además, se forman poros en los gránulos de almidón y mejora el perfil nutricional del grano. Estos efectos permiten desarrollar nuevos productos alimenticios a partir de arroz germinado, como pan, té o yogur, y representan una estrategia útil para mejorar las propiedades tecnológicas del arroz (do Nascimento et al., 2024)

Mayer et al. (2016), evaluaron diez variedades italianas de arroz con cáscara (*Oryza sativa* L.) para determinar su aptitud en la producción de malta cervecera. Se realizaron tres ensayos de malteado con diferentes tiempos de remojo y germinación (A: 28°C durante 47h; B: 22°C durante 73h; C: 8 días). El análisis estadístico, usando Sigmaplot 11.0, reveló que las variedades de cebada Balilla y Centauro son adecuadas para producir cerveza de malta de arroz sin agregar enzimas de restricción externas. A pesar de su bajo poder *diastásico*, la buena sacarificación se atribuye a la actividad de otras amilasas endógenas, como la *limit dextrinasa* y la  $\alpha$ -*glucosidasa*.

Realizó experimentalmente dos clasificaciones de malta de arroz: color caramelo y oscuro. Su calidad se analizó determinando humedad (5.4%), extracto (5.5% y 5.9%) y color. Las maltas se usaron para elaborar cervezas, evaluadas sensorialmente por un panel de 18 catadores (método EBC 13.10) usando *SigmaPlot* 11.0 para el análisis estadístico uso de maltas de arroz especiales mejoró el sabor, color, estabilidad y valor nutricional de la cerveza, gracias a su alto contenido de polifenoles y su capacidad antioxidante (Ceccaroni et al., 2019)

Guevara Milla (2019), implemento un nuevo sistema para producir cerveza a nivel in vitro, optimizando la malta de sorgo. Se estudió el efecto del tiempo de remojo (12-48h) y el porcentaje concentración de NaOH (0.03-0.1%), utilizando un diseño de superficie de respuesta (Statgraphics) con 20 corridas (incluyendo réplicas). Se analizaron la germinación, las disminuciones en el malteado y la concentración del extracto. Los mayores porcentajes de germinación (74.55% y 75%) se obtuvieron con los tiempos de remojo más largos (55 y 48 horas) y concentraciones de NaOH de 0.065% y 0.1%, resultados similares se observaron para la disminución en el malteado y el concentrado del extracto.

Pérez-Ruiz et al.(2015), Se evaluó el malteado de diez variedades de cebada maltera, desde la madurez fisiológica hasta superar el 90% de germinación. Se usó una prueba estándar a 25°C con cuatro repeticiones de 100 semillas por genotipo, midiendo la humedad inicial. Con un diseño completamente aleatorio, se encontraron desigualdades significativas ( $P < 0.05$ ) entre genotipos y tiempos de muestreo en el porcentaje de germinación. La ausencia de latencia se infiere de la germinación desde la madurez fisiológica. Se logró >90% de germinación en 21 días para la mayoría de las variedades, excepto la variedad M-173, Alina y Armida, que necesitaron 28 días.

La germinación continua del arroz requiere altos niveles de humedad; la sequía la inhibe. Además, temperaturas inferiores a 10°C disminuyen la actividad enzimática, crucial para la germinación, reduciendo así su tasa (do Nascimento et al., 2024).

La agroindustria peruana busca innovar para aprovechar mejor diferentes cereales con alto valor nutricional, como el arroz, subutilizado industrialmente. Este trabajo optimiza el mateado del arroz sacarificante, para su uso en cervezas y bebidas energéticas, presentando un nuevo proceso de malteado de arroz con cáscara.

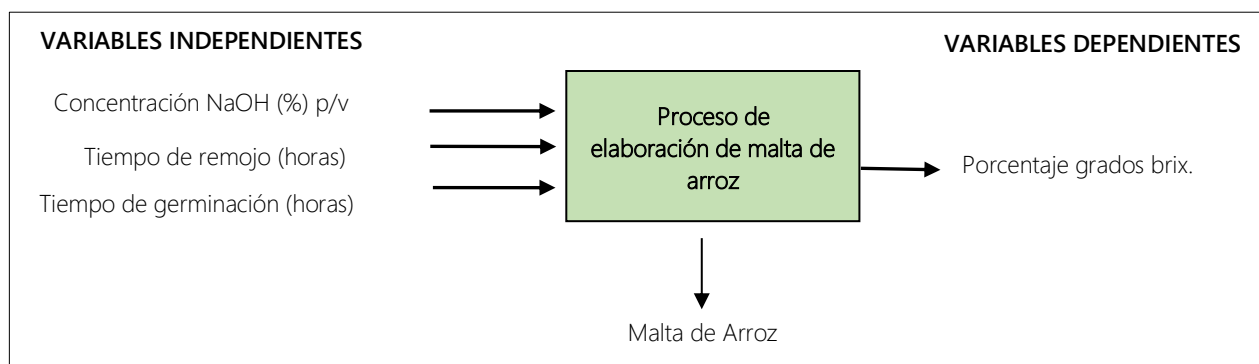
## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Materia Prima:** maíz morado obtenida del mercado central de la provincia de Chepén con las siguientes coordenadas 7°13'41"S 79°25'39"W y hongo *P. ostreatus* obtenido de Lima en seta recién cultivada.

### Obtención de las Harinas para la Elaboración de Galletas

**Harina de Olate de Maíz:** como primera operación se desgranó el maíz manualmente para obtener el eje de la mazorca el cual se cortó en rodajas de 0.5 cm de grosor, se secaron a 45 °C en una estufa convectiva marca ketlab, modelo ODHG – 9030A por un tiempo de 24 horas y, finalmente, se molieron en un molino manual y se cernieron para la obtención de harina.

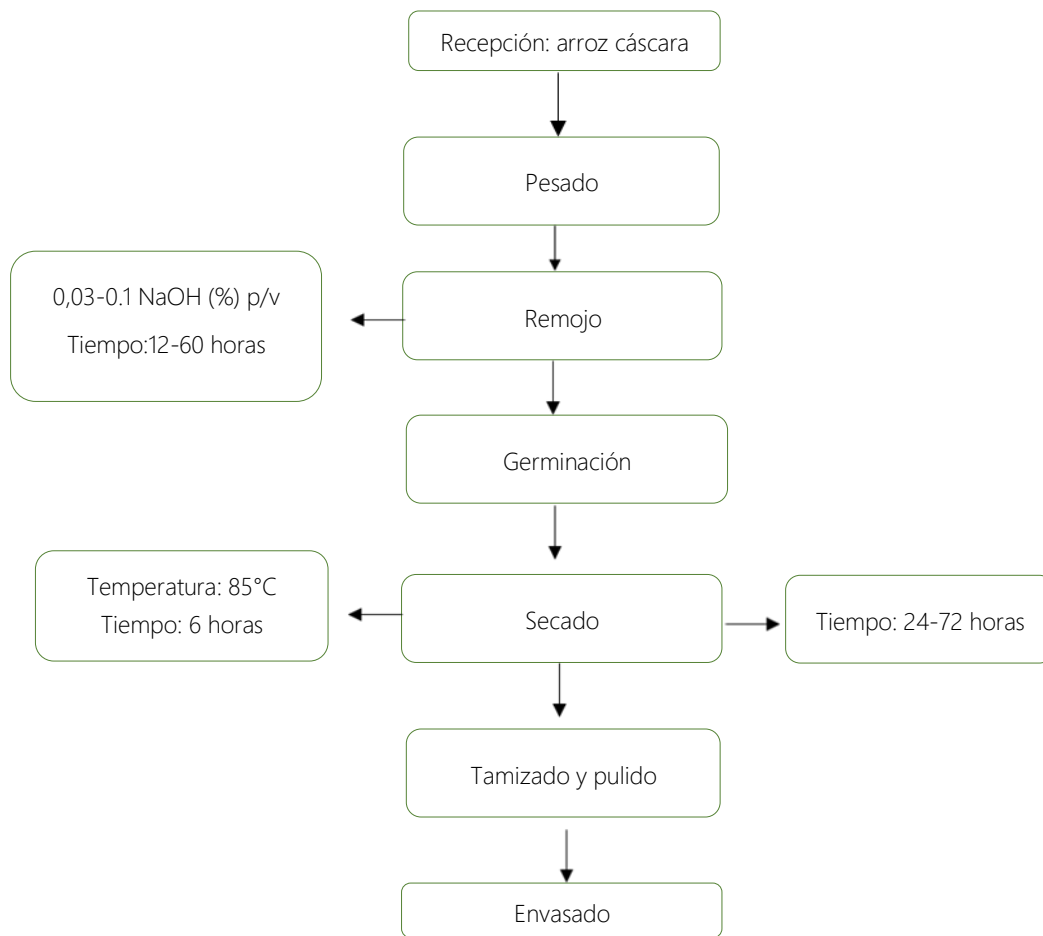
Figura 1  
Esquema experiemntal del malteado de arroz



**Proceso de elaboración de malta de arroz**

Se pesaron aproximadamente 50 g de arroz con cáscara (balanza analítica Digital, precisión 0.001 g) y se remojaron a temperatura ambiente en 3 litros de solución de NaOH (concentración según el diseño experimental DCCR, Tabla 1) en recipientes de plástico. Tras el remojo, cada muestra se colocó en una cámara de germinación (26-27°C, 92-96% de humedad) durante el tiempo establecido por el DCCR (Tabla 1). Una vez cumplido el tiempo de germinación, las muestras se secaron a 85 °C durante 6 horas en una estufa Ketlab, modelo ODHG-9030A. Posteriormente, se retiraron manualmente las raicillas tras un tostado en un perol de arcilla por un tiempo de un minuto. Finalmente, el malteado de arroz se envasó en bolsas selladas al vacío para su conservación y posterior análisis.

**Figura 5.**  
*Proceso de elaboración de malteado de arroz*



**Determinación de sólidos solubles (grados brix)**

Se realizaron maceraciones de las maltas de arroz para determinar la sacarificación (grados Brix). Para la obtención del mosto se realizó una relación de 1 kilo de malta de arroz por 5 litros de agua, donde se realizó la extracción del mosto en diferentes tiempos y temperaturas como es a 52 °C por 30 minutos, 62°C por 30 min, 70 °C por 20 mi y por último 78°C por 10 min (J.S. Hough, 1990). Tras la extracción del mosto, se midieron los grados Brix con un refractómetro Link-Japan RHBO 8.0 (0-80% Brix) después de enfriar las muestras.

**Diseño estadístico**

Se empleó un diseño central compuesto rotacional (DCCR) con tres variables independientes (tiempo de remojo, concentración de NaOH, tiempo de germinación) para optimizar el malteado del arroz. El diseño, generado con Minitab 18, constó de 18 ensayos (Tabla 1). Se analizaron los grados Brix mediante ANOVA (Minitab 18). El rango de las variables independientes fue: tiempo de remojo (12-60 h), solución de NaOH (0.03-0.1% p/v) y tiempo de germinación (24-72 horas).

Tabla 6.

Planteamiento del diseño de optimización para la variable independiente grados brix

Muestras	Tiempo de Remojo (horas)	Concentración de NaOH (%) p/v	Tiempo de Germinación (horas)
1	24	0.0475	36
2	48	0.0475	36
3	24	0.0825	36
4	48	0.0825	36
5	24	0.0475	60
6	48	0.0475	60
7	24	0.0825	60
8	48	0.0825	60
9	12	0.065	48
10	60	0.065	48
11	36	0.03	48
12	36	0.1	48
13	36	0.065	24
14	36	0.065	72
15	36	0.065	48
16	36	0.065	48
17	36	0.065	48
18	36	0.065	48

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 3 se muestra que el tratamiento 11 (36 horas de remojo, 0.03% NaOH, 48 horas de germinación) y 13 (36 horas de remojo, 0.065% NaOH, 24 horas de germinación) presentaron los grados Brix más bajos (4.5 y 3.5, respectivamente; Tabla 3), indicando una actividad enzimática incompleta debido a bajos porcentajes de germinación (52.07% y 25.9%). En contraste, los tratamientos 10 (60 horas de remojo, 0.065% NaOH, 48 horas de germinación) y 12 (36 horas de remojo, 0.1% NaOH, 48 horas de germinación) mostraron los grados Brix más altos (10), con alta germinación (92.09% en el tratamiento 10), sugiriendo una buena pero no óptima actividad enzimática. A diferencia del arroz, que produce principalmente  $\alpha$ -amilasa durante el malteado, la cebada, el trigo y el centeno generan cantidades significativas de  $\alpha$  y  $\beta$ -amilasas (Egwim & Oloyede, 2010). Por lo tanto, la presencia de ambas enzimas podría mejorar la hidrólisis del almidón en azúcares fermentables.

Tabla 3

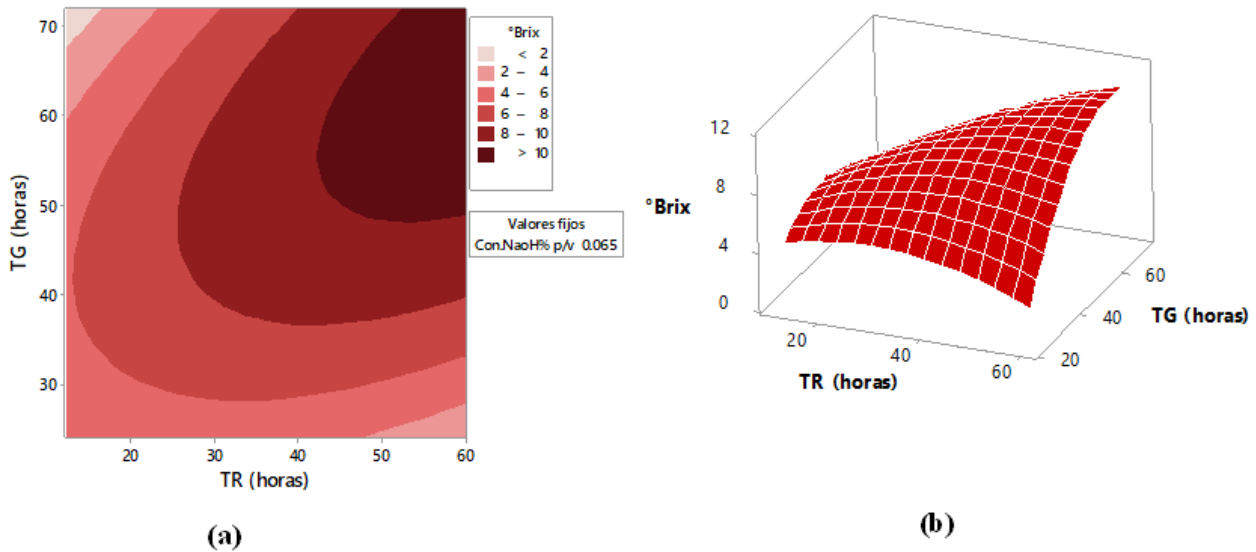
Resultados obtenidos para la variable respuesta grados brix

Tratamientos	Tiempo de remojo (horas)	Solución NaOH (%) p/v	Tiempo de germinación (horas)	Grados brix
1	24	0.0475	36	7.5
2	48	0.0475	36	7
3	24	0.0825	36	7
4	48	0.0825	36	8.5
5	24	0.0475	60	6
6	48	0.0475	60	9
7	24	0.0825	60	5.5
8	48	0.0825	60	9.5
9	12	0.065	48	5.5
10	60	0.065	48	10
11	36	0.03	48	4.5
12	36	0.10	48	10
13	36	0.065	24	3.5
14	36	0.065	72	8.5
15	36	0.065	48	9.5
16	36	0.065	48	9.5
17	36	0.065	48	9
18	36	0.065	48	9

La Figura 3 indica que los grados Brix óptimos (mayores a 10) se alcanzan con tiempos de remojo y germinación entre 50 y 60 horas, utilizando una concentración de NaOH de 0.065% p/v. Con tiempos de germinación menores a 50 horas, el tiempo de remojo afecta los grados Brix (8-10), aunque de manera menos significativa. El mismo efecto se observa si se mantiene constante el tiempo de remojo por debajo de 50 horas. La mayor concentración de azúcar se debe a una eficiente hidrólisis del almidón a tiempos prolongados de remojo y germinación. Este resultado coincide con los hallazgos de Dewar et al. (1997), quienes reportaron un aumento en el poder diastásico de la malta con tiempos de germinación más largos, lo que favorece la sacarificación durante el macerado.

Figura 6

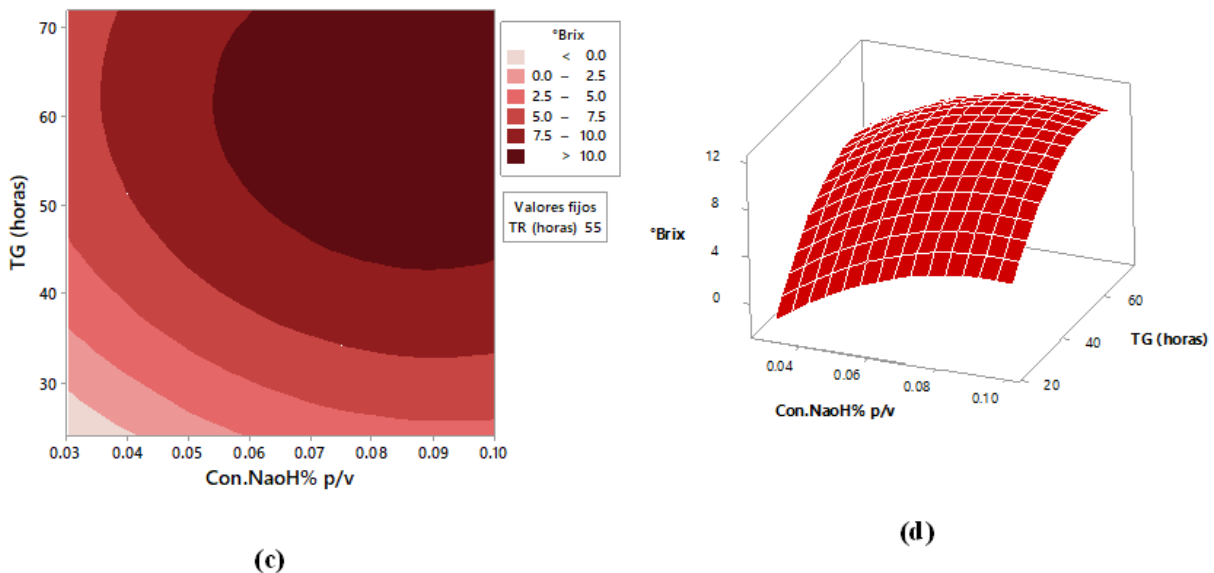
Gráfica de contorno (a) y tridimensional (b) para grados brix a partir del tiempo de germinación (TG) y tiempo de remojo (TR).



Muestra la superficie de respuesta para los grados Brix (figura 4). Los valores óptimos (mayores a 10) se obtienen con tiempos de germinación entre 50 y 60 horas y concentraciones de NaOH entre 0.07 y 0.09% p/v, manteniendo un tiempo de remojo constante de 55 horas. Con concentraciones de NaOH inferiores a 0.07% p/v, el periodo de germinación juega un papel importante en los grados Brix (7.5-10). Esto indica que una mayor exposición según la duración del remojo y la cantidad de NaOH durante la germinación incrementa el poder diastásico de los granos, facilitando la degradación del almidón a azúcares fermentables durante el macerado (Lyumugabe et al., 2012).

Figura 4

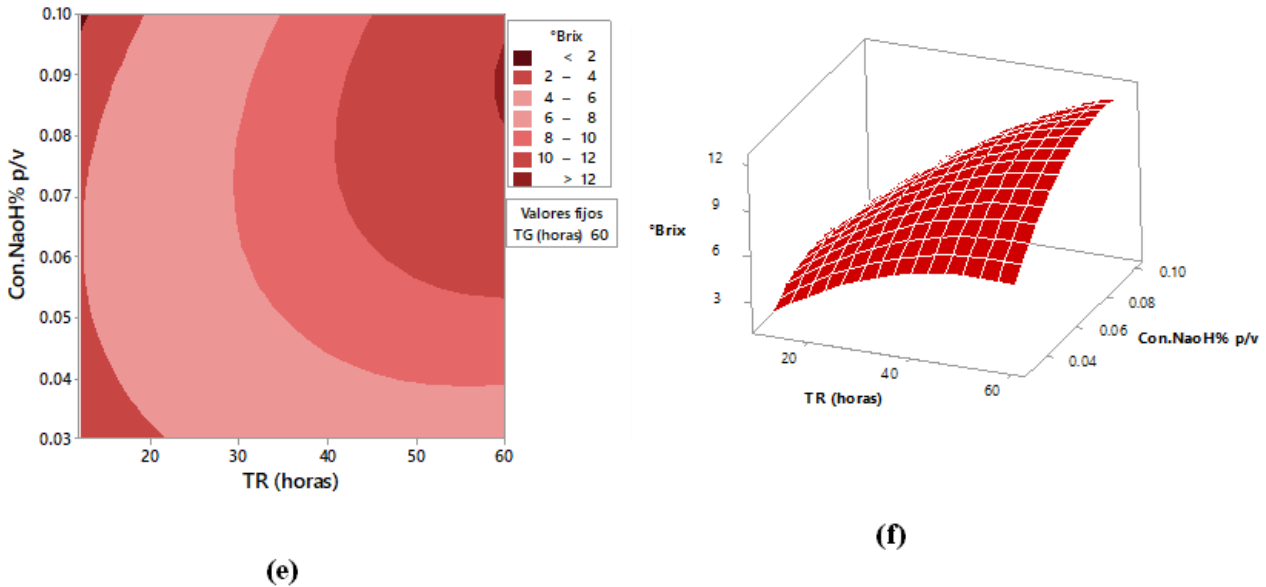
Gráfica de contorno (c) y tridimensional (d) para grados brix a partir al tiempo de germinación (TG) y Con. NaOH (%)



Se observa en la figura 5 que los valores óptimos (superiores a 12) se obtienen con concentraciones de NaOH entre 0.08% y 0.09% p/v, y tiempos de remojo entre 58 y 60 horas, manteniendo un tiempo de germinación fijo de 60 horas. Con concentraciones de NaOH inferiores a 0.08% p/v, el tiempo de remojo tiene un efecto menor, resultando en grados Brix entre 10 y 12 (valores aún aceptables). Estos resultados indican que tiempos de remojo más prolongados (50-60 horas) incrementan la humedad del grano, mejorando la germinación y la actividad enzimática (Guevara Milla, 2019).

Figura 7

Grafica de contorno (e) y tridimensional (f) para grados brix a partir a la Con.NaOH (%) y tiempo de remojo (TR).



El análisis de varianza (ANOVA) para los grados Brix (Tabla 4) muestra, con un nivel de confianza del 95% ( $p < 0.05$ ), que el modelo de regresión es significativo. Esto indica que el modelo es capaz de predecir adecuadamente la variable respuesta.

Tabla 7

ANOVA para la variable respuesta grados brix.

Fuente de variación	GI	SQ	MQ	F	P
Regresión:	9	55.15	6.12	3.78	0.037
Residual:	8	12.95	1.61		
Total	17				

El análisis de regresión (Tabla 5) muestra que el modelo para predecir los grados Brix es significativo ( $p < 0.05$ ), con valores de  $R^2$  y  $R^2$  ajustado de 0.8098 y 0.5958, respectivamente. De las tres variables independientes, solo el término cuadrático del tiempo de germinación (TG) resultó significativo ( $p < 0.05$ ). Las interacciones entre el tiempo de germinación y las otras variables (periodo de remojo y solución de NaOH) no fueron significativas ( $p > 0.05$ ), indicando que el tiempo de germinación influye de manera independiente en los grados Brix.

Tabla 8

Coefficientes de regresión para la variable respuesta grados brix.

Variables	Grados brix	
	Coef.	Valor p.
Constante	-11.4	0.392
Tiempo de remojo (horas)	-0.088	0.731
Solución de NaOH (%) p/v	221	0.239
Tiempo de germinación (horas)	0.448	0.119
Tiempo de remojo al cuadrado (horas)	-0.00263	0.201
Concentración de NaOH al cuadro (%) p/v	-1646	0.101
Tiempo de germinación al cuadrado	-0.00567	0.017
Tiempo de remojo (horas)*solución NaoH% p/v	1.79	0.429
Tiempo de remojo (horas)*Tiempo de germinación (horas)	0.00521	0.134

Solución de NaOH% p/v*Tiempo de germinación (horas)	-0.6	0.788
R2	0.80	
R ajustado	0.59	

La optimización de los grados Brix (Tabla 6), realizada mediante el análisis de superficies de respuesta del DCCR (Minitab 18, Tabla 9), indica que las condiciones óptimas se alcanzan con un periodo de remojo (TR) de 60 horas, una solución de NaOH de 0.08867% p/v y un tiempo de germinación (TG) de 62 horas, prediciendo 12.12 grados Brix. La validación experimental bajo estas condiciones mostró un error relativo medio (EmR) de 2.4%, confirmando la fiabilidad del modelo predictivo y obteniendo 14.5 grados Brix. Estos resultados demuestran que valores altos de las variables independientes conducen a una mayor concentración de grados Brix en el macerado.

**Tabla 6**

Validación del modelo de optimización para la variable grados brix.

Condición	TR (horas)	Con.NaOH% p/v	TG (horas)	°Brix Ajuste	°Brix experimental	EmR(%)
Soló °Brix	60	0.08867	62	12.12	14.5	2.24

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinaron ajuste óptimo de los parámetros para la producción de malteado de arroz: 55-60 horas de remojo, 60-65 horas de germinación y una solución de NaOH de 0.08-0.09% p/v, maximizando los grados Brix. Se generaron modelos de regresión para predecir los grados Brix ( $R^2=0.8098$ ,  $R^2$  ajustado=0.5958). Las condiciones óptimas (60 horas de remojo, 0.08867% p/v de NaOH, 62 horas de germinación) resultaron en 14.5 grados Brix, con un error relativo medio (EmR) de 2.4%, validando la confiabilidad del modelo predictivo.

#### 5. CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran que la investigación se ha llevado a cabo en ausencia de relaciones comerciales o financieras que pudieran interpretarse como un posible conflicto de intereses.

#### 6. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Víctor Hugo Romero Ibáñez **JB**  
 Paul Alexis Sisniegas Gálvez **ACB**  
 Elmer Yampier Zamora Sanchez **ACB**

#### 7. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Castañeda Ricardo, José, A.-C. M., Argüello Yolanda, & Vernaza María Gabriela. (2021). *Efecto de la adición de quinua (Chenopodium quinoa wild) malteada y sin maltear en la elaboración de cerveza tipo Ale a base de cebada (Hordeum vulgare) malteada (Effect.* 15–26. <https://hacercervezaartesanal.com/tipos-de-cervezas/cerveza-ale/>

Ceccaroni, D., Sileoni, V., Marconi, O., De Francesco, G., Lee, E. G., & Perretti, G. (2019). Specialty rice malt optimization and improvement of rice malt beer aspect and aroma. *Lwt*, 99(June 2018), 299–305. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.060>

Dewar, J., Taylor, J., & Berjak, P. (1997). Determination of improved steeping conditions for sorghum malting. *Journal of Cereal Science*. <https://doi.org/10.1006/jcrs.1996.0101>

do Nascimento, L. Á., Heberle, T., Wang, Y. J., Vanier, N. L., Elias, M. C., Mesko, M. F., & Colussi, R. (2024). Rice grain germination: A review of its impact on technological properties and development of new food products. *Trends in Food Science and Technology*, 150(June). <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104600>

Edney, M. J., & Izydorczyk, M. S. (2003). MALT | Malt Types and Products. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 3671–3677. <https://doi.org/10.1016/b0-12-227055-x/00730-6>

Egwim, E., & Oloyede, O. (2010). Comparison of  $\alpha$ -amylase activity in some sprouting Nigerian cereals. *Biokemistri*, 18(1), 15–20. <https://doi.org/10.4314/biokem.v18i1.56386>

García Paz, G. M., Rojas, C. A. L., Ulbio Eduardo Alcívar Cedeño, Carlos Alfredo Cedeño Palacios, Gabriel Alfonso Burgos Briones,

& Diego Roberto Munizaga Párraga. (2024). *Aplicación de base cereal local (zea mays l. Y oryza sativa) en producción de cerveza artesanal.*

Guevara Milla, R. E. (2019). Desarrollo de una cerveza artesanal American Pale Ale utilizando como malta base sorgo (*Sorghum bicolor*) con cebada (*Hordeum vulgare*) y endulzada con miel de abeja. *Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras*. <https://bdigital.zamorano.edu:80/jspui/handle/11036/6566>

INEI. (2024). *Panorama Económico Departamental*. <https://m.inei.gob.pe/biblioteca-virtual/boletines/panorama-economico-departamental/1/#lista>

J.S. Hough. (1990). Biotecnología de la cerveza y de la malta. *Editorial ACRIBIA, S.A.*, 1(Bebidas alcohólicas y no alcohólicas, Ciencia y tecnología de los alimentos), 208.

Lyumugabe, F., Gros, J., Nzungize, J., Bajyana, E., & Thonart, P. (2012). Characteristics of African traditional beers brewed with sorghum malt: A review. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 16(4), 509–530.

Mayer, H., Ceccaroni, D., Marconi, O., Sileoni, V., Perretti, G., & Fantozzi, P. (2016). Development of an all rice malt beer: A gluten free alternative. *Lwt*, 67, 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.037>

Pérez-Ruiz, J. A., Mejía-Contreras, J. A., Hernández-Livera, A., & Zamora-Díaz, M. (2015). Ausencia de latencia en semilla de genotipos mexicanos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) para malta. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(3), 249–255.



**TACLLA**  
revistas.unf.edu.pe/taclla  
doi.org/10.57063/rcitac.v1i1.204



**FONDO EDITORIAL UNF**

ARTÍCULO ORIGINAL



## Aplicaciones de la Biotecnología Verde más frecuentes en la Agroindustria

### Most frequent Applications of Green Biotechnology in the Agroindustry

Maria A. Vasquez-Cholán<sup>1</sup> ; Paul A. Sisniegas-Galvez<sup>1</sup> ; Julio C., Rojas-Naccha<sup>1\*</sup> y Elmer Y. Zamora Sanchez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Ingeniería Agroindustrial, Facultad Ciencias agropecuarias, Universidad Nacional De Trujillo, Avenida Juan Pablo II S/N, San Andrés, Trujillo13001, Perú.

\*Autor de correspondencia: Elmer Y. Zamora Sanchez - ezamora@unitru.edu.pe

Received: 26 August 2025. Accepted: 15 December 2025. Published: 17 December 2025.

#### Abstract

This study optimized the rice malt brewing process using a design of experiments (DCCR) and response surface analysis, evaluating steeping time, NaOH concentration, and germination time. A predictive model for Brix degrees was generated with an  $R^2$  of 0.8098, using a temperature-cycled mashing program. The optimal conditions for obtaining Brix degrees were: 60 hours of steeping, 0.08867% w/v NaOH, and 62 hours of germination, resulting in an experimental value of 14.5 degrees Brix and a mean relative error (MRE) of 2.5%. The results indicate that maximum soluble solids extraction is achieved with steeping times between 55 and 60 hours, germination times between 60 and 65 hours, and NaOH concentrations between 0.08 and 0.09% w/v.

**Keywords:** Green biotechnology, Crop improvement, Biopesticides, Bioremediation.

#### Resumen

La biotecnología verde ha revolucionado la agricultura al desarrollar cultivos más resistentes y sostenibles, mejorando tanto la calidad como el valor nutricional de los alimentos. Su impacto incluye la reducción del uso de pesticidas químicos a través de biopesticidas y biofertilizantes, y el fomento de prácticas agrícolas ecológicas. La biorremediación, que utiliza organismos vivos para limpiar suelos y aguas contaminadas, también es un componente destacado. A pesar de enfrentar desafíos como la falta de información, su adopción es crucial para un futuro sostenible en la industria alimentaria. La investigación, basada en una revisión bibliográfica de 40 artículos, revela que el 32% se centra en la mejora de cultivos, el 28% en biofertilizantes y biopesticidas, el 25% en biorremediación, y el 6% en aplicaciones combinadas. Estas aplicaciones son clave para una agricultura más sostenible: la mejora de cultivos reduce la dependencia de insumos químicos; los biofertilizantes y biopesticidas ofrecen alternativas ecológicas a los productos tradicionales; y la biorremediación restaura la calidad ambiental. En conjunto, estas innovaciones promueven prácticas agrícolas más respetuosas con el medio ambiente.

**Keywords:** Biotecnología verde, Mejora de cultivos, Biopesticidas, Biorremediación.

Cite this article:

Vasquez C.; Maria A. et al (2025). Aplicaciones de la Biotecnología Verde más frecuentes en la Agroindustria. *Revista Científica de Ingeniería de la Universidad Nacional de Frontera: Taclla*, 1(1), 44-54. doi.org/10.57063/rcitac.v1i1.204

## 1. INTRODUCCIÓN

La biotecnología implica la manipulación de organismos vivos o sus componentes para crear productos beneficiosos para la humanidad (Dementyeva et al., 2021). En este contexto, nos enfocaremos en la biotecnología verde, que se encuentra en el ámbito de la industria de los alimentos (Barcelos et al., 2018). En la última década, la biotecnología verde ha tenido un impacto significativo en el desarrollo de la agricultura moderna (Escobarl & Alfaro, s. f.)

Entre sus principales aplicaciones, destaca la mejora de cultivos mediante técnicas que desarrollan plantas más resistentes a enfermedades, plagas y condiciones climáticas adversas (Melnik et al., 2024). Estos avances han dado lugar a productos agrícolas biotecnológicos, como las plantas transgénicas (Ciani et al., 2024), que no solo mejoran la calidad de los productos, sino que también aumentan su valor nutricional (Hayashida et al., 2018).

La expansión de la biotecnología verde ha permitido un aumento significativo en la producción de alimentos sostenibles (Sutaoney et al., 2024). Gracias a esta tecnología, se han desarrollado cultivos más resistentes a plagas y enfermedades, reduciendo así la necesidad de pesticidas químicos y mejorando la eficiencia en el uso de recursos naturales como las biopesticidas y biofertilizantes (Zeb et al., 2024). Esto ha facilitado la adopción de prácticas agrícolas más respetuosas con el medio ambiente, promoviendo un futuro más sostenible (Chowdhary et al., 2022)

Por otro lado, el uso intensivo de pesticidas en la agricultura convencional ha generado un creciente interés en las tecnologías verdes para la limpieza de suelos contaminados por estos productos y sus residuos (Thieffry et al., 2024). Una

aplicación clave de la biotecnología verde en este contexto es la biorremediación, que utiliza organismos vivos, como bacterias, hongos o plantas, para eliminar o neutralizar contaminantes en el medio ambiente (Sarangi et al., 2024). En la industria alimentaria, la biorremediación se aplica en la eliminación de residuos tóxicos, la descontaminación de suelos y la depuración de aguas residuales (Chowdhary et al., 2022).

La aplicación de la biotecnología verde tiene un impacto considerable en la colaboración y la innovación sostenible en las industrias biotecnológicas (Oliveira et al., 2023). Sin embargo, la falta de iniciativa y la limitada información en el mercado pueden dificultar la adopción efectiva de prácticas de este sector (Ly & Ngo, 2024). Por lo tanto, esta investigación busca responder a la pregunta: ¿Cuáles son las aplicaciones de la biotecnología verde más frecuentes en la industria alimentaria?

El objetivo general de la investigación es identificar y describir los usos de las principales aplicaciones de la biotecnología verde en la industria alimentaria, centrándose en las áreas de investigación agrícola, producción de alimentos y sostenibilidad ambiental. Este estudio es crucial debido a la creciente importancia de la sostenibilidad en la industria alimentaria y la necesidad de identificar prácticas ecológicas y sostenibles. Conocer las aplicaciones más relevantes de la biotecnología verde en la industria alimentaria puede fomentar la colaboración y la innovación sostenible en este sector, al tiempo que ayuda a mitigar los impactos negativos del uso intensivo de pesticidas en la agricultura convencional.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó mediante una metodología de revisión bibliográfica. Para el desarrollo de la investigación, se seleccionaron trabajos en función de su idioma, antigüedad, y se utilizó como estrategia principal las siguientes palabras clave en inglés: "Biotechnology", "Green Biotechnology", "crop improvement", "Biofertilizers and Biopesticides" y "Bioremediation"

El estudio contempló los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

**C1:** Las bases de datos utilizadas fueron "Web of Science" y "Scopus" para asegurar la calidad de la información.

**C2:** Se incluyeron artículos recientes con una antigüedad no mayor a 5 años para asegurar que se consideraran las tendencias y desarrollos más actuales en biotecnología verde. Por lo tanto, se incluyeron artículos científicos publicados desde 2020.

**C3:** Se seleccionaron artículos relacionados con la industria de alimentos para orientar y clasificar la información en el campo de nuestro interés.

**C4:** No se consideraron tesis en repositorios; solo se incluyeron artículos científicos publicados en revistas indizadas en las bases de datos.

**C5:** Se incluyeron publicaciones en inglés debido a la abundancia de investigaciones disponibles en este idioma en las principales bases de datos.

**C6:** Se seleccionaron artículos a nivel mundial, ya que la aplicación de la Biotecnología verde se realiza a nivel global.

La selección de los artículos pertinentes para la investigación se realizó siguiendo los criterios de inclusión y exclusión establecidos, así como considerando el periodo de publicación. Además, se eliminaron los artículos duplicados al no ofrecer información adicional.

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para identificar las aplicaciones de la Biotecnología más frecuentes en la industria de alimentos, se realizó una búsqueda sistemática en la literatura. Se identificaron los artículos pertinentes, los cuales se presentan en la Tabla 1. En total, se recopilaron 40 artículos de diversas bases de datos.

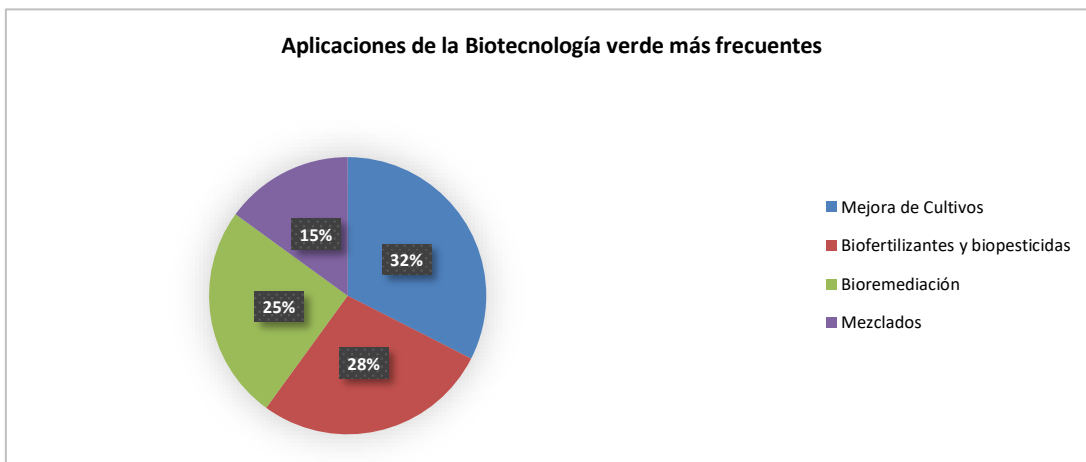
**Tabla 1.**

*Aplicaciones de la Biotecnología más frecuentes*

Aplicaciones de la Biotecnología verde más frecuentes	N° de artículos
Mejora de cultivos	13
Biofertilizantes y Biopesticidas	11
Biorremediación	10
Mezclados	6
<b>Total</b>	<b>40</b>

La Figura 1 muestra que el 32% de los artículos se enfoca en la mejora de cultivos, el 28% en biofertilizantes y biopesticidas, el 25% en biorremediación, y el 6% abarca dos o más aplicaciones de la biotecnología verde en la industria alimentaria.

**Figura 1**  
Análisis de las aplicaciones de la Biotecnología más frecuentes.



La Tabla 02 presenta una serie de investigaciones recientes sobre la mejora de cultivos a través de diversas aplicaciones biotecnológicas. Estas investigaciones abordan desde la creación de genomas y el uso de tecnologías ómicas, hasta la aplicación de herramientas como CRISPR/Cas9. (Li et al., 2024) y (Healey et al., 2024) discuten mejoras en la caña de azúcar a través de análisis de proteínas y creación de genomas, respectivamente. (Chaudhary et al., 2024). Siddique et al. (2024), se centran en el desarrollo de genotipos resistentes al estrés y la ingeniería genética para optimizar cultivos como el algodón y maíz. (Haq et al., 2024) y (Rathod et al., 2024) exploran tecnologías ómicas y marcadores moleculares para mejorar la productividad y adaptabilidad de los cultivos. Además, (Ben-Amar, 2024), (Kumar et al., 2024) y (Sagarbarria et al., 2024) destacan el uso de CRISPR/Cas9 y otras herramientas genéticas para crear cultivos más resistentes y seleccionar plantas mejoradas genéticamente. Estos estudios reflejan un esfuerzo integral por aumentar la productividad y sostenibilidad agrícola frente a desafíos climáticos y ambientales.

**Tabla 2**  
Descripción de la aplicación de Mejora de cultivos

N°	Uso de la aplicación	Autores
1	Se centra en el análisis de proteínas cinasas dependientes de calcio (CDPKs) en la caña de azúcar y su impacto en la defensa contra patógenos, para mejorar el rendimiento y el contenido de azúcar.	(Li et al., 2024)
2	Desarrolla genotipos de algodón más resistentes al estrés salino, mejorando así el rendimiento y la estabilidad de los cultivos en condiciones salinas.	(Chaudhary et al., 2024)
3	Las tecnologías omics (genómica, transcriptómica, proteómica y fenómica) desarrollan cultivos más productivos y adaptables a condiciones climáticas cambiantes.	(Haq et al., 2024)
4	Uso de interruptores moleculares en las plantas para desarrollar cultivos más resistentes al estrés.	(Debnath et al., 2024)
5	La tecnología CRISPR/Cas y la edición genética se utilizan para mejorar los cultivos, acelerar la investigación y enfrentar los desafíos del cambio climático en la agricultura.	(Ben-Amar, 2024)
6	El sistema RUBY reporter se utiliza para confirmar visualmente la transformación genética en soja, lo que facilita la selección de plantas genéticamente editadas y mejoradas.	(Chen et al., 2024)
7	Fortalecimiento del sistema de semillas, mediante la mejora genética para desarrollar variedades resistentes y nutritivas y la capacitación de agricultores.	(Garg et al., 2024)
8	Se centra en el uso de nanotubos de carbono (CNTs) para mejorar la eficiencia de la modificación genética en plantas.	(Yao et al., 2024)
9	Creación de un genoma para la caña de azúcar, lo cual puede acelerar la cría molecular y transgénica, mejorando así el rendimiento y la resistencia de los cultivos.	(Healey et al., 2024)
10	Ingeniería genética y el mapeo de QTL, se utiliza para mejorar el rendimiento y la resistencia de los cultivos, y cómo estas tecnologías pueden incrementar la producción de maíz, caña de azúcar y legumbres.	(Siddique et al., 2024)
11	Los marcadores moleculares y la secuenciación genómica, ha revolucionado la mejora de cultivos al permitir el mapeo, la selección asistida y la caracterización de recursos genéticos.	(Rathod et al., 2024)

12	Desarrollo de Cultivos resistentes, a través de la ingeniería genética, introduciendo genes específicos en los cultivos para hacerlos más resistentes a factores de estrés como sequías, salinidad o plagas.	(Kumar et al., 2024)
13	Transformación genética de berenjenas para mejorar el cultivo, usando herramientas biotecnológicas como CRISPR/Cas9 para modificar genes y seleccionar plantas resistentes a antibióticos.	(Sagarbarria et al., 2024)

Los artículos revisados (Tabla 3), destacan diversas aplicaciones biotecnológicas de biofertilizantes y biopesticidas que promueven una agricultura más sostenible y eficiente. Estos estudios abarcan desde el uso de microorganismos, plantas y minerales para el control ecológico de plagas (Ly & Ngo, 2024) y la mejora de la salud y resistencia de los cultivos mediante nanopartículas combinadas con compuestos naturales (Zheng et al., 2024) hasta la implementación de hongos micorrízicos y bacterias como alternativas a los insumos químicos tradicionales (Martínez et al., 2024); (De Nardi et al., 2024); (Patani et al., 2024) y (Jayathunga et al., 2024). También se subraya la innovación en nano-sistemas para mejorar la eficacia de estos insumos (Rai et al., 2023) y la importancia de reutilizar residuos agroindustriales (Vassileva et al., 2022). Además, se enfatiza el papel de *Trichoderma spp.* como un componente esencial en la agricultura sostenible, tanto como biofertilizante como biopesticida (Olowe et al., 2022) y (Villao-Uzho et al., 2024).

**Tabla 3**

Descripción de la aplicación de Biofertilizantes y Biopesticidas

N°	Uso de la aplicación	Autores
1	Producidos de microorganismos, plantas y ciertos minerales, que se utilizan para controlar plaga.	(Ly & Ngo, 2024)
2	Uso de nanopartículas de óxido de magnesio combinadas con melatonina para controlar el nematodo <i>Meloidogyne incognita</i> en cultivos de tomate.	(Zheng et al., 2024)
3	Los elicitores de defensa de plantas, como la proteína del hongo <i>Sar—ocladium oryzae</i> , mejoran la resistencia a enfermedades y promueven el crecimiento saludable.	(Martínez et al., 2024)
4	Uso de <b>hongos micorrízicos arbusculares (HMA)</b> como biofertilizantes para mejorar la sostenibilidad en el sistema de producción de fresas.	(De Nardi et al., 2024)
5	Biofertilizantes y Biopesticidas basados en <i>Bacillus</i> como una alternativa sostenible a los insumos químicos.	(Patani et al., 2024)
6	Microbiomas fúngicos para desarrollar bioinoculantes más eficientes en la cultura de champiñones y biofertilizantes.	(Jayathunga et al., 2024)
7	<b>Nano-sistemas combinados con moléculas activadoras del microbioma de los cultivos</b> para diseñar <b>nano-biofertilizantes y nano-biopesticidas</b> .	(Rai et al., 2023)
8	<b>Reutilización de residuos agroindustriales</b> mediante métodos.	(Vassileva et al., 2022)
9	Microorganismos para <b>mejorar la fertilidad del suelo, promover el crecimiento de las plantas y protegerlas de plagas y enfermedades</b> .	(Azam et al., 2022)
10	<i>Trichoderma spp.</i> se utilizan como <b>biofertilizantes</b> para mejorar la salud del suelo y como <b>biopesticidas</b> para controlar enfermedades de las plantas.	(Olowe et al., 2022)
11	<i>Trichoderma</i> usado como <b>biofertilizante y biopesticida</b> debido a sus propiedades beneficiosas para las plantas, como la <b>promoción del crecimiento y la protección contra patógenos</b> .	(Villao-Uzho et al., 2024)

La Tabla 04 presenta una lista de diez usos de la biorremediación, destacando diversos estudios y sus autores. Entre las aplicaciones mencionadas se encuentran la eliminación de metales pesados de soluciones utilizando cianobacterias marinas (Ciani et al., 2024), la utilización de microorganismos para limpiar suelos contaminados por pesticidas (Thieffry et al., 2024), y el uso de organismos genéticamente modificados para transformar contaminantes (Jha et al., 2024). Cada entrada del cuadro incluye el uso específico de la aplicación y los autores que han investigado y publicado sobre el tema, proporcionando una visión general de cómo la biotecnología se aplica en la biorremediación para abordar problemas ambientales.

**Tabla 4***Descripción de la aplicación de biorremediación*

N°	Uso de la aplicación	Autores
1	Eliminación de metales pesados (Cu, Ni, Zn) de soluciones mono y multimetálicas utilizando cianobacterias marinas.	(Ciani et al., 2024)
2	Microorganismos degradantes para limpiar el suelo contaminado por pesticidas y sus productos de degradación.	(Thieffry et al., 2024)
3	Tannasa se utiliza para degradar los taninos presentes en los efluentes de las curtiembres.	(Sutaoney et al., 2024)
4	Nanocelulosa derivada de residuos de piña para reducir residuos.	(Sarangi et al., 2024)
5	Organismos vivos (como bacterias, hongos o plantas) para eliminar o neutralizar contaminantes en el medio ambiente.	(Zeng et al., 2025)
6	EK se utiliza para descontaminar suelos al eliminar metales pesados y materia orgánica.	(Hamdi et al., 2025)
7	mejora de la producción de superóxido por bacterias para abordar problemas de contaminación de suelos.	(Wang et al., 2025)
8	<i>Rhodococcus erythropolis</i> en biorreactores elimina hidrocarburos gaseosos.	(Lamprea Pineda et al., 2025)
9	Haloarqueóidos, tienen potencial de ser utilizados en estrategias para tratar salmueras, agua salina, y suelos salinos contaminados.	(Martínez-Espinosa, 2024)
10	Microorganismos genéticamente modificados para transformar contaminantes.	(Jha et al., 2024)

#### 4. CONCLUSIONES

La biotecnología verde ha demostrado ser esencial para mejorar la sostenibilidad en la industria alimentaria, con aplicaciones clave en la mejora de cultivos, biofertilizantes y biopesticidas, y biorremediación. La mejora de cultivos es la aplicación más extendida, permitiendo el desarrollo de variedades más resistentes y productivas, lo que reduce la dependencia de insumos químicos y aumenta la sostenibilidad agrícola. Los biofertilizantes y biopesticidas representan la segunda aplicación más relevante, ofreciendo alternativas ecológicas a los fertilizantes y pesticidas tradicionales, promoviendo una agricultura más sostenible. Finalmente, la biorremediación, como tercera aplicación destacada, se enfoca en la descontaminación de suelos y aguas, utilizando microorganismos para restaurar la calidad ambiental. En conjunto, estas aplicaciones contribuyen significativamente a una agricultura más respetuosa con el medio ambiente y a la reducción de impactos negativos asociados con prácticas químicas intensivas.

#### 5. CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que la investigación se ha llevado a cabo en ausencia de relaciones comerciales o financieras que pudieran interpretarse como un posible conflicto de intereses.

#### 6. CONFLICTO DE INTERÉS

Víctor Hugo Romero Ibáñez **JB**

Paul Alexis Sisnegas Gálvez **ACB**

Elmer Yampier Zamora Sanchez **ACB**

#### 7. REFERENCIAS

Azam, H. M. H., Hussain, N., Mumtaz, M., Jabeen, B., Shahbaz, A., El-Sappah, A. H., Kuddus, M., & Bilal, M. (2022). Applications of microbial biomolecules in sustainable agriculture. En *Microbial Biomolecules: Emerging Approach in Agriculture, Pharmaceuticals and Environment Management* (pp. 429-450). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99476-7.00010-7>

Barcelos, M. C. S., Lupki, F. B., Campolina, G. A., Nelson, D. L., & Molina, G. (2018). The colors of biotechnology: General overview and developments of white, green and blue areas. *FEMS Microbiology Letters*, 365(21). <https://doi.org/10.1093/femsle/fny239>

Ben-Amar, A. (2024). Potential of advanced genome editing tools in plant biotechnology and crop improvement: Progress and challenges. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 158(1). <https://doi.org/10.1007/s11240-024-02807-4>

- Chaudhary, M. T., Majeed, S., Rana, I. A., Ali, Z., Jia, Y., Du, X., Hinze, L., & Azhar, M. T. (2024). Impact of salinity stress on cotton and opportunities for improvement through conventional and biotechnological approaches. *BMC Plant Biology*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12870-023-045584>
- Chen, L., Cai, Y., Liu, X., Yao, W., Wu, S., & Hou, W. (2024). The RUBY reporter for visual selection in soybean genome editing. *aBIOTECH*, 5(2), 209-213. <https://doi.org/10.1007/s42994-024-00148-6>
- Chowdhary, P., Mani, S., Shukla, P., & Raj, A. (2022). Microbes and environment: Recent advancement in environmental biotechnology. En *Microbial Biotechnology: Role in Ecological Sustainability and Research* (pp. 3-28). <https://doi.org/10.1002/9781119834489.ch1>
- Ciani, M., Decorosi, F., Ratti, C., De Philippis, R., & Adessi, A. (2024). Semi-continuous cultivation of EPS-producing marine cyanobacteria: A green biotechnology to remove dissolved metals obtaining metal-organic materials. *New Biotechnology*, 82, 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2024.04.004>
- De Nardi, F. S., Trentin, T. D. S., Trentin, N. D. S., Costa, R. C. D., Calvete, E. O., Palencia, P., & Chiomento, J. L. T. (2024). Mycorrhizal Biotechnology Reduce Phosphorus in the Nutrient Solution of Strawberry Soilless Cultivation Systems. *Agronomy*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/agronomy14020355>
- Debnath, T., Dhar, D. G., & Dhar, P. (2024). Molecular switches in plant stress adaptation. *Molecular Biology Reports*, 51(1). <https://doi.org/10.1007/s11033-023-09051-7>
- Dementyeva, P., Freudenberg, R. A., Baier, T., Rojek, K., Wobbe, L., Weisshaar, B., & Kruse, O. (2021). A novel, robust and mating-competent *Chlamydomonas reinhardtii* strain with an enhanced transgene expression capacity for algal biotechnology. *Biotechnology Reports*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2021.e00644>
- Escobarl, E. D., & Alfaro, R. C. (s. f.). *La biotecnología y su potencial de aplicación en la agricultura moderna*.
- Garg, V., Barmukh, R., Chitikineni, A., Roorkiwal, M., Ojiewo, C., Bohra, A., Thudi, M., Singh, V. K., Kudapa, H., Saxena, R. K., Fountain, J., Mir, R. R., Bharadwaj, C., Chen, X., Xin, L., & Pandey, M. K. (2024). Celebrating Professor Rajeev K. Varshney's transformative research odyssey from genomics to the field on his induction as Fellow of the Royal Society. *Plant Biotechnology Journal*, 22(6), 1504-1515. <https://doi.org/10.1111/pbi.14282>
- Hamdi, F. M., Ganbat, N., Altaee, A., Samal, A. K., Ibrar, I., Zhou, J. L., & Sharif, A. O. (2025). Hybrid and enhanced electrokinetic system for soil remediation from heavy metals and organic matter. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 147, 424-450. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.11.005>
- Haq, S. A. U., Bashir, T., Roberts, T. H., & Husaini, A. M. (2024). Ameliorating the effects of multiple stresses on agronomic traits in crops: Modern biotechnological and omics approaches. *Molecular Biology Reports*, 51(1). <https://doi.org/10.1007/s11033-023-09042-8>
- Hayashida, G., Schneider, C., Espíndola, L., Arias, D., Riquelme, C., Wulff-Zottele, C., Díaz-Palma, P., & Rivas, M. (2017). Characterization of a Chlorophyta microalga isolated from a microbial mat in Salar de Atacama (northern Chile) as a potential source of compounds for biotechnological applications. *Phycological Research*, 65(3), 202-211. <https://doi.org/10.1111/pre.12176>
- Healey, A. L., Garsmeur, O., Lovell, J. T., Shengquiang, S., Sreedasyam, A., Jenkins, J., Plott, C. B., Piperidis, N., Pompidor, N., Llaca, V., Metcalfe, C. J., Doležel, J., Cápál, P., Carlson, J. W., Hoarau, J. Y., Hervouet, C., Zini, C., Dievert, A., Lipzen, A., ... D'Hont, A. (2024). The complex polyploid genome architecture of sugarcane. *Nature*, 628(8009), 804-810. <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07231-4>
- Jayathunga, H., Gunasekara, M., Kavimalee, M., Jayamanna, I., de Zoysa, H. K. S., Hettiarachchi, D. K., & Bamunuarachchige, T. C. (2024). Novel and Conventional Uses of Fungi in Products and Services. *Energy, Environment, and Sustainability, Part F2536*, 519-547. [https://doi.org/10.1007/978-981-97-1152-9\\_20](https://doi.org/10.1007/978-981-97-1152-9_20)
- Jha, A., Barsola, B., Pathania, D., Sonu, Raizada, P., Thakur, P., Singh, P., Rustagi, S., Khosla, A., & Chaudhary, V. (2024). Nano-biogenic heavy metals adsorptive remediation for enhanced soil health and sustainable agricultural production. *Environmental Research*, 252. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118926>
- Kumar, H., Lata, R., Khan, U., & Gond, S. K. (2024). Biotechnological approaches for crop movement and production. En *Sustainable Agriculture: Nanotechnology and Biotechnology for Crop Production and Protection* (pp. 335-354). <https://doi.org/10.1515/9783111234694-018>

- Lamprea Pineda, P. A., Demeestere, K., Alvarado-Alvarado, A. A., Devlieghere, F., Boon, N., Van Langenhove, H., & Walgraeve, C. (2025). Degradation of gaseous hydrocarbons in aerated stirred bioreactors inoculated with *Rhodococcus erythropolis*: Effect of the carbon source and SIFT-MS method development. *Journal of Environmental Sciences (China)*, *147*, 268-281. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.10.020>
- Li, X., Zhong, J., Li, B., Luo, Y., Wang, K., Wang, Y., Ye, Z., Sun, L., Zhang, J., Yang, L., Wang, L., & Zhang, J. (2024). Two putative calcium-dependent protein kinases are involved in the regulation of sugarcane defense genes. *Phytopathology Research*, *6*(1). <https://doi.org/10.1186/s42483-024-00240-1>
- Ly, T. M., & Ngo, B. T. (2024). How do micro-foundational aspects of ambidextrous practices and individual-level behaviors influence the success of collaborations in the biotechnology industry? *Journal of Commercial Biotechnology*, *29*(1), 290-303. <https://doi.org/10.5912/jcb2222>
- Martínez, M., Arata, A., Dinolfo, M. I., Lázaro, L., Welin, B., & Stenglein, S. (2024). Evaluation of PSP1 biostimulant on *Fusarium graminearum*-wheat pathosystem: Impact on disease parameters, grain yield, and grain quality. *Pest Management Science*, *80*(7), 3578-3589. <https://doi.org/10.1002/ps.8062>
- Martínez-Espinosa, R. M. (2024). Halophilic archaea as tools for bioremediation technologies. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *108*(1). <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13241-z>
- Melnik, T. N., Majorina, M. A., Vorobeva, D. E., Nagibina, G. S., Veselova, V. R., Glukhova, K. A., Pak, M. A., Ivankov, D. N., Uversky, V. N., & Melnik, B. S. (2024). Design of stable circular permutants of the GroEL chaperone apical domain. *Cell Communication and Signaling*, *22*(1). <https://doi.org/10.1186/s12964-023-01426-4>
- Oliveira, A. M. D., Anjos Szczerepa, M. M. D., Bronharo Tognim, M. C., Abreu Filho, B. A. D., Cardozo-Filho, L., Gomes, R. G., & Bergamasco, R. (2023). Moringa oleifera seed oil extracted by pressurized n-propane and its effect against *Staphylococcus aureus* biofilms. *Environmental Technology (United Kingdom)*, *44*(8), 1083-1098. <https://doi.org/10.1080/09593330.2021.1994653>
- Olowe, O. M., Nicola, L., Asemoloye, M. D., Akanmu, A. O., & Babalola, O. O. (2022). Trichoderma: Potential bio-resource for the management of tomato root rot diseases in Africa. *Microbiological Research*, *257*. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.126978>
- Patani, A., Patel, M., Islam, S., Yadav, V. K., Prajapati, D., Yadav, A. N., Sahoo, D. K., & Patel, A. (2024). Recent advances in Bacillus-mediated plant growth enhancement: A paradigm shift in redefining crop resilience. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *40*(2). <https://doi.org/10.1007/s11274-024-03903-5>
- Rai, S., Omar, A. F., Rehan, M., Al-Turki, A., Sagar, A., Ilyas, N., Sayyed, R. Z., & Hasanuzzaman, M. (2023). Crop microbiome: Their role and advances in molecular and omic techniques for the sustenance of agriculture. *Planta*, *257*(2). <https://doi.org/10.1007/s00425-022-04052-5>
- Rathod, B., Sharma, S., Chakrawarti, N., Vala, A., & Tomar, R. S. (2024). Molecular marker-based approaches for crop improvement. En *Sustainable Agriculture: Nanotechnology and Biotechnology for Crop Production and Protection* (pp. 397-415). <https://doi.org/10.1515/9783111234694-021>
- Sagarbarria, M. G. S., Caraan, J. A. M., Lipio, P. G., Oloc-Oloc, I. B. M., Watanabe, K. N., & Hautea, D. M. (2024). Agrobacterium-mediated Genetic Transformation and Plant Regeneration from Cotyledons in Philippine Eggplant (*Solanum melongena* L.) Acc. 'PH 11424'. *Philippine Agricultural Scientist*, *107*(1), 14-19. <https://doi.org/10.62550/DD042023>
- Sarang, P. K., Srivastava, R. K., Sahoo, U. K., Singh, A. K., Parikh, J., Bansod, S., Parsai, G., Luqman, M., Shadangi, K. P., Diwan, D., Lanterbecq, D., & Sharma, M. (2024). Biotechnological innovations in nanocellulose production from waste biomass with a focus on pineapple waste. *Chemosphere*, *349*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140833>
- Siddique, A., Kalangutkar, A., & Kumari, P. (2024). Biotechnological approaches for crop improvement and production. En *Sustainable Agriculture: Nanotechnology and Biotechnology for Crop Production and Protection* (pp. 271-287). <https://doi.org/10.1515/9783111234694-015>
- Sutaoney, P., Akhand, A., Meshram, M., Sinha, S., Joshi, V., & Shahadat, M. (2024). Tannase production using green biotechnology and its applications: A review. *Biochemical Engineering Journal*, *202*. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2023.109163>
- Thieffry, S., Aubert, J., Devers-Lamrani, M., Martin-Laurent, F., Romdhane, S., Rouard, N., Siol, M., & Spor, A. (2024). Engineering

multi-degrading bacterial communities to bioremediate soils contaminated with pesticides residues. *Journal of Hazardous Materials*, 471. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134454>

Vassileva, M., Mocali, S., Canfora, L., Malusá, E., García del Moral, L. F., Martos, V., Flor-Peregrin, E., & Vassilev, N. (2022). Safety Level of Microorganism-Bearing Products Applied in Soil-Plant Systems. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.862875>

Villao-Uzho, L., Espinoza-Lozano, F., Galarza-Romero, L., & Santos-Ordóñez, E. (2024). Biotechnological tools for genetic improvement of *Trichoderma*. *Scientia Agropecuaria*, 15(2), 213-223. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.016>

Wang, Y., Ning, X., Liang, J., Wang, A., & Qu, J. (2025). Enhancing microbial superoxide generation and conversion to hydroxyl radicals for enhanced bioremediation using iron-binding ligands. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 147, 597-606. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.11.023>

Yao, X., Cui, L., Cheng, H., Ma, H., Ye, T., Bie, Z., & Wu, H. (2024). Research progress of carbon nanotubes in delivery of plant genetic materials. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 32(5), 737-744. <https://doi.org/10.12357/cjea.20230635>

Zeb, U., Aziz, T., Azizullah, A., Zan, X.-Y., Khan, A. A., Bacha, S. A. S., & Cui, F.-J. (2024). Complete mitochondrial genomes of edible mushrooms: Features, evolution, and phylogeny. *Physiologia Plantarum*, 176(3). <https://doi.org/10.1111/ppl.14363>

Zeng, W., Yao, B., Zhou, Y., Yang, J., & Zhi, D. (2025). Combination of electrochemical advanced oxidation and biotreatment for wastewater treatment and soil remediation. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 150, 36-53. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2024.02.036>

Zheng, Y., He, Y., Cui, X., Wang, K., Wang, X., & Wang, Y. (2024). Myco-fabricated MgO nanoparticles exhibited synergistic effect with melatonin in enhancing management of *Meloidogyne incognita* in tomato plants. *South African Journal of Botany*, 171, 21-31. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.05.054>