

VOL V

Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais

Eduardo Spers
(Organizador)



EDITORA
ARTEMIS

2025

VOL V

Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais

Eduardo Spers
(Organizador)



EDITORA
ARTEMIS

2025



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

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

Editora Chefe	Prof. ^a Dr. ^a Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M. ^a Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M. ^a Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizador	Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers
Imagem da Capa	Bruna Bejarano, Arquivo Pessoal
Bibliotecário	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

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

Prof.^a Dr.^a Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional*, Argentina

Prof.^a Dr.^a Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca*, Espanha

Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República*, Uruguay

Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara*, México

Prof. Dr. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal*, Canadá

Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona*, Espanha

Prof.^a Dr.^a Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal

Prof.^a Dr.^a Galina Gumovskaya – Higher School of Economics, Moscow, Russia

Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil

Prof.^a Dr.^a Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis*, Argentina

Prof.^a Dr.^a Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina

Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, Instituto Politécnico da Guarda, Portugal

Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina

Prof. Dr. Guillermo Julián González-Pérez, *Universidad de Guadalajara*, México

Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg*, Suécia

Prof.^a Dr.^a Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil

Prof.^a Dr.^a Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura*, Peru

Prof.^a Dr.^a Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina

Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío*, Chile

Prof.^a Dr.^a Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Prof. Me. Javier Antonio Alborno, *University of Miami and Miami Dade College*, Estados Unidos

Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha

Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal

Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros, Brasil

Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México

Prof. Dr. José Cortez Godínez, Universidad Autónoma de Baja California, México

Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Díaz, Instituto Politécnico Nacional, México

Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha

Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia

Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, México

Prof. Dr. Juan Porras Pulido, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México

Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil

Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil

Prof.^a Dr.^a Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil

Prof.^a Dr.^a Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil

Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México

Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha

Prof.^a Dr.^a Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha

Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodriguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha

Prof. Dr. Manuel Simões, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal

Prof.^a Dr.^a Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil

Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil

Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil

Prof.^a Dr.^a Mar Garrido Román, *Universidad de Granada*, Espanha

Prof.^a Dr.^a Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Prof.^a Dr.^a María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina

Prof.^a Dr.^a Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil

Prof.^a Dr.^a Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I*, Espanha

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

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

E82 Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais V [livro eletrônico] /
Organizador Eduardo Eugênio Spers. – Curitiba, PR: Artemis,
2025.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilingue

ISBN 978-65-81701-66-6

DOI 10.37572/EdArt_211025666

1. Ciências agrárias. 2. Ciências ambientais. 3.
Sustentabilidade. 4. Agricultura sustentável. 5. Manejo de recursos
naturais. I. Spers, Eduardo Eugênio. II. Título.

CDD 630

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



PRÓLOGO

Este volume V de **Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais** reúne oito contribuições que, em conjunto, delineiam um panorama atual e propositivo dos desafios na produção agropecuária e na gestão do meio ambiente. O volume está organizado em três eixos temáticos: *Ambiente: Monitoramento e Gestão de Riscos*; *Produção Vegetal: Insumos e Melhoramento*; e *Produção Animal e Saúde Veterinária*, com o objetivo de aproximar evidências científicas, soluções técnicas e impactos socioambientais, sempre com ênfase em rigor metodológico, transparência e aplicabilidade.

O primeiro trabalho do eixo **Ambiente: Monitoramento e Gestão de Riscos** apresenta uma investigação sobre monitoramento de emissões em processos industriais do setor agroalimentar, que valida, por medições em pontos críticos da linha de produção, a conformidade com padrões regulatórios e reforça a importância de sistemas confiáveis de rastreabilidade. Em seguida, uma experiência de educação ambiental voltada à redução de riscos de inundações e deslizamentos em contexto escolar rural demonstra, com avaliação pré-pós-intervenção, ganhos expressivos em conhecimento e atitudes, oferecendo um modelo replicável de formação comunitária para a gestão do risco.

O Eixo **Produção Vegetal: Insumos e Melhoramento** articula estudos do manejo de insumos e cultivares até o zoneamento produtivo em larga escala: um ensaio agrônomo sobre o uso de silício em cafeeiros quantifica efeitos em crescimento, sanidade e qualidade sensorial, apoiando decisões de manejo nutricional; um estudo de zoneamento agroclimático com geotecnologias mapeia áreas de alto potencial produtivo para cultura energética sob irrigação, conectando planejamento territorial e bioenergia. Na sequência, uma análise de biofortificação de milho discute avanços em teores de micronutrientes e compostos bioativos, bem como desafios de adoção e oportunidades de mercado. Por fim, uma avaliação comparativa de variedades de soja sob irrigação atualiza o pacote tecnológico regional, apresentando indicadores agrônômicos e de rendimento para recomendações de cultivares.

Produção Animal e Saúde Veterinária apresenta um estudo em nutrição de pequenos ruminantes e avalia a inclusão de subproduto agroindustrial fermentado na dieta, examinando consumo, conversão alimentar e perfis de fermentação ruminal, com implicações para sustentabilidade e desempenho produtivo. Encerrando o volume, um ensaio histórico sobre uma grande epizootia bovina no século XVIII revisita práticas precoces de contenção (como limpeza de instalações, isolamento e reentrada faseada de rebanhos) e evidencia a gênese de princípios de biossegurança que permanecem atuais.

A força deste volume reside na convergência entre método e pertinência: medições em processo, ensaios de campo, geoprocessamento, avaliações nutricionais e reconstruções históricas informam decisões públicas e privadas, da gestão de emissões e planejamento territorial à escolha de insumos, cultivares e dietas, passando pela formação de comunidades para prevenção de desastres. Essa convergência é intencional: a ciência agrária e ambiental cria maior valor quando quantifica, compara e comunica com clareza.

Agradecemos às autoras e aos autores pela confiança e pela qualidade técnica dos manuscritos; às instituições de origem, pelo apoio às pesquisas; e às leitoras e aos leitores, cuja atenção crítica dá sentido a esta série. Que os capítulos aqui reunidos inspirem novas perguntas, parcerias interdisciplinares e aplicações responsáveis, no campo, na indústria, na escola e no território.

Desejo a todos uma excelente leitura!

Eduardo Eugenio Spers

SUMÁRIO

AMBIENTE: MONITORAMENTO E GESTÃO DE RISCOS

CAPÍTULO 1..... 1

MONITORING POLLUTANT SUBSTANCES RELEASED BY COMPOUND FEED FACTORIES

Cristian Vasile

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2110256661

CAPÍTULO 2..... 14

UNA MIRADA A LA PREVENCIÓN DE INUNDACIONES Y DESLIZAMIENTOS DESDE LA CAPACITACIÓN A LA COMUNIDAD EDUCATIVA

Arturo Hernández Escobar

Yamel Álvarez Gutiérrez

Barbara Miladys Placencia López

Diana Estefanía Cedeño Bermúdez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2110256662

PRODUÇÃO VEGETAL: INSUMOS E MELHORAMENTO

CAPÍTULO 3..... 31

EL SILICIO Y SUS EFECTOS EN LA CALIDAD Y LOS RENDIMIENTOS DEL CULTIVO DE CAFE

Francisco E. Restrepo Higuita

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2110256663

CAPÍTULO 4..... 47

POTENCIAL PRODUCTIVO DE *Sorghum bicolor* L. MOECH, BAJO CONDICIONES DE RIEGO EN MÉXICO

Genovevo Ramírez Jaramillo

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2110256664

CAPÍTULO 5..... 67

MAÍCES CON ALTO CONTENIDO DE ANTOCIANINA, BIOFORTIFICADOS CON ZINC, PROVITAMINA A Y DE ALTA CALIDAD DE PROTEÍNA EN PERÚ

Luis Alberto Narro León

Alexander Chávez Cabrera
Peter Chris Piña Díaz
Fernando Escobal Valencia
Alicia Elizabeth Medina Hoyos
Teodoro Patricio Narro León
Kryss Aracely Vargas Gutiérrez
Roberto Alvarado Rodríguez
Fabian Camilo Velásquez Leveaú
Ronald Otiniano Villanueva

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2110256665

CAPÍTULO 6..... 96

EVALUACIÓN DE VARIEDADES DE SOYA EN EL NORTE DE TAMAULIPAS

Héctor Manuel Cortinas Escobar
Nicolás Maldonado Moreno

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2110256666

PRODUÇÃO ANIMAL E SAÚDE VETERINÁRIA

CAPÍTULO 7..... 101

COMPOSICIÓN Y EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE DIETAS CON POMASA DE MANZANA FERMENTADA EN LA ALIMENTACIÓN DE CORDEROS EN ENGORDA

Ignacio Mejía-Haro
Mauricio Ramos-Dávila
Carlos Fernando Aréchiga-Flores
Iván Mejía-Dévora
Tania Ramírez-Navarrete
José de Jesús Campos-Torres

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2110256667

CAPÍTULO 8..... 116

PAUL ADAMI AND THE CATTLE PLAGUE IN STYRIA, 1780

Andrej Pengov

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2110256668

SOBRE O ORGANIZADOR..... 123

ÍNDICE REMISSIVO 124

CAPÍTULO 1

MONITORING POLLUTANT SUBSTANCES RELEASED BY COMPOUND FEED FACTORIES

Data de submissão: 27/08/2025

Data de aceite: 15/09/2025

Cristian Vasile

University lecturer PhD Eng.

Faculty of Agronomy

University of Craiova, Romania

<https://orcid.org/0009-0001-7444-4793>

CV

ABSTRACT: Due to the intense competition currently present in the market, the main objective of compound feed factories is to achieve maximum efficiency. This can be accomplished by providing customers with high-quality finished products at the lowest possible cost. In this context, current European Union regulations require rigorous monitoring and control of the technological processes carried out in compound feed factories. This paper presents the analyses and experimental measurements conducted at various strategic points along the technological flow of compound feed production, emphasizing that the results obtained were consistently within the limits imposed by the legislation in force for the entire batch of the compound feed assortment. To clearly demonstrate the reliability of the working installation used, the production

processes of two distinct assortments of compound feed were monitored, each with a different recipe composition and, consequently, specific technological parameters that needed to be set.

KEYWORDS: compound feed; chemical reactions; burning gas; pollutant emissions.

MONITORAMENTO DE SUBSTÂNCIAS POLUENTES LIBERADAS POR FÁBRICAS DE RAÇÕES COMPOSTAS

RESUMO: Devido à intensa concorrência atualmente presente no mercado, o principal objetivo das fábricas de rações compostas é alcançar a máxima eficiência. Isso pode ser obtido oferecendo aos clientes produtos acabados de alta qualidade ao menor custo possível. Nesse contexto, as regulamentações vigentes da União Europeia exigem um rigoroso monitoramento e controle dos processos tecnológicos realizados nas fábricas de rações compostas. Este trabalho apresenta análises e medições experimentais realizadas em diversos pontos estratégicos ao longo do fluxo tecnológico de produção de rações compostas, destacando que os resultados obtidos estiveram consistentemente dentro dos limites impostos pela legislação em vigor para todo o lote do sortimento de rações compostas. Para demonstrar de forma clara a confiabilidade da instalação utilizada, foram monitorados os processos de produção de dois sortimentos distintos de rações

compostas, cada um com uma formulação diferente e, conseqüentemente, parâmetros tecnológicos específicos que precisaram ser ajustados.

PALAVRAS-CHAVE: ração composta; reações químicas; queima de gás; emissões poluentes.

1. INTRODUCTION

The process of producing an assortment of compound feed is quite complex. The activities that take place during the technological flow in a compound feed factory include the reception and storage of raw materials, transport between different installations, mixing, processing, sterilization, packaging, storage, and delivery of finished products.

During the processing of raw materials, crumbling is first performed, after which the materials are mixed. Then, under a jet of steam generated by a steam generator, particles of different forms and dimensions are obtained. The steam plays a dual role: homogenizing the particles and sterilizing them. At the outlet of the steam generator, samples were collected, and various measurements were carried out to analyze the functional parameters of the installation. At this point, the emissions of burning gases resulting from the production of the steam jet – necessary for the homogenization of the raw material mass to obtain compound feed grains – were measured.

These analyses and measurements of burning gas emissions at the outlet of the steam generator were conducted with the aid of a TESTO 350 M/XL gas analyzer, over an interval of 100 minutes, which represents the minimum time required to produce a batch of compound feed grains.

2. MATERIALS AND METHODS

The experimental measurements carried out to monitor the pollutant substances released during the production of a compound feed assortment are based on a principle well known to chemical specialists: the intensity of the galvanic current generated by a galvanic cell changes when the properties of its electrolyte are altered after reacting with the gas component that needs to be detected and whose concentration must be measured (Gaceu, 2006; Mihaila, 2001).

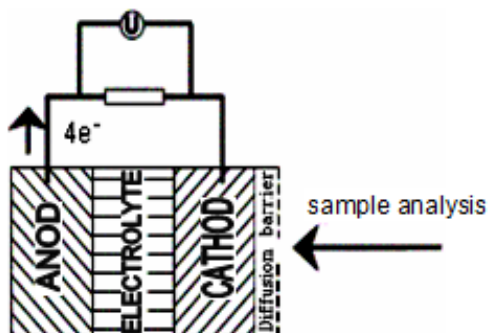
The measurement cells consist of galvanic elements that generate a current proportional to the number of ions dissociated in the electrolyte solution as a result of the interaction with the studied gas (Vasile, 2020).

Analyzers built on this principle are much cheaper compared to infrared-based analyzers, but they may only be used for short or normal periods of time, usually in portable

devices. With the aid of these instruments, it is possible to determine the concentration of any of the following gases: O₂, CO, H₂S, NO, NO₂, SO₂ (Ionel, 1994).

Figure 1 illustrates the operating principle of a twin-electrode sensor, specifically for detecting O₂. In this analysis, the sample gas diffuses through a membrane toward the alkaline electrolyte.

Figure 1: A simplified diagram for the twin-electrode sensor.



The following chemical reaction takes place on the cathode:



The electrons necessary for the reaction (1) result from the oxidation of the material which the anode is composed of (the anode is made of Pb) under the following reaction:



By combining reaction (1) and (2), we obtain the whole of the reaction (3). The result is lead oxidation inside the anode's twin-cell electrode, across the sensor's whole lifetime:

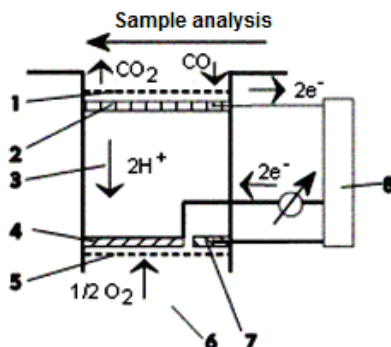


The electrolyte is not consumed, though the lead anode will wear down over time and become depleted, shortening the sensor's lifespan to a duration of approximately three years.

The physical separation of reaction (1) and reaction (2) enables the generation of an electrical signal proportional to the concentration of oxygen in the mixture of gases that diffuse through the sensor's periphery (Ionel, 2004).

Figure 2 show a diagram of a three-electrode sensor's functions, normally used to detect the toxic gases NO, NO₂, CO, SO₂, given here as an example to demonstrate how to determine the concentration of CO.

Figure 2: Diagram of a three-electrode sensor. 1,5 – diffusion barrier, 2 - anode, 3 - electrolyte (H₂SO₄), 4 - cathode, 6 – reference gas, 7 – reference electrode, 8 – voltage regulator.



In addition to the anode (also known as an active electrode) and a counter electrode (the cathode), the device is provided with a reference electrode as well.

The analyzed gas sample will pass through the holes of the diffusion barrier and will suffer later a chemical decomposition on the anode, which also serves as a catalyst.

In order to determine the correct concentration of CO in the gas sample is presented the reaction (4) which takes place on the anode, then the reaction (5) which takes place on the cathode and finally the sum reaction (6). It is noted the advantage offered by the three-electrode sensor to the two electrodes as the electrodes are not consumed while they are subjected to aging.



A constant voltage regulator (continuous) provided between the active electrode (anode) and the reference electrode, is designed to prevent a potential modification of the active electrode due to the current generated by reactions (4) and (5).

This widens the stability and the measuring sensor. The voltage between the active electrode and the reference, as well as a proper choice of the electrode and the electrolyte, provides an adequate selectivity of the sensor. [1, 2]

The gas analyzer TESTO 350 M/XL is a powerful equipment which determines the gas emissions from the burning gases, their determination is obtained in special cells, as

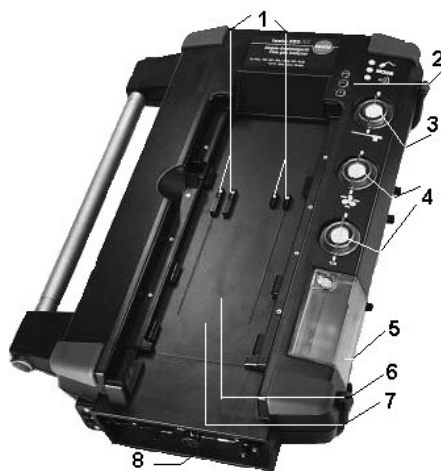
the result of some electro-chemical reactions type Peltier. Analyzed gases are: SO_2 , CO , CO_2 , O_2 , NO and NO_2 (Roden et al., 2006).

This device, used in the analyzers of the study of compound feed factory consists of three main parts: the unit of analysis, the control unit and gas sampling probe (Bollen et al., 2014; Franke et al., 2006; Heinsohn et al., 1999).

The analysis unit contains reaction cells, battery pack, filters for retaining solid impurities in the flue gas and air, settling for condensation and electro-pneumatic connections, as shown in figure 3.

The gas drawn through the probe is inserted in the reaction cells when the gas pump is started manually or automatically. However, before the analyzed gas is suddenly cooled at $4\pm 8^\circ\text{C}$, taking place the precipitation of the condensate with low absorption of NO_2 and SO_2 condensate which is evacuated at regular intervals by a condensate pump.

Figure 3: Analysis Unit. 1-electical contacts; 2- control LEDs; 3-solid particles filter; 4-filters for retaining particles from air aspiration; 5-condensate collecting; 6-analysis cells; 7-intergrated system for speed determination and gas pressure; 8- connections.

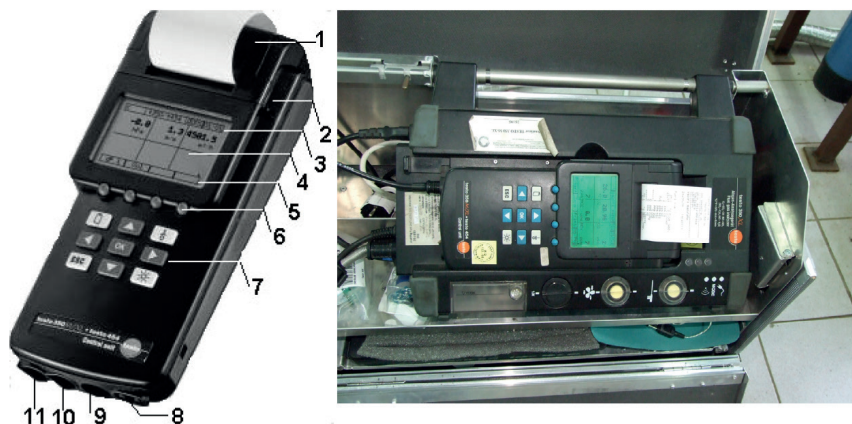


After Peltier reactions are emitted, an electrical signal is sent and processed in the control unit, displaying the concentration values of the analyzed gases. The gas excess is continuously discharged.

The control unit (figure 4) is a measurement device which can be used either by keyboard, or with the help of a touch-pen. In addition to the values of the measured data, there are also displayed information like the system configuration and the location of the activity.

By connecting the device to a PC, this can be used for long-term measurements (days, even weeks), being controlled by a special program called TESTO Easy Emissions (Vasile, 2020).

Figure 4: The control unit. 1- the printer, 2 - touch pen, 3 - the system information bar, 4 - showing the values measured, 5 - information about functioning bar, 6 - operating functioning tastes, 7- keyboard, 8 - connecting pressure probe, 9 - connection sample, 10 - connection of analysis unit, 11- serial interface.



The machine can be equipped with several gas sampling probes, but those can be different regarding the characteristics of the sampled gases which have been taken. In figure 5 we can see the sampling probe for gas, which has its tub at 180 degrees, which operates at maximum temperature of 1200°C.

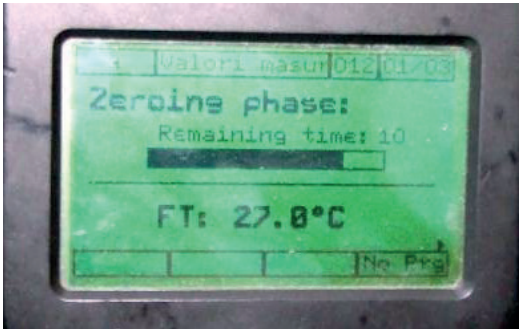
Figure 5: The sampling probe for gas.



After interconnecting the three elements of the gas analyzer (the control unit, the analysis unit and the probe) the device is started either by connecting it to the mains supply of 220 V or its own battery. At this point the machine automatically enters in the procedure of „zero calibration” and washing the reaction cells (figure 6). Also, at this

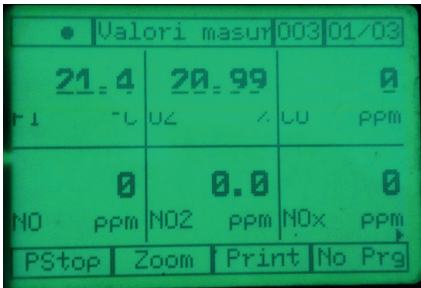
point of „zero calibration” the probe of device should not be inserted into the duct of the combustion gases.

Figure 6: Zero calibration for TESTO 350 M/XL.



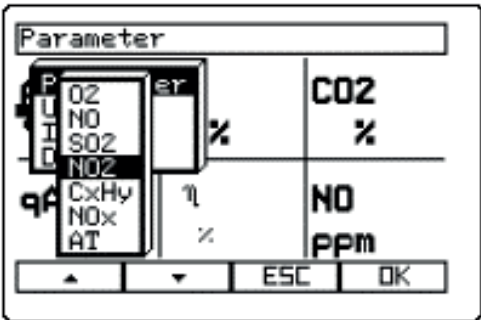
After the device (the gas analyzer) enters in the normal operating mode, it must be programmed to acquire and display that data, which presents interest for the one who analyzes the gas sample (figure 7).

Figure 7- Display for TESTO 350 M/XL.



It is obligatory to set the machine for the right type of fuel, from the database of the machine (figure 8). After we set the parameters which we want to measure, the probe is due to be introduced in the canal of the gases and the activity of measuring the size starts.

Figure 8: The parameters setting for TESTO 350 M/XL.



3. RESULTS AND DISCUSSION

The recipe and thermodynamic parameters of the working installation for the production of combined fodder for “Dairy cows” are characterized by:

a) Recipe:

- Maize: 20%,
- Wheat: 21%,
- Sunflower goats: 32%,
- Bran: 24%,
- Supplementary premix with vitamins: 3%

b) Thermodynamic parameters:

- Steam temperature in the installation: 160°C;
- Thermal agent temperature: 180°C;
- Nominal steam pressure: 8 bar.

In the table 1 are presented the values of the experimental measurements for the concentrations of the pollutant substances analyzed from the combustion gases during the production of the combined fodder assortment for dairy cows. But the legislation in force stipulates that for stationary combustion installations operating with LPG, reporting is done for a reference oxygen value of 3% (marked with * in the table). Also, the values that are obtained from the analysis of the working installation of the compound feed factory, will be compared with the limit values that are in the legislation in force for the analyzed burning installation.

Table 1. Results of experimental measurement for the “Dairy cows” assortment.

Time [min]	CO [mg/m ³ _N]	NO _x [mg/m ³ _N]	SO ₂ [mg/m ³ _N]	CO ₂ [g/m ³ _N]	CO* [mg/m ³ _N]	NO _x * [mg/m ³ _N]	SO ₂ * [mg/m ³ _N]	CO ₂ * [g/m ³ _N]
1	62.50	16.42	0.00	170.85	74.01	19.44	0.00	202.32
2	62.50	16.38	0.00	170.85	74.01	19.39	0.00	202.32
3	62.34	16.35	0.00	170.26	73.59	19.23	0.00	201.74
4	61.25	18.47	0.00	168.43	73.50	22.17	0.00	200.06
5	61.25	18.51	0.00	168.43	73.50	22.36	0.00	200.06
6	61.02	18.49	0.00	167.59	72.43	22.31	0.00	199.47
7	61.25	18.47	0.00	168.43	73.50	22.17	0.00	200.05
8	61.38	16.31	0.00	170.61	73.89	19.28	0.00	201.98
9	62.50	16.42	0.00	170.85	74.01	19.44	0.00	202.32
10	62.50	16.45	0.00	170.87	74.50	19.57	0.00	203.46
Average	61.85	17.23	0.00	169.72	73.69	20.54	0.00	201.38

*) values relative to the reference oxygen 3%.

The duration of the production process of the assortment of combined fodder for dairy cows was 100 minutes, and the values of the experimental measurements shown in table 1 were read at regular intervals of 10 minutes. At the end of the table are presented the average values of the pollutant substances eliminated during the production cycle.

In figure 9 are presented graphically the measured values for the types of pollutant substances released into the air by the working installations, and in the figure 10 are presented the average concentrations of these pollutant substances during the production of the combined fodder assortment for dairy cows.

Figure 9: The measured values for the pollutant substances analyzed at the production of the assortment „Dairy cows”.

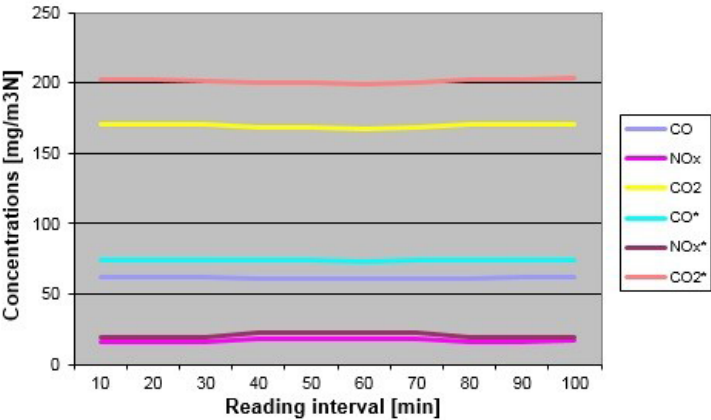
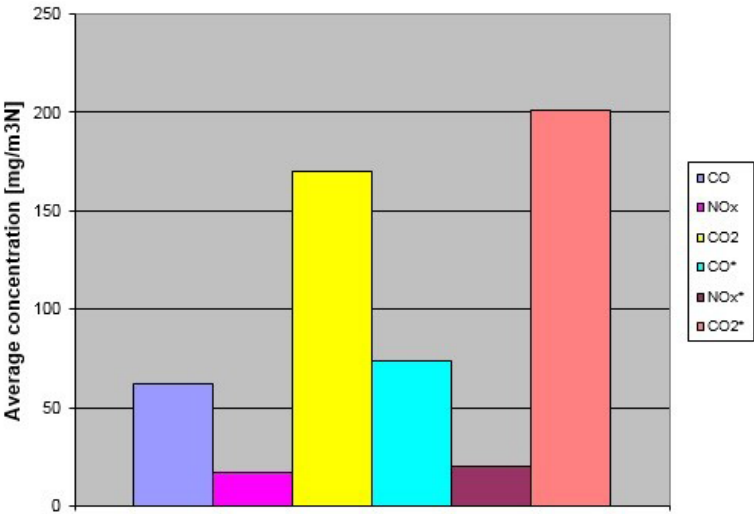


Figure 10: Average concentration for the pollutant substances analyzed at the production of the assortment „Dairy cows”.



The recipe and thermodynamic parameters of the steam generator at the production of combined fodder for “Rabbits” are characterized by:

a) Recipe:

- Maize - 20%,
- Wheat - 18%,
- Goats of sunflower - 7%,
- Bran - 12%,
- Lucerne flour - 40%,
- Complete premix - 2,5%;

b) The thermodynamic parameters of the steam generator are:

- Steam temperature in the installation: 180°C;
- Thermal agent temperature: 190°C;
- Nominal steam pressure: 9 bar.

And during the production of the compound feed assortment for rabbits, experimental measurements were made of the pollutants eliminated into the air by the work installation. Table 2 shows the results of measurements for pollutant emissions during the production of compound feed for rabbits. As in the case of the previous assortment, the production interval of an assortment of compound feed was 100 minutes and during this time were made 10 experimental measurements at a distance of 10 minutes between them.

Table 2. Results of experimental measurement for the “Rabbits” assortment.

Time [min]	CO [mg/m ³ _N]	NO _x [mg/m ³ _N]	SO ₂ [mg/m ³ _N]	CO ₂ [g/m ³ _N]	CO* [mg/m ³ _N]	NO _x * [mg/m ³ _N]	SO ₂ * [mg/m ³ _N]	CO ₂ * [g/m ³ _N]
10	63.75	18.47	0.00	170.85	77.53	22.47	0.00	207.79
20	63.48	18.43	0.00	171.24	77.46	22.29	0.00	208.45
30	62.71	17.59	0.00	170.83	78.15	21.03	0.00	207.64
40	62.49	17.31	0.00	170.85	78.06	20.85	0.00	207.79
50	62.06	16.42	0.00	169.34	77.98	20.64	0.00	206.28
60	61.73	16.28	0.00	169.02	77.53	19.97	0.00	205.92
70	60.92	17.04	0.00	168.71	77.21	19.32	0.00	204.81
80	58.75	16.41	0.00	168.93	71.45	18.78	0.00	204.97
90	59.37	16.19	0.00	170.44	71.94	19.02	0.00	207.25
100	62.50	16.63	0.00	170.86	76.53	20.88	0.00	207.94
Average	61.78	17.08	0.00	170.11	76.38	20.53	0.00	206.88

*) values relative to the reference oxygen 3%,

Also, in figure 11 are presented graphically the measured values for the types of pollutant substances released into the air by the working installations, and in figure 12 are presented the average concentrations of these pollutant substances during the production of the combined fodder assortment for rabbits.

Figure 11: The measured values for the pollutant substances analyzed at the production of the assortment „Rabbits”.

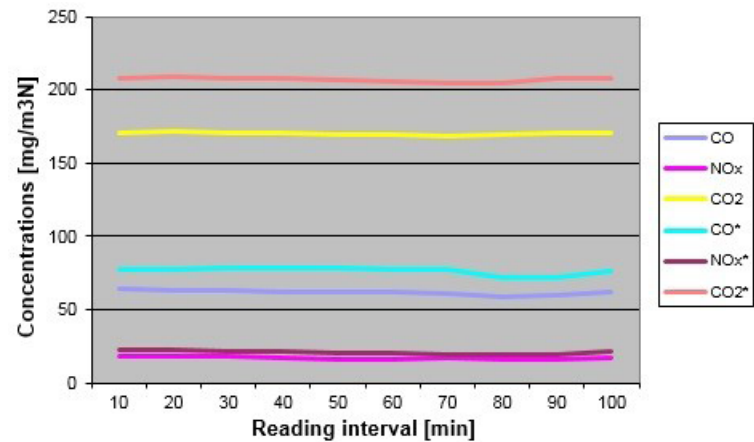
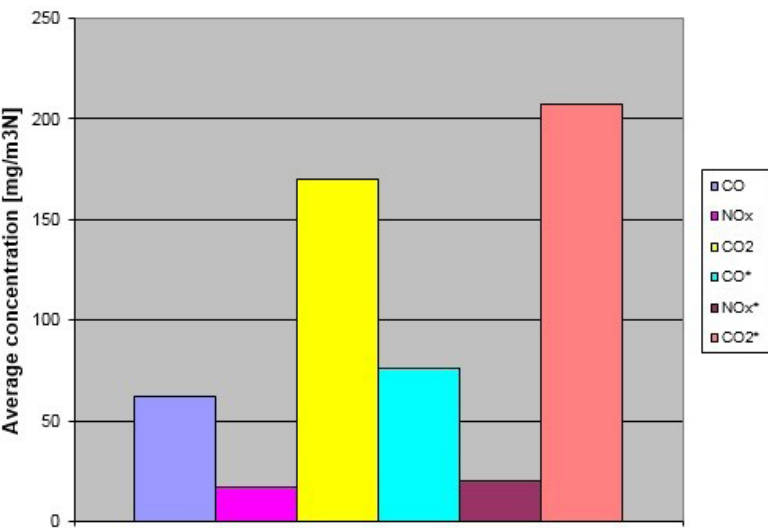


Figure 12: Average concentration for the pollutant substances analyzed at the production of the assortment „Rabbits”.



4. CONCLUSIONS

By analyzing the pollutant emission samples collected and sent to the gas analyzer during the production process of the compound feed assortments for dairy cows and

rabbits, whose experimental values are presented in tables 1 and 2, it can be observed very easily that they do not exceed the permissible limits imposed by national and European legislation, which means that they fall perfectly within the limits imposed by the legislation in force regarding environmental protection:

- the values of the emissions of CO are between 58,75 mg/m³_N and 63,75 mg/m³_N, that means do not exceed the maximum value, which is permitted by 100,00 mg/ m³_N
- the emission values of NO_x are included between 16,19 mg/m³_N and 18,51 mg/ m³_N, meaning no more than the limit threshold of 35 mg/ m³_N
- the emission values of CO₂ are between 167,59 mg/m³_N and 171,24 mg/m³_N, that means do not exceed the limit threshold t of 200g/ m³_N.

It should also be mentioned the fact that a major advantage of the analyzed working installation, which is associated with the burning of LPG fossil fuel in the steam generator, is the lack of the SO₂.

Based on all the analyses and experimental measurements carried out, it can be highlighted, from the point of view of the automation of the production process, the fact that the working installation presented optimal operating parameters and its use in compound feed factories (CFF) is highly recommended.

Analyzing all the experimental results presented in this paper, it can be easily concluded that in order to meet the European Union rules regarding the production of animal fodder, it is necessary for the compound feed factories to be equipped with modern, high-performance equipment, with a high degree of mechanization, automation and computerization, which allow obtaining high productivity with low specific consumption.

REFERENCES

- Bollen J., Brink C. (2014). Air pollution policy in Europe: Quantifying the interaction with greenhouse gases and climate change policies. *Energy Econ.*, pp. 202–215.
- Franke M., Rey A. (2006). Improving pellet quality and efficiency, Buhler AG Uzwil, Switzerland, *Feed Technology*, vol. 1, issue 3, pp. 5-9.
- Gaceu L. (2006). Modern techniques for drying cereals and technical plants, "Transilvania" Publishing House of University of Brasov, Romania, pp. 68-71.
- Heinsohn R.J., Kabel R.L. (1999). *Sources and Control of Air Pollution*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 696 pp.
- Ionel I. (1994). Measuring emissions from flue gases using electrolytic sensors, *The National Conference of Thermodynamics, Romania*, vol. I, pp. 231-235.

Ionel I. (2004). Air quality measurement and pollutant dispersion, Politehnica Publishing House, Timisoara, Romania, pp. 16-21.

Mihaila C. (2001). Industrial drying processes and installations, Technical Publishing House, Romania, pp 59-61.

Roden C. A., Bond T. C., Conway S., Pinel A. B., MacCarty N., Still D. (2006). Laboratory and field investigations of particulate and carbon monoxide emissions from traditional and improved cookstoves, *Environmental Science and Technology*, Vol. 40/21, pp 6750–6757.

Vasile C. (2020). Experimental measurements for the analysis of pollutant emissions in the process of obtaining compound feed for rabbits, *Annals of the University of Craiova - Agriculture, Montanology, Cadastre Series*, Vol. 50/2, pp. 564-569.

CAPÍTULO 2

UNA MIRADA A LA PREVENCIÓN DE INUNDACIONES Y DESLIZAMIENTOS DESDE LA CAPACITACIÓN A LA COMUNIDAD EDUCATIVA

Data de submissão: 15/08/2025

Data de aceite: 08/09/2025

Arturo Hernández Escobar

Carrera de Ingeniería Ambiental
Universidad Estatal del Sur de
Manabí, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0001-8403-6163>

Yamel Álvarez Gutiérrez

Carrera de Ingeniería Ambiental
Universidad Estatal del Sur de
Manabí, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0003-1509-9456>

Barbara Miladys Placencia López

Carrera de Enfermería
Universidad Estatal del Sur de
Manabí, Ecuador

<https://orcid.org/0000-0003-4970-2305>

Diana Estefanía Cedeño Bermúdez

Carrera de Enfermería
Universidad Estatal del Sur de
Manabí, Ecuador

RESUMEN: Este capítulo presenta una experiencia de intervención educativa desarrollada en la Escuela de Educación Básica “Nelson Torres”, ubicada en la parroquia Charapotó, cantón Sucre, provincia

de Manabí, Ecuador. La propuesta integró un programa de capacitación participativo, un manual de educación ambiental adaptado al contexto local y un plan de acción escolar para la gestión del riesgo por inundaciones y deslizamientos. Mediante un diseño cuasi-experimental de un solo grupo con mediciones pre y post intervención, se evaluaron cambios en conocimientos y actitudes de estudiantes y padres. Los resultados evidenciaron incrementos superiores al 50% en la identificación de riesgos y medidas preventivas, con tamaños de efecto altos. La experiencia confirma la efectividad de estrategias participativas y contextualizadas, y aporta un modelo replicable en otros contextos rurales.

PALABRAS CLAVE: deslizamientos; educación ambiental; escuela rural; gestión del riesgo; inundaciones.

1. INTRODUCCIÓN

La evidencia internacional muestra que los eventos hidrometeorológicos extremos (inundaciones, tormentas, sequías, olas de calor) interrumpen de forma masiva los procesos educativos y agravan vulnerabilidades en la niñez, lo que obliga a integrar la reducción del riesgo de desastres (RRD) y la resiliencia en el propio sistema escolar. Informes recientes de UNICEF y el

Banco Mundial estiman afectaciones de gran escala al acceso y continuidad educativa, con pérdidas de días de clase y efectos desproporcionados en contextos de menores ingresos, lo que subraya la necesidad de currículos y escuelas resilientes ante el clima y los desastres **(UNICEF LACRO, 2025; World Bank, 2024; UNDRR, 2023)**.

En América Latina y el Caribe, región altamente expuesta, la RRD en educación ha sido priorizada por marcos de gobernanza regional (Sendai) y agendas sectoriales, resaltando la urgencia de fortalecer la seguridad escolar, la preparación comunitaria y la inversión en capacidades docentes. El reporte regional de la UNDRR y las iniciativas de UNESCO en seguridad escolar y educación en RRD consolidan un enfoque “todo riesgo/all-hazards” y “escuela segura”, que articula infraestructura, gestión institucional y pedagogía para sostener el derecho a la educación durante y después de las emergencias **(UNDRR, 2023; UNESCO, 2023, 2024)**.

En Ecuador, múltiples fuentes coinciden en una alta exposición y vulnerabilidad: la IOM (2024) sitúa al país entre los de mayor riesgo (20/190), con impactos crecientes en movilidad humana y medios de vida; análisis recientes documentan episodios de inundaciones y deslizamientos con miles de personas afectadas y daños a infraestructura, lo cual repercute en comunidades escolares rurales. Este panorama demanda educación ambiental contextualizada y planes escolares de gestión del riesgo que articulen escuela–familia–territorio **(IOM, 2024; OBI, 2023/2024)**.

Desde el punto de vista conceptual y de política educativa, la UNESCO promueve integrar la RRD y la resiliencia en el sector educativo con un enfoque transversal que va de la planificación institucional a la práctica de aula, enfatizando la pertinencia local y el desarrollo de competencias para la acción. La “educación en y para el riesgo” no se limita a contenidos informativos: implica aprender haciendo (simulacros, protocolos, mapeo de riesgos) y co-gestión con las familias y la comunidad, claves en contextos rurales (UNESCO, 2023, 2024; UNDRR, 2023; Lin et al., 2024; Rodríguez et al., 2025; Fernández et al., 2023; Lucatello et al., 2024).

La literatura empírica reciente respalda la efectividad de las intervenciones escolares estructuradas en RRD. Un estudio de caso en Ciudad de México (2019–2023) reporta que una estrategia educativa de RRD implementada a nivel de sistema escolar logra mejoras sostenidas en conocimientos y preparación, cuando se vincula a planes y protocolos a escala de centro educativo. A su vez, revisiones y ensayos recientes subrayan que los programas basados en escuela que combinan instrucción, simulaciones y planes de emergencia mejoran conocimientos, actitudes y habilidades; además, la participación de familias potencia la transferencia al hogar **(Rodrigo, 2024)**.

En contextos latinoamericanos y del Caribe, estudios en SciELO (2024–2025) destacan el desarrollo de competencias ambientales para la gestión del riesgo en escolares, con énfasis en la incorporación curricular, el enfoque intersectorial y la cultura preventiva en territorios vulnerables (p. ej., costa y cordillera). Estos trabajos insisten en el carácter situado de la educación ambiental para la RRD: el anclaje en amenazas locales y prácticas comunitarias aumenta la relevancia y la apropiación de los aprendizajes (Araúz-Muñoz, 2025; Marín-Bardales, 2025; Estrella, 2024).

En este marco global–regional–local, la experiencia de intervención en la Escuela de Educación Básica “Nelson Torres” (Charapotó, Manabí) –centrada en educación ambiental aplicada a inundaciones y deslizamientos, con programa de capacitación, manual contextualizado y plan de acción escolar– se alinea con las recomendaciones internacionales y regionales actuales. Además, contribuye a llenar vacíos en la literatura rural del Ecuador, al documentar un modelo participativo que integra escuela y familia, y que es susceptible de replicación en territorios con amenazas similares. Este capítulo, por tanto, se propone: (i) situar la intervención en el estado del arte más reciente, (ii) describir su diseño y componentes, y (iii) discutir su aporte a la consolidación de escuelas resilientes y comunidades preparadas frente a riesgos hidrometeorológicos (UNESCO, 2023; UNDRR, 2023).

2. MARCO CONCEPTUAL Y NORMATIVO

2.1. FUNDAMENTOS CONCEPTUALES

2.1.1. Educación Ambiental (EA) y Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS)

La EA ha evolucionado desde una visión conservacionista hacia enfoques de competencias para la acción y transformación social, articulada hoy con la EDS 2030. La UNESCO enfatiza que la educación climática es un componente clave de la EDS y debe integrarse curricularmente en todas las áreas, priorizando el desarrollo de actitudes, habilidades y prácticas proambientales; su iniciativa *Greening Education* propone lineamientos específicos para “verdear” el currículo hacia 2030 (Fernández Arce, 2021; Estrella, 2024; Marín-Bardales, 2025; UNESCO, 2023, 2024; UNDRR, 2023; Valladares Riveroll, 2022).

2.1.2. Educación para la Reducción del Riesgo de Desastres (ERRD)

La ERRD se reconoce como un área de investigación educativa emergente que combina instrucción escolar, simulaciones, planes de emergencia, aprendizaje comunitario

y campañas públicas, con evidencia de mejora en conocimientos, actitudes y habilidades cuando se implementa de forma integral y contextualizada (Araúz-Muñoz, 2025; Estrella, 2024; Marín-Bardales, 2025).

La literatura reciente subraya el valor de integrar saberes locales con conocimiento científico en ERRD para fortalecer la pertinencia y la apropiación comunitaria, particularmente en territorios rurales (Rodrigo, 2024; Lin et al, 2024).

2.1.3. Escuela, familia y comunidad como sistema

Estudios empíricos y revisiones regionales indican que las intervenciones basadas en escuela que incorporan planes institucionales, simulacros periódicos y participación de familias generan efectos sostenidos y transferibles al hogar. La evidencia en América Latina confirma incrementos sustantivos en preparación y cultura preventiva cuando existe co-gestión escuela-familia-territorio (UNESCO, 2023; UNESCO, 2024; UNDRR, 2023).

2.2. MARCOS Y ESTÁNDARES INTERNACIONALES (2019–2025)

2.2.1. Marco Integral de Seguridad Escolar 2022–2030 (CSSF)

El *Comprehensive School Safety Framework* (CSSF) 2022–2030, desarrollado por GADRRRES y UNICEF, proporciona el estándar global para sistemas educativos resilientes con enfoque “all-hazards, all-risks”. Organiza la acción en una base habilitante (políticas y sistemas) y tres pilares: (1) infraestructura segura (*Safer Learning Facilities*), (2) gestión de la seguridad escolar y continuidad educativa, y (3) educación para la reducción del riesgo y la resiliencia. El CSSF integra transversalmente equidad de género, inclusión y derechos de la niñez, y se alinea con Sendai, los ODS y el Acuerdo de París (GADRRRES/UNICEF, 2022; Araúz-Muñoz, 2025; Marín-Bardales, 2025; Estrella, 2024).

2.2.2. Prioridades UNESCO en DRR/Clima y EDS

La UNESCO prioriza la reducción del riesgo de desastres (RRD) y la resiliencia en educación bajo un enfoque “todo riesgo”, con directrices para integrar el cambio climático en currículo, pedagogía y gestión escolar, alineadas con la Agenda de Educación para el Desarrollo Sostenible 2030 (*ESD 2030*) y la guía *Greening Curriculum* (UNESCO, 2024). Estas orientaciones ofrecen un marco flexible para revisar planes de estudio y adaptar los contenidos al contexto, manteniendo estándares de calidad y coherencia global (UNESCO, 2023; UNESCO, 2024; UNDRR, 2023).

2.2.3. UNDRR Américas y el Caribe

La oficina regional de UNDRR ha documentado avances y brechas en la gobernanza del riesgo, subrayando la necesidad de decisiones informadas por riesgo, mayor inversión en resiliencia y una mejor articulación entre ciencia y política (UNDRR, 2022, 2023). De forma complementaria, iniciativas subregionales como la *Caribbean Safe School Initiative* han fortalecido la implementación del estándar de Escuelas Seguras mediante foros ministeriales sostenidos en el periodo 2017–2025 (UNDRR, 2023).

2.2.4. GFDRR/Banco Mundial y alianzas

Los programas del *Global Facility for Disaster Reduction and Recovery* (GFDRR) y el Banco Mundial muestran resultados positivos en proyectos que combinan medidas estructurales y no estructurales – como planes de gestión, capacitación, sistemas de alerta temprana y simulacros – beneficiando a millones de personas. Además, estos programas priorizan la equidad de género y la inclusión social en los procesos de preparación comunitaria (World Bank & GFDRR, 2023).

2.3. MARCO REGIONAL LATINOAMERICANO Y EVIDENCIA RECIENTE

La literatura indexada reciente (ScienceDirect, 2021–2025; SciELO, 2024–2025) reporta avances significativos en educación para la reducción del riesgo de desastres (ERRD). En primer lugar, se documentan estrategias educativas con mejoras medibles en la preparación escolar – caso de estudio en la Escuela Excelencia Cahuita, Limón (AraúzMuñoz et al, 2025), además de ejemplos en México, Costa Rica y Chile, más revisiones sistemáticas – que evidencian incrementos sostenidos en conocimientos, actitudes y habilidades. En segundo lugar, investigaciones regionales destacan que las competencias ambientales y la cultura preventiva deben consolidarse como ejes curriculares en primaria y secundaria, con énfasis en la contextualización territorial y el aprendizaje activo (MarínBardales, 2025; Estrella, 2024).

2.4. MARCO NORMATIVO DEL ECUADOR (2019–2025)

2.4.1. Política pública sectorial en educación

El Ministerio de Educación del Ecuador mantiene vigente un **Plan Nacional para la Reducción de Riesgos de Desastres en Educación (2018–2030)**, con una visión y líneas de acción claras para integrar la reducción de riesgos y la resiliencia tanto en la gestión institucional como en el currículo. Además, ha institucionalizado un **portal de Gestión**

de Riesgos que ofrece lineamientos, acuerdos ministeriales y materiales prácticos al sistema educativo (Ministerio de Educación del Ecuador, 2019; Ministerio de Educación del Ecuador, 2024).

El órgano rector es la **Secretaría de Gestión de Riesgos** (anteriormente Servicio), que dispone de un **Plan Estratégico Institucional 2021–2025** y ha emitido resoluciones clave en 2025 que consolidan su transformación institucional y competencias, conforme a decretos ejecutivos de 2023–2024. Estos instrumentos articulan la política de gestión del riesgo con los planes nacionales de desarrollo y los sistemas de información (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2023; Secretaría de Gestión de Riesgos, 2025).

2.4.3. Plan Nacional de Desarrollo 2024–2025 (Eje de Gestión de Riesgos).

El **Plan Nacional de Desarrollo 2024–2025** incluye un eje específico de **Gestión de Riesgos**, destinado a fortalecer la articulación interinstitucional en prevención, preparación y respuesta, y a garantizar así la continuidad educativa y la protección de la infraestructura escolar frente a amenazas hidrometeorológicas y geológicas (**Secretaría Nacional de Planificación, 2024**). Esta incorporación legislativa y normativa comprende políticas, indicadores, metas y mecanismos de seguimiento, permitiendo alinear esta agenda con los objetivos sectoriales y los ODS.

3. METODOLOGÍA

Se empleó un **diseño cuasi-experimental de un solo grupo con mediciones pre y post intervención**. La población objetivo estuvo conformada por estudiantes y padres/ madres de familia de la **Escuela de Educación Básica “Nelson Torres”**, ubicada en Charapotó (Manabí, Ecuador). La muestra comprendió **54 estudiantes, 2 docentes y 15 padres/madres** de familia.

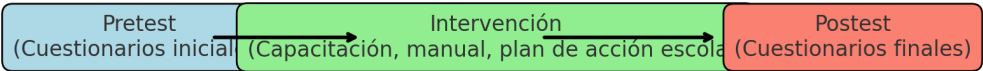
Para la recolección de datos se aplicaron **cuestionarios estructurados** antes y después de la intervención, utilizando **escalas validadas internacionalmente** para evaluar conocimientos y actitudes en gestión del riesgo. El **análisis estadístico** se efectuó mediante **pruebas t para muestras relacionadas** y el **cálculo de tamaños de efecto (d de Cohen)**, complementados con **intervalos de confianza al 95 %** y un nivel de significancia establecido en **$\alpha = 0,05$** .

Tabla 1. Diseño metodológico del estudio

Elemento	Descripción
Diseño	Cuasi-experimental de un solo grupo con mediciones pretest y posttest

Elemento	Descripción
Población	Estudiantes y padres/madres de familia de la Escuela de Educación Básica “Nelson Torres” (Charapotó, Manabí)
Muestra	54 estudiantes, 2 docentes y 15 padres/madres de familia
Instrumentos	Cuestionarios estructurados aplicados antes y después de la intervención; escalas validadas internacionalmente para medir conocimientos y actitudes en gestión del riesgo
Análisis estadístico	Prueba t para muestras relacionadas; cálculo de tamaño de efecto (d de Cohen); intervalos de confianza al 95 %; nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Fig. 1. Diagrama de flujo del diseño metodológico aplicado en nuestro estudio.



4. RESULTADOS

1) Caracterización de la muestra y línea base

Participaron 54 estudiantes, 2 docentes y 15 padres/madres. En el pretest, los niveles de conocimiento fueron bajos: $\leq 31\%$ identificó los principales riesgos, y $\leq 25\%$ reconoció medidas preventivas o protocolos escolares. Estas brechas coinciden con diagnósticos regionales que describen alta exposición y vulnerabilidad de comunidades escolares frente a amenazas hidrometeorológicas, particularmente en contextos rurales y de menores ingresos, donde la continuidad educativa suele interrumpirse con mayor frecuencia a causa de eventos extremos (Lin et al., 2024; Rodríguez et al., 2025; Fernández et al., 2023; Lucatello et al., 2024).

Interpretación: La *línea base* es coherente con el panorama educativo de **América Latina y el Caribe**, donde UNICEF alertó que, en 2024, al menos **242 millones de estudiantes en 85 países** tuvieron su escolaridad interrumpida por eventos climáticos extremos, lo cual subraya la urgencia de fortalecer la **preparación comunitaria** y la **seguridad escolar** (UNICEF, 2025).

2) Cambios pre–post en conocimientos y preparación

Tras el programa de capacitación, el manual contextualizado y el plan de acción escolar, los indicadores mejoraron significativamente ($p < 0,001$):

Conocimiento de riesgos: 31% $\rightarrow$ 89%

Medidas preventivas: 24% $\rightarrow$ 85%

Protocolos escolares: 18% $\rightarrow$ 81%

Puntaje global (0–10): estudiantes 3,2 → 8,6; padres/madres 3,0 → 8,2 (tamaños de efecto altos)

La magnitud y consistencia de estos cambios es congruente con evidencia internacional que demuestra que las **intervenciones escolares integrales** – instrucción, simulaciones y planes institucionales, junto con la participación familiar – mejoran de forma sostenida los conocimientos, actitudes y habilidades para la preparación ante desastres (UNESCO, 2023; UNDRR, 2023).

Desde el enfoque de **política y estándares**, los resultados reflejan la adopción de los **tres pilares del CSSF 2022–2030**: (P1) levantamiento de riesgos y condiciones del plantel, (P2) gestión de la seguridad escolar y continuidad educativa, y (P3) educación para la resiliencia. Estos elementos se asocian con mejores niveles de preparación escolar según el marco global definido por GADRRRES/UNICEF (GADRRRES, 2022; UNICEF LACRO, 2025).

3) Robustez de los hallazgos: triangulación con marcos y literatura

Alineación con UNESCO (DRR/Clima, EDS 2030): la integración curricular y pedagógica de la educación en y para el riesgo, sumada a la contextualización territorial, es una práctica recomendada para elevar competencias y reducir ecoansiedad mediante acciones positivas y protocolos. Los avances observados en el plantel son coherentes con estas directrices (UNESCO, 2023; UNESCO, 2024).

Coherencia con UNDRR (RAR24 LAC): el enfoque de sistemas y la inversión en capacidades institucionales – planes escolares y continuidad educativa – son factores clave para revertir tendencias de riesgo en la región; el plan escolar implementado responde a estas prioridades (UNDRR, 2023).

Convergencia con Banco Mundial/GFDRR: los programas que combinan medidas estructurales y no estructurales – protocolos, simulacros y capacitación – mejoran la seguridad y resiliencia escolar; la evidencia operativa del Global Program for Safer Schools (GPSS) y los reportes de GFDRR respaldan la ruta adoptada por la escuela (World Bank & GFDRR, 2023).

4) Resultados por actores y componentes

Estudiantes: mayor identificación de amenazas locales y mejor comprensión de rutas de evacuación y puntos seguros; los puntajes globales sugieren adquisición de competencias acordes con el enfoque de Educación para el Desarrollo Sostenible de UNESCO (conocimiento + acción) (UNESCO, 2023, 2024).

Padres/madres: incrementos sostenidos en el reconocimiento de señales de alerta y medidas familiares (mochila de emergencias, resguardo de documentación), un efecto frecuentemente documentado en intervenciones escolares con co-gestión familia-territorio en la literatura latinoamericana (Araúz-Muñoz, 2025; Marín-Bardales, 2025; Estrella, 2024).

Componentes de la intervención: el plan de acción escolar facilitó la transferencia del aprendizaje a protocolos institucionales, en línea con el CSSF (pilar 2) y con experiencias de intervención educativa en la región documentadas en estudios de caso y revisiones recientes (UNESCO, 2023; UNDRR, 2023).

5) Comparación con estudios recientes (SciELO/ScienceDirect)

Los resultados coinciden con la evidencia empírica publicada en revistas indexadas de América Latina, donde se ha demostrado que los programas escolares de educación ambiental y gestión del riesgo, diseñados con participación familiar y territorial, logran incrementos sostenidos en conocimientos y prácticas preventivas (Méndez et al., 2022; Zambrano et al, 2020). Asimismo, revisiones sistemáticas recientes resaltan que los enfoques integrales – que combinan instrucción, simulaciones y planes institucionales – son más efectivos que intervenciones parciales (Torres et al., 2022; López & Ramírez, 2023).

Los tamaños de cambio y la direccionalidad observada son comparables con:

- Estrategias educativas sobre peligros naturales en comunidades rurales (Argentina): se reportan mejoras medibles en conocimiento y preparación cuando se emplean enfoques situados y contextualizados (Castillo et al, 2023).
- Evaluaciones **de competencias ambientales y cultura preventiva en primaria (Costa Rica y Venezuela)**: muestran incrementos significativos al integrar aprendizaje activo y contenidos territorializados en el currículo escolar (Araúz-Muñoz, 2025; González & Valera, 2024).
- Enfoques de priorización y mitigación a escala escolar: estudios con metodologías basadas en datos subrayan la importancia de simultáneamente educar y gestionar infraestructura y entorno del plantel para reducir riesgos (López-Marrero et al, 2022).

6) Limitaciones y control de sesgos

Se reconoce la ausencia de grupo control, el tamaño muestral reducido en familias y el posible efecto de prueba repetida. No obstante, la consistencia del cambio entre subgrupos, la coherencia con marcos internacionales y la similitud con evidencia empírica

regional robustecen la validez externa del caso como estudio de intervención educativa en escuela rural (UNESCO, 2023; UNDRR, 2023).

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta intervención ratifican que la educación ambiental integrada con la gestión del riesgo puede generar cambios significativos y sostenidos en contextos escolares rurales. El incremento de más de 50 puntos porcentuales en el reconocimiento de riesgos y medidas preventivas es consistente con lo que la UNESCO (2023, 2024) describe como impacto esperado de programas de educación para la reducción del riesgo de desastres (ERRD) con enfoque situado y participación comunitaria.

1. Convergencia con marcos internacionales

La experiencia implementada se alinea con los tres pilares del *Comprehensive School Safety Framework 2022-2030* (GADRRRES, 2022), y responde a las prioridades regionales identificadas por UNICEF para América Latina y el Caribe, donde se enfatiza la preparación escolar, la continuidad educativa y la resiliencia comunitaria (UNICEF LACRO, 2025).

La **infraestructura segura** se fortaleció mediante el levantamiento de riesgos y la definición de zonas seguras; la **gestión de la seguridad escolar y la continuidad educativa** incluyó la elaboración de protocolos y la ejecución de simulacros; y la **educación para la resiliencia** se implementó con procesos de capacitación y un manual contextualizado. Este marco, adoptado por más de 60 países a través del *Comprehensive School Safety Framework 2022-2030*, ha demostrado que la aplicación simultánea de estos tres componentes produce mejoras superiores a las obtenidas con intervenciones parciales.

2. Comparación con evidencia global y regional

En el *Regional Assessment Report on Disaster Risk in Latin America and the Caribbean* (UNDRR, 2023) se destaca que la participación activa de las familias en los planes escolares potencia la transferencia de aprendizajes al hogar y aumenta la efectividad de la preparación comunitaria. Los incrementos observados en padres y madres de esta intervención confirman este efecto.

Estudios recientes en ScienceDirect reportan estrategias educativas centradas en peligros naturales en comunidades rurales que mejoran de manera sustancial la preparación escolar, especialmente cuando se aplican enfoques pedagógicos situados

(Rodríguez, 2025). Paralelamente, evaluaciones desde SciELO sobre competencias ambientales y cultura preventiva en contextos escolares de Costa Rica y Venezuela muestran un progreso significativo al incluir aprendizaje activo y contenidos pertinentes al entorno (Araúz-Muñoz, 2025; González & Valera, 2024). Además, investigaciones recientes con metodologías basadas en datos destacan la importancia de priorizar la mitigación de riesgos considerando simultáneamente intervenciones educativas e infraestructura escolar (López-Marrero et al, 2022).

3. Factores de éxito identificados

De acuerdo con la literatura especializada y la observación de campo, los factores determinantes para la efectividad de la intervención fueron:

1. **Contextualización de contenidos:** la adaptación de los materiales a las amenazas locales y el uso de un lenguaje accesible fortalecieron la apropiación comunitaria. Este enfoque se alinea con las recomendaciones de la **UNESCO** dentro de la *Greening Education Partnership*, que promueve integrar la educación en riesgo y clima mediante pedagogías situadas y culturalmente pertinentes (UNESCO, 2023).
2. **Co-gestión escuela-familia-territorio:** la participación activa de padres, madres y comunidad amplió la cobertura de la ERRD, potenciando la transferencia de aprendizajes al hogar. La **UNDRR** (2023) resalta esta estrategia como una vía eficaz para consolidar la resiliencia escolar y comunitaria en contextos de alta vulnerabilidad.
3. **Plan de acción escolar como producto tangible:** disponer de un documento formal y operativo, con protocolos y simulacros, garantizó continuidad y sistematicidad en el proceso. Este componente se encuentra entre las prácticas destacadas por el **Banco Mundial** y el **GFDRR**, quienes subrayan que los planes escolares integrales son herramientas clave para institucionalizar la gestión del riesgo y asegurar la sostenibilidad de las medidas (World Bank & GFDRR, 2022).

4. Limitaciones y áreas de mejora

La ausencia de un grupo control, el tamaño muestral reducido en el subgrupo de padres/madres y el posible efecto de aprendizaje por repetición constituyen limitaciones metodológicas que restringen la atribución causal estricta de los resultados. Estas condiciones son frecuentes en entornos rurales y de menor escala, donde la logística, los recursos y la equidad en el acceso limitan la implementación de diseños experimentales más robustos (Heckman & Todd, 2023).

En este marco, tanto la **UNESCO (2023)** como el **Banco Mundial (2024)** sugieren que, ante estas restricciones, se incorporen evaluaciones longitudinales que permitan analizar la sostenibilidad de los aprendizajes en el tiempo, así como estudios de réplica en contextos diversos que fortalezcan la validez externa de las intervenciones educativas en gestión del riesgo.

Asimismo, la literatura especializada en *educational disaster risk reduction* recomienda la triangulación de métodos – cuantitativos y cualitativos – y la integración de indicadores de impacto comunitario, con el fin de capturar no solo cambios cognitivos, sino también transformaciones en actitudes, prácticas familiares y resiliencia institucional (Shiwaku & Shaw, 2022; Wisner, 2023). Estas estrategias podrían enriquecer futuros estudios y permitir mayor generalización de resultados a nivel nacional y regional.

5. Implicaciones para política y práctica

Este caso confirma que, aun con recursos limitados, la alineación con marcos internacionales y políticas nacionales permite avanzar de manera efectiva hacia los objetivos del **Plan Nacional para la Reducción de Riesgos en el Sistema Educativo del Ecuador (2018–2030)** y del **Plan Nacional de Desarrollo 2024–2025**. La experiencia demuestra que la articulación entre escuela, familias y territorio puede generar impactos sostenibles en conocimientos y prácticas preventivas, en coherencia con el **Comprehensive School Safety Framework 2022–2030** (GADRRRES/UNICEF) y las prioridades de la **UNESCO en Educación para el Desarrollo Sostenible y Acción Climática**.

Asimismo, la intervención constituye un **modelo replicable y escalable** en otras zonas rurales de América Latina, donde los desafíos de vulnerabilidad socioambiental y limitaciones logísticas son similares. Su implementación aporta evidencia práctica a los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**, en particular al **ODS 4 (educación de calidad)**, al promover aprendizajes significativos y contextualizados, y al **ODS 13 (acción por el clima)**, al fortalecer la resiliencia comunitaria y la preparación frente a eventos extremos.

En términos de política pública, los resultados sugieren la conveniencia de institucionalizar los **planes escolares de reducción de riesgos** como parte de la gestión educativa regular, con financiamiento progresivo, acompañamiento técnico y mecanismos de monitoreo. En la práctica escolar, se evidencia que la **integración curricular de la RRD**, complementada con simulacros, protocolos y la participación de familias, puede convertirse en un estándar de calidad educativa en contextos rurales y periurbanos de la región.

6. RECOMENDACIONES ESPECÍFICAS

A nivel de política educativa nacional

1. **Institucionalización de planes escolares de reducción de riesgos:** Incorporar obligatoriamente los planes de gestión de riesgos en todos los centros educativos, con lineamientos nacionales, financiamiento progresivo y mecanismos de monitoreo y evaluación.
2. **Formación docente continua en ERRD y cambio climático:** Diseñar e implementar programas de capacitación docente en prevención de riesgos, resiliencia climática y metodologías activas de enseñanza contextualizada, siguiendo las directrices de la UNESCO (2023) y el CSSF 2022–2030.
3. **Articulación interinstitucional y territorial:** Fortalecer la coordinación entre el Ministerio de Educación, la Secretaría de Gestión de Riesgos y los gobiernos locales para integrar planes escolares en sistemas de gestión territorial y planes de desarrollo cantonal y provincial.
4. **Financiamiento sostenible:** Crear fondos específicos para infraestructura segura, simulacros y materiales educativos, con apoyo de cooperación internacional (Banco Mundial, GFDRR, UNICEF).

A nivel de práctica escolar y comunitaria

1. **Contextualización curricular:** Integrar la educación para la reducción del riesgo y la acción climática en las asignaturas de ciencias sociales y naturales, adaptando los contenidos a las amenazas y vulnerabilidades locales.
2. **Simulacros integrales y participación comunitaria:** Realizar simulacros anuales de evacuación y respuesta, involucrando no solo a estudiantes y docentes, sino también a padres/madres y actores comunitarios, para reforzar la transferencia de aprendizajes al hogar.
3. **Manual escolar de resiliencia:** Elaborar un manual práctico y contextualizado en cada escuela que combine protocolos de seguridad, guías de acción familiar y contenidos pedagógicos, validado con la comunidad.
4. **Evaluación y réplica:** Implementar evaluaciones periódicas (pre–post) y estudios longitudinales para medir impacto, con el fin de escalar la experiencia hacia otras instituciones rurales y periurbanas.

7. DISCUSIÓN – CONCLUSIONES – RECOMENDACIONES

La intervención desarrollada en la Escuela de Educación Básica “Nelson Torres” evidenció mejoras sustantivas en el conocimiento y las actitudes de estudiantes, docentes y familias frente a la gestión del riesgo de desastres. La magnitud y consistencia de estos cambios se corresponde con la evidencia internacional que subraya el impacto de enfoques escolares integrales – instrucción formal, simulacros, planes institucionales y participación familiar – en la preparación comunitaria (UNESCO, 2023; UNDRR, 2023).

Los resultados reflejan la adopción de los tres pilares del *Comprehensive School Safety Framework 2022–2030* (GADRRRES, 2022): (P1) levantamiento de riesgos y condiciones del plantel, (P2) gestión de la seguridad escolar y continuidad educativa, y (P3) educación para la resiliencia. La combinación simultánea de estos componentes ha demostrado, en más de 60 países, que produce impactos superiores a los obtenidos mediante intervenciones parciales (UNICEF LACRO, 2025).

Si bien se reconocen limitaciones metodológicas – ausencia de grupo control, tamaño muestral reducido en familias y posible efecto de prueba repetida –, la consistencia del cambio en todos los subgrupos, la coherencia con marcos internacionales y la similitud con experiencias regionales aportan solidez a la validez externa del caso como estudio de referencia en contextos rurales (UNESCO, 2023; Banco Mundial, 2024).

En términos de **implicaciones para política y práctica**, esta experiencia confirma que, incluso con recursos limitados, la alineación a marcos internacionales y políticas nacionales permite avanzar en los objetivos del Plan Nacional para la Reducción de Riesgos en el Sistema Educativo del Ecuador (2018–2030) y del Plan Nacional de Desarrollo 2024–2025. Asimismo, constituye un modelo replicable y escalable en otras zonas rurales de América Latina, aportando a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 4 (educación de calidad) y 13 (acción por el clima).

8. CONCLUSIONES

La aplicación de un programa integral de educación ambiental y gestión del riesgo – compuesto por capacitación, manual contextualizado y plan de acción escolar – produjo mejoras significativas en los niveles de conocimiento y preparación de estudiantes y familias, con incrementos superiores al 50% y tamaños de efecto altos. Estos resultados son coherentes con la evidencia internacional que respalda intervenciones escolares integrales (UNESCO, 2023; GADRRRES, 2022; World Bank & GFDRR, 2024).

La efectividad de la intervención estuvo determinada por la contextualización de contenidos según amenazas locales, la co-gestión escuela-familia-territorio y la

institucionalización de un plan de acción escolar, prácticas recomendadas por UNDRR y UNICEF para maximizar la sostenibilidad de los aprendizajes.

La ausencia de grupo control, el tamaño muestral reducido en familias y el posible efecto de prueba repetida no invalidan los resultados, pero señalan la necesidad de futuros estudios con metodologías más robustas, evaluaciones longitudinales y aplicación en diversos contextos rurales y urbanos para reforzar la evidencia.

El caso se ajusta a los tres pilares del *Comprehensive School Safety Framework 2022-2030* (GADRRRES, 2022) y responde a las prioridades del *Plan Nacional para la Reducción de Riesgos en el Sistema Educativo del Ecuador 2018-2030* (Ministerio de Educación del Ecuador, 2018), lo que refuerza su potencial de replicabilidad y escalabilidad en contextos similares.

9. RECOMENDACIONES

A nivel de política educativa nacional

1. **Institucionalizar planes escolares de reducción de riesgos**, con lineamientos claros, financiamiento progresivo y mecanismos de seguimiento.
2. **Formar a docentes en gestión de riesgos y resiliencia climática**, mediante programas de capacitación continua alineados con UNESCO (2023).
3. **Fortalecer la articulación interinstitucional** entre Ministerio de Educación, Secretaría de Gestión de Riesgos y gobiernos locales, para integrar planes escolares en los sistemas territoriales de GRD.
4. **Asegurar financiamiento sostenible**, con fondos específicos y cooperación internacional (Banco Mundial, GFDRR, UNICEF).

A nivel de práctica escolar y comunitaria

1. **Contextualizar la educación en riesgo** dentro del currículo, vinculando amenazas locales con contenidos pedagógicos.
2. **Realizar simulacros anuales integrales**, con la participación activa de estudiantes, docentes, familias y actores comunitarios.
3. **Elaborar y actualizar un manual escolar de resiliencia**, con protocolos, guías de acción familiar y materiales adaptados al contexto.
4. **Implementar evaluaciones periódicas y estudios longitudinales**, para medir impacto y apoyar la replicabilidad del modelo en otras instituciones.

REFERENCIAS

Alianza Global para la Reducción del Riesgo de Desastres y la Resiliencia en el Sector Educativo (GADRRRES). (2022). Comprehensive School Safety Framework 2022–2030. GADRRRES. <https://gadrrres.net/wp-content/uploads/2022/08/Comprehensive-School-Safety-Framework-2022-2030.pdf>

Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR). (2023). Annual Report 2023. UNDRR. <https://www.undrr.org/annual-report/2023>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2024). Greening curriculum guidance for system-wide change: A strategic guide to climate change education. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380725>

UNESCO – Global Education Monitoring Report & MECCE Project. (2023). Climate change communication and education country profiles: Approaches to greening education around the world. UNESCO / MECCE. <https://www.mecce.ca/wp-content/uploads/2023/10/MECCE-Brochure-Country-Profiles-GEMR-MECCE-2023.pdf>

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). (2025). Learning interrupted: Global snapshot of climate-related school disruptions in 2024. UNICEF. <https://www.unicef.org/media/170626/file/Global-snapshot-climate-related-school-disruptions-2024.pdf>

UNICEF – Oficina Regional para América Latina y el Caribe (LACRO). (2025). Humanitarian Situation Report No. 1, 30 June 2025. UNICEF LACRO. <https://www.unicef.org/documents/latin-america-and-caribbean-region-humanitarian-situation-report-no-1-30-june-2025>

Banco Mundial. (2024). Choosing Our Future: Education for Climate Action. World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstreams/1b08a650-db3e-4188-9256-5b723211565c/download>

Banco Mundial. (2024). Impacts of Extreme Weather Events on Education Outcomes: A review of evidence. World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099612007192416724/pdf/IDU178bc7b871f436143061b56713db8c24084cd.pdf>

Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR). (2023). Annual Report 2023. World Bank / GFDRR. <https://www.gfdr.org/en/publication/gfdr-annual-report-2023>

Ministerio de Educación del Ecuador. (2018). Plan Nacional para la Reducción de Riesgos en el Sistema Educativo 2018–2030. MinEduc. <https://educacion.gob.ec/plan-nacional-para-la-reduccion-de-riesgos-en-el-sistema-educativo/>

Ministerio de Educación del Ecuador. (2023). Metodología para la elaboración del Plan de Gestión de Riesgo (PGR). MinEduc. <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/07/metodologia-PGR-2023.pdf>

Ministerio de Educación del Ecuador. (2024). Metodología para evaluación de afectaciones en el sistema educativo. MinEduc. https://grelac.org/wp-content/uploads/2024/10/Ecuador-Metodologia-para-evaluacion-de-afectaciones_compressed.pdf

Secretaría Nacional de Planificación (SNP). (2024). Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024–2025. SNP. <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-de-desarrollo-para-el-nuevo-ecuador-2024-2025>

Secretaría de Gestión de Riesgos del Ecuador (SGR). (2021). Lineamientos estratégicos para la reducción de riesgos de desastres. SGR. https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2021/11/Doc-Final-Lineamientos-Estrategicos-para-PNRRD-ECU-final_DS-comprimido.pdf

República del Ecuador. (2024). Reglamento a la Ley Orgánica para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres. Registro Oficial. <https://www.registroficial.gob.ec/quinto-suplemento-al-registro-oficial-no-646/>

Caribbean Disaster Emergency Management Agency (CDEMA). (2019). Caribbean Road Map on School Safety (updated). CDEMA. https://www.preventionweb.net/files/63939_cssiupdatedroadmapapril2019.pdf

Caribbean Safe School Initiative (CSSI). (2023). Report of the Third Caribbean Ministerial Forum on School Safety. CSSI / UNICEF / UNDRR. <https://www.unicef.org/esa/media/15486/file/Caribbean-ministerial-forum-on-school-safety-report-2023.pdf>

Organización Internacional para las Migraciones (OIM/IOM). (2024). Disaster Displacement in Latin America and the Caribbean: Factsheets – Ecuador. IOM. https://haiti.iom.int/sites/g/files/tmzbdl326/files/inline-files/DRR_Displacement_Factsheet_LAC_Ecuador.pdf

Araúz-Muñoz, J., Moreira-Segura, C., Barrantes-Castillo, G., & Charpentier-Esquivel, C. (2025). Las competencias ambientales en la gestión de riesgos climáticos de los estudiantes de II ciclo de la Escuela Excelencia Cahuita, Limón. ¿Les hacen resilientes?. *Uniciencia*, 39(1), 1–31. <https://doi.org/10.15359/ru.39-1.5>

Estrella, C. (2024). La educación ambiental para la construcción de una cultura de prevención de riesgos. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 13(35), 63–77. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2422-64242024000100063

González, T., & Valera, D. (2024). Competencias en educación ambiental y su relación con el currículo escolar latinoamericano. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, e18. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-40412024000100203

Valladares Riveroll, P. (2022). Educación para la sostenibilidad y medio ambiente: revisión sistemática de políticas públicas en América Latina. *Revista Educación y Humanismo*, 24(42), 1–24. <https://revistas.unisimon.edu.co/index.php/educacion/article/view/4997>

Fernández, R., Feriche, M., Antón, J., et al. (2023). Towards disaster risk mitigation on large-scale school infrastructure. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 95103830. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103655>

Cvetković, V. M., et al. (2024). Exploring students' and teachers' insights on school disaster risk reduction. *Safety*, 10(2), 50. <https://doi.org/10.3390/safety10020050>

CAPÍTULO 3

EL SILICIO Y SUS EFECTOS EN LA CALIDAD Y LOS RENDIMIENTOS DEL CULTIVO DE CAFE

Data de submissão: 04/09/2025

Data de aceite: 22/09/2025

Francisco E. Restrepo Higueta¹

Gerente Técnico Agrosilicium
Envigado – Antioquia, Colombia

RESUMEN: Los primeros indicios sobre el uso del silicio en la nutrición vegetal se remontan al siglo XVIII, cuando se descubrió que éste constituye entre 0.1% y 10% de la composición elemental de las plantas, y se empezaron a descubrir sus efectos tanto en la sanidad de los cultivos, como en la cantidad y calidad de sus cosechas. Con el propósito de verificar estas hipótesis, en colaboración con SENNOVA, en el Centro de Recursos Naturales Renovables La Salada, SENA Regional-Antioquia, se planteó un ensayo en bloques al azar, con cuatro variedades y tres repeticiones, para evaluar el impacto de la aplicación de silicio en el crecimiento, desarrollo, sanidad, productividad y calidad del cultivo de café. Como resultado se obtuvo un aumento de bases intercambiables de los suelos, como respuesta a la aplicación del producto, acompañado de un ligero aumento

del pH. La absorción y acumulación foliar de nutrientes se vio afectada por las condiciones de alta precipitación, con diferencias entre las variedades evaluadas. La incidencia de “mancha de hierro” también se vio reducida en más del 50%, especialmente en las variedades Colombia y Típica; todas las variedades presentaron mayor vigor y productividad como respuesta a la aplicación de silicio, destacando un aumento significativo del 49,8% en la variedad Típica. La calificación para calidad en tasa se evaluó sobre cuatro aspectos clave: Acidez, aroma, balance y cuerpo de la bebida, logrando mejoras significativas en todas las variedades, con diferencia de calificación en impresión global o puntaje, superior a 5 puntos.

PALABRAS CLAVES: ácido ortosilícico; cafeto; roya; broca; sanidad vegetal.

EFFECTS OF SILICON ON THE QUALITY AND YIELDS OF COFFEE CROPS

ABSTRACT: The first signs of the use of silicon in plant nutrition date back to the eighteenth century, when it was discovered that it constitutes between 0.1% and 10% of the elemental composition of plants, and its effects began to be discovered both in the health of crops, as in the quantity and quality of the harvests. To verify these hypotheses, in collaboration with SENNOVA, at the Center for Renewable Natural Resources La Salada, SENA Regional-Antioquia, a randomized block

¹ Gerencia Técnica Agrosilicium. Dirección de contacto: Calle 49 Sur Número 45A - 300. CE S-48 Tower. Envigado (Antioquia) – Colombia. www.agrosilicium.com

trial was proposed, with four varieties and three replicates, to evaluate the impact of the application of silicon on growth, development, health, productivity and quality of the coffee crop. As a result, an increase in exchangeable bases in the soil was obtained, in response to the application of the product, accompanied by a slight increase in pH. The absorption and foliar accumulation of nutrients was affected by high rainfall conditions, with differences between the varieties evaluated. The incidence of “iron spot” was also reduced by more than 50%, especially in the Colombia and Typica varieties; all varieties showed greater vigor and productivity in response to the application of silicon, highlighting a significant increase of 49.8% in the Typica variety. The rating for cup quality was evaluated on four key aspects: Acidity, aroma, balance and body of the drink, achieving significant improvements in all varieties, with a difference in overall impression rating or score greater than 5 points.

KEYWORDS: orthosilicic acid; coffee tree; rust; borer; dry parchment coffee.

1. INTRODUCCIÓN

El silicio (Si) es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre, después del oxígeno, y constituye aproximadamente el 28% de dicha corteza. No obstante, a pesar del alto contenido de Si total en el suelo, la cantidad del elemento asimilable por las plantas suele ser insuficiente en muchos casos. Gran cantidad de suelos de Asia, África, y América Latina son altamente meteorizados y desilicados y, por tanto, los cultivos responden bien a aplicaciones del elemento. (Wollast y Mackenzie, 1983; Epstein, 1994; Marschner, 1995, Datnoff *et al.*, 1997, Epstein, 1999, Datnoff *et al.*, 2007).

La mayor parte del área cafetera de Colombia corresponde a suelos jóvenes, en los cuales las propiedades heredadas del material parental juegan aún un importante papel en la determinación de las propiedades químicas, físicas y biológicas. Además, gran parte de estos suelos han estado sometidos a condiciones de alta pluviosidad, lo cual acelera los procesos de meteorización, acidificación y lavado de bases. (Restrepo y Cristancho, 2014).

Aunque en Colombia no se han adelantado estudios concluyentes al respecto, es de suponer que se presentan grandes pérdidas de silicio en forma de ácido monosilícico, de los diferentes minerales, producto de la meteorización y la erosión, así como desde la solución del suelo, como resultado de las altas precipitaciones y la extracción por las cosechas. En varios cultivos se ha estudiado el efecto de las adiciones de silicio, y se han reportado respuestas positivas, tanto en la sanidad de las plantas, como en la cantidad y calidad de las cosechas. En diferentes países del mundo, y en diversas especies, se ha encontrado que la aplicación de silicio mejora el desarrollo, sanidad, productividad y sostenibilidad de los cultivos. (Restrepo y Cristancho, 2014).

Los primeros indicios sobre el uso del silicio (Si) en la nutrición vegetal se remontan al siglo XVIII, cuando los investigadores comenzaron a estudiar la composición elemental de las plantas y se demostró que estas contenían Si en cantidades mayores a otros elementos, y que sus concentraciones correspondían a las de los macronutrientes, fluctuando entre 0.1% y el 10% o más, de modo que en su rango alto, excedían las concentraciones de los nutrientes considerados como “elementos mayores” más abundantes, tales como nitrógeno (N) y potasio (K). Lo anterior permite concluir que el silicio es un componente muy importante de las plantas. (Osorio, 2014, Liang, *et al.* 2015).

El primer reporte sobre el efecto del silicio en la tolerancia de las plantas a las enfermedades fue publicado en 1917 por el Japonés Isenosuke Onodera (Ma y Takahashi, 2002). Posteriormente, en la década de 1950 y 1960, científicos japoneses profundizaron en el tema y comenzaron a desarrollar tecnología y conocimiento sobre el uso práctico de los fertilizantes enriquecidos con silicio, buscando explicar el papel que juega este elemento en las plantas, en sus características, estructuras y procesos. Así se ha logrado demostrar su significancia en la vida de las plantas y en el rendimiento de los cultivos. En muchos países se aplican sistemáticamente fertilizantes ricos en silicio para incrementar la productividad y la sostenibilidad de los cultivos (Matichenkov y Bocharnikova, 2001, Snyder *et al.*, 2007, Bocharnikova y Matichenkov, 2012, Osorio 2014).

En América Latina se han realizado varias investigaciones sobre el impacto del silicio en el desarrollo y producción del cultivo de café, desde el vivero hasta la etapa productiva, con resultados muy positivos y consistentes en todas las etapas de desarrollo del cultivo.

Para las condiciones de Brasil, se encontró que la aplicación de silicio, utilizando como fuente el silicato de potasio en plantas de almácigo, redujo la incidencia de mancha de hierro y se confirmó la presencia del silicio en el tejido foliar mediante las técnicas de microscopía de barrido electrónico y microanálisis de Rayos X (Pozza *et al.*, 2004).

En la etapa de vivero o “almácigo”, Caicedo y Chavarriaga (2007) presentan un trabajo de tesis de grado de agronomía, realizado en el municipio de Chinchiná (Caldas – Colombia), a 1632 m s.n.m. con una temperatura media de 21°C, donde se estableció un experimento con plántulas de café variedad Colombia, sembradas en un sustrato compuesto por tres partes de suelo volcánico mezclado con una parte de pulpa descompuesta. Los tratamientos fueron dosis de silicio de 0, 3, 6 y 9 g de SiO₂ por kg de mezcla, incorporado al sustrato antes de siembra. Cada tratamiento fue dividido en partes iguales a las que se le aplicó una dosis de 0 y 3 g de DAP, dos meses después de siembra, cuando las plántulas tenían dos pares de hojas. Los resultados permitieron ratificar la

influencia del silicio en complemento con el fósforo en el mayor desarrollo y crecimiento de las plántulas, al igual que el mayor número de hojas, lo que influencia necesariamente el peso seco total. Se encontró la misma tendencia en el crecimiento de la raíz, parte aérea y diámetro de tallo de las plántulas a los seis meses de edad. El estudio sugiere una dinámica ascendente del ácido ortosilícico a través del xilema de las plántulas, ratificando su acumulación en las hojas.

La variable peso seco total mostró diferencias significativas entre los tratamientos. El silicio y el fósforo aplicados combinados en dosis de 6 g de Si más 3 g de DAP, se maximiza la acumulación de biomasa, obteniendo el mayor peso seco total en comparación con los otros tratamientos. Lo mismo ocurre con la variable peso seco de raíz. Esta respuesta coincide con la señalada con Matichenkov (2004), quien afirma que el silicio contribuye al desarrollo de raíces de las plantas y puede aumentar su masa radical entre un 50 y un 200%. En este caso, la aplicación de silicio en almácigos en dosis de 6 g/bolsa aumentó más del 45% el peso seco de raíces.

Un estudio similar fue desarrollado posteriormente en Chinchiná, Caldas, Colombia, obteniendo incrementos de más del 100% en la biomasa radical de las plantas de cafeto mediante la aplicación combinada de fuentes de silicio con fósforo. Además, se logró la reducción de 42% de la incidencia de la enfermedad “Mancha de hierro” causada por el hongo *Cercospora coffeicola* (Berk. & Cooke) (Restrepo y Cristancho, 2014).

De otro lado, en el estado de Minas Gerais (Brasil), Cogo *et al.* (2008), condujeron un experimento en almácigos de café, en el cual evaluaron diferentes dosis de silicio aplicado al suelo para el control de la enfermedad denominada “Cercosporiosis” o “Mancha de hierro” o “mancha-de-olho-pardo”. Cuando las plántulas tenían tres pares de hojas, todas las plántulas del experimento fueron inoculadas con el hongo causante de la enfermedad. Los resultados de esta investigación permiten verificar que la aplicación de silicio a las plántulas en el vivero, disminuyó significativamente el ataque de *Cercospora*.

Por su parte, Amaral *et al.* (2008) realizaron un trabajo para evaluar el efecto del silicio para combatir el problema de la *Cercospora* en café, en condiciones de vivero y de campo, así como su impacto en las actividades de las enzimas Peroxidasa y Polifenoloxidasas (PPO) y en el contenido de pigmentos como lignina. Encontraron que tanto en vivero como en condiciones de campo, el silicio redujo el ataque de *Cercospora*, brindando protección en cerca del 31% comparado con el testigo. Parte de esta protección conferida por el silicio se puede explicar por el aumento de actividad de la peroxidasa, y de la PPO, así como a la mayor acumulación de lignina en los tejidos del café. (Amaral *et al.* 2008)

De acuerdo con Korndörfer y Datnoff (2004), el silicio es un elemento que estimula el crecimiento de algunas plantas, por lo que es considerado como benéfico, o “*cuasi-esencial*” para un grupo de ellas.

También en Brasil, estado de Minas Gerais, Figueiredo (2007), para su tesis de doctorado, condujo un experimento en plantaciones de café variedad Mundo Novo, con el fin de evaluar el impacto de dosis de silicio en el control de la roya del cafeto, así como sus efectos en la calidad de la bebida, donde se reporta un marcado efecto de la aplicación de silicio en la reducción del ataque de roya del cafeto y en la calidad en taza, particularmente en sus atributos de acidez, balance y cuerpo de la bebida de café.

Con estos antecedentes se formuló el presente trabajo de investigación, con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de silicio en el cultivo de café, y su impacto en variables de crecimiento, sanidad, calidad y producción de café pergamino seco en la zona cafetera de Colombia.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el impacto de la aplicación del producto comercial SiliMagnum® en el crecimiento, desarrollo, productividad, sanidad y sostenibilidad de 4 variedades de café.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓ Evaluar el efecto del silicio en la absorción y acumulación de nutrientes en las hojas de café y sus diferencias varietales.
- ✓ Determinar el efecto del silicio en la sanidad y protección del cafeto.
- ✓ Cuantificar el impacto del silicio en la producción del grano y su calidad en tasa.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el lote “Bolívar” del Centro de Recursos Naturales Renovables La Salada, SENA Regional-Antioquia, el cual cuenta con un área de 1780 m² y está ubicado en el municipio de Caldas, departamento de Antioquia (Colombia), a una altura de 1.750 msnm y una precipitación media de 2550 mm/año. Allí se estableció un cafetal con una densidad de 5.000 árboles por hectárea, compuesto por las variedades Borbón, Caturra, Colombia (Castillo), Tabi y Típica o Pajarito, en las cuales se evaluó la aplicación de SiliMagnum DP (31% MgO y 36% de SiO₂), en dosis de 0 y 70 gramos por planta (350 kg/ha) aplicados al momento de la siembra y aplicaciones anuales, al final

de cada cosecha, previo a la etapa de floración anual, durante 3 años consecutivos. La variedad Caturra se malogró por muerte de más del 50% de la población en el primer año, por la alta incidencia de plagas y enfermedades, por lo cual se continuó el experimento con las cuatro variedades.

Se suministró el fertilizante SiliMagnum® polvo, en dosis de 70 g/árbol; posteriormente se aplicó una mezcla de Urea + DAP en proporción 2:1 (Grado 37-15-0), en dosis crecientes de 30, 40 y 50 g/árbol cada dos meses, de acuerdo con el análisis de suelos inicial. Igualmente, un año después de siembra se repitió la aplicación del producto SiliMagnum®. A partir del segundo año, se recomendó hacer de tres a cuatro aplicaciones de un fertilizante en mezcla de 2 sacos de Urea + 1 saco de DAP + 1 saco de Cloruro de Potasio (grado 28-12-15). Igualmente, cada año, se reforzó la nutrición con elementos menores.

El SiliMagnum DP fue aplicado al voleo en el plato del árbol. El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar con tres repeticiones por variedad. El tamaño de las parcelas fue de 5 surcos sembrados a 2.0 m, por 6 metros de largo (6 árboles en cada surco), para un total de 30 árboles por parcela. Se cosecharon los surcos centrales de cada parcela. Se realizaron evaluaciones permanentes de incidencia de enfermedades como la roya del cafeto y la mancha de hierro, así como mediciones de porcentajes de broca en cada período crítico para el ataque de la plaga. En cada cosecha, se recolectaron por separado las parcelas correspondientes a cada variedad y cada tratamiento. Los granos recolectados fueron beneficiados por vía húmeda; posteriormente fueron trillados, tostados y molidos, para ser sometidos a prueba de taza por el panel de catación del SENA. En estas pruebas se evaluaron los parámetros de: Aroma, fragancia, acidez, cuerpo, balance, impresión global, con los cuales se obtuvo la calificación de cada tratamiento. Así mismo se evaluó el daño por broca y la producción de café pergamino seco en cada una de las cosechas.

Los resultados se digitalizaron en Excel, para cada variable evaluada, se realizó un análisis de varianza en R studio y posteriormente se sometieron los datos a pruebas de comparación múltiples de medias como Tuykey y Scheffé.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las observaciones sobre la aplicación de SiliMagnum® en cafetos, sus efectos sobre el suelo y sobre la asimilación y acumulación de nutrientes en las hojas se iniciaron a los 18 meses después de siembra (inicio de producción), tomando muestras antes y 1, 3 y 5 meses después de las aplicaciones. Así mismo se evaluó la incidencia de

enfermedades críticas como la mancha de hierro y roya, y de plagas como la broca de las cerezas del café.

4.1. ANÁLISIS DE SUELOS

De manera general se observaron mejores niveles de pH, Mg y Ca en los suelos que fueron tratados con SiliMagnum (Tabla 1). Una de las propiedades del silicio es la capacidad de reducir en forma inmediata el Al^{3+} libre e intercambiable, mediante la formación de complejos insolubles, reduciendo así la acidez del suelo. La absorción de nutrientes está muy relacionada con las condiciones del suelo; de acuerdo con Osorio (2012) el pH es un buen indicador de la disponibilidad de nutrientes, lo cual puede explicar la mayor asimilación de nutrientes.

Tabla 1. Análisis de suelos por tratamiento y por variedad 18 meses después de siembra, donde se han realizado dos aplicaciones del SiliMagnum.

VARIEDAD	Tratamiento	pH	Si	Mg	Ca	K	Zn	Cu	Fe	Mn
			(mg/kg)	(cmol _c /kg)			(mg/kg)			
Borbón	Testigo	5,07	1,71	0,07	0,42	0,09	0,21	0,16	10,2	0,45
Borbón	tratamiento	5,28	1,84	0,45	0,78	0,1	0,14	0,21	6,9	0,38
Tabí	Testigo	5,08	1,82	0,09	0,77	0,1	0,12	0,14	5,06	0,28
Tabí	tratamiento	5,40	2,28	0,12	1,23	0,1	0,14	0,17	6,42	0,36
Colombia	Testigo	5,05	2,43	0,12	0,69	0,13	0,34	0,17	6,93	0,53
Colombia	tratamiento	5,46	2,35	0,21	1,27	0,07	0,29	1,71	5,32	0,58
Pajarito	Testigo	5,00	1,7	0,06	0,64	0,08	0,24	0,24	4,91	0,28
Pajarito	tratamiento	5,32	1,68	0,35	0,82	0,06	0,15	0,12	6,13	0,32

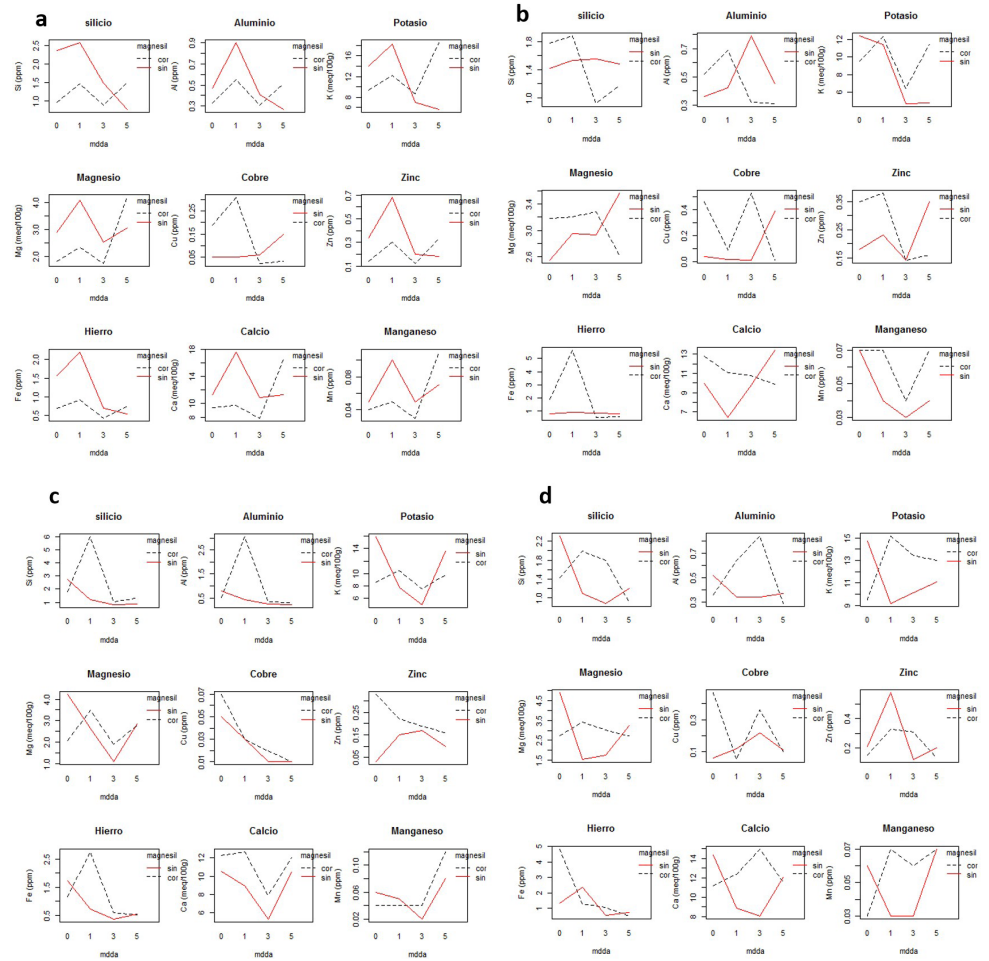
4.2. ANÁLISIS FOLIAR

Los análisis foliares se tomaron antes de las aplicaciones y luego a los 1, 3 y 5 meses posteriores de la aplicación, por variedad y por tratamiento. Los resultados se resumen en la figura 1.

En la variedad borbón se presentó tendencia significativa de incremento de las concentraciones de nutrientes en las plantas que fueron tratadas con el fertilizante SiliMagnum, por encima de las plantas testigo al final de la evaluación. En el tercer mes después de aplicar el producto, todas las plantas estuvieron sometidas a una temporada de intensas lluvias, lo que pudo ocasionar lixiviación de los nutrientes, particularmente las bases del suelo, y estimular el desarrollo vegetativo, presentándose una dilución de

los nutrientes en el tejido foliar y por ende una disminución de los porcentajes de su concentración para la tercera evaluación en todas las variedades, particularmente para las bases y el silicio.

Figura 1. Absorción y acumulación de nutrientes en las hojas de cuatro variedades de café: a) Borbon, b) Tabi, c) Colombia y d) Pajarito. — corresponde al testigo y - - al tratamiento.

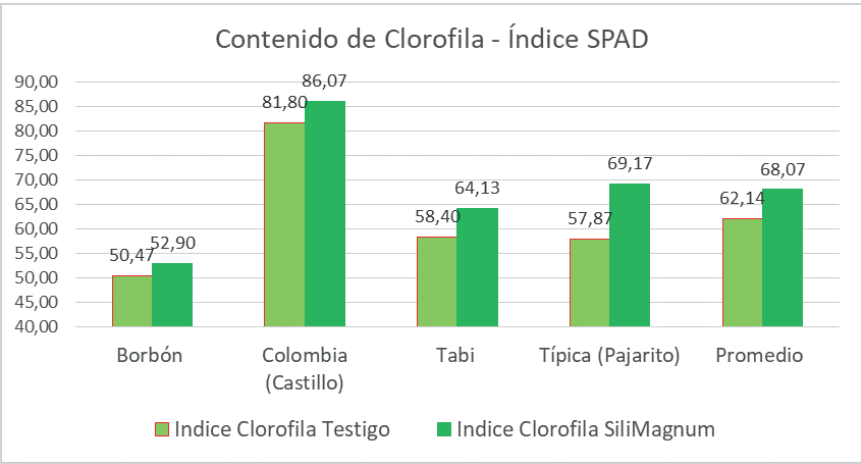


En la variedad Colombia, la mayoría de los elementos mostraron una tendencia en las plantas tratadas a mantenerse por encima de las plantas testigo e incrementar significativamente al quinto mes después de aplicado el producto. Cabe resaltar que para esta variedad se dio el mayor incremento de pH al aplicar SiliMagnum en el suelo, al pasar de 5,05 a 5,46, lo cual podría relacionarse con una mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo y por ende mejor asimilación por la planta. Todo lo contrario

sucedió con la variedad Tabí, donde no se observó una tendencia clara sobre el efecto de los tratamientos. En el caso de la variedad Pajarito, con el tratamiento se mantuvo una absorción de nutrientes más constante pese al periodo de lluvias por lo cual no tuvo una disminución tan marcada en el tercer mes, como si lo fue para las otras variedades, lo cual puede explicar parcialmente el mayor incremento en los registros de producción de café.

Estas diferencias en la asimilación y acumulación de nutrientes en los tejidos se ven reflejadas en el nivel foliar de clorofila (Spad, Figura 2) y en la capacidad fotosintética expresada en la productividad (Figura 6).

Figura 2. Índice de contenido de clorofila (SPAD) en las distintas variedades y tratamientos.



4.3. SANIDAD DEL CULTIVO

En todas las variedades se registraron altas pérdidas en la población instalada debido al ataque de plagas y enfermedades como cochinillas de la raíz y hongos patógenos como *Phoma*, *Cercospora* y *Hemileia*. El porcentaje de pérdidas de plantas osciló entre el 26% para la variedad Tabí hasta el 50% para Borbón al tercer año, y más del 60% para la variedad Caturra desde el primer año (por lo cual fue descartado su análisis), niveles que denotan la alta presión de inóculo de patógenos, muy representativos para evaluar uno de los objetivos de esta investigación. En este sentido, Pozza *et al.* (2004) demostraron que el silicio puede brindar resistencia contra la mancha de hierro en la variedad de café “Catuai” por acumulación del elemento en la pared de las células de la epidermis y cutícula, el desarrollo de una capa cerosa más gruesa que genera hidrofobicidad en la superficie del tejido impidiendo la formación de la película de agua, importante para la patogénesis, la germinación y la penetración de los hongos patógenos.

En cuanto al promedio de altura, numero de hojas y diámetro de las plantas, de manera general se observa un aumento en las plantas tratadas superando a las parcelas testigo.

En el primer año de este estudio, las variedades Tabi y Borbón no presentan diferencias significativas en la incidencia de mancha de hierro; no obstante, para las variedades Colombia y pajarito el promedio de hojas lesionadas por planta es casi el doble en las plantas testigo comparado con las plantas tratadas, existiendo una diferencia significativa entre estas dos variedades y siendo más susceptible la variedad pajarito (tabla 2); es allí donde se puede apreciar el efecto del silicio en la sanidad.

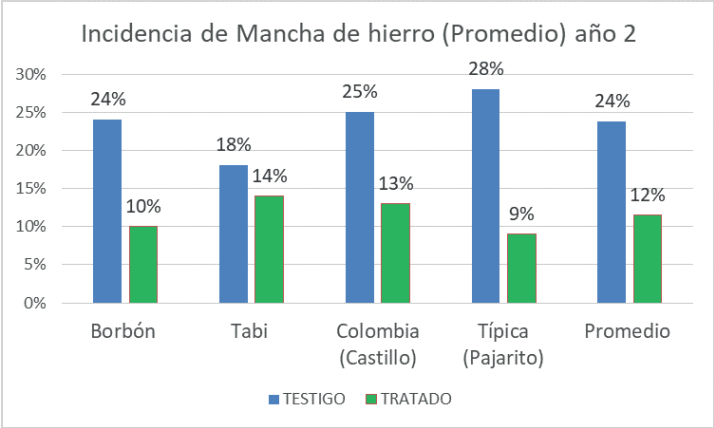
Tabla 2. Numero de hojas de café con lesiones de Cercospora coffeicola, por planta, primer año, en las variedades Tabi, Colombia, Borbón y Pajarito con y sin aplicación de SiliMagnum.

Variedad	Número de hojas lesionadas por planta		
	Testigo	Con SiliMagnum	Media
Tabi	4.00 ab	3.83 ab	3,92 AB
Colombia	2.38 a	1.37 b	1,88 B
Borbón	4.33 ab	4.67 ab	4,5 AB
Pajarito	7.0 a	3.40 b	5,2 A

Letras iguales en las filas y mayúsculas en las columnas no difieren entre sí. (Scheffe test, 0,01%).

Con relación a la enfermedad “mancha de hierro”, en el segundo y tercer año de desarrollo, se presenta diferencia significativa en todas las variedades, a favor del tratamiento con silicio, el cual registra una reducción del 50% promedio (Figura 3), lo cual concuerda con lo hallado en almácigos de café variedad Colombia, reportado por Restrepo y Cristancho (2014).

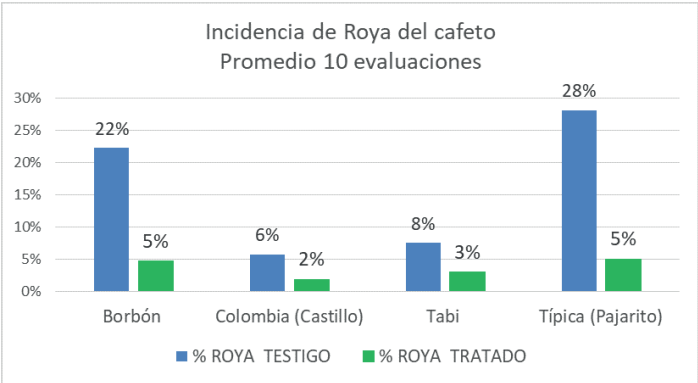
Figura 3. Incidencia de la “mancha de hierro” en las distintas variedades y tratamientos. Promedio de diez evaluaciones.



4.4. BROCA Y ROYA

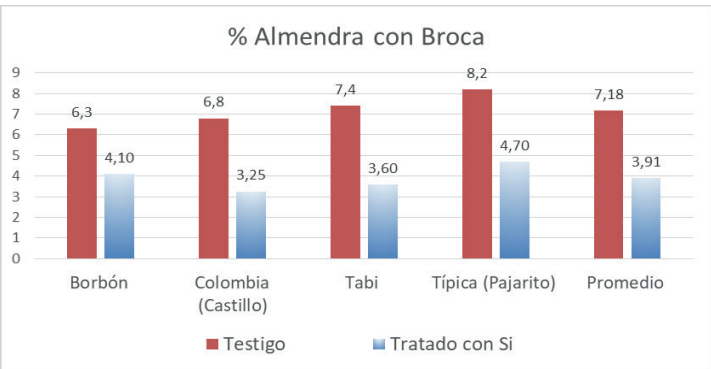
En la caficultura Colombiana, la plaga más reconocida por su nivel de daño económico es la broca de la cereza del café. Y la enfermedad considerada más grave, sigue siendo la roya del cafeto, a pesar de que más del 60% de la caficultura se ha renovado con variedades resistentes. La resistencia inducida por silicio, se ha comprobado una vez más en el presente estudio, en el cual se encontraron diferencias significativas en la incidencia de roya (número de hojas con pústulas) entre las variedades resistentes (Castillo y Tabi), frente a las variedades susceptibles (Borbón y Típica). De manera similar, se encuentran diferencias significativas de las plantas tratadas frente al testigo, en todas las variedades, siendo mayor en las variedades susceptibles, en las cuales se logran niveles comparables con las variedades resistentes (Figura 4). Esto concuerda con lo reportado por Figueiredo (2007).

Figura 4. Incidencia de la Roya del cafeto en las distintas variedades y tratamientos. Año 3.



Con respecto a la broca, se encuentran diferencias significativas en todas las variedades (Figura 5).

Figura 5. Efecto del Silicio en la Broca de las cerezas del café en la almendra. Año 3.

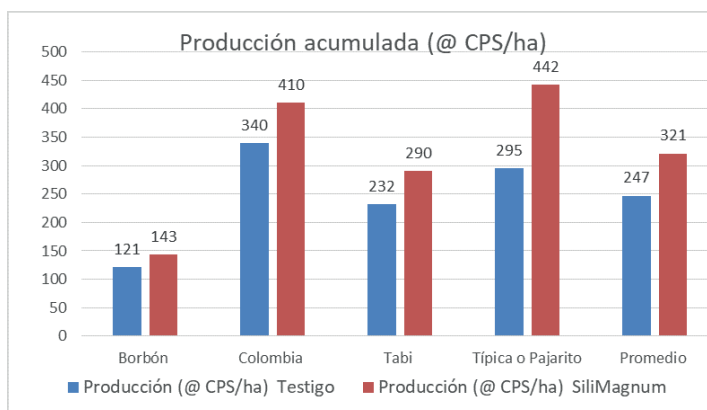


El efecto del silicio sobre la broca es variable según la variedad evaluada. En la variedad Borbón, la diferencia es de 35% de reducción de la infestación y daño por broca. Para la variedad Castillo la reducción es 52%, mientras en la variedad Tabi se redujo 51% y en la variedad Pajarito o Típica la reducción del ataque de broca es del 43%. En promedio se registró una reducción del 45,5% de almendras dañadas o atacadas por el insecto, lo cual está acorde con lo reportado en los trabajos realizados en Chinchiná, Caldas, Colombia, donde se encontró una reducción promedio del 29,4% de la infestación de broca en la almendra de café variedad Colombia. (Restrepo y Cristancho, 2014).

4.5. PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD EN TASA

La recolección se realizó durante todos los meses del año, a partir de los dos años de edad de las plantaciones, cuando el cultivo había recibido tres aplicaciones de SiliMagnum. En general todas las variedades aumentaron entre 18% y 50% el peso del grano cosechado por planta con la aplicación del producto fertilizante, lo cual representa mayor productividad por hectárea, con un incremento promedio del 30% (figura 6). En la variedad pajarito por ejemplo, donde mayor diferencia significativa entre tratamientos se obtuvo (valor $P = 0.0362$), el incremento de producción de grano seco cosechado por hectárea fue del 49,80% comparado con el testigo.

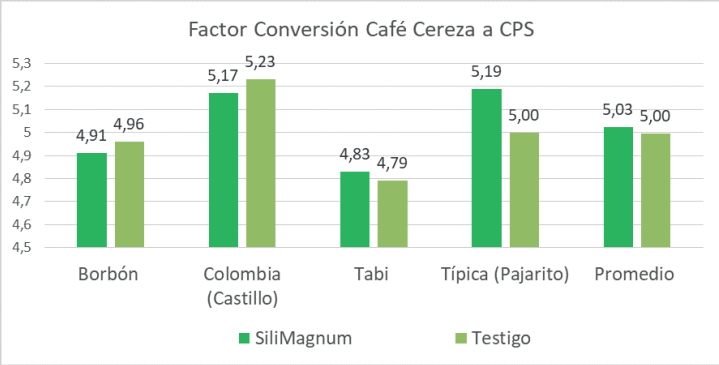
Figura 6. Producción de Café Pergamino seco (@CPS/ha) en las diferentes variedades y tratamientos.



Aunque son muchos los factores que influyen en la calidad del grano, desde el genotipo hasta el ambiente y sus interacciones, el manejo del cultivo y su nutrición juegan un papel fundamental. El factor de conversión de café cereza a café pergamino seco (CPS) y el factor de rendimiento no se vieron afectados por los tratamientos (Figura 7). Sin embargo, las cualidades organolépticas de la bebida sí mejoraron con el

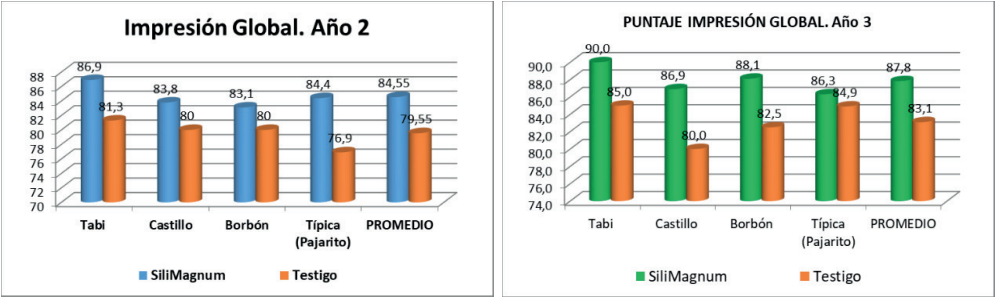
tratamiento con silicio (Figura 9); aunque hay variaciones de las características entre los distintos años, y en el primer “graneo” no se logra evidenciar diferencia significativa, en las cosechas siguientes sí se diferencian los tratamientos en todas las variedades evaluadas (Figura 8).

Figura 7. Efecto del Silicio en la conversión de café cereza a café pergamino seco.



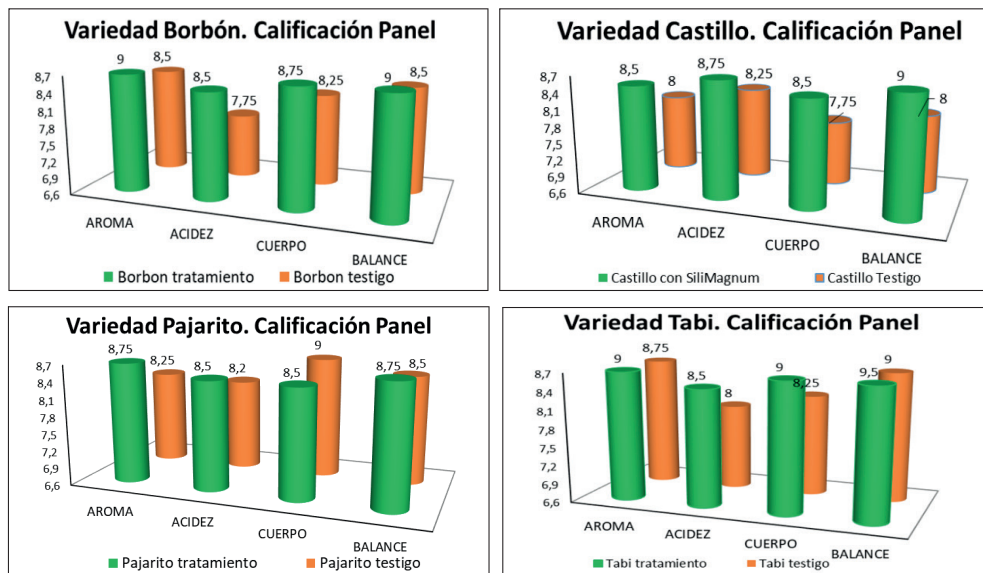
La calificación de “Impresión global” o puntaje total de las evaluaciones de la primera y segunda cosecha recolectada, muestra cómo la aplicación del silicio impacta en las distintas variedades evaluadas, siendo mayor este puntaje en la segunda cosecha (año 3) en las cuatro variedades (Figura 8).

Figura 8. Calificación de la impresión global de la bebida de café en cuatro variedades, dos cosechas.



La variedad Tabi destaca por ser ideal para obtención de cafés especiales; en la figura 9 se observa cómo se potencializa la calidad en taza del tratamiento frente al testigo, mejorando todas las propiedades de acidez, cuerpo, aroma y balance.

Figura 9. Calificación de las características organolépticas de la bebida de café en las distintas variedades con y sin silicio.



De los indicadores finales, se resaltan los siguientes aspectos, a manera de conclusiones:

1. El principal impacto del silicio en la química del suelo se vio reflejado en mejoras en el pH, los niveles de calcio y magnesio, posiblemente explicados por su capacidad de acomplejar aluminio en el suelo.
2. A nivel foliar, en general, la mayoría de los elementos mostraron tendencia a incrementarse en las plantas tratadas con silicio, especialmente al quinto mes después de aplicado el producto. Estas diferencias en la asimilación y acumulación de nutrientes se ven reflejadas en el nivel foliar de clorofila o índice de verdor y en la capacidad fotosintética expresada en la productividad.
3. Sanidad: Con relación a la enfermedad “mancha de hierro” (*Cercospora coffeicola*), la respuesta al silicio es variable según la susceptibilidad de cada variedad de café. En general, se presenta diferencia significativa en todas las variedades, a favor del tratamiento con silicio, el cual registra una reducción del 50% promedio. De manera similar, en la incidencia y severidad de la roya, se encuentran diferencias significativas de las plantas tratadas frente al testigo, en todas las variedades, siendo mayor en las variedades susceptibles, en las cuales se logran niveles comparables con las variedades resistentes. Con respecto a la broca la respuesta es variable según la variedad evaluada.

En promedio se registró una reducción del 45,5% de almendras dañadas en las parcelas tratadas con silicio.

4. Productividad y calidad en taza: En general todas las variedades aumentaron entre 18% y 50% el peso del grano cosechado por planta con la aplicación de silicio. lo cual representa mayor productividad por hectárea, con un incremento promedio del 30%. El factor de conversión de café cereza a café pergamino seco (CPS) y el factor de rendimiento no se vieron afectados por la aplicación de silicio. Sin embargo, las cualidades organolépticas de la bebida sí mejoraron con el silicio, diferencia que es más notoria y significativa después de la segunda cosecha, mejorando las propiedades de acidez, cuerpo, aroma y balance en las distintas variedades evaluadas.

5. AGRADECIMIENTO

Al Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA – y su dependencia SENNOVA, a los profesores, catadores y estudiantes de tecnología y de administración agropecuaria, por su apoyo y colaboración permanente para lograr los objetivos.

LITERATURA CITADA

BOCHARNIKOVA, E., MATICHENKOV, V. 2012. Influence of plant associations on the silicon cycle in the soil-plant ecosystem. *Applied Ecology and Environmental Research* 10(4), 547-560.

CAICEDO L.M. y CHAVARRIAGA W. 2007. Efecto de la aplicación de dosis de silicio sobre el desarrollo en almácigo de plántulas de café variedad Colombia. *Agronomía* 15(1): 27 – 37.

DATNOFF, L., DEREN, C., SNYDER, G. 1997. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. *Crop Prot* 16, 525-531.

DATNOFF, L.E., RODRIGUES, F., SEEBOLD, K.W. 2007. Silicon and Plant Disease. In: Datnoff L, Elmer E, Huber D, eds. *Mineral Nutrition and Plant Disease: The American Phytopathological Society*, 233-246.

EPSTEIN, E. 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 91, 11-17.

EPSTEIN, E. 1999. Silicon. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50, 641-664.

FERNANDES, A.L, MERRIGHI, A.L. SILVA, G.A, FRAGUA, J.E. 2009. Utilização do silício no controle de pragas e doenças do cafeeiro irrigado. FAZU. Em *Revista Uberaba*. No. 6. P 11-52.

FIGUEIREDO F. (2007). Nutrição, proteção e qualidade da bebida do café sob pulverização de silicato de potássio líquido solúvel (*tesis de doctorado*). Universidade Federal de lavras, Brasil.

KORNDORFER, G.H., LEPSCH, I. 2001. Effect of silicon on plant growth and crop yield, pp. 133-147. In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndorfer GH (eds). *Silicon in Agriculture*. Elsevier Science, The Netherlands.

LIANG, Y., NIKOLIC, M., BÉLANGER, R., GONG, H., & SONG, A. (2015). Silicon in agriculture. Dordrecht: Springer. doi, 10, 978-94.

MA, J., TAKAHASHI, E. 2002. Soil, Fertilizer, and Plant Silicon Research in Japan. Amsterdam: Elsevier.

MARSCHNER, H. 1995. Beneficial Mineral Elements. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second edition. San Diego, CA: Academic Press, 405p.

MATICHENKOV, V., BOCHARNIKOVA, E.A., CALVERT, D.V., SNYDER, G.H. 2000. Comparison study of soil silicon status in sandy soils of south Florida. Soil Crop Sci. Soc. Florida Proc. 59, 132-137.

MATICHENKOV, V., BOCHARNIKOVA, E. 2001. The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndorfer GH, eds. Silicon in Agriculture. Amsterdam: Elsevier, 209-219.

OSORIO, N.W., 2014. Silício, elemento benéfico para las plantas cultivadas. In: Manejo de nutrientes en suelos del trópico. Segunda Edición. Medellín, Colombia. 416p.

POZZA, A.; ALVES, E.; POZZA, E.; CARVALHO, J. de.; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P.; SANTOS, D. 2004. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. Fitopatologia Brasileira 29: 185-188.

RESTREPO, F. Y CRISTANCHO J.A. 2014. Importancia agronómica del silicio en el cultivo de café. IN: Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Cuzco, Perú.

SALAMANCA, A. y SADEGHIAN, S. 2006. Crecimiento del Café en almácigos con dos fuentes de Silício. Cenicafe. – SCCS. Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo.

SNYDER, G.H., MATICHENKOV, V., DATNOFF, L.E. 2007. Silicon. In: Barker AV, Pilbeam DJ, eds. Handbook of Plant Nutrition. Boca Raton, FL: CRC Taylor & Francis, 551-568.

SOUZA, A. G. C., RODRIGUES, F. Á., MAFFIA, L. A., & MIZUBUTI, E. S. G. (2011). Infection process of *Cercospora coffeicola* on coffee leaf. Journal of phytopathology, 159(1), 6-11.

TUBANA, B. S., BABU, T., & DATNOFF, L. E. (2016). A review of silicon in soils and plants and its role in US agriculture: history and future perspectives. Soil Science, 181(9/10), 393-411.

WANG, H., LI, C. LIANG, Y. 2001. Agricultural utilization of silicon in China. In: Datnoff LE, Snyder GH, Korndorfer GH (eds) Silicon in Agriculture, Elsevier, Amsterdam, 343-358.

WOLLAST, R., MACKENZIE, F. 1983. The global cycle of silica. In: SR A, ed. Silicon geochemistry and biochemistry. San Diego: Academic Press 39-76.

CAPÍTULO 4

POTENCIAL PRODUCTIVO DE *Sorghum bicolor* L. MOECH, BAJO CONDICIONES DE RIEGO EN MÉXICO

Data de submissão: 22/09/2025

Data de aceite: 10/10/2025

Genovevo Ramírez Jaramillo

Centro de Investigación Regional Sureste
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Mérida, Yucatán. México
<https://orcid.org/0000-0001-8931-7247>

RESUMEN: Ante el posible agotamiento de los combustibles fósiles sumado a la demanda creciente de energía, sitúan a los biocombustibles líquidos como una alternativa energética renovable, en el marco de la creciente valoración de combustibles que tengan bajo impacto en la emisión de carbono. El sorgo dulce *Sorghum bicolor* (L) Moench es una buena alternativa ya que presenta diversas ventajas en relación a otras especies vegetales. Ante el interés del Gobierno Mexicano de fomentar los biocombustibles y *S. bicolor* en particular por sus ventajas agronómicas como altos rendimientos, bajos requerimientos de suelo, humedad y nutrientes, alto contenido de azúcares fermentables solubles y poder ser procesado en ingenios azucareros, se consideró como principal objetivo el conocer y delimitar espacialmente las áreas de alto y mediano potencial productivo del sorgo

dulce en México. Para procesar y analizar la información, se utilizó el software QGIS versión 3.6. En las zonas con alto potencial, todas las variables interactúan favorablemente para el óptimo desarrollo del cultivo, mientras que en las zonas de mediano potencial, tanto los factores climáticos como los edafológicos interactúan adecuadamente con algunas limitaciones; en las zonas no aptas, todos los factores son limitantes. El estudio cuantificó más de 19 millones de hectáreas de alto potencial bajo condiciones de riego. Los estados con mayor superficie para producir sorgo dulce son: Veracruz, Campeche, Tamaulipas, Tabasco, Guanajuato, Sonora, Sinaloa, Nuevo León, Michoacán, Chihuahua y Quintana Roo; sin embargo, con el suministro del riego, prácticamente se puede cultivar en todos los estados del país.

PALABRAS CLAVE: regionalización; sorgo; SIG; planificación.

PRODUCTIVE POTENTIAL OF *Sorghum bicolor* L. MOECH, UNDER IRRIGATION CONDITIONS IN MEXICO

ABSTRACT: Faced with the possible depletion of fossil fuels combined with the growing demand for energy, liquid biofuels are positioned as a renewable energy alternative, within the framework of the growing appreciation of fuels with low carbon emissions. Sweet sorghum *Sorghum bicolor* (L) Moench is a good alternative since it presents several

advantages over other plant species. Given the interest of the Mexican Government in promoting biofuels and *S. bicolor* in particular for its agronomic advantages such as high yields, low soil, moisture and nutrient requirements, high content of soluble fermentable sugars and the ability to be processed in sugar mills, the main objective was to identify and spatially delimit the areas of high and medium productive potential of sweet sorghum in Mexico. To process and analyze the information, QGIS version 3.6 software was used. In high-potential areas, all variables interact favorably for optimal crop development, while in medium-potential areas, both climatic and soil factors interact adequately, with some limitations. In unsuitable areas, all factors are limiting. The study quantified more than 19 million hectares of high-potential land under irrigated conditions. The states with the largest areas for sweet sorghum production are: Veracruz, Campeche, Tamaulipas, Tabasco, Guanajuato, Sonora, Sinaloa, Nuevo León, Michoacán, Chihuahua, and Quintana Roo; however, with irrigation, it can be grown in virtually all states of the country.

KEYWORDS: regionalization; sorghum; GIS; planning.

1. INTRODUCCIÓN

El ritmo acelerado de las grandes urbes a lo largo del mundo, requieren de una gran demanda energética, proporcionada principalmente por combustibles fósiles; lo cual genera contaminación al medioambiente y por consecuencia el agotamiento de esos combustibles.

Por lo tanto, explorar la energía renovable de diferentes fuentes es el foco de la investigación actual (Kumar *et al.*, 2010). Los biocombustibles son una alternativa energética al ser considerados fuente de energía renovable (Anglani, 1998); una de estas fuentes es el bioetanol que favorece el medio ambiente, la economía y la sociedad (Montiel, 2010). Este biocombustible se produce de una gran gama de cultivos, como maíz, trigo, cebada, caña de azúcar, yuca, camote, remolacha azucarera, sorgo dulce, entre otros (Drapcho *et al.*, 2008). Y más recientemente con plantas oleaginosas, no comestibles, las cuales no compiten directamente con los alimentos, como la *Jatropha curcas* (Errasti *et al.*, 2013).

A pesar de contar con una amplia diversidad de cultivos con potencial para producir biocombustibles, el cultivo más utilizado es el sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]; debido a sus amplias cualidades como: se puede cultivar en todo el mundo bajo diversas condiciones agroclimáticas, requiere 36 % menos nitrógeno (Ratnavathi *et al.* 2011) y agua en comparación con la caña de azúcar y maíz y produce más etanol por hectárea por unidad de tiempo (Geng *et al.* 1989; Reddy *et al.* 2005), es tolerante a sequía, salinidad, altas temperaturas (Murray, 2008; Chuck *et al.*, 2011) y suelos inundados (Almodares *et al.*, 2007); es de ciclo de crecimiento corto y presenta amplia adaptación.

Sorghum bicolor, es una gramínea de fotosíntesis C4, las cuales forman compuestos de cuatro carbonos (Khawaja *et al.*, 2014), que acumula grandes cantidades de azúcares fermentables en el tallo y de biomasa, posee amplia adaptabilidad y tolera condiciones adversas de producción, además su siembra es factible en áreas no aptas para otros cultivos (Ratnavathi *et al.* 2011, Calviño y Messing 2012). Por lo anterior se puede utilizar para la producción de azúcar refinada, alcohol y gasolina, entre otros (Díaz Franco, 2016).

En México, el gobierno federal promueve la elaboración de biocombustibles sin descuidar la seguridad alimentaria y el aprovechamiento eficiente de la materia prima derivada de las actividades agrícolas, forestales y pecuarias; así como aquella derivada de algas y procesos enzimáticos y biotecnológicos. Como parte de una planeación estratégica 2017-2030 de cultivos bioenergéticos se consideraron tres cultivos prioritarios para su fomento en el país: higuera *Ricinus communis* y piñón *Jatropha curcas* L., para biodiesel y el sorgo dulce para bioetanol (SAGARPA, 2017). Sin embargo, el sorgo dulce en el país no logra el potencial deseado, esto al considerarse los rendimientos de sorgo como forraje verde logrados en los ciclos P-V y O-I en 2018 en la República Mexicana fueron de 20 y 17 t/ha respectivamente, los cuales son muy bajos al comparar los potenciales que se reportan en sorgo dulce de los materiales evaluados por el Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas Y Pecuarias (Montes, 2013) en el estado de Tamaulipas, donde la variedad Fortuna reporta 99.12 t/ha de biomasa (73.5 t/ha de tallos) en el ciclo P-V 2009 y esta misma variedad en el ciclo O-I 2008-2009 bajo condiciones de riego obtiene 127 t/ha de biomasa (94.7 t/ha de tallos).

Ante este panorama y el interés mostrado en 2017 por el Gobierno Federal de ampliar la superficie de sorgo dulce en el país y los bajos rendimientos que se tienen actualmente en el país, se consideró necesario determinar en donde existe el potencial productivo para producir sorgo dulce.

2. EL SORGO DULCE

El sorgo dulce [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] es una planta que tolera algunas condiciones agroclimáticas extremas como: sequía, altas temperaturas, inundaciones, salinidad del suelo y toxicidad por acidez (Almodares y Hadi, 2009). Además, posee amplia adaptabilidad, rápido crecimiento y alta acumulación de azúcar. Es una materia prima alternativa, la cual puede sustituir el uso de la caña de azúcar en la producción de etanol. El sorgo dulce es nativo de África y muchas de las variedades conocidas actualmente, fueron generadas en ese continente. En China su cultivo se inicia durante el siglo XIII y

posteriormente se produjo en el hemisferio occidental. El sorgo dulce fue introducido a los Estados Unidos de América después del siglo XVII, sin embargo, no creció extensivamente en este país hasta 1850, cuando se lo llevaron del Continente Europeo.

Al ser un cultivo que tolera algunas condiciones extremas, por lo general no compete con los granos básicos, ya que se puede sembrar en áreas no aptas para otros cultivos y ofrece en algunos casos grano y forraje, siendo el tallo el principal órgano que se aprovecha, el cual presenta un alto contenido de azúcar (Almodares y Hadi, 2009). Con el sorgo dulce se puede hacer azúcar refinada (Rajvanshi *et al.*, 1993), techos, papel y miel (Schaffert, 1992). Uno de los principales usos de los sorgos dulces ha sido su amplia utilización en la producción de alimentos balanceados (Undersander *et al.*, 1990). El sorgo dulce puede ser transformado biológicamente en alcohol etílico de primera generación, etanol celulósico, para producir energía propia (House *et al.*, 2000; Lemus y Parrish, 2009) o como aditivo (Schaffert y Gourley, 1982).

El tallo del sorgo dulce concentra grandes cantidades de azúcar (Harlan y de Wet, 1972; Vietor y Miller, 1990); estas cantidades pueden ser similares o más altos que los de la caña de azúcar (*Saccharum spp.*), aunque el mecanismo de acumulación del azúcar es diferente (Lingle, 1987; Tarpley y Vietor, 2007).

3. EL POTENCIAL PRODUCTIVO

El potencial productivo de las especies vegetales de acuerdo con (Pereira, 1982) consiste en identificar las áreas o superficies agrícolas en las que se cubran los requerimientos agroecológicos por parte de los cultivos agrícolas; esto es determinar los ambientes adecuados para un óptimo desarrollo de la especie motivo de estudio, que en este caso fue el sorgo dulce.

El potencial productivo de las especies vegetales se refiere a la capacidad inherente de una planta, o de un cultivo en un lugar específico, para producir una gran cantidad de biomasa o rendimiento bajo condiciones óptimas. Este potencial no solo depende de la genética de la planta, sino también de factores ambientales como el suelo, el agua, el clima y la luz, así como de las prácticas de manejo agrícola.

El determinar el potencial productivo de una o diversas especies vegetales, puede contribuir a las siguientes acciones:

1. **Zonificación agrícola:** Permite identificar las áreas más adecuadas para el cultivo de ciertas especies, asegurando que los requerimientos agroecológicos de la planta se cumplan para un desarrollo óptimo.

2. **Planificación y toma de decisiones:** Los agricultores y las instituciones del sector agropecuario pueden usar esta información para decidir qué cultivos implementar, optimizar el uso de recursos y llevar a cabo acciones de investigación y transferencia de tecnología en determinadas regiones.
3. **Sostenibilidad:** Al seleccionar especies vegetales adecuadas para cada zona y aplicar prácticas de manejo correctas, se garantiza que el cultivo no deteriore el suelo ni afecte el equilibrio natural.

La determinación del potencial productivo de especies vegetales, se inició en el marco de un proyecto nacional ejecutado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (Medina *et al*, 1997).

Estos trabajos no son estáticos, sino que, conforme se cuenta con mayor o más precisa información, en formato digital para su uso en la computadora por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se puede generar nuevos mapas de las áreas con potencial de producción alto, de mayor resolución y precisión.

Para obtener las áreas potenciales, se utiliza la metodología de sobreposición de imágenes de los requerimientos mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica hasta obtener las áreas potenciales (Medina *et al*, 1997). Los SIG más utilizados son el Arc/Gis, QGIS e Idrisi.

4. POTENCIAL PRODUCTIVO DE SORGO DULCE

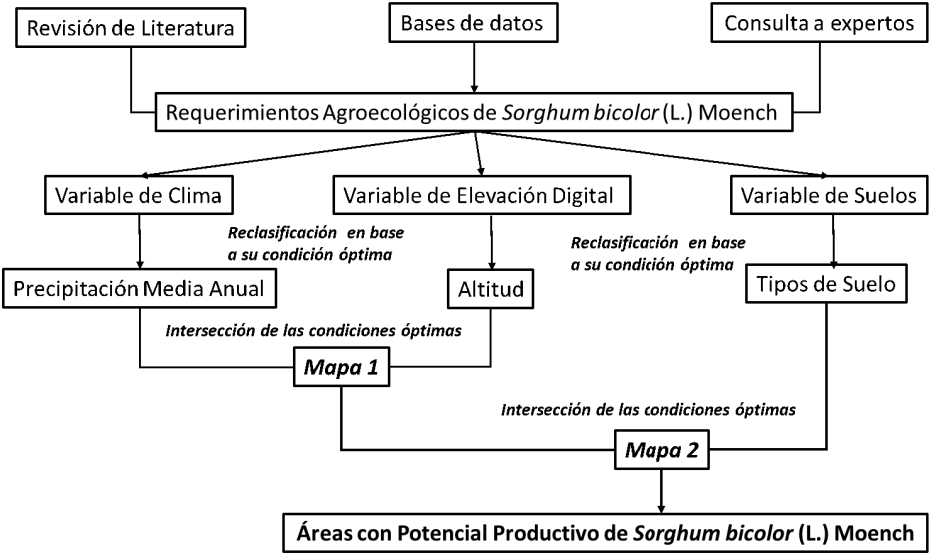
La determinación espacial de áreas óptimas, sub-óptimas y no aptas de un cultivo se puede realizar usando diferentes metodologías, sin embargo, en este caso se hizo basándose en el uso de álgebra de mapas, tomando como variables de entrada los requerimientos agroecológicos del cultivo en México. La utilización de Sistemas de Información Geográficos (SIG), como una herramienta orientada al desarrollo y ordenamiento agrario, ha sido un método acertado en la determinación espacial de las zonas óptimas para el desarrollo de un cultivo (Kahsay *et al.*, 2018).

Por medio de los SIG's, se puede manejar las variables agroecológicas que representan al medio físico en donde se desarrolla una actividad, tales como clima, suelo y recurso hídrico, y partiendo de la variación espacial de estas, definir áreas óptimas y sub óptimas en donde un cultivo se puede desarrollar adecuadamente.

El principal aporte de estos mapas es facilitar la gestión adecuada de los recursos y de esta manera apoyar a los responsables de las políticas públicas en el ordenamiento y planificación agrícola, partiendo de la identificación de las áreas con potencial para la producción de cultivos, en función de las condiciones locales, agroclimáticas y edáficas, del territorio nacional.

Para la determinación de áreas con aptitud agroclimática se consideraron tres aspectos fundamentales que fueron: determinación de los requerimientos agroecológicos, bases de datos de las variables agroclimáticas y su procesamiento a través de un Sistema de información Geográfica (Figura 1).

Figura 1. Esquema metodológico para determinar el potencial productivo de sorgo dulce.



4.1. DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS AGROECOLÓGICOS

El crecimiento, desarrollo y producción de *Sorghum bicolor* (L.), están estrechamente relacionados con las condiciones de clima y suelo de la zona donde se cultiva. Los factores climáticos influyen en la producción de una plantación; por lo tanto, las condiciones térmicas y de humedad deben ser satisfactorias para el cultivo durante su periodo vegetativo como: la época de floración, brotes, fructificación y cosecha están regulados por los factores medioambientales. La información agroecológica fue integrada en base a diferentes fuentes bibliográficas (Assefa *et al*, 2010; Dial, 2012; Kahsay *et al*, 2018; Moore *et al*, 2017, FAO, 2014). Por otro lado, también se tomó en consideración la experiencia de algunos expertos en el cultivo (Ruiz *et al*, 2017).

Las principales variables consideradas para la regionalización son: temperatura media anual, altitud, horas luz, tipos de suelo, textura, profundidad, pH y drenaje. En cada una de las variables se planteó un rango óptimo, subóptimo y el no apto (Tabla 1).

Tabla 1. Requerimientos agroecológicos de sorgo dulce.

Criterio	Unidad	Óptima	Sub óptima	No Apta
Temperatura Media Anual	°C	25-30	20-25 30-35	Menor de 20 Mayor de 35
Altitud	msnm	0-1000	1000 - 1200	Mayor de 1200
Suelo	Clase	Fluvisoles Regosoles Luvisoles Nitisoles Andosoles Phaeozem Kastañozems	Cambisoles Gleysoles, pendiente >5% Vertisoles, pendiente >5% Calcisoles	Solonchak's Leptosoles Gleysoles, pendiente <5% Vertisoles, pendiente <5% Arenosol
Textura	Tipo	Media	Ligera	Pesada
Profundidad	m	Mayor de 1	1 a 0.5	> de 0.50
pH		6 a 7	7.1 a 8.0	< de 5.5 > de 8.0
Horas luz	Horas luz	3000	2500 a 3000	< de 2500
Drenaje	Tipo	Bueno	Medio	Deficiente

Fuente: Elaboración propia en base a la metodología propuesta.

4.2. OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN ESPACIAL

Se consideraron varias bases de datos geoespaciales. La información edáfica, fue tomada de la base de Referencia Mundial del Recurso Suelo, conocida por sus siglas en inglés como WRB, publicada por la FAO (2007), en formato vectorial y escala 1: 250,000. Los datos climáticos se tomaron de la base de WorldClim versión 2.0 con datos de 30 segundos (~1 km²), específicamente temperatura y precipitación promedio durante el ciclo del cultivo. El Modelo Digital de Elevación (MDE), se obtuvo del Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (INEGI), en formato raster con una resolución de 90 x 90 (8,100 m²). El mapa de pendiente se generó en base al MDE de INEGI, cuerpos de agua se extrajo de las cartas topográficas 1: 50,000 de INEGI, el área de manglares se obtuvo de las cartas de uso del suelo y vegetación de INEGI en escala 1: 250,000, áreas urbanas y rurales de México 2010 de INEGI en 1: 250,000, así como áreas naturales protegidas de 2010 en resolución 1: 250,000. Esta cartografía se obtuvo del Geoportal del sistema nacional de información para la biodiversidad de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

4.3. PROCESAMIENTO DE DATOS

Se entiende por álgebra de mapas al conjunto de técnicas y procedimientos que, operando sobre una o varias capas en formato raster, y/o vectorial, nos permiten obtener información derivada, generalmente en forma de nuevas capas de datos. Para este caso, los procedimientos que se aplicaron sobre la información geográfica en formato vectorial, consistieron básicamente en clasificar los atributos climáticos y edáficos en los rangos agroecológicos establecidos para las condiciones de riego.

Los datos vectoriales son entidades asociadas a cada atributo, y tienen sus propias características espaciales, y la geometría que definen a cada atributo sirve por sí sola para llevar a cabo numerosos análisis, como cortes e intersecciones. Estas operaciones geométricas sobre datos vectoriales consistieron en interceptar las capas edáficas y climáticas, para posteriormente eliminar las áreas que correspondían a manglar, áreas protegidas, y asentamientos urbanos y rurales. Todo el procesamiento y reclasificación de la información se realizó en el software QGIS 3.6.0 Noosa (QGIS Development Team, 2019).

Las zonas de alto potencial son aquellas en donde interaccionan todas las variables agroclimáticas en su condición óptima para que el cultivo se desarrolle en forma competitiva; las zonas de mediano potencial son aquellas en donde alguna de las variables agroclimáticas presenta alguna condición subóptima o no apta para que el cultivo se desarrolle con las menores limitantes posibles; las no aptas es donde interaccionan todas las condiciones limitantes para que se desarrolle el cultivo. Para identificarlas en el mapa se le pone un color a cada una de las categorías de alto y mediano potencial y se deja sin color toda el área no apta.

5. RESULTADOS

5.1. TEMPERATURA

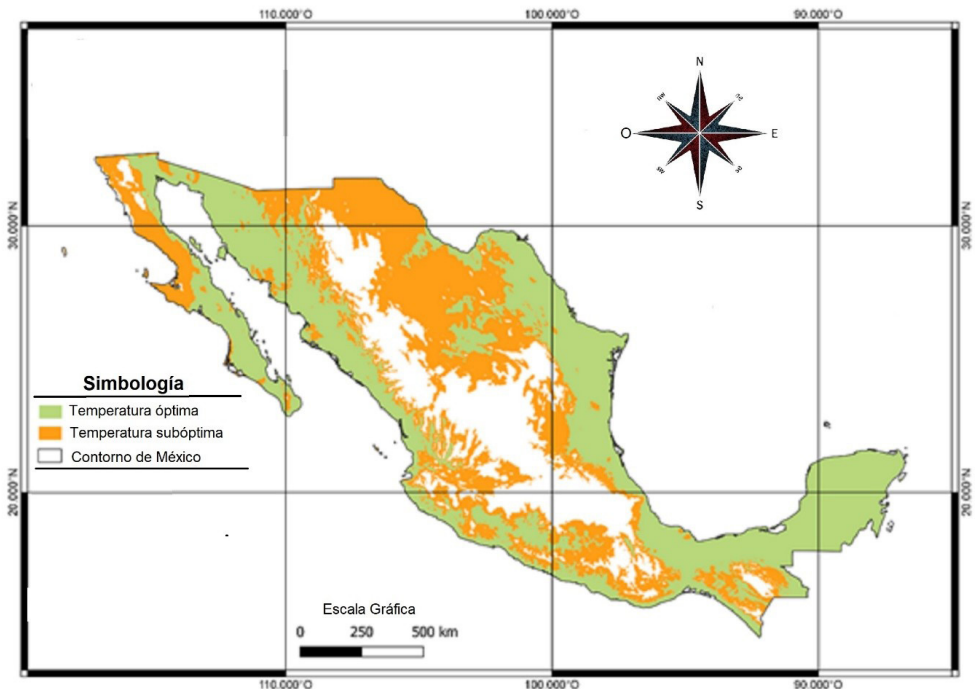
El sorgo dulce se puede cultivar en gran parte de la república mexicana, sin embargo, existe una mayor afinidad por establecerse en las costas, especialmente en el golfo de México (Figura 2). Esta planta se desarrolla bien en condiciones de clima cálido, con lluvias moderadas y bien distribuidas; de acuerdo a Pérez, 2010; el rango ideal de temperaturas se debe encontrar por encima de 18°C para germinar y crecer adecuadamente (Neild *et al.*, 1983).

Debido a su origen tropical, el sorgo se adapta bien a temperaturas que oscilan entre los 20 y 40°C. Temperaturas fuera de este rango provocan la aceleración de la antesis, aborto de flores y de los embriones.

La temperatura óptima de crecimiento es de 26.7 °C hasta 29.4°C. Las temperaturas superiores a los 38°C, son dañinas, a pesar de que esta planta tolera el calor y la sequía mejor que el maíz (Baradas, 1994). Otros autores como Acuña *et al.*, (2002), aseguran que, a temperaturas de 24°C a 30°C, se puede desarrollar muy bien la planta. Cuando este cultivo está en fase de germinación necesita temperaturas de 12 a 13°C, por tanto, temperaturas inferiores a estas se consideran no aptas, ya que el crecimiento de la planta se activa cuando estas sobrepasan los 15°C, con el óptimo alrededor de los 32°C (Dial, 2012).

Una disminución en la temperatura en el momento de la floración puede reducir el rendimiento del grano, además de producir esterilidad de las espiguillas y afectar también la viabilidad del grano de polen (Assefa, 2010). Por otro lado, temperaturas muy altas (mayores a 38°C) días posteriores a la floración reducen el peso final del grano y produce aborto de sus flores (Pérez, 2010); mientras que, a 27°C, han encontrado que es su temperatura optima, y 21°C, la temperatura mínima para un buen crecimiento (Correa, 2000). La temperatura está relacionada con la época de siembra, pues las altas temperaturas aumentan las pérdidas, por coincidir con su período reproductivo (Correa, 2000).

Figura 2. Temperatura optima y sub optima requerida por el cultivo de sorgo, en México.



5.2. REQUERIMIENTOS DE RIEGO

A nivel nacional, el sorgo se produce en condiciones de riego y temporal; durante el período 2012-2016, el 35.5% del área total de sorgo cosechada en México fue bajo condiciones de riego, produciendo el 47.3% de la producción total con un rendimiento promedio de 4.9 Mg ha⁻¹, mientras que 64.5% de la superficie total cosechada de sorgo se sembró bajo condiciones de temporal, lo que produjo un 52.7% de la producción total con un rendimiento promedio de 3 Mg ha⁻¹ (López Avendaño et al., 2019). Investigaciones como las de Alhajturki et al., (2012), reportan 29% mayor producción de azúcar en diversos sorgos evaluados en condiciones de temporal que en riego.

No obstante, el sorgo dulce se adapta a diferentes condiciones de humedad, por lo que el agua de lluvia es suficiente para completar su ciclo vegetativo, sobre todo en el trópico subhúmedo (Álvarez et al., 2017), donde se alcanzan precipitaciones entre los 700 y 1600 mm anuales, pero en aquellas áreas donde el temporal es errático y menor a los 700 mm anuales; es importante auxiliar con riego, sobre todo en las etapas de emergencia, desarrollo vegetativo, encañe y hoja bandera de acuerdo con estudios realizados por el INIFAP, en el Campo Experimental Valle de Mexicali (Alvarado, 2015), además cuando sea necesario se recomienda aplicar un riego de 10 cm de lámina antes de la siembra, para asegurar humedad en esta etapa, posteriormente continuar con dos riegos de auxilio de 20 cm de lámina cada uno, siendo el primero a los 40 días después de la siembra y el segundo a los 65-70 días después de la siembra (Montes et al., 2013; Pecina et al., 2017).

También en ambientes más secos, es mayor la producción de azúcar (Almodares y Hadi, 2009). Se encontró un 29% mayor producción de azúcar en los sorgos evaluados en condiciones de temporal que en riego (Alhajturki et al., 2012).

5.3. ELEVACIÓN

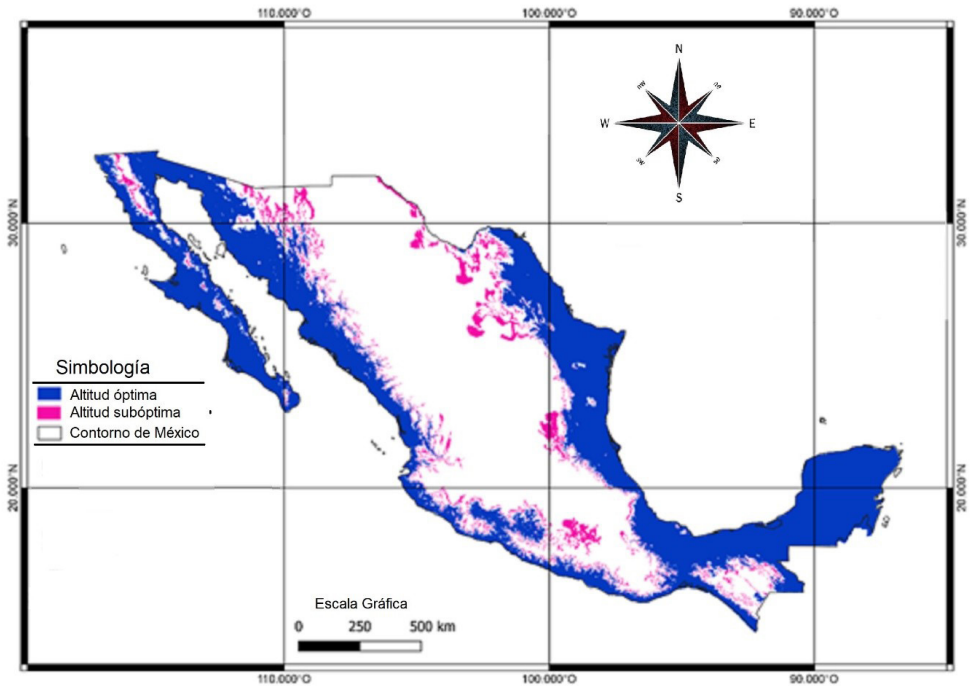
El pariente silvestre del sorgo forrajero, remonta su desarrollo a altitudes mayores a los 1000 msnm, sin embargo, tras diferentes adaptaciones y su llegada a América, los rangos de elevación en las que esta planta se desarrolla son variados.

Por sus altas exigencias de temperatura, raramente se le cultiva más allá de los 1800 m de altura, sin embargo, en el continente africano se cultiva entre 400 m y 2500 m altitud (Ruiz y Soltero, 1993). En el continente americano, se adapta a una altitud entre 20 y 850 msnm (Buestan, 1994), como rangos óptimos para su desarrollo. Sin embargo, esta planta puede crecer desde 0 a los 1 500 msnm (Pérez et al., 2010).

Es común que el desarrollo de este cultivo este asociado con zonas cercanas a cuerpos de agua, con baja elevación, ya que esto promueve a un clima cálido, y húmedo.

En México, la altitud óptima y subóptima para el desarrollo del sorgo dulce se presenta en la figura 3.

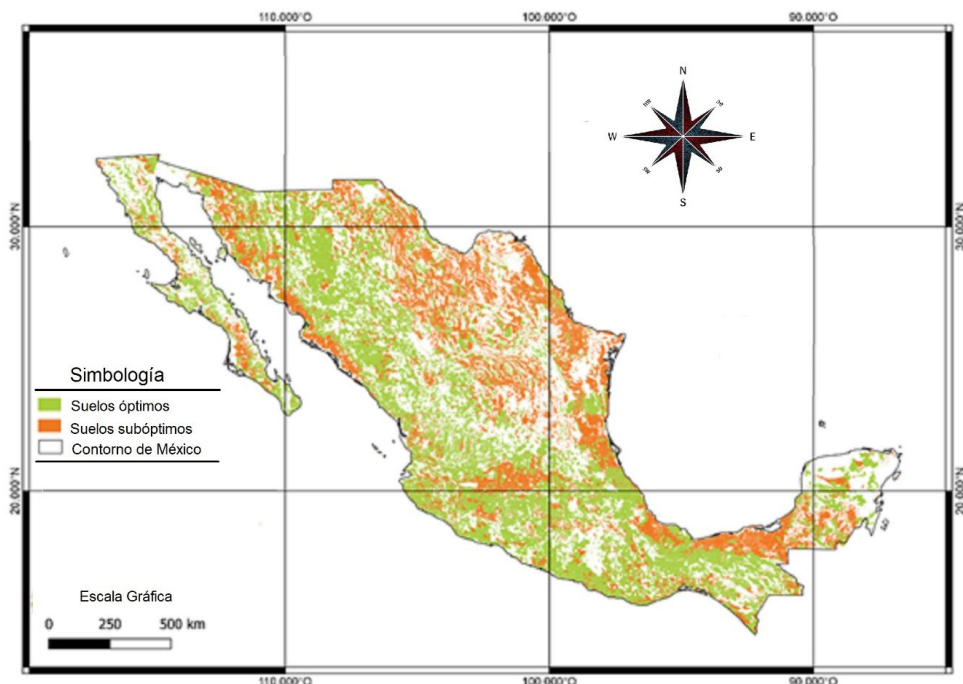
Figura 3. Elevación óptima y subóptima, requerida por el cultivo de sorgo, en México.



5.4. SUELOS

Los mejores sitios para el establecimiento de *Sorghum bicolor* (L.) se ubican en suelos de mediana a alta fertilidad, con textura arenosa, franco o arcillosa (Buestan 1994; Pérez *et al.*, 2010). El sorgo dulce prefiere suelos profundos, sin exceso de sales, con buen drenaje, sin capas endurecidas, de buena fertilidad y un pH comprendido entre 6.2 y 7.8. Es moderadamente tolerante a suelos con alguna salinidad y/o alcalinidad, según estudios realizados la presencia de carbonato cálcico en el suelo aumenta el contenido de sacarosa en el tallo y hojas (SIAP, 2023), siendo su comportamiento, ante esas condiciones de salinidad mejor que la de otros cultivos como trigo, soya y maíz. Los suelos deben tener buen drenaje, pues la excesiva humedad afecta el desarrollo normal de las plantas. Tomando como sustento, los requerimientos edáficos propios del cultivo (Baradas, 1994, Buestan, 1994, FAO, 2014) se seleccionan clases de suelos como: Fluvisoles, Regosoles, Luvisoles, Nitisoles, Andosoles, Phaeozem y Kastañozem entre otros. Estos suelos tienen profundidades superiores a los 50 cm, conservan la humedad, y son porosos. En México la distribución de los suelos óptimos y subóptimos se presentan en la figura 4.

Figura 4. Clases de suelo óptimo y sub óptimo, requerida por el cultivo de sorgo, en México.

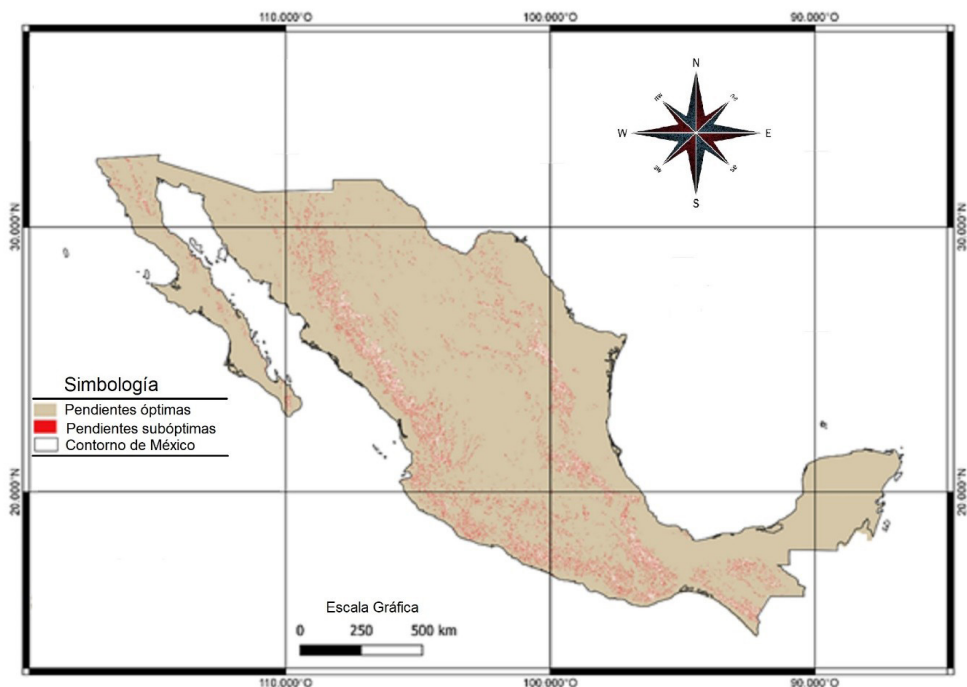


Tolera un rango de pH de 5.0 a 8.5 y cierto grado de salinidad, alcalinidad y mal drenaje (Almodares et al., 2007 y 2008). Eso también crecerá en Vertisoles pesados, grietas profundas y ligeros arenas, 2000). La semilla de dulce el sorgo debe plantarse lo suficientemente profundo como para darle humedad para germinar y permitir que sus raíces crezcan a través del suelo húmedo hacia la humedad del subsuelo, por delante del frente de secado. (Almodares et al., 2008)

5.5. PENDIENTE

El porcentaje de inclinación del terreno que se ha considerado como óptimo para el desarrollo de este cultivo es de 0 a 16% según (Kahsay et al., 2018), y como sub óptimo de 16-20%. Naidu et al., (2006) asegura que cuando se quiere obtener la mayor cantidad de biomasa para el aprovechamiento de los azúcares, la inclinación del suelo debe ser menor al 16%. En México, se puede observar que las pendientes con inclinaciones entre el 0 y el 16% se encuentran en el gran parte del territorio, caso contrario a las pendientes del 16 – 20%, las cuales guardan relación con las cadenas montañosas y sierras que atraviesan las diferentes entidades. (Figura 5)

Figura 5. Pendiente optima y sub optima, requerida por el cultivo de sorgo, en México.



pH. Crece bien en suelos cuyo pH oscile entre 5,5 y 8,5; sin embargo, el pH ideal está entre 5,5 y 6,5 (Pérez *et al.*, 2010; Elaalem 2012). Soporta la sal y se plantea que las variedades azucaradas exigen la presencia de carbonato cálcico en el suelo, lo que aumenta el contenido en sacarosa de los tallos y las hojas (Pérez *et al.*, 2010).

Fotoperiodo. El ambiente juega un papel importante en la producción de azúcar (Williams-Alanís *et al.*, 2017). Reportes indican que el sorgo dulce es muy eficiente en ambientes cálidos (Rooney y Serna, 2000; Almodares y Hadi, 2009) y con intensidad luminosa alta (Rooney y Serna 2000). Sin embargo, es una especie de día corto (< 12 horas), aunque hay cultivares de día neutro (Dendy, 1995). Además, la formación de la panoja y la floración se aceleran en días cortos y se retrasan en días largos (Baradas, 1994).

Zonas con Potencial Productivo para Sorgo Dulce Bajo Condiciones de Riego.

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) es uno de los cultivos más antiguos y actualmente uno de los cereales más importantes del mundo (Serna, 2010). Crece bien en todos los continentes, en regiones tropicales, subtropicales y templadas; en tierras de aptitud agrícola media y baja, y es especialmente adecuado para regiones con poca precipitación (Tobin, 2010).

Actualmente no existen estadísticas específicas para sorgo dulce orientado para producción de biocombustible; sin embargo, la producción de sorgo forrajero bajo

condiciones de riego de cuáles son los estados que siembran las mayores superficies y si coinciden con las zonas potenciales. En 2023 se sembraron 34,822.00 hectáreas bajo condiciones de riego en Otoño-Invierno (O-I) y 282,562.00 hectáreas en Primavera-Verano (P-V), los estados que sobresalen en O-I en cuanto a superficie sembrada son Guerrero, Michoacán y Sinaloa y en P-V son Coahuila, Durango y Sonora (SIAP, 2023).

En el estudio de potencial productivo realizado para sorgo dulce de P-V de riego sobresalen en cuanto a superficie de alto potencial los estados de: Veracruz, Campeche, Tamaulipas, Tabasco, Sonora, Sinaloa, Nuevo León, Michoacán, Chihuahua, Quintana Roo, Chiapas, Jalisco, Coahuila y Baja California (Tabla 3 y Figura 6).

En un estudio realizado en 2009, donde evaluaron el comportamiento de 10 variedades en el Campo Experimental Río Bravo del INIFAP se obtuvieron rendimientos que van desde 41 t¹ ha hasta las 105 t¹ ha. En el experimento sobresalieron los genotipos Indú, Dale y Dulce con 105, 99 y 93 t¹ ha respectivamente. Estos tres materiales tuvieron una altura mayor a 3 metros, un peso en gramos entre 800 y 900 gramos, así 11.2, 15.2 y 15.8, sobresaliendo el material Indú en los tres parámetros.

Lo anterior da una idea del gran potencial que tiene México para producir sorgo dulce bajo condiciones de riego, en caso de orientar la producción hacia las regiones de alto y mediano potencial.

Figura 6. Distribución de las Zonas de Alto y mediano potencial de Sorgo Dulce bajo condiciones de riego en México.

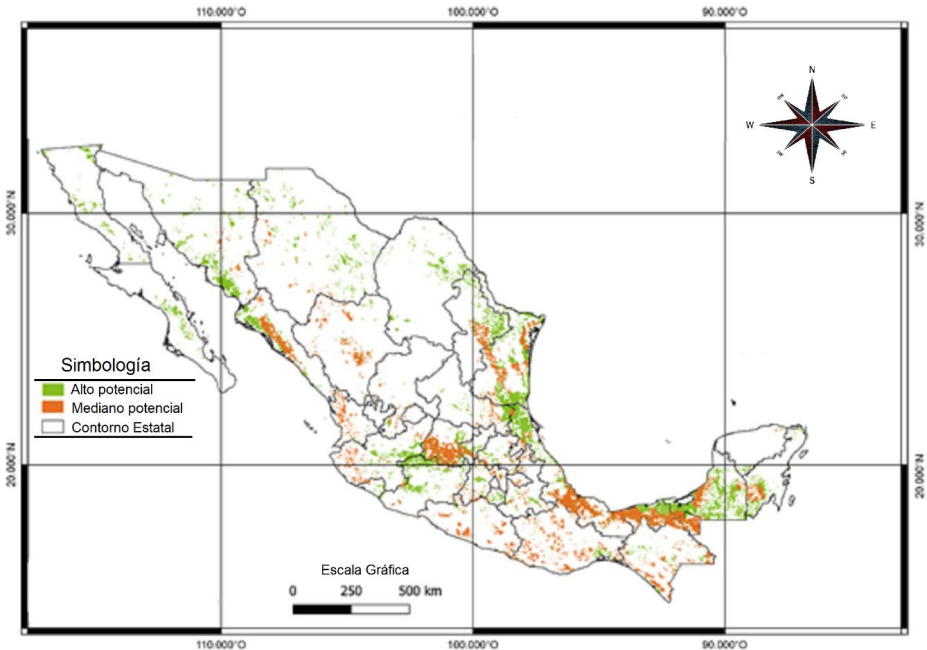


Tabla 3. Áreas de Alto y Mediano Potencial por Estado en la República Mexicana.

Estado	Alto potencial (hectáreas)	Mediano Potencial (hectáreas)
Baja California	358,510	0
Baja California Sur	289,440	0
Campeche	2 189,687	673,483
Chiapas	515,826	934,821
Chihuahua	783,518	164,450
Coahuila De Zaragoza	468,205	0
Colima	47,767	14,510
Ciudad de México	985	2,130
Durango	254,036	508,892
Guanajuato	1 211,451	1 030,421
Guerrero	79,529	512,416
Hidalgo	192,174	192,641
Jalisco	596,650	392,350
México	228,639	197,753
Michoacán De Ocampo	935,902	241,645
Morelos	103,467	16,442
Nayarit	36,852	304,429
Nuevo León	956,575	318,339
Oaxaca	346,328	1 174,983
Puebla	191,160	202,616
Querétaro De Arteaga	252,719	173,523
Quintana Roo	622,307	268,560
San Luis Potosí	478,354	188,817
Sinaloa	1 000,633	677,399
Sonora	1 108,679	123,608
Tabasco	1 587,146	1 531,283
Tamaulipas	1 994,243	848,451
Tlaxcala	3,572	49,483
Veracruz de Ignacio De La Llave	2 250,587	1 555,576
Yucatán	55,446	10,200
Zacatecas	70,968	86,844
Total General	19 211,355	12 396,065

6. CONCLUSIONES

Existen condiciones agroecológicas óptimas para producir sorgo dulce bajo condiciones de riego y mejorar su productividad en la República mexicana.

Los estados con mayores superficies para producir sorgo dulce bajo condiciones de riego son: Veracruz, Campeche, Tamaulipas, Tabasco, Guanajuato, Sonora, Sinaloa, Nuevo León, Michoacán, Chihuahua y Quintana Roo entre los más importantes por su área; no obstante, prácticamente en todos los estados del país es factible producirlo bajo esta condición.

El tipo de suelo, la precipitación y la temperatura son factores determinantes en la definición de zonas de óptimo y subóptimo potencial en el cultivo de sorgo dulce.

Las zonas de alto potencial superan por mucho a la superficie de sorgo en general sembrada actualmente en el país.

7. LIMITANTES DEL ESTUDIO

En la obtención de las zonas potenciales de sorgo dulce bajo condiciones de riego, existe el potencial agroclimático para la producción de la especie, aunque no necesariamente se cuenta con agua para regar.

Las zonas potenciales obtenidas no son excluyentes, es decir, una misma zona puede tener potencial para otras especies.

Las zonas potenciales obtenidas son independientes del uso actual del suelo.

Para que una especie exprese su máximo potencial, además de establecerla en la zona adecuada, se debe aplicar la tecnología de producción.

LITERATURA CITADA

1. Acuña J., F., O.M. Archila, O.E. Bustos B., L. Contreras G., E.O. Díaz G., H. Espinosa G., G.E. Fajardo M., A.E. Forero B., G.I. Forero B., J.E. Ospina M., C. Ramírez C., M.V. Riveros P., J. M. Sánchez S., G. Téllez I., y C.X. Torres S. 2002. Manual agropecuario. Tecnologías orgánicas de la granja integral autosuficiente. Fundación Hogares Juveniles Campesinos. Bogotá, Colombia. 1071 p.
2. Almodares, A, M.R. Hadi, and B. Dosti. 2007. Effects of salt stress on germination percentage and seedling growth in sweet sorghum cultivars. J. Biol. Sci. 7:1492-1495. doi:10.3923/jbs.2007.1492.1495
3. Almodares, A. and Hadi, M.R. 2009. Production of Bioethanol from Sweet Sorghum: A Review. African Journal of Agricultural Research, 4, 772-780. <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/6DDEDD738826>
4. Alhajturki, D., M. Aljamali, A. Kanbar, and F. Azmah. 2012. Potential of some sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes under two water regimes for sugar and bio-ethanol production. Sugar Tech. 14:376-382. doi:10.1007/S12355-012-0181-x

5. Alvarado, P., J.I. 2015. Informe de proyecto. Efecto del método de siembra, densidad de siembra y riegos en la producción de biomasa y azúcares de sorgos dulces evaluados en baja california, INIFAP. Campo Experimental Valle de Mexicali, Mexicali, BCN. 6 p.
6. Alvarez, C.M. and Montes, G.N. (2017) Production Technology for Sweet Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] as a Source for Obtaining Bioethanol in the Sub-Humid Tropics of the State of Jalisco. Technical Brochure No. 15. INIFAP-CIRPAC. Tecoman Experimental Field Station, Tecoman, 24 p. https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_folletotecnico/1029_4702_Tecnolog%c3%ada_de_producci%c3%b3n_de_sorgo_dulce_Sorghum_bicolor_l._Moench_como_fuente_para_la_obtenci%c3%b3n_de_bioetanol_en_el_tr%c3%b3pico_subh%c3%bamedo_del_estado_de_Jalisco.pdf
7. Anglani, C., 1988. Sorghum carbohydrates-A Rev. *Plant Food Human Nutr.* No. 52: 77-83.
8. Assefa, Y., Staggenborg, S.A. and Prasad, V.P.V. (2010) Grain Sorghum Water Requirement and Responses to Drought Stress: A Review. *Crop Management*, 9, 1-11. https://www.researchgate.net/publication/260421900_Grain_Sorghum_Water_Requirement_and_Responses_to_Drought_Stress_A_Review <https://doi.org/10.1094/CM-2010-1109-01-RV>
9. Baradas, M. W. 1994. Crop requirements of tropical crops. *In: Handbook of agricultural meteorology.* J.F. Griffiths Editor. Oxford Univ. Press. New York. pp. 189-202.
10. Buestan, R. (1994). Los parámetros de estabilidad y la selección de cultivares. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Boliche. Ecuador.
11. Calviño M. y Messing J. (2012). Sweet sorghum as a model system for bioenergy crops. *Curr. Opin. Biotechnol.* 23, 323-329. DOI: 10.1016/j.copbio.2011.12.002.
12. Correa, N.J (2000). El sorgo en la producción animal. CREAS Zona oeste, Gacetilla informativa No 166.
13. Chuck, C., E. Pérez, E. Heredia, y S.O. Serna. 2011. Sorgo como un cultivo multifacético para la producción de bioetanol en México: Tecnologías, avances y áreas de oportunidad. *Rev. Mex. Ing. Quim.* 10:529-549.
14. Dial, H.L. 2012. Plant guide for sorghum (*Sorghum bicolor* L.). USDA-Natural Resources Conservation Service, Tucson Plant Materials Center, Tucson, AZ.
15. Diaz, F.A., Espinosa, R.M. and Ortiz, C.F.E. (2016) Promotion of Biomass and Sugar Content in Sweet Sorghum through Organic Fertilizers and Arbuscular Mycorrhiza. *International Journal of Environmental Pollution*, 32, 353-360.
16. Dendy, D.A.V. (1995) Sorghum and Millets Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Universidad de Wisconsin, Madison.
17. Drapcho, C M., Erasti, N P., Walker, T H. *Biofuels Engineering Process Technol.* USA: The McGraw-Hill companies. 2008.
18. Elaalem M (2012) Land suitability evaluation for sorghum based on Boolean and fuzzy-multi-criteria decision analysis methods. *Int J Environ Sci Dev* 3(4):357-361.
19. Errasti Cabrera, Michel, Piloto Rodríguez, Ramón, Ferrer Frontela, Noel, Melo Espinoza, Eliezer Ahmed, de Dios Ortega, Antonio Werner, & Goyos Pérez, Leonardo. (2013). Caracterización de un motor diesel trabajando con mezclas de aceite de *Jatropha* y combustible diesel. *Ingeniería Energética*, 34(3), 198-207.

20. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2014) Ecocrop, Ecological Requirements of Plant Species, Database. Rome, Italy.
21. Geng, S., F.J. Hills, S.S. Johnson, and R.N. Sah. 1989. Potential yields and on-farm ethanol production cost of corn, sweet sorghum, fodderbeet, and sugarbeet. *Journal of Agronomy and Crop Science* 162: 21–29.
22. Harlan, J.R. and de Wet, J.W.J. 1972. A simplified classification of sorghum. *Crop Sci.* 12:172-176.
23. House, H.R., Gomez, M., Murty, O.S., Sun, Y. and Verma, B.N. 2000. Development of some agricultural industries in several African and Asian countries. pp 131-190. In: *Sorghum: Origin, history, technology and production*. Smith et al. (ed.). John Wiley & Sons, New York, USA.
24. Kahsay, A., Mitiku, H., Girmay, G. and Muktar, M. (2018) Land Suitability Analysis for Sorghum Crop Production in Northern Semi-Arid Ethiopia: Application of GIS-Based Fuzzy AHP Approach. *Cogent Food & Agriculture*, 4, 1-24. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311932.2018.1507184>
25. Khawaja, C., Janssen, R., Rutz, D., Luquet, D., Trouche, G., Reddy, B., Rao, P.S., Basavaraj, G., Schaffert, R., Damasceno, C., Parella, R., Zacharias, A., Bushmann, R., Rettenmaier, N., Reinhardt, G., Monti, A., Lizarazu, W.Z., Amaducci, S., Marocco, A., Snijman, W., Shargie, N., Terblanche, H., Zavala-Garcia, F. and Braconnier, S. (2014) *Energy Sorghum: An Alternative Energy Crop. A Handbook*. WIP Renewable Energies, Munich, p.13. <http://oar.icrisat.org/9049>
26. Kumar, S.R., Ramanjaneyulu, A.V. and Krishna, A. (2010) A Decadal Analysis of Improved Sorghum (*Sorghum bicolor*) Cultivar Response to Fertilizer Application in Rainy Season and a Hypothetical Grain Production Model. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 80, 786-790. https://krishi.icar.gov.in/jspui/bitstream/123456789/8395/1/A_decadal_analysis_of_improved_sorghum_Sorghum_bic.pdf
27. Lemus R., and Parrish D.J. 2009. Herbaceous crops with potential for biofuel production in the USA. *Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 4, No. 057.
28. Lingle, S.E. 1987. Sucrose metabolism in the primary culm of sweet sorghum during development. *Crop Sci.* 27: 1214-1219.
29. Medina G., G., Ruiz C., J. A., Martínez P., R. A. y Ortiz V., M. 1997. Metodología para la determinación del potencial productivo de especies vegetales. *Agric. Téc. Méx.* 23(1):69-90.
30. Moore, L; Serafin, L; Jenkins, L (2014) Grain sorghum. Summer crop production guide 2014. NSW Department of Primary Industries.
31. Montes, G.N., Vargas, V.E., Salinas, G.J., Espinosa, R.M. y Loredó, P.R. (2013). Tecnología de Producción de Sorgo Dulce para la Elaboración de Etanol en Tamaulipas. Folleto 21. Campo Experimental Río Bravo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Río Bravo, 26 p. <https://pdfs.semanticscholar.org/d16e/0496f3400b0bbe904cd62d3dff4cecc5185c.pdf>
32. Montiel Montoya, J., Potencial y Riesgo Ambiental de los Bioenergéticos en México. *Ra Ximhai*. No. 6, pp:57-62. 2010.
33. Murray, S.C. 2008. Genetic and phenotypic diversity in sorghum for improvement as a biofuel feedstock. PhD. Tesis, Cornell University, Ithaca, NY, USA.

34. Neild, R.E., J. Logan and A. Cárdenas. 1983. Growing season and phenological response of sorghum as determined from simple climatic data. *Agric. Meteorol.*, 30:35-48.
35. Pecina Quintero, V., Herrera Corredor, C., Hernandez Martinez, M., Montes Garcia, N. and Moreno Gallegos, T. (2017) Sweet Sorghum Production Technology (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in Guanajuato. Technical Brochure No. 37. National Institute of Agricultural Forestry and Livestock Research, Regional Research Center, Bajío Celaya Experimental Field Center, Guanajuato. [https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_folletotecnico/1047_4732_Tecnolog%3%ada_de_producci%3%b3n_de_sorgo_dulce_\(Sorghum_bicolor_\(L.\)_Moench\)_en_Guanajuato.pdf](https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_folletotecnico/1047_4732_Tecnolog%3%ada_de_producci%3%b3n_de_sorgo_dulce_(Sorghum_bicolor_(L.)_Moench)_en_Guanajuato.pdf)
36. Pérez, S; O; Iglesias, W; Reyes, H; Oquendo, G; Millan, O. (2010). Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench.) Pastos y Forraje, 33(1), 1. Recuperado el 15 de junio de 2019.
37. Pereira, A. R. 1982. Crop planning for different environments. *Agricultural Meteorology* 27(1-2):71-77.
38. QGIS Development Team (2019). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>.
39. Rajvanshi, A. K., De, T. K., Jorapur, R. M., and Nimbkar, N. 1993. Jaggery and syrup from sweet sorghum. Publication No. NARIGUR, published by Nimbkar Agricultural Research Institute (NARI), Phaltan, India.
40. Ratnavathi C.V., Kalyana S., Komala V.V., Chavan U.D. y Patil J.V. (2011). Sweet sorghum as feedstock for biofuel production: A review. *Sugar Tech.* 13, 399-407. DOI: 10.1007/s12355-011-0112-2.
41. Reddy, B.V.S., Ramesh, Sanjana.S., Reddy, P., Ramaih, B., Salimath. P.M., Rajashekar Kachapur. 2005. Sweet sorghum-A potential alternative raw material for bioethanol and bioenergy. *International Sorghum and Millets Newsletter* 46, 79-86.
42. Rooney, L. and Serna-Saldivar, S. (2000) Sorghum. In: Kulp, K. and Ponte, J., Eds., *Handbook of Cereal Science and Technology*, Marcel Dekker, New York, 149-176.
43. Ruiz C., J.A. y L. Soltero D. 1993. Necesidades térmicas para la floración de sorgo en la Ciénega de Chapala. *FITOTECNIA* 16(1): 79-87.
44. Ruiz C., J.A., G. Medina G., I. J. González A., H.E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K.F. Byerly M. y R.A. Martínez P. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p.
45. Schaffert, R. E. and Gourley, L. M. 1982. Sorghum as an energy source. pp 605-623. In: *Sorghum in the eighties: Proceedings of the International Symposium on Sorghum*, 2-7 Nov. 1981, ICRISAT Center, Patancheru, India.
46. Schaffert, R. E. 1992. Sweet sorghum substrate for industrial alcohol. pp. 131-137. In: *Utilization of sorghum and millets: proceedings of the International workshop on policy, practice, and potential relating to uses of sorghum and millets*, 8-12 Feb. 1988, ICRISAT Center, Bulawayo, Zimbabwe.
47. Serna-Saldivar, S. (2010) *Cereal Grains: Properties, Processing, and Nutritional Attributes*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 22 p. <https://books.google.com.mx/>

books?id=OgzSBQAAQBAJ&lpg=PA108&ots=uQoePDFQal&dq=Sorghum.%20En%3A%20Handbook%20of%20Cereal%20Science%20and%20Technology%2C%20(Kulp%2C%20K.%2C%20Ponte%2C%20J.%2C%20eds.).%20Marcel%20Dekker%2C%20New%20York%2C%20USA&hl=es&pg=PA12#v=onepage&q&f=false

48. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2017. Bioenergéticos mexicanos: Higuierilla, *Jatropha curcas*, Sorgo Dulce. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257070/Potencial-Bioenerg_ticos.pdf
49. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2023. Monografía de Sorgo Dulce. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/874035/Sorgo_dulce_monografia_2023.pdf
50. Tarpley, L., and Vietor, D.M. 2007. Compartmentation of sucrose during radial transfer in mature sorghum culm. BMC Plant Biol. 7:33.
51. Tobin 2010. Sweetened Sorghum as a Promising Energy Crop for NOA. http://www.tobin.com.ar/?EI_Sorgo_Azucarado%3A_Un_cultivo_energ%E9tico_promisorio_para_el_NOA&page=ampliada&id=54&s=&_page=informacion_comercial
52. Undersander, D.J., L.H. Smith., A.R. Kaminski., K.A. Kelling, and J.D. Doll 1990. Sorghum- Forage. In: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/AFCM/forage>.
53. Vietor, D.M., and Miller, F.R. 1990. Assimilation, partitioning, and nonstructural carbohydrate in sweet compared with grain sorghum. Crop Sci. 30: 1109-1115.

CAPÍTULO 5

MAÍCES CON ALTO CONTENIDO DE ANTOCIANINA, BIOFORTIFICADOS CON ZINC, PROVITAMINA A Y DE ALTA CALIDAD DE PROTEÍNA EN PERÚ

Data de submissão: 02/09/2025

Data de aceite: 23/09/2025

Luis Alberto Narro León

Universidad Nacional Agraria La Molina
Lima, Perú

<https://orcid.org/0000-0002-0026-6840>

Alexander Chávez Cabrera¹

Instituto Nacional de Innovación Agraria
Lima, Perú

<https://orcid.org/0000-0003-3412-6851>

Peter Chris Piña Díaz

Instituto Nacional de Innovación Agraria
Lima, Perú

<https://orcid.org/0009-0004-1843-3434>

Fernando Escobal Valencia

Instituto Nacional de Innovación Agraria
Lima, Perú

<https://orcid.org/0009-0003-5008-0109>

Alicia Elizabeth Medina Hoyos

Instituto Nacional de Innovación Agraria
Lima, Perú

<https://orcid.org/0009-0004-5049-6646>

Teodoro Patricio Narro León

Universidad Nacional de Cajamarca
Cajamarca, Perú

<https://orcid.org/0009-0007-2790-2484>

Kryss Aracely Vargas Gutiérrez

Instituto Nacional de Innovación Agraria
Lima, Perú

<https://orcid.org/0000-0001-7977-2828>

Roberto Alvarado Rodríguez

Instituto Nacional de Innovación Agraria
Lima, Perú

Fabian Camilo Velásquez Leveau

Servicio Nacional de Sanidad Agraria
Lima, Perú

<https://orcid.org/0009-0001-2641-8873>

Ronal Otiniano Villanueva

Universidad Nacional de Cajamarca
Cajamarca, Perú

<https://orcid.org/0000-0002-0928-3209>

RESUMEN: Más de 2000 millones de personas en el mundo padecen “hambre oculta” por insuficiencia de minerales y/o vitaminas en la dieta diaria. La situación del hambre en Perú pasó de 17.7 a 19.6 puntos de 2021 a 2022. La biofortificación de cultivos surgió como una iniciativa para ayudar a solucionar este problema mediante la producción de plantas con mayor contenido de zinc (Zn), hierro (Fe) y provitamina A (ProA) en el grano utilizando métodos de mejoramiento convencional (no transgénicos). Los resultados obtenidos en el Perú nos muestran que existen híbridos

¹ Autor para Correspondencia / Corresponding Author

de maíz biofortificado, con alto contenido de Zn y ProA, y con muy buen potencial de rendimiento. Para el caso del maíz morado, con alto contenido de antocianinas, un fitoquímico que tiene efectos beneficiosos para la salud de las personas, se está estudiando la adaptación de las variedades en todo el país tanto para el rendimiento del grano como para el contenido de antocianinas. Resultados preliminares indican que hay claras diferencias entre variedades para rendimiento, como contenido de antocianinas en la coronta, brácteas y grano. La producción de maíz morado se ha cuadruplicado en los últimos 20 años por un mayor consumo interno y por el incremento en las exportaciones. Sin embargo, su contribución al Producto Bruto Interno (PBI) es muy baja: menor al 1%; lo que es un reto y una oportunidad para desarrollar y transferir tecnología que incremente la producción y vincule al productor de maíz morado con el consumidor. En el caso de maíz de alta calidad de proteína (QPM), se ha liberado en el Perú un híbrido simple (QPM) de color amarillo intenso, con alto potencial de rendimiento y amplia adaptación.

PALABRAS CLAVE: maíz morado; desnutrición; biofortificación; calidad de proteína.

MAIZE WITH HIGH ANTHOCYANIN, BIOFORTIFIED WITH ZINC, PROVITAMIN A, AND QUALITY PROTEIN IN PERÚ

ABSTRACT: “Hidden hunger” is a serious problem affecting over 2000 million people in developing countries. In Peru, it has increased from 17.7 to 19.6, between 2021 and 2022. This problem is caused by deficiencies in micronutrients and vitamins in humans. Crop biofortification for zinc (Zn), iron (Fe), and provitamin A (ProA) has emerged as an initiative to help solve this problem using conventional breeding (no transgenics). Research in Peru shows the feasibility of promoting biofortified maize with high Zn, high ProA and also high grain yield potential. For purple maize, which contains anthocyanins, a chemical with beneficial effects for humans, studies on varietal adaptation and anthocyanins content are being conducted in Peru. Preliminary results show clear differences among varieties for grain yield potential and high anthocyanin content in the cob, husk, and grain. Purple maize production has increased fourfold in the last twenty years due to increased local consumption and exports. However, its contribution to Gross Domestic Product (GDP) is minimal, less than 1 %. Consequently, this presents a big challenge and an opportunity for research and technology development to increase maize production and link purple maize producers with global consumers. For quality protein maize, available hybrids with high grain yield potential and wide adaptation must be promoted in Peru.

KEYWORDS: purple maize; malnutrition; biofortification; protein quality.

1. INTRODUCCIÓN

Más de 2000 millones de personas en el mundo padecen “hambre oculta” debido a la insuficiencia de micronutrientes y/o vitaminas en la dieta diaria y alto consumo de carbohidratos [1-3]. Por otro lado, una cantidad similar de personas tiene sobrepeso y obesidad [4]. Ambos problemas son caras de una misma moneda, consecuencia de malos hábitos alimenticios [5,6]. Para encarar este problema, los gobiernos de diversos

países han implementado programas de suplementación y fortificación de alimentos que muchas veces no llegan a los pobladores del ámbito rural [2,7]. La biofortificación en base a la gran diversidad de plantas existente es una alternativa complementaria, viable y eficiente, orientada al desarrollo de micronutrientes y vitaminas en cultivos básicos como arroz, camote, maíz, trigo, yuca, entre otros, utilizando principalmente el mejoramiento convencional (sin incluir organismos genéticamente modificados) y el manejo agronómico [2,3,7-13]. Es decir, la propia planta produce los micronutrientes y vitaminas que la persona necesita y el manejo es similar al de los cultivos no biofortificados.

Existen 149 millones de niños menores de cinco años que sufren retraso en el crecimiento, y alrededor de 50 millones de emaciación (adelgazamiento patológico). Por otro lado, hay sectores de la población donde hay un aumento rápido de tasas de sobrepeso [4,13-15]. La FAO [13] informa que entre 691 y 783 millones de personas padecieron hambre en 2022. En 2023, casi 282 millones de personas en 59 países experimentaron altos niveles de hambre aguda, es decir, 24 millones más que en 2022 [16]. La situación del hambre en Perú se ha incrementado de 17.7 puntos en 2021 a 19.6 puntos en 2022, según los últimos resultados del Índice Global del Hambre (IGH) 2023. Esta es la posición más negativa en los últimos 10 años [17].

En Perú, 41.6 % de la población consume alimentos deficientes en Zn, lo que motiva retrasos en el crecimiento, susceptibilidad a enfermedades virales, diarrea y neumonía; principalmente en niños. Los maíces normales (no biofortificados) tienen alrededor de 22 ppm, mientras que los biofortificados más de 34 ppm de Zn.

La deficiencia de vitamina A afecta al 12 % de niños menores de cinco años en el Perú. Esta deficiencia debilita el sistema inmunológico, causa xeroftalmia de la córnea e incluso ceguera completa. El consumo de maíz con ProA se puede dar como consumo directo o como alimento funcional; por ejemplo, gallinas alimentadas con maíz con alto contenido de ProA producen huevos con yemas con mayor contenido de este nutriente. Los maíces biofortificados tienen más de 10 ppm de ProA comparado con 2 ppm de los maíces normales [8,9].

La falta de proteínas durante la niñez puede afectar el desarrollo cognitivo, la reducción del apetito y la enfermedad de *kwashiorkor*. Las proteínas están constituidas por aminoácidos, pero la mayoría de alimentos no disponen de todos los aminoácidos esenciales en suficiente cantidad. La lisina y el triptófano, por ejemplo, son dos aminoácidos esenciales deficitarios en el grano de maíz normal (no QPM), por lo tanto, las personas que consumen maíz normal en su dieta diaria pueden padecer los síntomas mencionados. Por otro lado, estos dos aminoácidos son importantes para curar la enfermedad de pelagra [18].

Las antocianinas cumplen funciones importantes en las plantas, desde dar protección de la radiación ultravioleta, la atracción de insectos y aves polinizadores, hasta impedir la congelación de las frutas, como las uvas. Estos fitoquímicos, presentes en el maíz morado, tienen efectos benéficos, tales como su capacidad antioxidante o de neutralización de radicales libres y actúan como antimutagénicos [19-21]. En el organismo humano, los factores vitamínicos del maíz morado son utilizados como protectores capilares y venosos [22,23] que previenen problemas de aterosclerosis [24]. Además, ayudan a prevenir enfermedades cardiovasculares, ya que estimulan la circulación de la sangre y protegen los vasos sanguíneos de un posible deterioro oxidativo (ayudan a prevenir el envejecimiento prematuro).

En este entendido, el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) y la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), en coordinación con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), están realizando la evaluación de maíces biofortificados con alto contenido de Zn, ProA, QPM, y maíces morados con alta calidad y cantidad de antocianinas. El objetivo de este documento es presentar los resultados preliminares obtenidos hasta la fecha en estos cuatro temas.

2. MAÍZ MORADO CON ALTO CONTENIDO DE ANTOCIANINAS

Entre 2010 y 2020, el principal destino de las exportaciones de maíz morado ha sido Estados Unidos con 50 % del total de exportaciones, seguido por la Unión Europea con alrededor del 20 %. La exportación a Ecuador tuvo un ritmo ascendente pasando de 9.1 % en 2010 a 17.1 % en 2020. El precio de exportación de grano de maíz morado en los últimos años ha oscilado entre 2.0 y 2.5 USD/kg para Estados Unidos y España. Para América Latina, como en el caso de Chile, el precio ha bordeado los 0.5 USD/kg (Tabla 5).

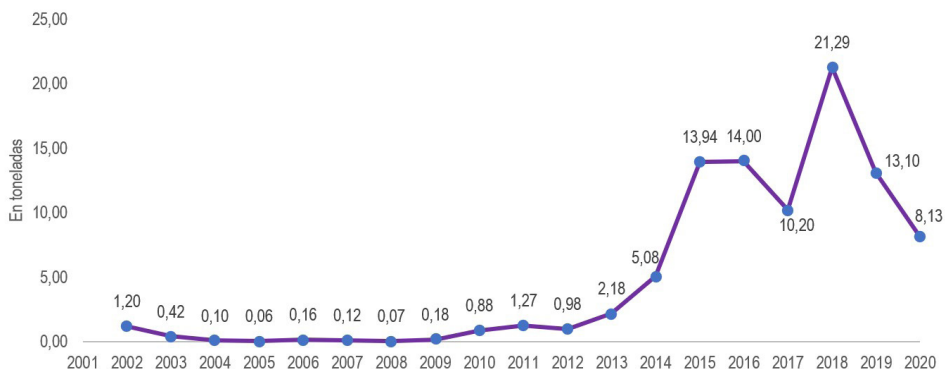
Tabla 5. Volumen y valor de la exportación de maíz morado y derivados (2010-2020).

Año	Volumen (t)	Valor (mil USD)
2010	396	591
2015	810	1079
2020	1242	1542

Fuente: Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria - SUNAT (2023).

Además de maíz morado se están exportando antocianinas. Durante el año 2002, se exportó una tonelada de antocianinas y, en el año 2018, la exportación subió a 21.3 toneladas (Figura 3).

Figura 3. Exportación antocianina del año 2002 a 2020.



Fuente: Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria -SUNAT (2023).

Los territorios a los cuales se ha exportado antocianina son: Estados Unidos, Corea y la Unión Europea, siendo Estados Unidos el país que lidera la compra de antocianina con el 85.6 % en el año 2020 (Tabla 6).

Tabla 6. Destino y valor de las exportaciones de maíz morado (2010-2020).

	2010		2015		2020	
	mil USD	%	mil USD	%	mil USD	%
Mundo	591	100	1079	100	1542	100
Estados Unidos	354	59.9	683	63.3	656	42.5
Unión Europea	123	20.8	151	14.0	486	31.5
Ecuador	54	9.1	161	14.9	264	17.1
Chile	3	0.5	32	3.0	68	4.4
Japón	12	2.0	19	1.8	24	1.6
Canadá	3	0.5	15	1.4	22	1.4
Otros países	42	7.1	18	1.7	22	1.4

Fuente: Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria - SUNAT (2023).

Grobman indica que la raza Kculli ha dado origen a los maíces morados con alta concentración de antocianinas, que proceden de las alturas de la sierra central peruana [25]. La raza Kculli es una de las más de 50 razas de maíz descritas en el Perú [26-28]. Kculli en quechua significa negro. Mangelsdorf afirma que, en Perú, Bolivia, Ecuador, Chile, Argentina y Colombia existen razas con pericarpio y aleurona de colores que pudieron haber sido derivadas de la raza Kculli [25].

La presencia de antocianinas en el maíz morado es la principal característica de este tipo de maíz. Las antocianinas del maíz morado son pigmentos naturales hidrosolubles

del grupo de los flavonoides y están presentes en las vacuolas de células vegetales que otorgan el color rojo, púrpura o azul a las hojas, flores y frutos de los arándanos, cerezas, frambuesas, repollo morado, berenjena y maíz [29,30].

Las antocianinas del maíz, que aportan múltiples beneficios para la salud humana, producen un color morado oscuro en las tusas o corontas, brácteas o pancas, y en los granos, lo que resulta por la acción de los alelos dominantes A, B y Pr. El color de la planta está dado por el gen Pr [28,31]. La interrelación entre estos genes está influenciada por la interacción con factores ambientales como la luz solar y los diferentes estreses abióticos donde se desarrolle el cultivo.

La expresión de las antocianinas en el maíz depende del genotipo, es decir la raza, variedad o híbrido de maíz. Asimismo, depende del órgano de la planta donde se expresa y de las condiciones ambientales donde la planta crece. El contenido de antocianinas en el maíz morado es alto, equivalente a 1642 mg/100g de producto fresco entero; otros alimentos con cantidades expresadas en las mismas unidades son el arándano *Vaccinium* sp (558), la frambuesa negra *Rubus occidentalis* (589), la berenjena *Solanum melongena* (750), las uvas rojas y negras *Vitis* sp (888), y *Aronia melanocarpa* (1480) [32].

La producción de maíz morado en el Perú se ha quintuplicado en los últimos 20 años pasando de 4.9 mil toneladas en 2003 a 24.6 mil toneladas en 2020. Este aumento se debe principalmente al incremento de la superficie sembrada que se triplicó pasando de 1.5 mil ha a 4.4 mil ha para el mismo periodo. Respecto al rendimiento de grano, hasta 2010 fue menor a 5.0 t/ha, y a la fecha se mantiene en alrededor de 5.6 t/ha (Tabla 1).

Tabla 1. Producción de maíz morado en el Perú desde 2003 hasta 2020.

Año	Superficie (mil ha)	Producción (mil toneladas)	Rendimiento (t/ha)
2003	1.5	4.9	3.3
2004	1.5	5.0	3.3
2005	1.8	7.7	4.3
2006	1.9	8.0	4.2
2007	2.2	10.5	4.8
2008	2.9	13.6	4.7
2009	3.1	15.1	4.9
2010	3.4	16.9	5.0
2011	3.3	17.8	5.4
2012	3.7	20.0	5.4
2013	3.5	20.1	5.7
2014	3.2	18.0	5.6
2015	3.8	21.2	5.6

2016	3.9	21.5	5.5
2017	4.4	23.5	5.3
2018	4.2	23.2	5.5
2019	4.4	23.1	5.3
2020	4.4	24.6	5.6

Fuente: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), Sistema Integrado de Estadística Agraria (SIEA).

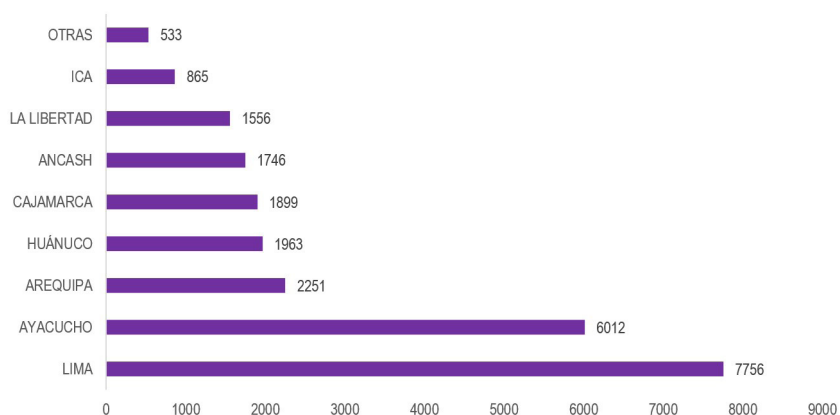
La mayor producción de maíz morado en el Perú se da en las regiones costa y sierra. Para el año 2021 las regiones de Lima, Ayacucho, Cajamarca, Arequipa y Ancash fueron las de mayor producción, similar a los años precedentes. En estas cinco regiones se produce el 85 % del total. Es así que, la región de Lima contribuye con el 40 %, y las otras cuatro regiones contribuyen con alrededor de 10 % cada una (Tabla 2 y Figura 1).

Tabla 2. Producción de maíz morado por región en el Perú, durante 2021.

Región	Superficie		Rendimiento (t/ha)	Producción	
	ha	%		t	%
Nacional	3875	100	5.1	20091	100
Lima	1216	31	6.6	8008	40
Ayacucho	763	20	3.4	2812	13
Cajamarca	613	16	3.8	2347	12
Arequipa	377	10	5.3	1999	10
Ancash	376	10	5.2	1948	10
Otras	530	13		2377	15

Fuente: Compendio Anual de Producción Agrícola. Ministerio de Agricultura y Riego - Dirección General de Estadística, Seguimiento y Evaluación de Políticas - Dirección de Estadística e Información Agraria. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/2730325-compendio-anual-de-produccion-agricola>

Figura 1. Regiones productoras de maíz morado en el Perú (t) el año 2021.



Fuente: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas – DGESEP Table.

El aumento en el consumo de maíz morado ha sido el factor determinante para el incremento de la demanda en el Perú. Actualmente se consume chicha morada en todo el país y se ha diversificado el consumo de otros productos alimenticios en muchas regiones. Diversas actividades, como ferias en varios puntos del país, están determinando una mayor utilización en la agroindustria y, por lo tanto, el incremento de la demanda de maíz morado. No obstante, el aporte del maíz al PBI de la producción agrícola para el año 2020 es baja: equivalente al 5.9 % entre todos los tipos de maíz (duro, amiláceo, choclo, morado). De la misma manera, el maíz morado contribuye solo con el 0.09 % [32]. Este hecho es un reto y una oportunidad para incrementar la producción del maíz morado en beneficio de la humanidad aprovechando las propiedades de las antocianinas presentes en la coronta o tusa, la panca o brácteas y el grano de la planta. De esta forma se pueden utilizar las ventajas comparativas del cultivo como alimento funcional y como insumo para la industria farmacéutica, entre otras.

En consecuencia, se deben incrementar los trabajos de maíz morado en el Perú, tanto para aumentar el consumo interno como para la exportación, a través de la cual el mundo puede beneficiarse de sus propiedades funcionales, antioxidantes, antiinflamatorias, anticancerígenas, entre otras.

Para mejorar la eficiencia en la utilización de germoplasma de la raza Kculli, se requiere desarrollar cultivares (variedades e híbridos) y conocer su comportamiento en diferentes ambientes donde se evalúe tanto la producción de grano, como el contenido de antocianinas en el grano, la tusa y la coronta. En el Perú se han generado variedades por la UNALM y por el INIA principalmente. El MIDAGRI [32] describe hasta 10 variedades de maíz morado: seis variedades locales denominadas como las “más conocidas” y cuatro variedades mejoradas.

A continuación, se resumen las características de las seis variedades “más conocidas”:

Cusco Morado: variedad relacionada a la raza Cusco Gigante. Se cultiva en zonas de altitud intermedia en los departamentos de Cusco y Apurímac.

Morado Canteño: derivada de la raza Cusco, pero más precoz. Se cultiva principalmente en las partes altas del valle Chillón en Lima, hasta 2500 m s.n.m. Es la variedad de mayor consumo en Lima.

Morado de Caraz: derivada de las razas Ancashino y Alazán. De precocidad intermedia, se cultiva en la sierra y costa de la región de Ancash. Muestra buen potencial de rendimiento y las corontas son más pigmentadas que las de otras variedades.

Arequipeño: forma de la mazorca similar a la raza Cusco. Procede de la sierra de Arequipa y es precoz. El color de la tusa no es tan intenso como en otras variedades.

Negro de Junín: variedad precoz de granos negros, grandes, dispuestos irregularmente en una mazorca corta y redondeada similar a la raza San Jerónimo.

Huancavelicano: se encuentra en la sierra centro y sur, hasta Arequipa. Se siembra a mayores altitudes que las otras variedades.

Las 4 variedades mejoradas son:

PMV-581: variedad desarrollada por la UNALM, derivada de la variedad morado de Caraz, adaptada a la costa y sierra baja, con resistencia a roya y *Cercospora* sp. Su periodo vegetativo es intermedio, con mazorcas medianas, alargadas, con alto contenido de antocianina y potencial de rendimiento de 6.0 t/ha [27].

PMV-582: variedad mejorada por la UNALM, adaptada para las condiciones de la sierra alta.

INIA-601: desarrollada por el INIA, Estación Experimental Baños del Inca, Cajamarca. Formada con 108 progenies de la variedad Morado de Caraz y 148 progenies de la variedad Negro de Parubamba [33]. Fue liberada el año 2000. Tiene alto contenido de antocianina en coronta y brácteas [24].

INIA-615 Negro Canaán: desarrollada por el INIA, Estación Experimental Canaán, Ayacucho. Está formada por 36 colecciones de la raza Kculli y fue liberada el año 2007.

Respecto a investigaciones recientes, se ha presentado un estudio de evaluación de seis variedades comerciales de maíz morado en 18 ambientes de la región de Cajamarca [24]. Las variedades fueron INIA-601, Sintético Maíz Morado, INIA-615, UNC-47, PMV-581 y Canteño. Los ambientes de evaluación estuvieron ubicados entre 2388 y 3175 m s.n.m. El manejo de los ensayos se hizo con una fertilización de acuerdo con el ambiente, aunque sin mucha variación entre ellos. La dosis de nitrógeno osciló entre 100 y 120 unidades, la de fósforo entre 40 y 60 unidades de P_2O_5 , y la de potasio de 40 unidades de K_2O . La densidad de siembra fue de 50000 plantas/ha. El control de insectos se realizó de acuerdo con el requerimiento del cultivo, mas no se hizo control para enfermedades.

Los resultados mostraron que hay interacción genotipo-ambiente altamente significativa ($P < 0.001$), lo que indica que el comportamiento de cada variedad fue diferente de acuerdo con el ambiente de evaluación; por esta razón se calculó el valor de estabilidad promedio (ASV = Average Stability Value). Los valores de ASV fueron de 0.23 para INIA-615, 0.47 para UNC-47, 0.68 para INIA-601, 0.71 para el Sintético Maíz Morado, 1.03 para PMV-581 y 1.54 para Canteño.

Las variedades más estables son aquellas que tienen menores valores de ASV, los mismos que pueden ser explicados porque las variedades UNC-47, INIA-601 y Sintético

Maíz Morado tienen como fuente de germoplasma tipos de maíz morado adaptados a las condiciones de Cajamarca, donde se realizaron los experimentos. Los mayores valores de ASV corresponden a PMV-581 y Canteño, variedades mejor adaptadas a la costa y la sierra baja; especial explicación se requiere para la variedad INIA-615. El rendimiento promedio de grano al 14 % de humedad oscila entre 2.77 t/ha (INIA 601) y 1.90 t/ha (Canteño) (Tabla 3).

En el mismo estudio [24] se reportó que el porcentaje de antocianinas en la coronta (5.28 %) fue tres veces mayor que en las brácteas (1.58 %). Los valores de antocianinas en la coronta fueron mayores para INIA-601 (6.12 %), Sintético MM (5.63 %), INIA-615 (5.44 %) y UNC-47 (5.7 %), sin diferencia significativa entre ellas. Por otra parte, las variedades PMV-581 y Canteño mostraron menores valores: 4.14 % y 4.66 %, respectivamente. Con relación al contenido de antocianinas en las brácteas, se observaron 3 grupos: la variedad INIA-601 tuvo el mayor valor equivalente a 3.18 %, el segundo grupo lo integró Sintético MM con 1.76 %, INIA-615 con 1.18 % y UNC-47 con 1.9 %, sin diferencia significativa entre ellas; el tercer grupo lo formaron las variedades PMV-581 y Canteño con valores de 0.8 % y 0.63 %, respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3. Rendimiento de grano, ASV (Average Stability Value) y contenido de antocianinas de seis variedades de maíz morado evaluadas en la región de Cajamarca.

Variedad	Rendimiento de grano	ASV	Antocianinas	
			Coronta	Brácteas
	----- (t/ha) -----		----- (%) -----	
INIA 601	2.77 a	0.68	6.12 a	3.18 a
Sintético MM	2.50 ab	0.71	5.63 a	1.76 b
INIA 615	2.40 b	0.23	5.44 a	1.18 b
UNC 47	2.31 b	0.47	5.7 a	1.9 b
PMV 581	2.15 c	1.02	4.14 b	0.8 c
Canteño	1.90 d	1.54	4.66 b	0.63 c
Promedio	2.34	0.78	5.28	1.58

Promedios seguidos de la misma letra en la vertical no son diferentes estadísticamente por la prueba de Tuckey. Fuente: [24].

Con base en estos resultados se está estudiando ampliamente la adaptación de las variedades, incluyendo 30 localidades en diferentes regiones del país. Se presentan los resultados de dos localidades, una en la costa (Mala, Lima) ubicada a 80 m s.n.m. y una en la sierra (Baños del Inca, Cajamarca) a 2666 m s.n.m. El ensayo en Cajamarca fue sembrado en la época normal de siembra (diciembre de 2022 a julio de 2023), y solo se requirió un riego al momento de la floración por ausencia de lluvias en esta época.

Mientras que, en Lima, el ensayo fue conducido entre mayo y septiembre de 2023 con aplicación de riego semanal, por goteo. El manejo del cultivo, la fertilización, la densidad de siembra, y el control de malezas y plagas fueron estándar en la conducción de estos ensayos en ambas localidades.

Los datos de rendimiento de grano son expresados al 14 % de humedad. En la localidad de Cajamarca el rendimiento promedio fue de 6.78 t/ha sin diferencia significativa entre las variedades. En cambio, en Lima el rendimiento promedio fue de 5.46 t/ha y se observó diferencia significativa entre las variedades; INIA-615 tuvo el mayor rendimiento (6.70 t/ha) superior al rendimiento de la variedad testigo INIA-601, que rindió 3.70 t/ha (Tabla 4). Es importante notar que el rendimiento de la variedad INIA-615 fue similar al rendimiento de las variedades Canteño (6.64 t/ha) y PMV-581 (6.40 t/ha); estas últimas recomendadas para la costa y la sierra baja. Por lo tanto, es un resultado esperado, ya que las variedades INIA-601 y Sintético MM, desarrolladas para condiciones de sierra media-alta, mostraron menor rendimiento (3.8 t/ha). Con la determinación de antocianinas para cada variedad en cada localidad y el trabajo en ejecución, se tendrá una idea más clara de la adaptación de las variedades a las diferentes condiciones ambientales del país y su variación en el contenido de antocianinas.

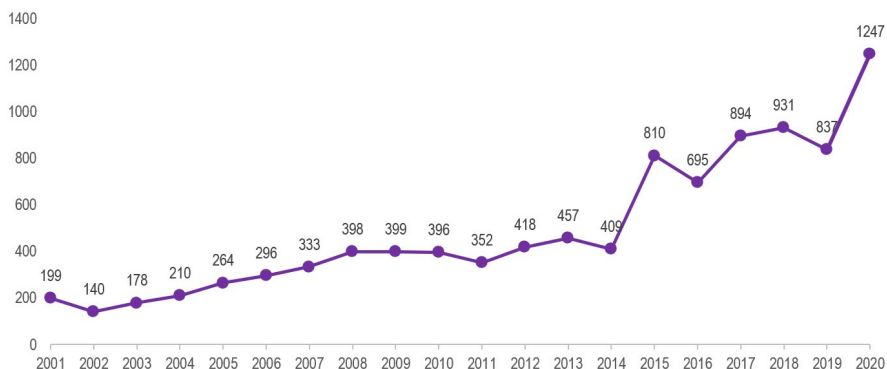
La información que se ha generado, permitirá incrementar la producción por región geográfica para promover el mayor consumo interno, así como la exportación. Respecto al comercio internacional, la exportación del maíz morado ha tenido un crecimiento significativo habiéndose triplicado entre 2010 y 2020, pasando de 396 a 1242 toneladas para este periodo; en forma similar el valor de las exportaciones se incrementó de 591 mil USD a 1.542 millones de USD para 2010 y 2020, respectivamente (Tabla 4 y Figura 2).

Tabla 4. Rendimiento (t/ha) de cinco variedades de maíz morado en dos localidades de Perú. 2023.

Variedades	Localidades			
	Baños del Inca Cajamarca		Mala Lima	
Canteño	5.95	a	6.64	a
INIA 601 (T)	7.21	a	3.70	b
INIA 615	7.93	a	6.70	a
PMV 581	6.42	a	6.40	a
Sintético MM	6.39	a	3.86	b
Promedio	6.78		5.46	
LSD (0.05)	2.67		1.40	
CV	11.6		26.1	

Promedios seguidos de la misma letra en la vertical no son diferentes estadísticamente por la prueba de Tuckey.

Figura 2. Exportación de maíz morado (t) desde 2001 hasta 2020.



Fuente: Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria -SUNAT (2023).

3. MAÍZ BIOFORTIFICADO CON ZINC

Existe alto riesgo de deficiencia de Zn en la alimentación de varios países de Latinoamérica. En el Perú, el 41.6 % de la población consume una cantidad insuficiente de Zn. El 18.3 % de los niños menores de cinco años padece de raquitismo; esta prevalencia asciende al 32 % en las zonas rurales y al 37 % en la población más pobre. La deficiencia de Zn conlleva retrasos del crecimiento, incremento de la morbilidad en enfermedades infecciosas, especialmente virales, diarrea y neumonía, principalmente en los dos primeros años de vida. El Zn es un cofactor esencial para muchas enzimas y juega un rol importante en la síntesis de DNA y RNA y en la expresión de genes. La deficiencia de Zn controla la absorción de hierro en los intestinos, por lo tanto, estos micronutrientes deben ser reconocidos en la salud pública global como mencionan Nriagu (2007), Chang et al. (2010) y Graham et al. (2012), citados por [34].

Con la finalidad de aprovechar las bondades de los maíces con alto contenido de Zn y de provitamina A en el Perú, se están evaluando variedades e híbridos procedentes del CIMMYT. Los maíces normales (no biofortificados), tienen un contenido de Zn de alrededor de 22 ppm, mientras que los biofortificados tienen más de 34 ppm.

Variedades de maíz biofortificado con Zn han sido evaluadas en tres localidades: dos en la sierra y una en la costa. En la sierra, en la localidad de Chagualito, distrito de Cochorco, provincia de Sánchez Carrión, departamento de La Libertad, ubicada a 1200 m s.n.m., se sembraron los ensayos en los años 2021 y 2022. El experimento en la costa fue sembrado en Lima, en la UNALM, en el año 2021. En ambas localidades, los experimentos fueron conducidos de acuerdo con las recomendaciones para cada localidad, utilizando como testigo la variedad de polinización abierta Marginal 28 Tropical (M28T).

No hubo diferencia significativa para rendimiento de grano entre las seis variedades en ninguna de las tres localidades (Tabla 7).

Tabla 7. Rendimiento de grano de seis variedades de maíz biofortificado con zinc.

N°	Variedad	Chagualito 1		Lima - UNALM		Chagualito 2	
		t/ha	Ranking	t/ha	Ranking	t/ha	Ranking
1	S13LTWQHZNHGAB01	3.6	4	10.3	5	2.8	6
2	S13LTWQHZNHGAB02	3.6	4	10.8	4	4.6	1
3	S13LTWQHZNHGAB03	4.9	1	11.4	1	3.2	4
4	CCSZN1	4.5	2	8.7	6	3.8	2
5	CCSZN2	3.7	3	11.2	2	2.9	5
6	Marginal 28 Tropical (M28T)	2.9	5	10.8	3	3.7	3
Promedio		3.9		10.5		3.5	
LSD (0.05)		2.9		2.2		1.6	
CV		18.5		9.5		18.8	

Para que, en una comparación planeada de cualquier característica exista significancia, como por ejemplo entre la mejor variedad y el testigo (M28T), el valor de esa comparación debe ser mayor al valor de LSD [47]. En este caso, los valores para Chagualito 1 son 2.0 t/ha (resultado de 4.9 - 2.9) y 2.9 t/ha, respectivamente; por lo tanto, no hay diferencia significativa. Siguiendo el mismo principio, en Lima-UNALM, los valores son 0.6 t/ha (resultado de 11.4 - 10.8) y 2.2 t/ha, respectivamente; por lo tanto, tampoco hay diferencia significativa. Lo mismo sucede en la localidad Chagualito 2, en la que los valores son 0.9 (resultado de 4.6 - 3.7) y 1.6, respectivamente.

El rendimiento de grano en la localidad de Lima fue tres veces superior al de las localidades de la sierra. Esto puede darse debido al tipo de germoplasma, ya que tanto las variedades biofortificadas con Zn como el testigo M28T se adaptan mejor al trópico bajo como a la costa; otro aspecto puede ser la disponibilidad de agua para la planta, ya que en Lima se riega cada vez que el cultivo lo necesita, y en la sierra el cultivo depende de la ocurrencia de lluvias. Esto ha determinado que el rendimiento promedio en Lima sea de 10.5 t/ha y en Chagualito menor a 4.0 t/ha. Tanto en Lima como en Chagualito las variedades biofortificadas con Zn tendieron a rendir más que las no biofortificadas, ventaja nutricional que debería ser aprovechada por los consumidores en todo el mundo.

En otro estudio se evaluaron 20 híbridos, de los cuales 17 son biofortificados y tres son testigos no biofortificados. Los experimentos fueron sembrados en los años 2021 y 2023 en dos localidades: Chagualito y la Estación Experimental Agraria (EEA) Donoso en Huaral, Lima. La localidad Chagualito está ubicada a 1200 m s.n.m. y la EEA Donoso a 126 m s.n.m. No hubo diferencia significativa para rendimiento de grano entre los 20 híbridos en ninguna de las dos localidades (Tabla 8).

El rendimiento de grano (14 % de humedad) en la localidad de Lima fue dos veces superior al de Chagualito, y la pudrición de mazorca fue el doble en Chagualito que en

Lima. Con relación al rendimiento de grano, el promedio en Lima fue de 13.4 t/ha y el rango de variación entre 11.5 y 14.9 t/ha; mientras que en Chagualito, el rendimiento promedio fue de 6.1 t/ha con un rango de variación entre 5.0 y 6.9 t/ha. Las razones por las cuales se obtuvo mayor rendimiento en la costa que en la sierra son las mismas indicadas para el caso de la evaluación de variedades.

Con relación a la pudrición de la mazorca, no hubo diferencia significativa entre híbridos en Lima, pero si en Chagualito. En Lima la pudrición de mazorca para el mejor híbrido fue del 0.9 % (híbrido 9), comparado con el 1.5 % del mejor testigo (M28T); el valor de LSD fue 2.3. En Chagualito, el híbrido con menor pudrición fue el número 8 con el 2.4 % comparado con el 6.8 % para el mejor testigo (INIA-619); el valor de LSD fue de 3.3. (Tabla 8).

Tabla 8. Rendimiento de 20 híbridos de maíz biofortificado con zinc. 2021 y 2023.

N°	Híbrido	EEA Donoso - Lima				Chagualito - La Libertad			
		Rendimiento		Pudrición de mazorca		Rendimiento		Pudrición de mazorca	
		(t/ha)	Ranking	(%)	Ranking	(t/ha)	Ranking	(%)	Ranking
1	CLTHWZN17007	14.3	4	2.6	7	5.5	17	5.9	8
2	CLTHWZN17010	12.6	17	3.1	4	6.5	3	4.4	13
3	CLTHWZN17022	13.6	8	1.7	15	6.5	4	4.1	16
4	CLTHWZN18006	12.5	18	2.7	6	6.3	9	4.8	11
5	CLTHWZN18081	14.5	3	1.8	13	6.1	12	4.0	18
6	CLTHWZN17103	13.7	6	2.0	11	6.3	10	4.1	17
7	CLTHWZN17105	12.4	19	1.0	19	6.5	5	6.1	4
8	CLTHWZN18201	11.5	20	3.0	5	5.6	16	2.4	20
9	CLTHWZN18203	14.9	1	0.9	20	6.5	6	6.5	3
10	CLTHWZN18204	14.3	5	1.2	17	5.8	13	6.0	6
11	CLTHWZN18209	12.7	16	4.5	2	5.7	14	5.9	9
12	CLTHWZN18211	13.0	13	1.9	12	6.5	7	4.2	15
13	CLTHWZN18212	13.2	10	4.8	1	5.7	15	5.5	10
14	CLTHWZN16051	13.1	11	3.4	3	5.4	18	4.3	14
15	CLTHWZN15010	13.7	7	2.4	9	5.1	19	3.1	19
16	CLTHWZN17120	12.8	15	1.8	14	6.4	8	4.6	12
17	CLTHWZN17117	12.9	14	2.5	8	6.3	11	6.0	7
18	CLTHW14003	14.8	2	1.1	18	5.0	20	6.1	5
19	INIA 619	13.1	12	2.4	10	6.9	1	6.8	2
20	M28T	13.3	9	1.5	16	6.8	2	9.4	1

Promedio	13.4	2.3	6.1	5.2
LSD (0.05)	3.26	2.3	1.17	3.3
CV	6.64	46	9.18	29
Mejor híbrido	14.9	0.9	6.5	2.4
Diferencia	1.6	0.6	0.4	4.4
Significación	ns	ns	ns	*

No se encontró diferencia significativa para rendimiento de grano entre los 20 híbridos en ninguna de las dos localidades, porque los valores de la comparación entre el mejor híbrido y el mejor testigo, 1.6 y 0.4, fueron inferiores a los valores de LSD, 3.26 y 1.17, respectivamente. Con relación a pudrición de mazorca hubo diferencia significativa entre híbridos en Chagalito más no en Lima. En el primer caso porque el valor de la misma comparación (4.4) fue superior al LSD (3.3), mientras que en el segundo caso el valor de la comparación (0.6) fue inferior al LSD (2.3).

Fusarium sp. fue la principal causa de la pudrición de mazorca. Como en el caso de la evaluación de variedades, los híbridos biofortificados tienen similar rendimiento que los híbridos testigo, lo que significa una ventaja en favor de los maíces biofortificados por su mayor contenido de Zn, y mejora el valor nutricional de estos tipos de maíz.

Otro ensayo fue sembrado en Lima – UNALM, en el año 2022. En este ensayo se evaluaron 20 híbridos diferentes a los indicados en el anterior estudio: 17 híbridos biofortificados y 3 híbridos testigo. En la Tabla 9 se presenta el rendimiento de grano (t/ha) al 14 % de humedad y el contenido de Zn en partes por millón (ppm) de los híbridos.

Tabla 9. Rendimiento de 20 híbridos de maíz biofortificado con zinc. 2022.

N°	Híbrido	Rendimiento		Contenido de zinc	
		t/ha	Ranking	ppm	Ranking
1	CLTHWZN17113	8.7	20	28.0	20
2	CLTHWZN18212	9.0	19	31.5	12
3	CLTHWZN19502	11.1	13	39.5	3
4	CLTHWZN19514	12.2	8	29.5	16
5	CLTHWZN19518	10.8	17	31.5	13
6	CLTHWZN19520	10.9	16	29.5	17
7	CLTHWZN19523	12.8	4	35.0	9
8	CLTHWZN20524	13.1	3	29.5	18
9	CLTHWZN20525	12.2	7	34.0	10
10	CLTHWZN17009	13.9	1	29.5	19
11	CLTHWZN18018	9.7	18	37.5	5
12	CLTHWZN20529	11.5	12	36.5	7

13	CLTHWZN20530	11.6	11	38.0	4
14	CLTHW16138	13.7	2	44.5	1
15	CLTHWZN20533	11.0	15	41.5	2
16	CLTHWZN17103	12.3	6	35.5	8
17	CLTHWZN18209	12.6	5	31.5	14
18	CLTHW14003	11.8	9	33.3	11
19	SGBIO H2	11.6	10	37.5	6
20	PM 213	11.0	14	31.5	15
Promedio		11.6			
LSD (0.05)		2.9			
CV		11.9			
Mejor híbrido		13.9			
Diferencia		2.9			
Significación		ns			

Para que, en una comparación planeada de cualquier característica exista significancia, como por ejemplo entre el mejor híbrido (10) y el testigo (20), el valor de esa comparación debe ser mayor al valor de LSD [47]. En este caso, los valores para rendimiento son 2.9 t/ha (resultado de 13.9 - 11.0) y 2.9 t/ha, respectivamente; por lo tanto, no hay diferencia significativa.

No se observó diferencia significativa para rendimiento de grano entre los 20 híbridos. El rendimiento promedio fue de 11.6 t/ha. Asimismo, se observó que la tendencia de mayor rendimiento para algunos híbridos biofortificados fue de 13.9 t/ha. Con relación al contenido de Zn en el grano, se considera que un maíz no biofortificado debe tener alrededor de 22 ppm, y que un maíz biofortificado debe tener 50 % más de 33 ppm. Según este criterio, 10 híbridos tienen un contenido de Zn superior al 33 %. El híbrido 14 (CLTHW16138) posee un contenido de Zn muy alto (44.5 ppm) y también un alto rendimiento (13.7 t/ha); por lo tanto, es un candidato para ser liberado si se ratifica este comportamiento en posteriores evaluaciones. Los híbridos con cantidades de Zn mayores a 37 ppm pueden servir como fuentes para la obtención de germoplasma con esta característica. El híbrido 19 (testigo) tiene 37.5 ppm de Zn, y es un híbrido biofortificado liberado en Colombia por su alto contenido de Zn y su alto potencial de rendimiento. Los resultados obtenidos en el estudio ratifican las características de este híbrido.

4. MAÍZ BIOFORTIFICADO CON PROVITAMINA A (ProA)

La deficiencia de vitamina A afecta al 12 % de niños menores de cinco años en Perú. Su carencia debilita el sistema inmunológico, causa xeroftalmia de la córnea, e

incluso ceguera completa. Estudios de biodisponibilidad han demostrado que la ProA se convierte eficientemente en retinol, la forma de vitamina A utilizada por el cuerpo humano y, por lo tanto, este beneficio puede ser aprovechado con el consumo de alimentos con mayor contenido de provitamina A [35]. Los maíces biofortificados tienen más de 10 ppm de ProA comparado con 2 ppm de los normales [36]. En cambio, el maíz blanco no contiene ProA. La investigación y promoción del cultivo de maíz amarillo biofortificado con ProA puede ser una alternativa viable en el Perú y en el mundo, ya que las gallinas ponedoras que consumen este tipo de maíz producen huevos con yemas con mayor contenido de ProA que beneficiaría a la población rural y urbana.

Con la finalidad de implementar esta idea se empezó a evaluar este tipo de maíz en ambientes de la sierra y la costa del Perú. El año 2020 fueron instalados dos ensayos de evaluación de variedades en dos localidades: EEA Vista Florida del INIA en la región Lambayeque y Chagualito en la región La Libertad. En ambas localidades se evaluaron 10 cultivares, de las cuales 3 variedades son biofortificadas con ProA, 5 biofortificadas con Zn y 2 híbridos testigo no biofortificados: uno de color blanco (T1) y otro de color amarillo (T2).

En Vista Florida, el rendimiento promedio fue de 5.9 t/ha y no se observó diferencia significativa entre los cultivares evaluados. Sin embargo, se observa la tendencia de mayor rendimiento de los híbridos testigo con alrededor de 7.5 t/ha, mientras que el rendimiento de las variedades biofortificadas con ProA (cultivares 6, 7 y 8) rindieron entre 3.2 y 6.5 t/ha (Tabla 10).

Tabla 10. Evaluación de variedades de maíz biofortificado con ProA (2020).

N°	Cultivar	EEA Vista Florida, Lambayeque		Chagualito, La Libertad		Pudrición de mazorca	
		Rendimiento		Rendimiento			
		(t/ha)	Ranking	(t/ha)	Ranking	(%)	Ranking
1	S13LTWQHZNHGAB02	5.7	6	5.1	9	3.5	4
2	CCSZN1	4.8	9	6.2	6	3.5	5
3	HEZN002	5.3	7	7.4	3	2.2	6
4	HEZN006	6.2	5	7.9	1	1.2	8
5	HEZN007	7.1	3	6.7	5	1.5	7
6	CCSPROA1	5.3	8	5.6	8	4.8	1
7	CCSPROA2	6.5	4	6.0	7	4.2	2
8	HIGPROASYN3-BULK#1-B	3.2	10	3.7	10	3.9	3
9	Híbrido blanco (T1)	7.8	1	7.8	2	1.2	9
10	Híbrido amarillo (T2)	7.3	2	6.9	4	0.3	10

Promedio	5.9	6.3	2.6
LSD (0.05)	2.7	1.0	3.8
CV	22.9	20.3	59
Mejor cultivar	7.1	7.9	1.2
Diferencia	0.7	0.1	0.9
Significación	ns	ns	ns

En Chagualito, el rendimiento promedio fue de 6.3 t/ha y tampoco se observó diferencia significativa entre los cultivares evaluados. Se detectó también la tendencia de mayor rendimiento de los híbridos testigo siendo el más alto del T1 (7.8 t/ha). Por otro lado, el rendimiento de las variedades biofortificadas con ProA osciló entre 3.7 y 7.9 t/ha.

Para que, en una comparación planeada de cualquier característica exista significancia, como por ejemplo entre la mejor variedad y el mejor testigo (T), el valor de esa comparación debe ser mayor al valor de LSD [47]. En este caso, no hay diferencia significativa ni para rendimiento en las dos localidades de prueba, ni para pudrición de mazorca en Chagualito. Los valores de las comparaciones fueron 0.7, 0.1 y 0.9, frente a los valores de LSD 2.7, 1.0 y 3.8, respectivamente.

En la Tabla 10 se presenta el porcentaje de pudrición de mazorca que solo fue evaluado en Chagualito (sin encontrar diferencias significativas). En Vista Florida los daños por esta causa fueron muy pequeños. En Chagualito el mayor valor de pudrición de mazorca fue de 4.8 %, correspondiente al cultivar 6, y el menor de 0.3 % correspondiente a T2. Tanto las variedades biofortificadas con ProA como los demás cultivares evaluados mostraron similares características morfológicas y fisiológicas como altura de planta y mazorca, días a la floración masculina y femenina, etc.

En base a los resultados obtenidos, el año 2023 se sembró un nuevo ensayo con 22 híbridos biofortificados con ProA en la UNALM en Lima, y se incluyó dos híbridos testigo no biofortificados (Tabla 11).

Con relación al rendimiento de grano, es importante destacar el alto potencial de los maíces biofortificados. No existe diferencia entre el rendimiento del mejor híbrido CLHP0003/CLHP0005&CML304 (híbrido 19) con 14.0 t/ha y el mejor híbrido testigo con 11.1 t/ha, que corresponde a un híbrido amarillo comercial ampliamente difundido tanto en el Perú como en otros países. Esto indica que se pueden conseguir beneficios adicionales de los maíces biofortificados por su alto potencial de rendimiento. Al menos 12 híbridos biofortificados tuvieron rendimientos superiores al del mejor testigo (tabla 11).

Tabla 11. Evaluación de híbridos de maíz biofortificado con ProA sembrado en la UNALM. 2023.

N°	Híbrido	Rendimiento		Putridión de mazorca	
		(t/ha)	Ranking	(%)	Ranking
1	CLHP0003/CLHP0005&(CLHP00294/Ci7//CML451)-20-1-2-1-B	11.2	10	4.4	6
2	CLHP0003/CLHP0005&(CLHP00294/Ci7//CML451)-28-1-1-1-B	12.2	4	3.1	14
3	CLHP0003/CLHP0005&(CLHP00478/(CAROTENOIDSYN3-FS8-4-6-B/CML324-B//KUI3/B77)-S2-1//CML304)-135-1-2-2-B	11.5	8	1.5	22
4	HPYL1814/CLHP00306&(CLHP0345//CML537/(KUICAROTENOIDSYN-FS17-3-2-B*3/(KU1409/DE3/KU1409)-B-B-18-2-B)-B-4(MAS:L4H1)-1-B*4//CML537)-#-2-1-3-1-B	10.2	20	1.7	21
5	HPYL1814/CLHP00294&(CLHP0345//CLHP0005/(KUICAROTENOIDSYN-FS17-3-2-B*3/(KU1409/DE3/KU1409)-B-B-18-2-B)-B-3(MAS:L4H1)-2-B*4//CLHP0005)-#-166-1-3-1-B	12.2	5	3.1	15
6	HPYL187/CLHP00306&(CLHP0345//CML537/(KUICAROTENOIDSYN-FS17-3-2-B*3/(KU1409/DE3/KU1409)-B-B-18-2-B)-B-4(MAS:L4H1)-1-B*4//CML537)-#-34-1-1-1-B	10.9	14	2.3	18
7	CLHP0014/CLHP0003&(CLHP00306//CML451/(KUICAROTENOIDSYN-FS11-1-1-B*3/(KU1409/DE3/KU1409)-B-B-18-2-B)-B-2(MAS:L4H1)-3-B*4//CML451)-#-18-1-2-2-B	10.8	15	3.2	13
8	HPYL1814/CLHP00294&(CLHP0303//CML537/(KUICAROTENOIDSYN-FS17-3-2-B*3/(KU1409/DE3/KU1409)-B-B-18-2-B)-B-4(MAS:L4H1)-1-B*4//CML537)-#-24-1-1-1-B	10.7	16	5.9	2
9	HPYL1814/CLHP00294&(CLHP0345//CML537/(KUICAROTENOIDSYN-FS17-3-2-B*3/(KU1409/DE3/KU1409)-B-B-18-2-B)-B-4(MAS:L4H1)-1-B*4//CML537)-#-55-1-1-2-B	10.2	21	3.1	16
10	CLHP0014/CLHP0003&(CLHP00294/Ci7//CML451)-59-1-3-1-B	11.6	6	4.9	3
11	HPYL1814/CLHP00294&(CLHP0303//CML537/(KUICAROTENOIDSYN-FS17-3-2-B*3/(KU1409/DE3/KU1409)-B-B-18-2-B)-B-4(MAS:L4H1)-1-B*4//CML537)-#-7-1-1-1-B	10.7	17	4.0	11
12	HPYL187/CLHP00306&(CLHP0345//CML537/(KUICAROTENOIDSYN-FS17-3-2-B*3/(KU1409/DE3/KU1409)-B-B-18-2-B)-B-4(MAS:L4H1)-1-B*4//CML537)-#-59-2-3-1-B	10.5	19	4.8	4
13	HPYL187/CLHP00306&(CLHP0345//CLHP0005/(KUICAROTENOIDSYN-FS17-3-2-B*3/(KU1409/DE3/KU1409)-B-B-18-2-B)-B-3(MAS:L4H1)-2-B*4//CLHP0005)-#-166-1-3-1-B	11.2	11	4.1	7
14	CLHP0003/CLHP0005&HPYL1924	7.7	23	4.1	8
15	CLHP0003/CLHP0005&HPYL1834	11.4	9	4.8	5
16	CLHP0003/CLHP0005&HPYL1848	11.6	7	3.5	12
17	CLHP0049/CML297&HPYL1830	9.8	22	4.1	9
18	CLHP0049/CML297&HPYL1846	5.5	24	7.2	1
19	CLHP0003/CLHP0005&CML304	14.0	1	2.2	19
20	HPL14460/CLHP0020&(CLHP0345//CLHP0005/(KUICAROTENOIDSYN-FS17-3-2-B*3/(KU1409/DE3/KU1409)-B-B-18-2-B)-B-1(MAS:L4H1)-4-B*4//CLHP0005)-B-89-2-2-1-B	11.2	12	2.6	17
21	CLHP0049/CML297&(CLHP0345//CLHP0005/(KUICAROTENOIDSYN-FS17-3-2-B*3/(KU1409/DE3/KU1409)-B-B-18-2-B)-B-1(MAS:L4H1)-4-B*4//CLHP0005)-B-89-2-2-1-B	13.0	2	2.1	20

22	CLHP00286&CSL1683	12.3	3	4.1	10
23	Testigo 1	11.1	13	1.3	23
24	Testigo2	10.7	18	0.9	24
	Promedio	10.9		3.4	
	LSD (0.05)	3.2		5.0	
	CV	15		44	
	Mejor híbrido	14.0		1.5	
	Diferencia	2.9		0.9	
	Significación	ns		ns	

No hay diferencia significativa ni para el rendimiento ni para la pudrición de mazorca, porque los valores de las comparaciones fueron 2.9 y 0.9, inferiores a los valores de LSD 3.2 y 5.0, respectivamente.

La estrategia que se quiere ensayar y promover es aprovechar el alto potencial de rendimiento y mayor contenido de ProA para que las gallinas ponedoras puedan producir huevos con yema amarilla con alta ProA y de esta forma beneficiar a la población que consume huevos en su dieta. Se evaluó también la pudrición de mazorca sin diferencia entre la pudrición del mejor híbrido y la del testigo (Tabla 11).

La investigación y promoción de los maíces bifortificados con alto contenido de Zn y provitamina A debería ser una prioridad de los países para beneficiarse de este atributo, principalmente para los consumidores de áreas rurales con difícil acceso a los programas de suplementación, pero que sí podrían producir estos cultivos biofortificados.

5. MAÍZ DE ALTA CALIDAD DE PROTEÍNA

Se denomina maíces de alta calidad de proteína a aquellos que poseen granos con mayor contenido de lisina y triptófano que los maíces normales. La lisina y el triptófano son dos aminoácidos esenciales para el hombre y para los animales monogástricos. Originalmente se denominaron maíces opacos por la apariencia suave (no translúcida) del endospermo [37]. Esta característica está dada por un gen recesivo denominado o_2 , ubicado en el cromosoma siete del genoma de maíz.

El endospermo suave de los maíces opacos determina efectos pleiotrópicos negativos como disminución de rendimiento hasta en 25 % y susceptibilidad a pudrición de mazorca y daño de insectos en granos almacenados [38,39]. Muchas instituciones y personas en el mundo trabajaron para superar estas deficiencias. Cuando esto fue conseguido, el CIMMYT denominó a estos nuevos maíces de endospermo duro y alta calidad de proteína como QPM, por sus siglas en inglés de Quality Protein Maize [40].

Investigadores [40] indican que el mejoramiento del QPM debe incluir tres distintos sistemas genéticos. En principio, el alelo recesivo o_2 regula la síntesis de zeína. Las zeínas son las proteínas más abundantes en el endospermo del maíz y se caracterizan por su bajo contenido de lisina y triptófano. El alelo o_2 al estado homocigota produce una disminución significativa de zeína y un incremento de proteínas con mayor contenido de lisina y triptófano. El segundo sistema está relacionado con la presencia de genes modificadores de la textura del endospermo, lo que permite convertir el endospermo suave en endospermo duro, cristalino, sin perder los valores de lisina y triptófano. La identificación de estos granos cristalinos es relativamente sencilla con el uso de una caja translúcida, que permite discriminar las diferentes texturas del grano, desde opaco hasta translucido. El tercer sistema está relacionado con la presencia de genes modificadores de la cantidad de lisina y triptófano en el endospermo. Para el caso de lisina, el maíz normal tiene un promedio de 2 % y el QPM de 4 % (expresado en porcentaje del total de proteína); sin embargo, el rango de variación en maíces normales oscila entre 1.6 y 2.6, y en el QPM entre 2.7 y 4.5. Para el caso del triptófano, el maíz normal tiene un promedio de 0.4 % y el QPM de 0.8 % (expresado en porcentaje del total de proteína); sin embargo, el rango de variación en maíces normales oscila entre 0.2 y 0.5, y en el QPM entre 0.5 y 1.1. El contenido de lisina y triptófano está altamente correlacionado y solo uno de ellos podría ser necesario en los análisis de calidad proteica. En la práctica, se suele analizar el triptófano porque su determinación es menos costosa. Estos genes modificadores de la cantidad de aminoácidos han sido mapeados en los cromosomas 3, 4 y 7 del maíz.

En el Perú se iniciaron las investigaciones sobre el uso de los maíces de alta calidad proteica en la sexta década del siglo pasado, tan pronto se conocieron las cualidades de estos tipos de maíz [41]. El mismo autor también menciona la introducción del gen o_2 en algunos compuestos raciales del Perú teniendo cuidado en mantener tanto la variabilidad genética como la calidad nutritiva. Al finalizar el año 1970 se introdujeron, del CIMMYT, los pools andinos I, II y III, homocigotas para el gen o_2 , que fueron cruzados con 24 compuestos raciales de la sierra. Según Borbor (1995), mencionado por [41], después de dos retrocruzas el fenotipo de las razas peruanas se recuperó rápidamente, el pool andino I fue el mejor donante para las razas de grano grande de la costa central y del sur de Perú; mientras que para las razas de la sierra norte fue el Pool II. En esta época también se recibieron del CIMMYT varias poblaciones segregantes para el gen o_2 , entre ellas el Compuesto J, que luego de 10 ciclos de selección permitió formar la variedad Opaco Huascarán o PMV-580. Esta variedad se utilizó como fuente de resistencia de enfermedades foliares [41] y como forraje para la alimentación animal, principalmente en el sur del país [27].

Se reporta un estudio de la adaptación de cultivares de maíz de alta calidad proteica en Cajamarca [42], en el que se destaca al Compuesto I como cultivar adaptado a las condiciones de la sierra media a alta. Su uso ha sido principalmente como forraje para alimentación de vacunos.

Posteriormente, se describe la formación de variedades con el gen o_2 desarrolladas por el Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz (PCIM) de la UNALM: entre ellas la PMS-266, formada por líneas de la raza Perla, y la PMS-267, formada por líneas centroamericanas [27].

El mismo autor [27] evaluó híbridos normales y opacos en dos localidades de Perú en los años 1973 y 1974, entre los que observó entre 12 % y 16 % mayor rendimiento de los maíces normales. Cuando se evaluaron sintéticos amiláceos de alta calidad de proteína y variedades amiláceas locales en tres localidades de Perú, se observó que el rendimiento promedio de los sintéticos de alta calidad de proteína fue 5.1 t/ha comparado con 1.4 t/ha de los maíces amiláceos locales.

Otros autores [43] evaluaron el valor biológico del maíz opaco 2 en cancha y mote, y demostraron que los granos no perdían la calidad proteica cuando se tostaban o hervían para elaborar cancha o mote, respectivamente.

El año 2007, el INIA liberó el híbrido de alta calidad de proteína, INIA-611 Nutri Perú, con alto potencial de rendimiento, superior a las 10.0 t/ha con buena adaptación para las condiciones de la costa y la selva del país [44]. Este es un híbrido simple formado por 2 líneas homocigotas desarrolladas por el CIMMYT. Ha sido liberado en al menos 5 países de América Latina y Asia, lo que es una indicación de su buena adaptación a diferentes ambientes. Los granos del híbrido son de color amarillo-naranja de muy buena aceptación por los agricultores y avicultores de Perú, ventaja que debería ser aprovechada.

6. DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES

El problema de la malnutrición e inseguridad alimentaria, no solo en el Perú sino en todo el mundo, es multifacético. En este sentido, se requieren estrategias que aborden eficazmente una enmarañada y confusa interacción de factores agronómicos, socioeconómicos, políticos, institucionales, psicológicos y cognitivos. Comprender estos factores es vital [3]. Los 24 millones de personas con hambre aguda que se sumaron al problema en 2023, reflejan esta interacción. Hay una seria crisis alimentaria y un deterioro marcado de la seguridad alimentaria que supera con creces los niveles registrados antes de la pandemia del COVID-19 [16].

En Perú, el impacto negativo de los factores adversos causados por El Niño se reflejó en la contracción de la economía en 2023 (BCRP, citado por [45]). La producción

agrícola disminuyó en 4.1 %, la peor desde 1992 (IPE, febrero de 2024, citado por [45]). Se viene manifestando una leve recuperación luego de las repercusiones de la pandemia, pero los precios se han disparado sobre todo en los cereales, menestras y aceites [45].

Además del incremento de la población y el incremento de las necesidades de producción de alimentos, para el año 2050 se prevé que solo el 30 % de la población vivirá en el campo, mientras que el resto vivirá en las ciudades. Este cambio demográfico requiere una reorientación de los sistemas alimentarios para atender las nuevas poblaciones citadinas y erradicar el hambre oculta, la malnutrición y la inseguridad alimentaria [4].

Por otro lado, a nivel mundial no existen estimaciones globales o regionales que combinen las diferentes formas de desnutrición infantil, como retraso en el crecimiento y sobrepeso o retraso en el crecimiento y emaciación [15], y este es un desafío muy serio. Frente a este escenario sombrío, el avance en el conocimiento de las propiedades de la biodiversidad de cultivos alimenticios nos brinda la oportunidad de mejorar los sistemas alimentarios con dietas saludables y nutritivas, especialmente para las poblaciones vulnerables como las de zonas altoandinas.

En 2023, se cumplieron 20 años desde la introducción de la biofortificación para mejorar el valor nutricional de los cultivos básicos, mediante el fitomejoramiento selectivo [2], y no existen dudas sobre sus beneficios económicos y su influencia en la seguridad alimentaria y los medios de vida de los productores. No obstante, se debe trabajar en la aceptación por parte de los agricultores y consumidores, así como en el contexto sociocultural [11]. Una vez que se capitalice la adopción y/o aceptación es imperante el acceso a semillas de calidad, en forma oportuna, en cantidad suficiente y a un precio justo. El acceso a semillas de calidad es una barrera que, por años, enfrentan los agricultores de países en vías de desarrollo. Para vencer esta limitante es necesario fortalecer la capacitación, mostrar *in situ* la adaptación y ventajas de producir biofortificados y a la vez enlazar a los productores con el mercado en condiciones ventajosas.

En varios países de América Latina el estado cuenta con programas sociales que promueven la compra y consumo de alimentos para poblaciones en riesgo. Es posible comprar de manera directa a los agricultores los alimentos biofortificados que producen para destinarlos a programas sociales. En Perú existen seis programas dirigidos a niños menores de cinco años. Con mayor presencia en la Encuesta Nacional de Niveles de Vida [46], aparecen en orden de importancia: Vaso de Leche, Desayunos Escolares, programas que le den papilla a menores como el Programa de Alimentación Complementaria de Focalización (PACFO), los WAWA WASI, el Programa de Alimentación y Nutrición a

Familias en Alto Riesgo (PANFAR) y los comedores populares. Existe, por lo tanto, una ventana de comercialización que aún no se ha aprovechado en su totalidad.

7. RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

Se necesita hacer más investigación antes de poder hacer recomendaciones específicas [7]. Como se mencionó, la biofortificación enfrenta varios desafíos, que van desde cuestiones técnicas en el proceso *per se*, hasta las limitaciones genéticas, la biodisponibilidad, y los obstáculos políticos y regulatorios para lograr su aceptación [11] y sostenibilidad, sin causar impactos negativos en general.

Frente a estos factores adversos existen oportunidades que deben ser tomadas como recomendaciones. Es necesario investigar para biofortificar cereales y menestras para proporcionar dietas equilibradas que reduzcan la desnutrición. En este sentido es necesario utilizar las nuevas alternativas de mejoramiento, como la edición genética, la sobreexpresión de genes y la transferencia de genes de parientes silvestres, para obtener cultivos con perfiles nutricionales óptimos [11].

El Estado debe pensar que la biofortificación puede ser una excelente alternativa para llegar a las poblaciones donde la suplementación y las actividades de fortificación convencional son difíciles de implementar. En este sentido, se debe ampliar la investigación en biofortificación, con hierro en arroz, frijoles, camote, yuca y leguminosas; con zinc en trigo, arroz, frijoles, camote y maíz; con provitamina A en papa, maíz y yuca; y con aminoácidos y proteínas en maíz y yuca.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el Perú, existe una amplia base genética de maíz sustentada en la existencia de más de 50 razas, una de ellas es la raza Kcully que ha dado origen a variedades con alta concentración de antocianina. El MIDAGRI describe 10 variedades de maíz morado, seis son las más conocidas y cuatro variedades mejoradas.

La UNALM y el INIA vienen estudiando más ampliamente la adaptación de 5 variedades de maíz morado en 30 localidades de diferentes regiones del país. Los resultados preliminares de campo son muy prometedores y auspician un buen estudio de la interacción genotipo ambiente. Con la cuantificación de antocianinas de cada variedad en cada localidad se tendrá mayor información de la adaptación de las variedades a las diferentes condiciones ambientales del país y su variación en el contenido de antocianinas.

En los últimos 20 años la producción de maíz morado en el Perú se ha cuadruplicado por el incremento de tres veces la superficie sembrada y por el aumento del 12 % en el

rendimiento. El mayor consumo de maíz morado ha sido el factor determinante en las tendencias observadas.

La exportación del maíz morado se ha triplicado entre 2010 y 2020. Actualmente, se exportan 1242 toneladas por un valor de 1542 millones de dólares. Estados Unidos y la Unión Europea son los principales destinos y representan el 70 % de las exportaciones.

Existen variedades de libre polinización e híbridos promisorios de maíz biofortificado con Zn con alto potencial de rendimiento, tanto en la costa como en la sierra. Estos son superiores a las variedades e híbridos no biofortificados, ventaja que debe ser aprovechada por los consumidores a nivel nacional.

Se ha determinado que el híbrido experimental CLTHW16138 posee alto rendimiento (superior a 13.0 t/ha) y un contenido de Zn muy alto (44.5 ppm), por lo tanto, es un candidato para ser liberado si se ratifica este comportamiento en posteriores evaluaciones. Los híbridos con cantidades de Zn mayores a 37 ppm pueden servir como fuentes para la obtención de germoplasma con esta característica.

Los maíces biofortificados tienen más de 10 ppm de ProA comparado con 2 ppm de los normales. La investigación y promoción de maíz amarillo biofortificado con ProA puede ser una alternativa viable en el Perú y el mundo ya que las gallinas ponedoras que consuman este tipo de maíz producirían huevos con yemas con mayor contenido de ProA que beneficiaría a la población rural y urbana. El híbrido simple CLHP0003/CLHP0005&CML304 tiene un potencial de rendimiento superior a 14.0 t/ha, superior al del mejor híbrido simple no biofortificado.

El año 2007, INIA liberó el híbrido INIA-611 con alta calidad de proteína y alto potencial de rendimiento, superior a las 10.0 t/ha [44]. Este es un híbrido simple formado por dos líneas homocigotas desarrolladas por el CIMMYT y ha sido liberado en al menos cinco países de América Latina y Asia lo que indica su adaptación en diferentes ambientes. Los granos del híbrido son de color amarillo-naranja de muy buena aceptación por los agricultores y avicultores de Perú.

9. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Luis Narro León y Alexander Chávez Cabrera concibieron las investigaciones. Luis Narro León desarrolló la metodología; Alexander Chávez Cabrera, Kryss Vargas Gutiérrez y Camilo Velásquez Leveaú trabajaron en la adquisición de fondos y la provisión de recursos. Luis Narro León, Alexander Chávez Cabrera, Peter Piña Díaz, Fernando Escobal Valencia, Alicia Medina Hoyos, Teodoro Narro León, Roberto Alvarado Rodríguez, Mercedes Escalante Vega, Gilberto García Pando, Pedro Carrillo Zavala, Raihil

Rengifo Sánchez, Elizabeth Ricse Belen, Demetrio Flores Mendoza, Willian Huamanchay Rodríguez y Ronal Otiniano Villanueva realizaron el trabajo de campo. Luis Narro León redactó el manuscrito y, junto con Alexander Chávez Cabrera revisaron críticamente el contenido intelectual del manuscrito y editaron el documento.

10. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la contribución de Gabriela E. Quevedo Rabanal, por haber proporcionado los datos estadísticos relevantes e información necesaria extraída de la SUNAT para elaborar este documento. Los experimentos de maíz morado con alto contenido de antocianinas y de maíz biofortificado con zinc y maíz biofortificado con ProA, fueron financiados por el Proyecto de Inversión 2361771: “Mejoramiento de la disponibilidad, acceso y uso de semillas de calidad de: papa, maíz amiláceo, leguminosas de grano y cereales, en las regiones de Junín, Ayacucho, Cusco y Puno. 4 departamentos”, del Instituto Nacional de Innovación Agraria de Perú. Los experimentos de maíz biofortificado con zinc y maíz biofortificado con ProA, sembrados en la localidad de Chagualito fueron financiados por la Asociación Pataz.

11. CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran que esta investigación fue conducida en la ausencia de relaciones comerciales o financieras que pudieran constituir un potencial conflicto de interés.

REFERENCIAS

- [1] Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (2018). *Expertos mundiales en maíz hablan de la biofortificación para la nutrición y la salud*. CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/uncategorized/expertos-mundiales-en-maiz-hablan-de-la-biofortificacion-para-la-nutricion-y-la-salud/>
- [2] Philanthropy Cartier. (2023). *20 Years of Biofortification*. Philanthropy Cartier. <https://www.cartierphilanthropy.org/news/20-years-of-biofortification>
- [3] Samuel, L., de Barcellos, M. D., Watabaji, M. D. y De Steur, H. (2024). Factors affecting farmers' acceptance and adoption of biofortified crops: A systematic review. *Outlook on Agriculture*, 53(1), 15-29. doi: <https://doi.org/10.1177/00307270231212924>
- [4] Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2023). *The State of Food Security and Nutrition 2023. Urbanization, agrifood systems, transformation and healthy diets across the rural urban continuum*. UNICEF. <https://data.unicef.org/resources/sofi-2023/>
- [5] Organización para la Alimentación y la Agricultura. (2022). *Hambre e Inseguridad Alimentaria*. FAO. <https://www.fao.org/hunger/es/>
- [6] HarvestPlus. (2024). *Better Crops, Better Nutrition*. HarvestPlus. <https://www.harvestplus.org/>

- [7] World Health Organization. (2023). *Biofortification of staple crops*. World Health Organization. <https://www.who.int/tools/elena/interventions/biofortification>
- [8] Talsma, E. F. y Pachón H. (2017). *Biofortification of crops with minerals and vitamins*. World Health Organization. [https://www.who.int/tools/elena/bbc/biofortification#:~:text=Biofortification%20is%20the%20process%20by,importantly%20to%20farmers%20\(1\).](https://www.who.int/tools/elena/bbc/biofortification#:~:text=Biofortification%20is%20the%20process%20by,importantly%20to%20farmers%20(1).)
- [9] World Health Organization. (2023). *Multiple micronutrient powders for point-of-use fortification of foods consumed by children 6–23 months of age*. World Health Organization. <https://www.who.int/tools/elena/interventions/micronutrientpowder-infants>
- [10] Huey, S. L., Krisher, J. T., Bhargava, A., Friesen, V. M., Konieczynski, E. M., Mbuya, M. N. N., Mehta, N. H., Monterrosa, E., Nyangaresi, A. M. y Mehta, S. (2022). Review of the Impact Pathways of Biofortified Foods and Food Products. *Nutrients*, 14(6), 1200. doi: <https://doi.org/10.3390/nu14061200>
- [11] Ashoka P., Sangeeta, Spandana, B., Saikanth, D. R. K., Kesarwani, A., Nain, M., Pandey, S. K., Singh, B. V. y Maurya, C. L. (2023). Bio-fortification and Its Impact on Global Health. *Journal of Experimental Agriculture International*, 45(10), 106–115. doi: <https://doi.org/10.9734/jeai/2023/v45i102203>
- [12] Sandhu, R., Chaudhary, N., Shams, R., Singh, K. y Pandey, V.K. (2023). A critical review on integrating bio fortification in crops for sustainable agricultural development and nutritional security. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100830>.
- [13] Organización para la Alimentación y la Agricultura. (2022). *Hambre e Inseguridad Alimentaria*. FAO. <https://www.fao.org/hunger/es/>
- [14] Baral, A. (2023). *HarvestPlus: Twenty years of enriching diets with biofortification*. International Food Policy Research Institute. <https://www.ifpri.org/blog/harvestplus-twenty-years-enriching-diets-biofortification>
- [15] United Nations Children's Fund, World Health Organization, International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. (2023). *Levels and trends in child malnutrition*. UNICEF, WHO, World Bank Group. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240073791>
- [16] World Bank. (2024). *Food Security Update 2024*. World Bank. <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/40ebbf38f5a6b68bfc11e5273e1405d4-0090012022/related/Food-Security-Update-CV-April-25-2024.pdf>
- [17] Verano, P. (2024). El Perú registra su peor situación nutricional de los últimos 10 años, según el Índice Global del Hambre 2023. *Radio Programas del Perú*. <https://rpp.pe/peru/actualidad/indice-global-del-hambre-2023-peru-registra-su-peor-situacion-nutricional-de-los-ultimos-10-anos-noticia-1518461>
- [18] Maqbool Muhammad, A., Beshir Issa, A. y Khokhar Ehtisham, S. (2021). Quality protein maize (QPM): Importance, genetics, timeline of different events, breeding strategies and varietal adoption. *Plant Breeding*, 140, 375–399. doi: <https://doi.org/10.1111/pbr.12923>
- [19] Tian, X. Z. Paengkoum, P., Paengkoum, S., Chumpawadee, S., Ban, C. y Thongpea, S. (2019). Short communication: Purple corn (*Zea mays* L.) stover silage with abundant anthocyanins transferring anthocyanin composition to the milk and increasing antioxidant status of lactating dairy goats. *Journal of Dairy Science*, 102(1), 413–418. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15423>
- [20] Tian, X., Xin, H., Paengkoum, P., Paengkoum, S., Ban, C. y Sorasak, T. (2019). Effects of anthocyanin-rich purple corn (*Zea mays* L.) stover silage on nutrient utilization, rumen fermentation, plasma antioxidant capacity, and mammary gland gene expression in dairy goats. *Journal of Animal Science*, 97(3), 1384–1397. doi: <https://doi.org/10.1093/jas/sky477>

- [21] Monroy, Y. M., Rodrigues, R. A. F., Sartoratto, A. y Cabral, F. A. (2020). Purple corn (*Zea mays* L.) pericarp hydroalcoholic extracts obtained by conventional processes at atmospheric pressure and by processes at high pressure. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 37: 237-248. doi: <https://doi.org/10.1007/s43153-020-00009-x>
- [22] Moreno-Loaiza, O. y Paz-Aliaga, A. (2010). Efecto vasodilatador mediado por óxido nítrico del extracto hidroalcohólico de *Zea mays* L. (maíz morado) en anillos aórticos de rata. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 27(4), 527-531. doi: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342010000400006&lng=es&tlng=es
- [23] Heras, I., Alvis, A. y Arrazola, G. (2013). Optimización del Proceso de Extracción de Antocianinas y Evaluación de la Capacidad Antioxidante de Berenjena (*Solanum melongena* L.). *Información tecnológica*, 24(5), 93-102. doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000500011>
- [24] Medina-Hoyos, A., Narro-León, L. A. y Chávez-Cabrera, A. (2020). Cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) en zona altoandina de Perú: Adaptación e identificación de cultivares de alto rendimiento y contenido de antocianina. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 291-299. doi: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.01>
- [25] Grobman Tversqui, A. (2004). Origen del Maíz. En *Cincuenta años del Programa Cooperativo de Investigación en Maíz* (pp 537). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- [26] Grobman Tversqui, A., Salhuana, W., Sevilla Panizo, R. y Mangelsdorf, P. C. (1961). *Races of Maize in Perú. Their origins, evolution and classification*. National Research Council.
- [27] Manrique Chávez, A. (1997). *El maíz en el Perú*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC).
- [28] Ministerio del Ambiente. (2018). *Línea de base de la diversidad genética del maíz peruano con fines de bioseguridad*. Ministerio del Ambiente.
- [29] Garzón, G. A. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: Revisión. *Acta Biológica Colombiana*, 13(3), 27-36. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2008000300002&lng=en&tlng=es.
- [30] Guillén-Sánchez, J., Mori-Arismendi, S. y Paucar-Menacho, L.M. (2014). Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) var. subnigroviolaceo. *Scientia Agropecuaria*, 5(4), 211-217. doi: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2014.04.05>
- [31] Espinosa-Trujillo, E. (2012). *Bioquímica y Genética de las Antocianinas del Grano de Maíz*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (INIFAP).
- [32] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2021). *El maíz morado peruano: Un producto con alto contenido de antocianina, poderoso antioxidante natural*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.
- [33] Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2014). Maíz INIA 601: Variedad mejorada de maíz morado para la sierra norte del Perú. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/65>
- [34] Garcia-Oliveira, A.L., Chander, S., Ortiz, R., Menkir, A. y Gedil, M. (2018). Genetic Basis and Breeding Perspectives of Grain Iron and Zinc Enrichment in Cereals. *Front. Plant Sci.*, 9, 937. <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2018.00937>
- [35] Bouis, H. E. y Saltzman, A. (2017). Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. *Global Food Security*, 12, 49-58. doi: 10.1016/j.gfs.2017.01.009

- [36] Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (2015). *Nuevas tecnologías para incrementar la rentabilidad del sistema café-maíz*. CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/uncategorized/nuevas-tecnologias-para-incrementar-la-rentabilidad-del-sistema-cafe-maiz/>
- [37] Mertz E.T., Bates L.S. y Nelson O.E. (1964). Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. *Science*, 145, 279-280. <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.145.3629.279>
- [38] Vasal S.K. (2000a). The Quality Protein Maize Story. *Food and Nutrition Bulletin*, 21(4), 445-450. doi:10.1177/156482650002100420
- [39] Vasal, S.K. (2000b). High Quality Protein Corn. En Hallauer, A.R. (Ed). *Specialty Corns* (pp 85-130). CRC Press.
- [40] Krivanek, A., De Groote, H., Gunaratna N.S., Diallo A. O. y Friese D. (2007). Breeding and disseminating quality protein maize (QPM) for Africa. *African Journal of Biotechnology*, 6(4), 312-324. <http://www.academicjournals.org/AJB>
- [41] Sevilla, R. (2003). Mejoramiento de maíz en la sierra del Perú. En *Cincuenta años del Programa Cooperativo de Investigación en Maíz* (pp 537). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- [42] Narro, L. A. (1977). *Adaptación de cultivares de maíz de alta calidad proteica en Cajamarca - Informe Técnico N° 94*. INIACRIAN.
- [43] Aguilar, T., Manrique A. y Rojas V. (1974). *Valor biológico del maíz opaco-2 en cancha y mote*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición.
- [44] Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2007). *Maíz Amarillo Duro INIA 611 Nutri-Perú híbrido simple de alta calidad proteica*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/625>
- [45] Food Security Information Network. (2024). Latin America and The Caribbean. *2024 Global Report on Food Crises*. FSIN. <https://www.fsinplatform.org/sites/default/files/resources/files/GRFC2024-regional-lac-CoC.pdf>
- [46] Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2022). *Perú - Encuesta Nacional de Hogares sobre Condiciones de Vida y Pobreza 2021*. INEI. http://webinei.inei.gob.pe/anda_inei/index.php/catalog/745
- [47] Steel, R.G.D. y Torrie, J.H. 1985. *Bioestadística: Principios y Procedimientos*. McGraw-Hill Latinoamérica.

CAPÍTULO 6

EVALUACIÓN DE VARIEDADES DE SOYA EN EL NORTE DE TAMAULIPAS

Data de submissão: 23/09/2025

Data de aceite: 10/10/2025

Héctor Manuel Cortinas Escobar

INIFAP-Campo Experimental Río Bravo

Tamaulipas, México

<https://orcid.org/0000-0002-1580-4795>

Nicolás Maldonado Moreno

INIFAP-Campo Experimental Las Huastecas

Tamaulipas, México

<https://orcid.org/0000-0002-2245-0884>

RESUMEN: La soya es un cultivo alternativo que puede contribuir a la diversificación agrícola del norte de Tamaulipas. El paquete tecnológico para la producción de soya debe actualizarse para incluir nuevas variedades que se adapten a las condiciones regionales. El objetivo del estudio fue evaluar el comportamiento agronómico y rendimiento de ocho variedades de soya en condiciones de riego en el ciclo agrícola P-V 2019/2019. En promedio, la variedad Otoño tuvo el mayor rendimiento de grano con 1451 kg ha⁻¹, seguida de Huasteca-400 con 1388 kg ha⁻¹, entre ambas no hubo diferencias estadísticas y superaron al resto. Los días a floración variaron de 47 días en Tamesí, a 57 días en Huasteca-700. Los días a cosecha se

presentaron en un rango de 125 días en otoño, Huasteca-400, Huasteca-100, Huasteca-300 y Tamesí a 130 días en Huasteca-700. La altura de planta se presentó con una variación de 22 cm en Tamesí, a 60 cm en Otoño. El número de vainas por planta estuvo en un rango de 19 en Huasteca-200, a 55 en Tamesí.

PALABRAS-CLAVE: soya; cultivo alternativo; diversificación agrícola; norte de Tamaulipas; paquete tecnológico.

EVALUATION OF SOYBEAN VARIETIES IN NORTH OF TAMAULIPAS

ABSTRACT: Soybean is a crop that can contribute to the agriculture diversification of north of Tamaulipas. The technology to produce soybean must be updated to include new varieties adapted to the regional conditions. The goal of the study was to evaluate the yield and agronomic traits of eight varieties of soybean on irrigated land, season Spring-Summer, 2019. The higher yield was registered in cv. Otoño 1451 kg ha⁻¹ followed by Huasteca-400, 1388 kg ha⁻¹, which were statistically similar and superior to the rest of varieties. Days to flowering varied from 47 in Tamesí to 57 in Huasteca-700. Days to harvesting were from 125 in Otoño, Huasteca-400, Huasteca-100, Huasteca-300, and Tamesí to 130 in Huasteca-700. Plant height had a variation from 22 cm in Tamesí to 60 cm in Otoño. Number of pods per plant were in a range of 19 in Huasteca-200 to 55 in Tamesí.

KEYWORDS: soybean; alternative crop; agricultural diversification; northern Tamaulipas; technological package.

1. INTRODUCCIÓN

La soya [*Glycine max* (L.) Merrill] es un cultivo que puede contribuir a la diversificación agrícola del norte de Tamaulipas (Cortinas, 2006). En esta región se practica el monocultivo de gramíneas de sorgo y maíz en una superficie aproximada de 700 y 80 mil hectáreas, respectivamente (SIAP, 2020). La práctica del monocultivo ocasiona graves problemas fitosanitarios y deterioro de los suelos, y provoca una reducción significativa de la rentabilidad de los cultivos. Para evitar esta situación es conveniente establecer un sistema de rotación con cultivos alternativos como la soya, la cual tiene una alta demanda nacional y buen precio. Actualmente, México importa alrededor del 95 % del grano de soya que demanda la industria del aceite, lo cual equivale a 3.5 millones de toneladas anuales (Magallanes *et al.*, 2014). En este contexto, se considera importante actualizar el paquete tecnológico del cultivo de la soya, especialmente con respecto a las variedades que mejor se adapten a las condiciones de suelo y clima del norte de Tamaulipas. El objetivo del estudio fue evaluar el comportamiento agronómico y rendimiento de variedades de soya durante el ciclo agrícola P-V en el norte de Tamaulipas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se estableció durante el ciclo agrícola P-V 2019/2019 un lote de agricultor cooperante en Reynosa Díaz, municipio de Reynosa, Tamaulipas (26°13' 05" N y 98°26' 44" O; 37 msnm), bajo condiciones de riego, con fecha de siembra el 29 de agosto de 2019.

Las variedades consideradas en el estudio fueron: Huasteca-100, Huasteca-300, Huasteca-700, Tamesí, y como testigos las variedades Huasteca-200, Huasteca-400, Otoño y Vernal. El diseño estadístico fue bloques completos al azar con 4 repeticiones. La parcela experimental constó de tres surcos de 4 m de largo y 0.80 m de separación. La densidad de población fue de 250 mil plantas ha⁻¹. La fertilización se realizó en presiembra con 100 kg ha⁻¹ de la fórmula 18-46-00 y se aplicó el inoculante *Bradyrhizobium japonicum* en dosis de 225 mL/50 kg de semilla. Se aplicó un riego de pre-siembra y un riego de auxilio a los 40 días después de la siembra. El manejo agronómico se realizó según el paquete tecnológico propuesto por el INIFAP-CERIB para soya en el ciclo P-V en el norte de Tamaulipas (Magallanes *et al.*, 2014; INIFAP, 2017). Las variables de respuesta medidas fueron: días a floración y a madurez del grano, número de vainas por planta, altura de planta y rendimiento de grano en kg ha⁻¹. La información se analizó con

el programa estadístico SAS (SAS, 2006) y la comparación de medias se realizó con la prueba DMS ($P < 0.05$).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan los datos obtenidos en la evaluación de ocho variedades de soya en la localidad Reynosa Díaz, municipio de Reynosa, Tamaulipas. El análisis de varianza del rendimiento (C.V. = 19.4 %) detectó diferencias significativas entre las variedades. El rendimiento se presentó en rango de 632 kg ha⁻¹ en la variedad Vernal, a 1451 kg ha⁻¹ en la variedad Otoño, con promedio de 948 kg ha⁻¹ en todo el experimento. Las variedades Otoño y Huasteca-400 obtuvieron los rendimientos de grano más altos (1451 kg ha⁻¹ y 1388 kg ha⁻¹, respectivamente), las cuales resultaron estadísticamente iguales y superiores al resto de las variedades evaluadas (Cuadro 1). La variedad Otoño fue introducida del Valle de Texas (EUA) y caracterizada en el Campo Experimental Río Bravo. La variedad Huasteca-400 fue liberada por el INIFAP-Campo Experimental Las Huastecas (Maldonado *et al.*, 2010) y tiene una amplia adaptación en las regiones productoras del sur de Tamaulipas, oriente de San Luis Potosí y norte de Veracruz.

En los días a floración también se detectó diferencia significativa, y variaron de 47 días en Tamesí, a 57 días en Huasteca-700, con un promedio de 52 días. Los días a cosecha se presentaron en un rango de 125 días en Otoño, Huasteca-400, Huasteca-100, Huasteca-300 y Tamesí, a 130 días en Huasteca-700, con una media de 126 días. Todos los materiales evaluados se comportaron como de ciclo intermedio, aunque las variedades Otoño y Huasteca-400 comúnmente maduran alrededor de ocho días antes que otras variedades como Vernal y Huasteca-200. La precocidad es una característica importante para la siembra en condiciones de temporal, ya que la precipitación es muy variable y la media anual es de 504 mm (Silva y Rodríguez, 2006). En altura de planta el análisis de varianza identificó diferencias significativas, variando de 22 cm en Tamesí, a 60 cm en Otoño, con promedio de 48 cm. Para el número de vainas por planta el análisis de varianza también detectó diferencia significativa entre las variedades, observándose en un rango de 19 vainas por planta en Huasteca-200, a 55 vainas por planta en Tamesí, con un promedio de 38 vainas por planta. Aunque se observó un mayor número de vainas en Tamesí, Huasteca-300, Huasteca-700, Vernal y Huasteca 100, el peso de sus granos fue menor que en Otoño y Huasteca-400; lo anterior puede deberse a una falta de adaptación a las condiciones de suelo y clima de la región. El número de vainas y semillas por planta se consideran los componentes más importantes del rendimiento de soya (Xiaobing *et al.*, 2005) y deben ser considerados en los programas de mejoramiento genético.

Cuadro 1. Rendimiento y características agronómicas de 8 variedades de soya bajo condiciones de riego. Ciclo PV 2019. Localidad Reynosa Díaz, Municipio de Reynosa, Tamaulipas.

Variedad	Color Flor ¹	Días a Flor*	Días a cosecha	Altura cm*	Vainas por planta*	Rendimiento ² kg ha ⁻¹	*
Otoño	M	51 cd	125 a	60 a	23 c	1451	a
Huasteca-400	M	52 bc	125 a	58 ab	25 c	1388	a
Huasteca-100	M	50 cd	125 a	41 c	39 bc	1108	b
Huasteca-200	B	54 b	127 a	55 ab	19 c	1028	b
Huasteca-700	M	57 a	130 a	56 ab	46 ab	690	c
Huasteca-300	M	49 de	125 a	41 c	52 ab	645	c
Tamesí	B	47 e	125 a	22 d	55 a	641	c
Vernal	B	53 b	128 a	51 b	42 ab	632	c
Promedio		52	126	48	38	948	

¹ M=Morada; B= Blanca

² Al 12 % de humedad en el grano.

* Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS, P< 0.05).

C.V. para la variable rendimiento= 19.4 %.

4. CONCLUSIONES

- 1) Se concluye que, para las condiciones edafoclimáticas de la región de estudio, las variedades más destacadas fueron Otoño (1451 kg ha⁻¹) y Huasteca-400 (1388 kg ha⁻¹), ya que alcanzaron el mayor rendimiento de grano.
- 2) El cultivo de la soya puede ser una alternativa de producción para el ciclo agrícola P-V de la región agrícola del norte de Tamaulipas.
- 3) Se sugiere evaluar nuevamente las variedades para confirmar los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

Cortinas EHM. 2006. Leguminosas comestibles, pp. 75-87. En: L.A. Rodríguez del Bosque (ed.), Campo Experimental Río Bravo: 50 Años de Investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas, Historia, Logros y Retos. Libro Técnico No. 1. INIFAP, Campo Experimental Río Bravo. Río Bravo, Tam., México.

INIFAP. 2017. Agenda Técnica Agrícola de Tamaulipas, pp. 275-277. SAGARPA. COFUPRO. INIFAP.

Magallanes EA, Díaz FA, Reyes RMA, Rosales RE, Alvarado CM, Silva SMM, Bustamante DAJ y Cortinas EHM. 2014. Tecnología de producción en soya [*Glycine max* (L.) Merrill] para el norte de Tamaulipas. Folleto técnico No. 58. Campo Experimental Río Bravo, CIR-Noreste, INIFAP, pp. 1-36.

Maldonado MN, Asencio LG y Gill LHR. 2010. Huasteca-400, Nueva variedad de soya para el sur de Tamaulipas, oriente de San Luis Potosí y norte de Veracruz. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 1(5):687-692.

SAS Institute. 2006. Release 9.3 ed. SAS Institute, Inc., Cary, NC.

SIAP. 2020. Reportes de avances de siembras y cosechas. Consulta del 21 de julio de 2020.

Silva SMM y Rodríguez BLA. 2006. Agroclimatología, pp. 241-256. En: L.A. Rodríguez del Bosque (ed.), Campo Experimental Río Bravo: 50 Años de Investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas, Historia, Logros y Retos. Libro Técnico No. 1. INIFAP, Campo Experimental Río Bravo. Río Bravo, Tam., México.

Xiaobing L, Jin J, Herbert SJ, Zhang Q, and Wang G. 2005. Yield components, dry matter, LAI and LAD of soybeans in northeast China. Field Crops Research. Vol. 93, Issue 1, p. 85-93.

CAPÍTULO 7

COMPOSICIÓN Y EVALUACIÓN NUTRICIONAL DE DIETAS CON POMASA DE MANZANA FERMENTADA EN LA ALIMENTACIÓN DE CORDEROS EN ENGORDA

Data de submissão: 25/08/2025

Data de aceite: 17/09/2025

Iván Mejía-Dévora

Independiente

México

Ignacio Mejía-Haro¹

Ph. D. in Nutrition, USA

Tecnológico Nacional de México

Instituto Tecnológico El Llano

Km 18 carretera Aguascalientes

San Luis Potosí

El Llano, Aguascalientes

México - 20330

División de Estudios de

Posgrado e Investigación

<https://orcid.org/0000-0002-5425-0270>

Mauricio Ramos-Dávila

Maestro en Sistemas Computacionales

Tecnológico Nacional de México

Instituto Tecnológico El Llano

Km 18 carretera Aguascalientes

San Luis Potosí

El Llano, Aguascalientes

México - 20330

Departamento de Ingenierías

<https://orcid.org/0000-0003-4617-3524>

Tania Ramírez-Navarrete

Maestra en Departamento

Económico-Administrativo

Tecnológico Nacional de México

Instituto Tecnológico El Llano

Km 18 carretera Aguascalientes

San Luis Potosí

El Llano, Aguascalientes

México - 20330

<https://orcid.org/0009-0005-3210-0457>

José de Jesús Campos-Torres

Maestro en Tecnologías de la Información

Tecnológico Nacional de México

Instituto Tecnológico El Llano

Km 18 carretera Aguascalientes

San Luis Potosí

El Llano, Aguascalientes

México - 20330

Departamento de Ingenierías

<https://orcid.org/0009-0000-9385-9313>

Carlos Fernando Aréchiga-Flores, Ph. D

University of Florida, USA

Unidad Académica de Medicina

Veterinaria y Zootecnia

Universidad Autónoma de Zacatecas

Jardín Juárez No. 147, Col. Centro

Zacatecas, Zacatecas

México - 98000

<https://orcid.org/0000-0001-9538-725X>

RESUMEN: Este estudio evaluó la composición química de la pomasa de manzana fermentada (PMF), su incorporación en dietas integrales de corderos y el efecto sobre parámetros productivos y los productos de la fermentación ruminal. Dieciocho corderos machos enteros destetados de la craza Dorper-Kathadin (peso vivo inicial de $23,070 \pm 2,207$ kg) fueron

¹ Autor de correspondencia.

asignados aleatoriamente a uno de tres tratamientos durante 77 días: T1 (dieta testigo sin PMF); T2 (dieta con 20% de PMF); y T3 (dieta con 40% de PMF). Las dietas se formularon para ser isoproteicas y se determinó su composición nutricional. Se midió el consumo diario de alimento, se pesó a los corderos mensualmente y se calculó la conversión alimenticia al final del experimento. Se determinaron la producción de AGV y N-NH₃, así como el pH del líquido ruminal. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza con SAS y las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ($P < 0,05$). En la composición de la pomasa de manzana destacaron los parámetros referentes a energía. La ganancia diaria de peso no presentó diferencias entre los tratamientos ($P > 0,05$). La conversión alimenticia fue menor para T1 y T2 que para T3 durante el período de crecimiento ($P < 0,05$), pero no presentó diferencias en el período de finalización. La producción de AGV fue mayor en los corderos alimentados con T3 que en los alimentados con T1 y T2 ($P < 0,05$). No se observaron diferencias en la proporción de ácido acético ni en la concentración de N-NH₃. La producción de ácido propiónico fue mayor en T1 que en T2 y T3, y la de ácido butírico fue mayor en T3 que en T1. Los resultados muestran que la PMF puede utilizarse como alternativa en las dietas para corderos.

PALABRAS CLAVE: ovino; pulpa de manzana; ganancia de peso.

COMPOSITION AND NUTRITIONAL EVALUATION OF DIETS WITH FERMENTED APPLE POMACE IN THE FEEDING OF FATTENING LAMBS

ABSTRACT: This study evaluated the chemical composition of fermented apple pomace (FPM), its incorporation into whole-grain lamb diets, and the effect on production parameters and ruminal fermentation products. Eighteen weaned Dorper-Kathadin lambs (initial live weight $23,070 \pm 2,207$ kg) were randomly assigned to one of three treatments for 77 days: T1 (control diet without FPM); T2 (diet with 20% FPM); and T3 (diet with 40% FPM). The diets were formulated to be isonitrogenous, and their nutritional composition was determined. Daily feed intake was measured, lambs were weighed monthly, and feed conversion ratio was calculated at the end of the experiment. VFA and NH₃N production, as well as ruminal fluid pH, were determined. Data were analyzed using SAS analysis of variance, and means were compared using the Tukey test ($P < 0.05$). Energy-related parameters were most notable in the composition of apple pomace. Daily weight gain did not differ between treatments ($P > 0.05$). Feed conversion was lower for T1 and T2 than for T3 during the growing period ($P < 0.05$), but did not differ during the finishing period. VFA production was higher in lambs fed T3 than in those fed T1 and T2 ($P < 0.05$). No differences were observed in the proportion of acetic acid or N-NH₃ concentration. Propionic acid production was higher in T1 than in T2 and T3, and butyric acid production was higher in T3 than in T1. The results show that PMF can be used as an alternative in lamb diets.

KEYWORDS: sheep; apple pulp; weight gain.

1. INTRODUCCIÓN

Es importante formular dietas económicas y eficientes para mantener la rentabilidad de las Unidades de producción de ovinos para abasto. Una forma de lograrlo

es mediante el uso de ingredientes alimenticios de bajo costo para la alimentación animal, como subproductos agroindustriales y residuos de cultivos. En Aguascalientes, México, el bagazo de manzana proveniente de la producción de jugos y néctares de manzana está disponible de agosto a octubre. Puede conservarse fermentado en silos y utilizarse para alimentar a los corderos durante todo el año.

Tanto los desechos de manzana como los subproductos de la industrialización de esta fruta son un alimento potencial para el ganado y contienen sustratos fermentables (Rodríguez-Muela et al., 2010). El bagazo de manzana es conocido por ser muy aceptado por varias especies de ganado, pero tiene un bajo contenido proteico. Sin embargo, tiene un potencial nutricional gracias a su contenido energético derivado de la fibra de baja digestibilidad y los carbohidratos solubles (Ajila et al., 2015). En México, el bagazo de manzana se considera generalmente un subproducto de bajo interés, aunque se utiliza en ganado de engorda (Manterola et al., 1998), bloques proteicos (Bustamante, 2015) y corderos de engorda (Mejía-Haro et al., 2018; Alarcón-Rojó et al., 2019). El componente nutricional más importante del bagazo de manzana es la energía derivada de carbohidratos de baja digestibilidad (Rodríguez-Muela et al., 2010; Bustamante, 2015). Componentes, como la materia seca y la proteína cruda, presentan cierta variación según la variedad de manzana, la madurez del fruto y las diferencias en el procesamiento (Manterola et al., 1998). El objetivo de este estudio fue evaluar la composición nutricional, los parámetros productivos y la concentración de los principales productos de la fermentación ruminal en corderos alimentados con dietas a base de pomasa de manzana ensilada (PMF).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se llevó a cabo en las instalaciones pecuarias del Instituto Tecnológico El Llano en El Llano, Aguascalientes, México, ubicadas a 21° 55' N y 101° 58' O, a una altitud de 2020 m sobre el nivel del mar, en una zona con una precipitación anual de 500 a 600 mm. La pomasa de manzana fermentada se preparó con 7 toneladas de bagazo fresco obtenido de una fábrica de jugo de manzana (Valle Redondo) y 58 kg/tonelada de una mezcla compuesta por 30% de cascarilla de soya, 31% de pasta de soya, 31.8% de pollinaza, 6.5% de urea, 0.67% de micro-minerales y 0.1% de vitaminas. La mezcla preparada se prensó, se cubrió con plástico negro, se dejó al sol y fermentó durante 60 días. Posteriormente, se utilizó en dietas integrales en una prueba de comportamiento productivo con 18 corderos Dorper-Kathadin destetados enteros (23.070 ± 2.207 kg, peso vivo inicial). La prueba duró 77 días y constó de dos periodos: un periodo de crecimiento (de 23 a 30 kg de peso vivo (PV) del cordero) y un

período de finalización (de 30 a 46 kg). Una semana antes de finalizar el experimento, se recolectaron muestras de líquido ruminal (aproximadamente 150 ml) de cada cordero 6 horas después de la alimentación a las 09:00 a. m. mediante succión con una bomba de vacío y una sonda de plástico de ½ pulgada con bordes romos y un extremo perforado. Inmediatamente después de extraer el líquido ruminal, se midió el pH en todas las muestras. Posteriormente, el líquido ruminal se utilizó para el análisis de laboratorio de ácidos grasos volátiles (AGV) y nitrógeno amoniacal (N-NH₃). La degradabilidad in situ de la MS se determinó utilizando cuatro vacas Holstein con fistula ruminal con un período de fermentación de 72 horas (Orskov et al., 1980). Se utilizaron vacas como modelo para corderos, ya que no se disponía de ellos.

Al inicio del período experimental, los corderos se alojaron en jaulas elevadas individuales provistas de comedero y bebedero automático. Se les desparasitó internamente con ivermectina y levamisol (1 mL/20 kg⁻¹ PV), se vacunaron (*Pasteurella* y *Clostridium*), se les colocó una marca en la oreja y se les inyectó vitaminas (ADE, 1 mL cordero⁻¹). Los corderos recibieron alimento *ad libitum* a las 09:00 y a las 15:00 h todos los días. Después de un período de 15 días de adaptación a las dietas, fueron asignados a una de tres dietas-tratamiento en un diseño completamente aleatorizado: T1 (dieta testigo con 21% de proteína cruda, sin PMF); T2 (dieta con 20% de PMF (MS)); y T3 (dieta con 40% de PMF), como se muestra en el Cuadro 1. Las dietas se formularon para ser isoproteicas y se analizó su composición nutricional. El consumo de alimento y los rechazos se midieron diariamente para cada cordero, y estos se pesaron utilizando una báscula digital durante dos días consecutivos al inicio y al final de los períodos de crecimiento y finalización. Los corderos en el período de finalización se alimentaron con una dieta que contenía 18% de proteína cruda (% PB = % N x 6.25), como se muestra en el Cuadro 2.

La conversión alimenticia (kg de materia seca utilizada por kg de ganancia de PV) se calculó a partir de los datos de consumo de alimento y ganancia de peso corporal en cada período. Se realizaron análisis proximales (AOAC, 2012) y análisis de Fibra Detergente Neutra y Ácida (Van Soest et al., 1991) en muestras de las dietas. Las variables de respuesta para los períodos de crecimiento y finalización fueron el consumo de alimento (IA) en el período por kg de PV y por kg^{0.75}; la ganancia de peso diaria (GDP); la conversión alimenticia (CA); Peso vivo final; pH ruminal; producción molar de AGV; proporciones molares de las concentraciones ruminales de ácidos acético, propiónico y butírico; relación entre la concentración de ácido acético y ácido propiónico; concentración de NH₃-N en el líquido ruminal; y degradabilidad in situ de las dietas.

Se preparó una solución de líquido ruminal al 20 % y ácido metafosfórico en una proporción de 4:1 v/v para determinar los AGV. Las muestras se mantuvieron refrigeradas

a 4 °C hasta su análisis por cromatografía de gases (Perkin Elmer® Co., Clarus 560 D Gas Chromatograph, Erwin et al., 1961). El NH₃-N se midió con un espectrofotómetro (VARIAN CARY-1E, McCullough, 1967). El pH ruminal se midió con un potenciómetro portátil Hanna HI 98130 al obtener las muestras individuales de líquido ruminal. La degradabilidad *in situ* de las dietas se evaluó en cuatro vacas con fístula ruminal mediante la técnica descrita por Orskov et al. (1980).

Los datos se sometieron a un análisis de varianza con SAS (2008) y las medias se compararon mediante la prueba de Tukey (P < 0,05). El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}$$

donde Y_{ij} es la variable de respuesta, μ es la media general, t_i es el efecto del i-ésimo tratamiento y e_{ij} es el error experimental.

Cuadro 1. Ingredientes y Composición Química (MS) de la Dieta de Corderos en Crecimiento.

INGREDIENTE	TESTIGO (T1)	20% PMF (T2)	40% PMF (T3)
Alfalfa heno	30	25	19.7
Harina de soya	15	5.5	0
Sorgo molido	13.3	8.2	4.7
Melaza	8	8	8
Cebo	3	5.6	6.5
Maiz Rolado	16	6	0
Harina de Carne y Hueso	5	5	4
Micro-minerales	0.1	0.1	0.1
Sal	0.3	0.3	0.3
Bicarbonato de Sodio	1	1	1
Aluminosilicatos	0.3	0.3	0.3
Urea	0	0	0.4
Soy plus	8	9	9
Pomasa de manzana ensilada	0	20	40
Harinolina	0	6	6
Total	100	100	100
Composición Química* (g/kg)			
MS	871.2	593.0	448.6
PC	210.9	210.9	209.8
EE	57.9	74.0	77.8
CENIZA	98.5	126.8	155.6
CNE	456.1	363	337
FDN	176.6	224.9	267.4

FDA	134.0	180.7	213.5
EM (Mcal/kg)**	2.57	2.57	2.57
Ca **	9.4	9.3	8.3
P**	5.3	5.6	5.1
% de Digestibilidad <i>in situ</i> (MS)	62	60	60

*Determinado en laboratorio, **Calculado de NRC (2007). "Incubación de dietas por 72 horas en 4 vacas fistuladas. CNE= 100-(%FDN+%PC+%EE+%CENIZAS), NRC (2001).

Cuadro 2. Ingredientes y Composición Química (MS) de la Dieta de Corderos en finalización.

INGREDIENTE	TESTIGO (T1)	20% PMF (T2)	40% PMF (T3)
Alfalfa heno	20	20	19.5
Harina de soya	10.5	8	4.5
Sorgo molido	26.35	7.2	4.8
Melaza	8	8	8
Cebo	2.5	5.6	6.5
Maiz Rolado	23	13.5	4.9
Harina de carne y hueso	5	5	4
Micro-minerales	0.1	0.1	0.1
Sal	0.3	0.3	0.3
Bicarbonato de sodio	1	1	1
Aluminosilicatos	0.3	0.3	0.3
Urea	0.95	0	0.1
Soy plus	0	0	0
Pomasa de manzana ensilada	0	20	40
Harinolina	0	6	6
Cascarilla de Soya	2	5	0
Total	100	100	100
Composición Química* (g/kg)			
MS	872.1	592.6	448.4
PC	180.0	180.2	180.9
EE	51.3	74.1	78.0
CENIZA	73.9	124.0	155.0
CNE	534.4	372	310.4
FDN	160.4	249.7	275.7
FDA	108.8	176.7	204.6
EM (Mcal/kg)**	2.582	2.579	2.563
Ca **	8.4	9.1	8.5
P**	5.1	5.6	5.3

*Determinado en laboratorio, **Calculado de NRC (2007).

CNE= 100-(%FDN+%PC+%EE+%CENIZA), NRC (2001).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cuadro 3 muestra la composición química de las muestras de pomasa de manzana fresca, en donde se observa que lo mas relevante es lo concerniente a energía, indicada por valores considerables de TND y EM. Respecto al contenido de proteína cruda el valor obtenido se considera bajo con respecto a los requerimientos de los corderos en engorda, sin embargo, este valor se aumenta considerablemente al fermentar la pomasa adicionando ingredientes como urea, harina y cascarilla de soya entre otros, además de los efectos de las levaduras adicionadas al proceso de fermentación y su uso en dietas integrales. Las concentraciones de FDN y FDA son consideradas aceptables para la alimentación de corderos. El factor más limitante en la pomasa de manzana fresca es el alto grado de humedad, ya que limita el consumo de materia seca de los corderos cuando se utiliza en grandes cantidades.

Cuadro 3. Composición química (g/kg⁻¹ DM) y energía de la pomasa de manzana fresca.

Concepto (g/kg)	
MS	178
PC	51
EE	29
FC	238
CENIZA	16
ELN	665
FDN	393
FDA	368
EM (Mcal/kg)*	2.580
TND*	676
CNE*	511

*Calculado, MS: Materia Seca; PC: Proteína Cruda, EE: Extracto Etéreo; FC: Fibra Cruda; ELN: Extracto Libre de Nitrógeno, FDN: Fibra Detergente Neutra; FDA: Fibra Detergente Acida; EM: Energía Metabolizable; TND: Total de Nutrientes Digestibles; CNE: Carbohidratos no Estructurales.
CNE= 100-(%FDN+%PC+%EE+%Cenizas), NRC (2001).

Consumo de alimento

El consumo de alimento de los corderos durante el período de crecimiento fue mayor ($P < 0,05$) para el grupo T3 (40% de PMF) que para el grupo T1 o T2 en términos de kg/kg, g/kg⁻¹ de peso vivo y g/kg⁻¹ de peso vivo. Los corderos que recibieron el grupo T2 (20% de PMF) presentaron un mayor consumo de alimento que aquellos con el grupo T1 (0% de PMF) en términos de g/kg⁻¹ de peso vivo (Cuadro 4). La palatabilidad de la pomasa de manzana ensilada podría haber incrementado

el consumo de alimento de los corderos de T3, pero este aumento ya no se observó en los corderos durante el período de finalización. Esto probablemente se debió a que los corderos y la microbiota ruminal ya estaban bien adaptados a las respectivas dietas (Mahgob et al., 2000). Los cambios químicos en la PMF también podrían afectar su palatabilidad. Además, el pequeño tamaño de partícula de la dieta de T3, logrado gracias a la mayor inclusión de PMF, podría influir en la ingesta de alimento al aumentar el consumo de alimento finamente picado, lo que podría minimizar el efecto del llenado físico del rumen (Fimbres et al., 2002).

Taasoli y Kafizadeh (2008) también reportaron aumentos en el consumo de alimento en corderos en crecimiento alimentados con dietas con 30% de PMF en sistemas intensivos, lo cual no ocurrió en el período de engorda. Por el contrario, Rumsey y Lindahl (1982) alimentaron ovejas gestantes hasta el parto con una dieta con 60% (MS) de pomasa de manzana fresca y observaron que el consumo de energía era deficiente. Esto fue evidente en el último tercio de la gestación, cuando la ingesta de nutrientes se vio limitada por el alto contenido de humedad y el bajo contenido de nutrientes de la pomasa de manzana. En nuestro estudio, se cumplieron los requerimientos energéticos y proteicos de los corderos, el contenido de PMF se limitó al 20% y al 40%, y el PMF contenía menos humedad debido a su mezcla con otros subproductos en el ensilado.

Pedraza y Pacheco (2000) obtuvieron consumos promedio de alimento de entre 55 y 60 g de MS·kg^{0.75} en corderos machos de 24 kg alimentados con heno de *Digitaria decumbens*. Estos valores son inferiores a los encontrados en nuestro estudio (98 y 120 g de MS·kg^{0.75} para corderos en crecimiento alimentados con dietas con 20% y 40% de PMF, respectivamente). Esto podría deberse, en parte, al mayor contenido de fibra y a las dietas con menor energía, que aumentan el tiempo de retención ruminal. En consecuencia, el consumo de materia seca disminuye (Paulina et al., 2013).

Cuadro 4. Parámetros Productivos de corderos en el periodo de crecimiento con dietas con diferente concentración de PMF.

Variable	T 1	T 2	T3	EE
PV Inicial (kg)	23.23	22.56	23.20	2.207
PV Final (kg)	32.05 ^a	31.98 ^a	32.07 ^a	3.395
Co A, (kg)	31.707 ^b	35.255 ^b	43.502 ^a	4.950
Co A/kg PV, (g)	36.95 ^c	41.66 ^b	50.87 ^a	4.279
Co A (g/kg ^{0.75})	87.9 ^b	98.4 ^b	120.3 ^a	9.8

GDP (g d ⁻¹)	287 ^a	303 ^a	287 ^a	53
GTP (kg)	8.821 ^a	9.417 ^a	8.877 ^a	1.621
CA	3.63 ^b	3.79 ^b	4.92 ^a	0.392

^{abc} Letras diferentes en la misma fila indican diferencia entre tratamientos, $P < 0.05$.

EE= Error standard de la media

PV INICIAL= Peso vivo inicial

PV Final = Peso vivo final

Co A= Consumo de Alimento (MS)

GDP= Ganancia Diaria de Peso

GPT= Ganancia de Peso en el Periodo

CA= Conversión Alimenticia

Ganancia de peso

No se observaron diferencias ($P \geq 0.05$) en la ganancia de peso diaria de los corderos (Tablas 4 y 5) entre los tratamientos, tanto en los periodos de crecimiento como de finalización. Esto se debe en parte a que las dietas de los tres tratamientos se formularon para ser isocalóricas e isoproteicas, y la degradabilidad de la MS no fue diferente, ya que los carbohidratos del PMF tienen componentes de alta digestibilidad (Castillo et al., 2011). Se sugiere que el PMF contenía una digestibilidad similar a la dieta testigo, lo que resulta en la ausencia de cambios en la GDP de los corderos (Taasoli y Kafilzadeh, 2008). Mejía-Haro et al. (2018) obtuvieron ganancias de peso de 183 y 148 g d⁻¹ en corderos utilizando 30% de PMF en dietas con y sin excretas de aves de corral, respectivamente. Estos valores son inferiores a los obtenidos en este estudio, en parte porque se utilizaron corderos hembras, que presentan una menor ganancia de peso que los corderos machos (Bores et al., 2002). También utilizaron alimentos bajos en proteína verdadera, como excretas de aves y urea. Además, se logró la fermentación alcohólica del bagazo de manzana durante el ensilado, lo cual influye en el consumo de alimento (Castillo et al., 2011).

Taasoli y Kafilzadeh (2008) alimentaron corderos machos con dietas que contenían pomasa de manzana ensilada (30% MS) o seco (20%) y reportaron ganancias de peso diarias de 200 y 192 g, respectivamente. Estos valores son inferiores a los obtenidos en nuestro estudio, en parte porque utilizaron dietas con mayor contenido de fibra. Además, no incluyeron melaza como saborizante para el ensilado de bagazo de manzana, lo cual estimula el consumo de alimento (Lobato et al., 1980). La raza utilizada también podría haber influido en la respuesta de los corderos en la ganancia de peso.

La ausencia de diferencias estadísticas ($P \geq 0,05$) en el peso vivo final entre los tratamientos en los períodos de crecimiento y finalización (Cuadros 4 y 5) podría deberse a la respuesta similar en la GDP a las tres dietas de tratamiento. Todos los corderos tuvieron un peso corporal inicial similar en el período de crecimiento y en el período de finalización. Además, el contenido proteico y energético de las dietas fue similar entre los tratamientos y cubrió los requerimientos máximos de proteína y energía, lo que les permitió obtener ganancias de peso diarias similares.

Conversión alimenticia

Los valores de la conversión alimenticia en corderos en crecimiento (Cuadro 4) fueron menores para T1 y T2 que para T3 ($P \leq 0,05$). Esto podría deberse al alto contenido de humedad de la pomasa de manzana y a que T3 presenta la mayor cantidad de PMF. Esta gran cantidad podría haber llenado la capacidad ruminal, produciendo un aumento en la tasa de tránsito (Allen, 1996). Esto resultaría en un mayor consumo y una menor digestibilidad de la MS con respecto a T1 y T2.

La conversión alimenticia (CA) en corderos en el período de finalización (Cuadro 5) no mostró diferencias estadísticas ($P \geq 0,05$) entre tratamientos, lo que podría deberse a que el volumen ruminal de los corderos de T3 aumentó debido al estímulo de llenado (Owens y Goetsch, 1993). Por lo tanto, no se observaron diferencias en el consumo de alimento ni en la ganancia diaria de peso entre tratamientos. Los valores de CA obtenidos son similares a los reportados por Taasoli y Kafilzadeh (2008) en corderos machos alimentados con dietas que incluían pomasa de manzana ensilada o deshidratada. Mejía-Haro et al. (2018) reportaron mayores CA en corderas alimentadas con una dieta que contenía 30% de bagazo de manzana con 0% y 20% de excretas de aves (6,24 y 5,72 kg de alimento/kg de ganancia de peso corporal, respectivamente).

Cuadro 5. Parámetros Productivos de corderos en el periodo de finalización con dietas con diferente concentración de PMF.

Variable	T1	T2	T3	EE
Peso Inicial PV (kg)	32.054	30.983	32.075	3.390
Peso Final PV (kg)	46.813 ^a	44.942 ^a	46.258 ^a	4.194
Co A, (kg)	68.235 ^a	63.315 ^a	68.888 ^a	5.548
Co A, /kg PV, (g)	37.70 ^a	35.86 ^a	38.30 ^a	4.950
Co A (g/kg ^{0.75})	144.5 ^a	136.6 ^a	146.7 ^a	5.4

GDP (g d ⁻¹)	320 ^a	303 ^a	310 ^a	55
GPT (kg)	14.758 ^a	13.958 ^a	14.183 ^a	2.562
CA	4.78 ^a	4.57 ^a	4.93 ^a	0.687

^{abc} Letras diferentes en la misma fila indican diferencia entre tratamientos, $P < 0.05$.

EE= Error standard de la media

PV Inicial = Peso vivo inicial

PV Final = Peso vivo final

Co A= Consumo de Alimento (MS)

GDP= Ganancia Diaria de Peso

GPT= Ganancia de Peso en el Periodo

CA= Conversión Alimenticia

Productos de fermentación ruminal

La concentración total de AGV (Cuadro 6) fue mayor ($P < 0,05$) en T3 que en T1 y T2, y no se encontraron diferencias entre T1 y T2. La razón no está clara, y las diferencias en la degradabilidad de la FDN entre los tratamientos podrían haber influido en los resultados. Si bien la FDN químicamente determinada en la dieta de T3 fue mayor que en T1 y T2, el menor tamaño de partícula, la gravedad específica y el alto contenido de pectina y otros componentes del PMF podrían favorecer la degradabilidad y, en consecuencia, aumentar la producción molar de AGV (Allen y Grant, 2000; Del Valle et al., 2006).

Las tres dietas contenían un 8 % de melaza, que aporta carbohidratos de rápida asimilación en el rumen. Además, T3 incluía urea, que también es un componente del PMF y proporciona N de rápida disponibilidad. Junto con la melaza, es una fuente de carbohidratos fácilmente degradables que benefician la síntesis microbiana del rumen y su actividad fibrolítica (Gozho y Mutsvangwa, 2008). Una mayor producción de AGV se asoció con valores de pH ruminal más bajos para T3, que presentó un pH más bajo que T2 y T1. Abdollahzadeh y Abdulkarimi (2012) también encontraron una mayor producción de AGV y un pH ruminal más bajo en vacas lecheras alimentadas con dietas donde el 15 o 30% de alfalfa se reemplazó con una mezcla de ensilado de pulpa de manzana y tomate.

La producción de ácido acético fue similar entre los tratamientos ($P > 0,05$), y el contenido de ácido propiónico fue mayor para T1 ($P < 0,05$) que en los tratamientos con PMF. Esto se puede explicar por el mayor porcentaje de granos que contienen las dietas T1 y T2, lo que favorece la producción de ácido propiónico y disminuye la relación acetato-propionato. En contraste, el contenido de ácido butírico fue mayor ($P < 0,05$) en la dieta de T3 que en la T1. Estos valores se ven influenciados por la concentración de ácido propiónico, que a su vez se ve favorecida por el nivel de granos en la dieta

(Agle et al., 2010; Ramos et al., 2021). La relación acetato-propionato fue mayor en la dieta T3 que en la T1, y no se observaron diferencias entre ambas ($P > 0,05$). La relación acetato-propionato en la dieta T3 indica que por cada 2.6 unidades de acetato se obtiene una unidad de propionato. Sin embargo, en ganado de engorda es deseable una proporción menor, la cual se logra con dietas altamente concentradas (Agle et al., 2010) cuando la cantidad de concentrado es superior al 70% y la proporción de AGV (ácido acético:propiónico:butírico) es de 45:40:15. En nuestro estudio, la proporción promedio fue de 56:27:16. Mejía-Haro et al. (2019) encontraron un valor similar (58:29:14) en dietas para corderos con un 30% de forraje.

La concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$ en el rumen es un equilibrio entre su producción y su utilización o absorción. El $\text{NH}_3\text{-N}$ es un nutriente crítico para los microorganismos ruminales en concentraciones que oscilan entre 1 y 29 $\text{mg}/100 \text{ mL}^{-1}$ (Khalili y Sairanen, 2000). Diversos factores influyen en la concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$ en el fluido ruminal: la degradabilidad de la proteína de la dieta, la disponibilidad de carbohidratos, el momento del muestreo después de la alimentación, el nivel y la tasa de consumo, y la inclusión de urea en la dieta (Castillo-López y Domínguez-Ordóñez, 2019). En nuestro estudio, la concentración promedio de $\text{NH}_3\text{-N}$ no presentó diferencias ($P > 0,05$) entre los tratamientos (Cuadro 6), lo que indica una degradabilidad y utilización de proteínas similares entre ellos. T2 y T3 presentaron valores de 5 a 8 $\text{mg}/100 \text{ mL}^{-1}$, valores ya reportados y considerados óptimos para una producción adecuada de proteína microbiana (Kim et al., 2010). Mata-Espinoza et al. (2006) tampoco encontraron diferencias en la concentración ruminal de $\text{NH}_3\text{-N}$ en corderos suplementados con harina de tres arbustos forrajeros tropicales.

La degradabilidad de las proteínas está directamente relacionada con su solubilidad en el rumen. Cuando es baja, la liberación de amoníaco disminuye, por lo que la síntesis de proteína microbiana se ve limitada por la falta de este compuesto (Castillo-López y Domínguez-Ordóñez, 2019). El pH ruminal promedio fue menor en los corderos de T3 que en los corderos de T1 y T2, lo que se reflejó en una mayor concentración de AGV. Abdollahzadeh y Abdulkarimi (2012) también observaron una reducción del pH al tiempo que aumentaba la producción de AGV como resultado de un aumento en la tasa de degradación del orujo de manzana y otros subproductos.

Cuadro 6. Valores medios de pH ruminal, Producción de AGV, y nitrógeno amoniacal en el fluido ruminal de los corderos.

Concepto		T1	T2	T3	EE
AGVt	mM L^{-1}	54.81 ^b	64.25 ^b	92.66 ^a	9.816
Acético	%	54.66 ^a	56.26 ^a	58.27 ^a	2.652

Propiónico	%	32.50 ^a	27.20 ^b	22.68 ^b	3.157
Butírico	%	12.81 ^b	16.56 ^{ab}	19.10 ^a	2.835
A:P		1.70 ^b	2.11 ^{ab}	2.60 ^a	0.331
NH ₃ - N	mg dL ⁻¹	2.97 ^a	7.13 ^a	7.28 ^a	3.291
pH Ruminal		6.63	7.06	6.37	0.55

A:P= Relación Acetato-Propionato

AGV_i= Total de Ácidos Grasos Volátiles

^{ab} Letras diferentes en la misma hilera indican diferencias entre tratamientos (P < 0.05)

EE= Error standard de la media.

4. CONCLUSIONES

Los resultados indicaron que la pomasa de manzana es un subproducto nutricionalmente aceptable para la alimentación de corderos y que los granos en las dietas para corderos pueden reemplazarse con PMF hasta en un 20 o 40%. Se observó un rendimiento similar en ganancia de peso y no hubo diferencias significativas en los productos de fermentación ruminal. Estos resultados sugieren una eficiencia similar en la utilización del alimento.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México y al Instituto Tecnológico El Llano por todo el apoyo brindado para la realización de este estudio. También agradecemos al Centro Agropecuario de la Universidad Autónoma de Aguascalientes por facilitar la participación de las vacas fistuladas y al CONAHCYT.

REFERENCIAS

- Abdollahzadeh, F., and R. Abdulkarimi (2012). The effects of some agricultural By-products on ruminal fermentation and apparent digestibility of Holstein dairy cows. *Life Science Journal* 9(4) 81-85.
- Agle, M., A.N. Hristov, S. Zaman, C. Schneider, P.M. Ndegwa, and V.K. Vadella (2010). Effect of dietary concentrate of rumen fermentation, digestibility, and nitrogen losses in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93:4211-4222.
- Ajila, CH.M., S.J. Sarma, S.K.V. Brar, S. Godbout, M. Cote, F. Guay, M. Verma, and J.R. Valero (2015). Fermented apple pomace as a feed additive to enhance growth performance in growing pigs and its effects on emissions. *Agriculture* 5:313-329.
- Alarcon-Rojo, A.D., V. Lucero, L. Carrillo-Lopez, and H. Janacua (2019). Use of apple pomace in animal feed as an antioxidant of meat. *South African Journal of Animal Science* 49:131-139.
- Allen, M.S. (1996). Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *Journal of Anim. Sci.* 74:3063-3075.

- Allen, D. M., and R.J. Grant (2000). Interactions between forage and wet corn gluten feed as sources of fiber in diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83:322–331.
- AOAC (2012). *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*. 19th edition. (Métodos oficiales de análisis de la AOAC Internacional). Gaithersburg, MD, USA.
- Bustamante C.J.F. (2015). *Producción de proteína microbiana con gabazo de manzana*. (Ph. D. Thesis) Chihuahua, Chih. Universidad Autónoma de Chihuahua. México. 182 pp.
- Bores, Q.R.F., M.P.A. Velázquez, y A.M. Heredia (2002). Evaluación de razas terminales en esquemas de cruce comercial con ovejas de pelo F1. *Tec Pec México* 40 (001): 71-79.
- Castillo, Y., O. Ruiz, C. Angulo, C. Rodríguez, y A. Elías (2011). Inclusión de residuos de panadería en algunos metabolitos e indicadores bromatológicos de la fermentación en estado sólido del bagazo de manzana. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 45(2): 141-144.
- Castillo-Lopez, E., y M.G. Domínguez-Ordóñez (2019). Factores que afectan la composición microbiana ruminal y métodos para determinar el rendimiento de la proteína microbiana. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 10(1): 120-148.
- Del Valle, M., M. Camara, and M.E. Torija (2006). Chemical characterization of tomato pomace. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86: 1232-1236.
- Erwin, E.S., G.J. Marco, and E.M. Emery (1961). Volatile fatty acid analyses of blood and rumen fluid by gas chromatography. *J. Dairy Sci.* 4(9) 1768-1771.
- Fimbres, H., G. Hernandez-Vidal, J.F. Picon-Rubio, J.R. Kawas and C.D. Lu (2002). Productive performance and carcass characteristics of lambs fed finishing rations containing various forage levels. *Small Ruminant Res.*43:283-288.
- Gozho, G.N., and T. Mutsvangwa (2008). Influence of carbohydrate source on ruminal fermentation characteristics, performance, and microbial protein synthesis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 91:2726-2735.
- Khalili, H. and A. Sairanen (2000). Effect of concentrate type on rumen fermentation and milk production of cows at pasture. *Animal Feed Science and Technology* 84(2000):199-212.
- Kim, K.H., G.L.Jin, Y.K. Oh and M.K. Song (2010). Effects of starch and protein sources on starch disappearance in the gastrointestinal tract of Hanwoo (Korean native) steers. *J. Anim. Sci.* 81:331–337.
- Lobato, S.F.P., G.R. Pearce and R.G. Beilharz (1980). Effect of early familiarization with dietary supplements on the subsequent ingestion of molasses-urea blocks by sheep. *Applied Animal Ethology* 6(2):149-161.
- Mahgob, D., C.D. Lu and R.J. Early (2000). Effect of dietary energy density on feed intake, body weight gain and carcass chemical composition of Omani growing lambs. *Small rumin. Research* 37:35-42.
- Manterola, H., E. Porte, D. Cerda, L. Shiran y G. Casanova (1998). Comportamiento productivo de toritos Hereford alimentados con altos niveles de pomasa de manzana. *Avances en Producción animal* 23 (1-2):73-79.
- Mata-Espinoza, M., D. Hernández-Sánchez, M.A. Cobos-Peralta., M.E. Ortega-Cerilla, G.D. Mendoza-Martínez y J.L. Arcos-García (2006). Comportamiento productivo y fermentación ruminal de corderos suplementados con harina de cocoite (*Gliricidia sepium*), morera (*Morus alba*) y tulipán (*Hibiscus rosa-sinensis*). *Revista Científica FCV-LUZ* XVI:249-256.

McCullough, H. (1967). The determination of ammonia in whole blood by direct colorimetric method. *Clin.Chem. Acta* 17: 297-304.

Mejía-Haro, I., M.E. Mora de A., J.M. Martínez M., I. V. Vitela M. and J. Mejía-Haro (2018). Effect of Apple pomace and poultry manure in mixed diets on productive performance in replacement female lambs. *J. Anim. Vet. Adv.*17:45-50.

Mejía-Haro, I., A.J. Azuara, B. Ortiz de la Rosa, J.M. Martínez, J. Mejía, V.M. Marín and M. Ramos (2019). Effect of the inclusion of three levels of chicken manure in diet on productive performance of finishing lambs. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 18(2):55-60.

National Research Council (NRC) (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. Seventh revised edition, National Academy Press.

National Research Council (NRC) (2007). *Nutrient requirements of small ruminants* (7th Ed.). National Academy Press.

Orskov, E. R., F.D. Hovell and F.L. Mould (1980). The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Third Annual Conference on Tropical Animal Production*, Mérida, Yuc., México, p 195-213.

Owens, F.N. and A.L. Goetsch (1993). *Ruminal Fermentation*. In: Church D.C. editor. *The ruminant animal. Digestive, Physiology and Nutrition*. 1st ed. USA. Waveland Press Inc. ISBN13 9780881337402, p 145-171.

Paulina, G., M. Avondo, G. Molle, A.H. Dias-Francesconi, A.S. Atzori and A. Cannas (2013). Models of estimating feed intake in small ruminants. *Revista brasileira de Zootecnia*. 42(9):675-690.

Pedraza, O.R.M. and L.T. Pacheco (2000). Consumo voluntario y degradabilidad ruminal en ovinos suplementados con bloques multinutricionales con tres niveles de urea. *Rev. Prod. Anim.* 13(2):87-88.

Ramos, S.S., C.H. Jeong, L.L. Mamuad, S.H. Kim, S.H. Kang, E.T. Kim, Y. Cho, S.S. Lee and S.S. Lee (2021). Diet transition from high-forage to high-concentrate alters ruminal bacterial composition, epithelial transcriptomes and ruminal fermentation parameters in dairy cows. *Animals* 11: 838.

Rodríguez-Muela, C., D. Díaz, F. Salvador, O. Ruiz, C. Arzola, A. Flores and A. Elías (2010). Efecto del nivel de urea y pasta de soya en la concentración de proteínas durante la fermentación en estado sólido de la manzana (*Malus domestica*). *Rev. Cubana de Cien. Agrí* 44(1):23-26.

Rumsey, T.S. and I.L. Lindahl (1982). Apple Pomace and urea for gestating Ewes. *J. Anim. Sci.* 54:221-234.

Statistical Analysis Systems (SAS) (2008). *Statistical Analysis Systems Institute User's Guide* (9.2 ed.). SAS Inst. Inc.

Taasoli, G. and F. Kafizadeh (2008). Effects of dried and ensiled Apple Pomace from puree making on performance of Finishing Lambs. *Pakistan J. of biological Sci.* 11(2):294-297.

Van-Soest, P.J., J.B. Robertson and B.A. Lewis (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non- starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci.* 74:3583-3597.

PAUL ADAMI AND THE CATTLE PLAGUE IN STYRIA, 1780

Data de submissão: 19/08/2025

Data de aceite: 12/09/2025

Andrej Pengov

DVM - Institute for Microbiology
Veterinary Faculty Ljubljana
University of Ljubljana, Slovenia
<https://orcid.org/0000-0002-2711-2761>

ABSTRACT: This paper revisits the major rinderpest (cattle plague) outbreak that swept Styria in 1777–1780 and analyzes the pioneering role of Paul Adami in the regional response. Drawing on Adami's contemporary report (*Beiträge zur Geschichte der Viehseuchen...*, 1781) and related sources, we contextualize the epizootic across Slovene provinces and the broader Habsburg Monarchy. Adami first attempted protective inoculation in winter 1780 using fresh nasal secretions; the high-titer material and low temperatures likely preserved viral viability, producing acute disease and 100% mortality in ten cattle. A second, better-controlled trial, with prior health screening, smaller incisions, and reduced inoculum, led to transient illness and recovery in two animals, suggesting dose effects and the potential for induced protection. From these experiments Adami inferred that contaminated materials lose virulence after exposure to air and sunlight

and that hay and straw need not be destroyed if properly aired; he also recommended barn cleaning, isolation, and phased re-entry of animals. His proposals informed veterinary regulations and illustrate an early, empirically grounded approach to contagion, predating modern microbiology and immunology. The study highlights Adami's contribution to the emergence of veterinary science in Central Europe.

KEYWORDS: rinderpest; cattle plague; Paul Adami; styria; 18th century. veterinary history; inoculation; Habsburg monarchy; epizootics; biosecurity.

PAUL ADAMI E A PESTE BOVINA NA ESTÍRIA, 1780

RESUMO: O artigo revisita a grande epidemia de peste bovina (rinderpest) que atingiu a Estíria entre 1777 e 1780 e examina o papel pioneiro de Paul Adami na contenção regional. A partir do relatório contemporâneo de Adami (*Beiträge zur Geschichte der Viehseuchen...*, 1781) e de fontes correlatas, contextualiza-se a epizootia nas províncias eslovenas e no âmbito da Monarquia dos Habsburgo. Em 1780, Adami realizou uma primeira tentativa de inoculação protetiva no inverno, usando secreções nasais recentes; a alta carga viral e as baixas temperaturas provavelmente preservaram a viabilidade do agente, resultando em curso agudo e mortalidade de 100% em dez bovinos. Um segundo ensaio, mais controlado, com

triagem prévia de saúde, incisões mínimas e menor inóculo, produziu doença transitória com recuperação de dois animais, sugerindo efeito de dose e a possibilidade de proteção induzida. Das observações, Adami concluiu que materiais contaminados perdem virulência após exposição ao ar e à luz solar e que feno e palha não precisam ser destruídos se devidamente arejados; defendeu ainda higienização de estábulos, isolamento e retorno gradual do rebanho. Suas propostas subsidiaram a regulamentação veterinária e revelam uma abordagem empírica precoce ao contágio, anterior à microbiologia e à imunologia modernas. O estudo destaca a contribuição de Adami para a formação da ciência veterinária na Europa Central.

PALAVRAS-CHAVE: rinderpest; peste bovina; Paul Adami; estíria. século XVIII; história da veterinária; inoculação; monarquia dos Habsburgo; epizootias; biossegurança.

1. INTRODUCTION

Rinderpes - historically known as cattle plague - was one of the most devastating epizootics in early modern Europe, periodically crippling agrarian economies through rapid transmission and high mortality in bovines. In present-day Slovenia and the wider Habsburg lands, large outbreaks were documented in 1710, 1729–1731, 1740–1756, and most notably in 1777–1780, when Styria experienced a province-wide crisis. This article revisits that Styrian outbreak through the lens of Paul Adami (1739–1814), a physician-veterinarian whose field observations and controlled trials were recorded in *Beiträge zur Geschichte der Viehseuchen in den k.k. Erbländern* (1781) and related works.

Our aim is twofold: first, to situate Adami's interventions within the pre-microbiological understanding of contagion and 18th-century state responses to animal disease; second, to evaluate his inoculation attempts, biosecurity recommendations, and their regulatory uptake in Styria. By integrating contemporary reports with later commentary, we show that Adami's program - despite initial failures - anticipated core principles of dose, environmental inactivation of pathogens (air/sunlight), stable isolation, and staged re-entry of herds. In doing so, it illuminates an early, empirically grounded strand in the emergence of veterinary science in Central Europe, decades before the consolidation of modern microbiology and immunology.

Cattle plague is a devastating contagious viral disease largely affecting cattle with a high rate of mortality, which represented a significant threat to cattle in the past centuries. In the 18th and 19th century the disease was also extremely widespread on Slovene territory. Considering contemporary reports, major outbreaks of cattle plague in Slovenia occurred in 1710, 1729 to 1731, 1740 to 1756 and 1780. During the last large outbreak of Rinderpest in Styria in 1780, Paul Adami was responsible for the containment of the disease. Adami wrote an interesting report of his work in a book entitled "*Beiträge zur Geschichte der Viehseuchen in den Kais. Kön. Erbländern*".

2. HISTORICAL BACKGROUND

The plague came at that time to Styria from the east and the first cases were recorded in autumn 1777. During the following years the plague raged on, killing cattle also in areas that had been spared at the onset of the outbreak. The report states that all of Styria was affected as the disease spread even to the most remote parts of the country. It is worth to remember, that at that time doctors and veterinarians were almost helpless in the battle against infectious diseases. Since the microbiological agent that caused the infection was unknown, the treatment was largely ineffective and only symptomatic. The era of modern microbiology and immunology was still a long way off.

By the end of the 18th century the development of medicine in general turned from the theoretical and speculative principles of the 17th century to a sound, experimental science. Under the influence of the Enlightenment period, individual researchers attempted to find some effective ways to withstand the terrible plagues that threatened people and animals for centuries.

3. PAUL ADAMI

One of these experts who contributed to the early development of veterinary medicine, particularly within the Slovene provinces, was Paul Adami. In 1780 he carried out a comprehensive experiment to study the characteristics of cattle plague (1). Adami was born in 1739 in the small town of Belusa in western Slovakia, at that time, part of the Habsburg empire. He studied at the Viennese Faculty of Medicine from which he graduated in 1765. He worked as an epidemiologist, though he largely occupied himself with research on infectious diseases in domestic animals on the estates of Count Attems in eastern Slovenia. He made detailed studies of cattle plague, anthrax, foot and mouth disease and scabies on which he would later publish further notable works. He considered himself more of a veterinary surgeon than a doctor and referred to himself with pride in his publications as *»ehemahliger Contagionsphysicus und bestellter gewesener Thierarzt»*, which means that Adami was a veterinary surgeon with a regular position and the task of fighting infectious diseases in animals (2).

Respect and appreciation for his work in the field of veterinary science grew ever stronger and in 1775 the Empress Maria Theresia, on the recommendation of the monarchy's *protomedicus*, Gerard van Swieten, appointed Adami professor of Veterinary medicine at the Viennese Faculty of Medicine. From a historical perspective this was a very important event as it was the first ever chair of veterinary medicine in an Austrian university.

4. THE 1780 EXPERIMENTS IN STYRIA: DESIGN, COURSE, AND OUTCOMES

After his withdrawal from the faculty, Adami returned to Styria where he started his first attempt concerning immunisation of cattle against Rinderpest. In 1799 count Friedrich von Attems donated Adami several cattle from his stables. He selected ten animals and inoculated them with infectious material. Three animals were not inoculated in order that he might ascertain how the artificial inoculation of the other animals with the plague would affect them, but also because he had noticed some symptoms indicative of natural infection. The infectious material had been taken from the nasal mucosa of two cattle in the neighbourhood that had been ill for several days. The animals in the study were infected with cotton swabs soaked with nasal discharge from the sick cattle. The contagious material was inoculated on a superficial incision made on the back of the animals (3).

Instead of the expected mild form of plague, a severe acute course of the disease appeared two days after inoculation. Finally, all ten animals died within a few days with clear signs of cattle plague and after dissecting the animals, Adami also found characteristic lesions on the internal organs.

The most plausible cause for the failure was the fact that the material used for the inoculation still contained live viruses. The experiment was carried out in winter; therefore the cold environment extended the survival period of the pathogen (4).

For the second experiment, which in contrast to the first, was prepared in less of a hurry and with more planning, Adami himself bought six cattle. The animals were first isolated and examined until he could be certain they were healthy. This time he only inoculated two cattle, using less contagious material and made very small incisions. The two animals fell ill with characteristic signs of plague but after eleven days they had both almost completely recovered. After this success Adami continued his research in a new direction. He observed that in times of plague most of the farmers did not carry out preventive measures like cleaning barns and equipment or destroying foodstuffs and bedding. Therefore, he assumed that the plague might remain and even break out again under these circumstances.

After he finished his trials, Adami resumed the findings from his second experiment. The main conclusions were that plague contaminated material lost its virulence after it was exposed to air and sunlight for some time. The foodstuff and bedding from contaminated places were also of no significance in the spreading of the disease. So, the obligatory destruction of hay and straw was not necessary in case they were aired for several days. Adami further proposed that the animals could be returned to the barns fourteen days after they had been properly cleaned and well aired.

5. DISCUSSION

Adami's 1779-1780 trials in Styria illustrate an early, practice-driven approach to contagion control at the cusp of the Enlightenment turn toward experimental method. The first winter trial, using freshly collected nasal secretions, superficial scarification, and ten recipient cattle, produced rapid, lethal disease. Two context factors likely converged: high infectious dose and cold ambient temperatures, which plausibly extended viral viability. By contrast, the second, better-controlled trial (health screening, minimal incisions, reduced inoculum, $n=2$) resulted in transient illness followed by recovery, consistent with a dose-response relationship and with the period's empirical intuition that controlled exposure might induce protection.

Equally consequential were Adami's biosecurity inferences: environmental inactivation by air and sunlight, limited epidemiological relevance of aired fodder/bedding, and staged re-entry after thorough cleaning. These recommendations prefigure modern principles of decontamination, quarantine, and risk-based reuse of materials.

Limitations are intrinsic to the setting: absence of virological confirmation, very small samples, no parallel negative/positive controls, and seasonal confounding. Interpretative caution is warranted, yet the internal consistency between observation, adjustment of technique, and outcome supports the credibility of Adami's conclusions. Historically, his program links field epidemiology, emerging state veterinary regulation, and a nascent concept of protective inoculation decades before microbiology and immunology provided mechanistic explanations. (5).

6. CONCLUSION

Re-examined in context, Adami's work during the 1777-1780 rinderpest crisis in Styria stands as a methodical and well-documented attempt to manage an epizootic with the tools available before laboratory virology existed. His first trial's failure and the subsequent iterative refinement that produced non-fatal courses in the second trial offer rare evidence of early dose management in attempted immunoprophylaxis. Moreover, his operational guidance, airing contaminated materials, prioritizing stable hygiene, isolation, and timed return of herds, anticipated enduring tenets of veterinary public health and informed contemporary regulatory measures in the Habsburg lands.

While the evidence base is necessarily limited, the coherence of Adami's observations and their policy uptake justify his place in the early history of veterinary science in Central Europe. Recovering these episodes sharpens our understanding of how pragmatic experimentation, careful record-keeping, and administrative responsiveness

could mitigate livestock catastrophes before the advent of modern microbiology,an historical lesson with resonance for present-day responses to emerging animal diseases.

Figure 1: Title page of Adami's publication on cattle plague in Styria.

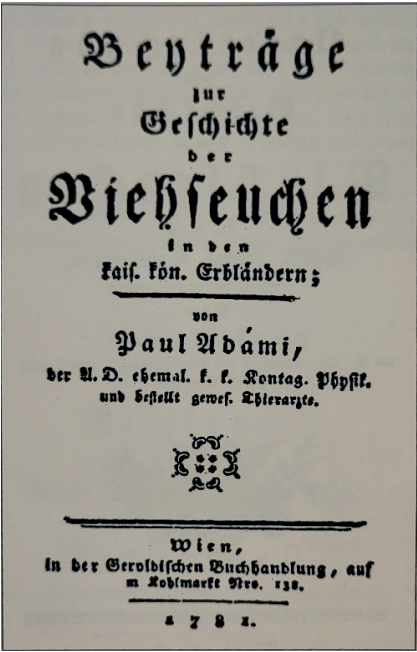


Figure 2: Titlepage of Adami's book on infectious diseases in animals.

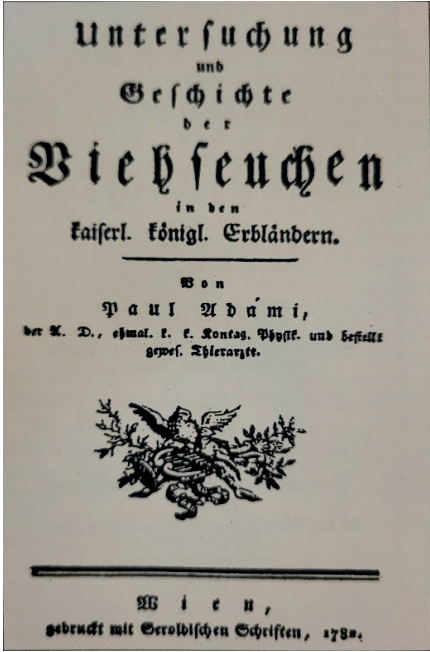


Figure 3: Title page of Adami's paper on differentiating Anthrax and cattle plague

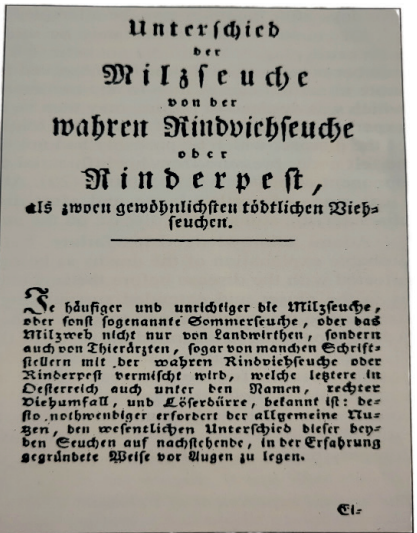


Figure 4: Title page of Wolstein's book on infectious diseases in cattle



REFERENCES

1. Adami P. Beiträge zur Geschichte der Viehseuchen in den k.k. Erbländern. Wien, 1781.
2. Adami P. Unterschied der Milzseuche von der wahren Rindviehseuche oder Rinderpest. In: Untersuchung und Geschichte der Viehseuchen in den k.k. Erbländern. Wien, 1782.
3. Lechner W. Dr. Paul Adami (1739-1814). Professor für Tierseuchenlehre an der Wiener Universität, Contagions-Physicus und bestellt gewesener Tierarzt. Tierärztl Mschr 1969; 56:105-14.
4. Jurca J. M.A. Plencic: Dodatek o goveji kugi, 1762. Ljubljana: Veterinary faculty, 1998.
5. Wolstein JG. Anmerkungen über die Viehseuchen in Österreich. Frankfurt, 1782.

SOBRE O ORGANIZADOR

EDUARDO EUGENIO SPERS realizou pós-doutorado na Wageningen University (WUR), Holanda, e especialização no IGIA, França. Possui doutorado em Administração pela Universidade de São Paulo (USP). Foi Professor do Programa de Mestrado e Doutorado em Administração e do Mestrado Profissional em Comportamento do Consumidor da ESPM. Líder do tema Teoria, Epistemologia e Métodos de Pesquisa em Marketing na Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração (ANPAD). Participou de diversos projetos de consultoria e pesquisa coordenados pelo PENSA e Markestrat. É Professor Titular no Departamento de Economia, Administração e Sociologia, docente do Mestrado em Administração e Coordenador do Grupo de Extensão MarkEsalq no campus da USP/Esalq. Proferiu palestras em diversos eventos acadêmicos e profissionais, com diversos artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais, livros e capítulos de livros sobre agronegócios, com foco no marketing e no comportamento do produtor rural e do consumidor de alimentos.

ÍNDICE REMISSIVO

Símbolos

18th century 116, 117, 118

A

Ácido ortosilícico 31, 34

B

Biofortificación 67, 68, 69, 89, 90, 92

Biosecurity 116, 117, 120

Broca 31, 36, 37, 41, 42, 44

Burning gas 1, 2

C

Cafeto 31, 34, 35, 36, 41

Calidad de proteína 67, 68, 86, 88, 91

Cattle plague 116, 117, 118, 119, 121

Chemical reactions 1, 5

Compound feed 1, 2, 5, 8, 10, 11, 12, 13

Cultivo alternativo 96

D

Deslizamientos 14, 15, 16

Desnutrición 68, 89, 90

Diversificación agrícola 96, 97

E

Educación ambiental 14, 15, 16, 22, 23, 27, 30

Epizootics 116, 117

Escuela rural 14, 23

G

Ganancia de peso 102, 104, 109, 110, 111, 113

Gestión del riesgo 14, 15, 16, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 27

H

Habsburg monarchy 116

I

Inoculation 116, 117, 119, 120

Inundaciones 14, 15, 16, 49

M

Maíz morado 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 90, 91, 92, 94

N

Norte de Tamaulipas 96, 97, 99, 100

O

Ovino 102

P

Paquete tecnológico 96, 97

Paul Adami 116, 117, 118, 122

Planificación 15, 19, 29, 47, 51

Pollutant emissions 1, 10, 13

Pulpa de manzana 102, 111

R

Regionalización 47, 52

Rinderpest 116, 117, 119, 120, 122

Roya 31, 35, 36, 37, 41, 44, 75

S

Sanidad vegetal 31

SIG 47, 51

Sorgo 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 97, 105, 106

Soya 57, 96, 97, 98, 99, 103, 105, 106, 107, 115

Styria 116, 117, 118, 119, 120, 121

V

Veterinary history 116



EDITORA
ARTEMIS

2025