

**Victor Crespo de Oliveira  
Leonardo França da Silva  
Ariadna Faria Vieira  
(Organizadores)**

Sustentabilidade e inovação nas

# **Ciências Agrárias**



**Atena**  
Editora  
Ano 2025

**Victor Crespo de Oliveira  
Leonardo França da Silva  
Ariadna Faria Vieira  
(Organizadores)**

Sustentabilidade e inovação nas

# **Ciências Agrárias**



**Atena**  
Editora  
Ano 2025

**Editora chefe**Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2025 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2025 O autor

Copyright da edição © 2025 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelo autor.

Open access publication by Atena Editora



Todo 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).

O conteúdo da obra e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do autor, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos ao autor, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Os manuscritos nacionais foram previamente submetidos à avaliação cega por pares, realizada pelos membros do Conselho Editorial desta editora, enquanto os manuscritos internacionais foram avaliados por pares externos. Ambos foram aprovados para publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Agrárias**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ariadna Faria Vieira – Universidade Estadual do Piauí

Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia

Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Jessica Mansur Siqueira Crusoé – Universidade Federal de Viçosa

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

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás

Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

## Sustentabilidade e inovação nas ciências agrárias

**Organizadores:** Victor Crespo de Oliveira  
Leonardo França da Silva  
Ariadna Vieira

**Revisão:** Os autores

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo

**Correção:** Maiara Ferreira

**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b>	
S964	Sustentabilidade e inovação nas ciências agrárias / Organizadores Victor Crespo de Oliveira, Leonardo França da Silva, Ariadna Vieira. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2025.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-3226-5 DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.265252603">https://doi.org/10.22533/at.ed.265252603</a>  1. Ciências agrárias. I. Oliveira, Victor Crespo de (Organizador). II. Silva, Leonardo França da (Organizador). III. Vieira, Ariadna (Organizadora). IV. Título.  CDD 630
<b>Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166</b>	

## DECLARAÇÃO DO AUTOR

Para fins desta declaração, o termo 'autor' será utilizado de forma neutra, sem distinção de gênero ou número, salvo indicação em contrário. Da mesma forma, o termo 'obra' refere-se a qualquer versão ou formato da criação literária, incluindo, mas não se limitando a artigos, e-books, conteúdos on-line, acesso aberto, impressos e/ou comercializados, independentemente do número de títulos ou volumes. O autor desta obra: 1. Atesta não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação à obra publicada; 2. Declara que participou ativamente da elaboração da obra, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final da obra para submissão; 3. Certifica que a obra publicada está completamente isenta de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirma a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhece ter informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autoriza a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação da obra publicada, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. A editora pode disponibilizar a obra em seu site ou aplicativo, e o autor também pode fazê-lo por seus próprios meios. Este direito se aplica apenas nos casos em que a obra não estiver sendo comercializada por meio de livrarias, distribuidores ou plataformas parceiras. Quando a obra for comercializada, o repasse dos direitos autorais ao autor será de 30% do valor da capa de cada exemplar vendido; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), a editora não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como quaisquer outros dados dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

A coleção “Sustentabilidade e inovação nas Ciências Agrárias” é uma obra que se concentra na discussão científica por meio de diversos trabalhos que compõem seus capítulos. Este volume apresenta estudos interdisciplinares, incluindo pesquisas, relatos de casos e revisões, organizados de forma acessível e estruturada.

A obra busca atender às demandas transdisciplinares da área, promovendo uma visão integrada do conhecimento e incentivando a troca de saberes entre diferentes especialidades. Seu principal objetivo é divulgar pesquisas desenvolvidas em instituições de ensino, pesquisa e extensão, tanto no Brasil quanto no exterior, ampliando o alcance da produção científica.

Os capítulos foram elaborados por especialistas de diversas áreas, como Microbiologia, Fruticultura, Ciência do Solo, Fitopatologia, Entomologia, Engenharia Agrícola, Zootecnia, Medicina Veterinária, entre outras. Dessa forma, a obra oferece uma abordagem abrangente, proporcionando embasamento teórico e prático para acadêmicos e demais interessados no universo das Ciências Agrárias.

Os organizadores e a Atena Editora expressam sua gratidão aos pesquisadores de diferentes instituições que contribuíram para a construção deste livro digital. Esperamos que esta publicação incentive a interconexão entre as múltiplas áreas das Ciências Agrárias, fortalecendo a ciência e impulsionando novas descobertas.

Reconhecendo a importância da divulgação científica, destacamos o papel da Atena Editora, que disponibiliza uma plataforma sólida para a disseminação do conhecimento, possibilitando que pesquisadores compartilhem e ampliem o impacto de seus estudos.


Boa leitura!

Victor Crespo de Oliveira  
Leonardo França da Silva  
Ariadna Vieira



**CAPÍTULO 1 ..... 1****PRODUCTIVE AND QUALITATIVE ASPECTS OF BUFFALO MEAT**

Maria Vitória Gomes da Silva  
Leandra de Pádua Ferreira Santos  
Carolina Louise Nascimento de Santana  
Webert Aurino da Silva  
Apolônio Gomes Ribeiro  
Dayane Albuquerque da Silva  
Daniela Pinheiro de Oliveira  
Adrielle Carneiro de Araújo Santos  
Elton Francisco de Oliveira  
Maria Luciana Menezes Wanderley Neves  
Júlio César dos Santos Nascimento  
Ricardo Alexandre Silva Pessoa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2652526031>

**CAPÍTULO 2 ..... 12****BRUSONE EM AZEVÉM NA FRONTEIRA OESTE DO RIO GRANDE DO SUL EM 2024**

Maria Fernanda Antunes da Cruz  
Franciele Roberta Munieweg  
Alberto Gonçalves Soares Neto  
Amauri Nelson Beutler

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2652526032>

**CAPÍTULO 3 ..... 17****CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE FRUTOS E SEMENTES, E AVALIAÇÃO DA EMERGÊNCIA EM MATRIZES DE RAMBUTEIRA**

Walnice Maria Oliveira do Nascimento  
Lucas Rozendo de Lima Silva  
Caio Xavier dos Santos  
Ester Costa Franco

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2652526033>

**CAPÍTULO 4 ..... 28****ESTRATEGIAS PARA LA GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN EN LAS UNIVERSIDADES**

Rosa Elsa Pérez Peña  
Holmes Rodríguez Espinosa  
Adriana Arango Correa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2652526034>

**CAPÍTULO 5 ..... 53****PRODUÇÃO DE BOVINOS DE CORTE ALIMENTADOS COM SUBPRODUTOS DA AGROINDÚSTRIA**

Claudete Maria da Silva Moura  
Erisvânia Oliveira do Carmo  
Paola Carolayne Barbosa Santos  
Glayciane Costa Gois

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2652526035>

**CAPÍTULO 6 .....69****UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO AGROINDUSTRIAIS FUNCIONALIZADO COM NANOPARTÍCULAS PARA REMOÇÃO DE METFORMINA PRESENTE EM ÁGUAS CONTAMINADAS**

Nicolle Ramos dos Santos

Letícia Nishi

Daniel Mantovani

Diana Gomes

Rosangela Bergamasco

Luís Fernando Cusioli

**doi** <https://doi.org/10.22533/at.ed.2652526036>**CAPÍTULO 7 .....80****USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AGRICULTURE**

Marcos Elias Silva Januário

Emanuel Medeiros Vieira

Maria Leticia Rodrigues Gomes

Vanessa Alexandre Vieira

Fernanda Ferreira da Hora

**doi** <https://doi.org/10.22533/at.ed.2652526037>**CAPÍTULO 8 .....88****PREVISÃO DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL EM BEIRA, MOÇAMBIQUE: UMA ABORDAGEM COM MODELOS DE SÉRIES TEMPORAIS**

Francisco José Noris

Domingos Mário Zeca Fernando

Valéria Cristina Rodrigues Sarnighausen

**doi** <https://doi.org/10.22533/at.ed.2652526038>**CAPÍTULO 9 .....97****EVALUACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO SWAT BAJO DIFERENTES ESCENARIOS DE USOS DE SUELO EN LA MICROCUENCA PEÑAS BLANCAS, NARIÑO – COLOMBIA**

Jesús Geovanny Solarte Guerrero

José Julián Apráez Muñoz

Alavro Javier Ceballos-Freire

**doi** <https://doi.org/10.22533/at.ed.2652526039>**CAPÍTULO 10.....119****ATRIBUTOS BIOLÓGICOS E MICROBIOLÓGICOS COMO INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO**

Gilbert Martins Linhares

Diego Oliveira Ribeiro

Gildomar Alves dos Santos

Zaqueu Henrique de Souza

João Vitor Rezende Cunha Luciano

Andrisley Joaquim da Silva


Rogério Machado Pereira  
Jonathan Goularte Silva  
Heitor Araújo Rezende

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.26525260310>

**CAPÍTULO 11 ..... 133**

**MODELO DE ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS EMERGENTES EN LA AGRICULTURA**


Diana Patricia Guzmán Álvarez  
Marisol Medina-Sierra  
Holmes Rodríguez Espinosa  
Mario Fernando Cerón-Muñoz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.26525260311>

**CAPÍTULO 12..... 157**

**PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y DIGESTIBILIDAD EN CONEJOS ALIMENTADOS CON DIETAS CON DIFERENTE CONCENTRACIÓN DE VAINA DE *Prosopis laevigata***


Ignacio Mejía Haro  
Andrea Alejandra García-Sánchez  
Tania Ramírez Navarrete  
Mauricio Ramos Dávila  
José de Jesús Campos Torres  
José Manuel Martínez-Mireles  
Iván Mejía Devora  
Carlos Fernando Arechiga Flores

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.26525260312>

**CAPÍTULO 13..... 173**


**SECAGEM DE GRÃOS E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: MÉTODOS, TECNOLOGIAS E TENDÊNCIAS**

Leonardo França da Silva  
José Rafael Franco  
Cássio Furtado Lima  
Marcos Antônio Pereira da Fonseca Maltez  
Silvana Ferreira Bicalho  
Ariadna Faria Vieira  
Cristiano Márcio Alves de Souza  
Matheus Mendes Reis  
Luciano José Minette  
Stanley Schettino

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.26525260313>


**CAPÍTULO 14..... 193****ADEQUAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA ABASTECIMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Maria Iza de Arruda Sarmento  
Sirlândia da Silva dos Santos  
Mateus Santos Ribeiro  
Dirlayne Sousa Melo  
Avete Vieira Lima  
Djalma Santana Neto  
Sandra Regina da Silva Galvão

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.26525260314>

**CAPÍTULO 15.....209****CONTRIBUIÇÕES DA FEIRA DE AGRICULTURA FAMILIAR DO MUNICÍPIO DE INCONFIDENTES, MINAS GERAIS, PARA O OBJETIVO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS) 2 (FOME ZERO E AGRICULTURA SUSTENTÁVEL)**

Cássia Roberta Teixeira de Lima  
Juliana Santos Alves de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.26525260315>

**SOBRE OS ORGANIZADORES .....234****ÍNDICE REMISSIVO .....235**

# CAPÍTULO 1

## PRODUCTIVE AND QUALITATIVE ASPECTS OF BUFFALO MEAT

---

*Data de submissão: 07/01/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

**Maria Vitória Gomes da Silva**

Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, Departamento de Zootecnia  
Recife-PE  
<https://orcid.org/0000-0002-3650-9058>

**Leandra de Pádua Ferreira Santos**

Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, Departamento de Zootecnia  
Recife-PE  
<https://orcid.org/0000-0002-6209-4749>

**Carolina Louise Nascimento de Santana**

Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, Departamento de Zootecnia  
Recife-PE  
<https://orcid.org/0009-0000-3750-5465>

**Webert Aurino da Silva**

Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, Departamento de Zootecnia  
Recife-PE  
<https://orcid.org/0000-0003-0802-1773>

**Apolônio Gomes Ribeiro**

Universidade Federal da Paraíba,  
Departamento de Zootecnia, Areia-PB  
<https://orcid.org/0000-0001-6730-0209>

**Dayane Albuquerque da Silva**

Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, Departamento de Zootecnia  
Recife-PE  
<https://orcid.org/0000-0001-6243-3969>

**Daniela Pinheiro de Oliveira**

Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, Departamento de Zootecnia  
Recife-PE  
<https://orcid.org/0000-0001-7955-3780>

**Adrielle Carneiro de Araújo Santos**

Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, Departamento de Zootecnia  
Recife-PE  
<https://orcid.org/0000-0002-4793-5167>

**Elton Francisco de Oliveira**

Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, Departamento de Zootecnia  
Recife-PE  
<https://orcid.org/0000-0002-5861-0202>

**Maria Luciana Menezes Wanderley  
Neves**

UNINASSAU, Campus Boa Viagem,  
Departamento de Medicina Veterinária  
Recife-PE  
<https://orcid.org/0000-0003-0077-4041>

**Júlio César dos Santos Nascimento**

Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, Departamento de Zootecnia  
Recife-PE  
<https://orcid.org/0000-0003-3107-5876>

**Ricardo Alexandre Silva Pessoa**

Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, Departamento de Zootecnia  
Recife-PE  
<https://orcid.org/0000-0001-5361-0214>

**ABSTRACT:** This review explores the productive and qualitative aspects of buffalo meat, focusing on production systems, weight development, and the physicochemical properties of the meat. Buffalo farming in Brazil is predominantly extensive, utilizing native or cultivated pastures with minimal supplementation. Compared to cattle, buffaloes exhibit higher fertility rates, better weight gain on lower-quality pastures, and earlier puberty. The review also highlights the physicochemical quality of buffalo meat, emphasizing its superior water retention capacity, lower saturated fatty acid content, and unique sensory properties such as tenderness and flavor. Despite challenges in commercialization, buffalo meat is increasingly recognized as a nutritious and sustainable alternative to beef. This study explores opportunities for improving buffalo meat production and expanding its market.

**KEYWORDS:** animal nutrition, quality, meat properties.

## ASPECTOS PRODUTIVOS E QUALITATIVOS DA CARNE DE BÚFALO

**RESUMO:** Esta revisão explora os aspectos produtivos e qualitativos da carne de búfalo, com foco nos sistemas de produção, desenvolvimento de peso e nas propriedades físico-químicas da carne. A produção de búfalos no Brasil é predominantemente extensiva, utilizando pastagens nativas ou cultivadas com mínima suplementação. Comparados aos bovinos, os búfalos apresentam maiores taxas de fertilidade, melhor ganho de peso em pastagens de menor qualidade e puberdade precoce. A revisão também destaca a qualidade físico-química da carne de búfalo, enfatizando sua superior capacidade de retenção de água, menor teor de ácidos graxos saturados e propriedades sensoriais únicas, como maciez e sabor. Apesar dos desafios na comercialização, a carne de búfalo é cada vez mais reconhecida como uma alternativa nutritiva e sustentável à carne bovina. Este estudo visa explorar as oportunidades para melhorar a produção de carne de búfalo e expandir seu mercado.

**PALAVRAS-CHAVE:** nutrição animal, qualidade, propriedades da carne.

## 1 | INTRODUCTION

According to United Nations (UN) reports, the world's population will reach nine billion by the year 2050, while food consumption will increase. Given the increase in population and consumption, Bruinsma (2009) found that agricultural production would have to increase by more than 70% by 2050 to keep up with the pace of population growth. This means it would be necessary to produce about one billion tons of grain and 200 million tons of meat annually by 2050.

Food is one of the most important human activities because it has a direct impact on the quality of life. In addition to the growing population, changing eating increases the demand for higher-quality food.

Lambertz et al. (2014) stated that the buffalo (*Bubalus bubalis*) has become an important ally in the livestock production system, providing milk, meat, leather and draught power. These animals are characterized by their high growth rate, rusticity, longevity, and adaptability, as they can occupy and adapt to soils with low fertility, swampy soils, swampy terrain, and regions unsuitable for other ruminant species (OLIVEIRA, 2005; VAZ et al., 2003). Buffalo meat farming is gradually gaining ground and becoming more widespread in the country.

Buffaloes offer several advantages over cattle in terms of adaptation and production. They are more resilient in tropical environments, particularly when water for wallowing is available (Thanh & Chang, 2007; Bertoni et al., 2020). Buffaloes can thrive on low-quality, fibrous forages due to their efficient digestive system (Bertoni et al., 2020). They are well-suited for areas unsuitable for cattle production, demonstrating greater rusticity and adaptability (Pirondi et al., 2019). However, buffaloes are more susceptible to heat stress, exhibiting higher breathing rates and heart rates in warm conditions compared to cattle (Vo Thi Kim Thanh & Chang, 2007). Buffaloes have unique reproductive characteristics, including seasonal polyestrous breeding and longer gestation periods (Pirondi et al., 2019). While they produce less milk than dairy cows, buffalo milk is of high quality, and they have a lower predisposition to mastitis (Bertoni et al., 2020).

Unlike dairy farming, which is already well known for producing milk rich in fat, protein, and minerals, buffalo meat offers excellent sensory and nutritional qualities, making it a valuable alternative to red meat.

Thus, this review will address the productive aspects of buffalo farming, including management systems and weight development, as well as the physicochemical properties of buffalo meat. It will also explore the nutritional value and sensory qualities of buffalo meat, highlighting its potential as a sustainable and healthy alternative to beef

## **2 | BEEF BUFFALO AND THEIR EXPLOITATION**

Farms are usually run under extensive systems based on native or cultivated pastures, most of the time without the use of concentrated feed, and it is even uncommon for them to be supplemented with roughage during periods of poorer food supply (Bernardes, 2010). Under these conditions, the speed of the animals' development usually follows the food supply and the reproductive seasonality of the species. In this particular case, buffaloes usually perform better than cattle, since calving usually takes place in the summer, the final period of the greatest quantitative and qualitative supply of pasture, which allows the dams to give birth in good body condition and, consequently, return to heat earlier, resulting in higher fertility rates than those observed in cattle managed under similar conditions, whose calving is usually concentrated in the spring, after a period of relative scarcity of pasture. It is common to see fertility rates of over 80% in buffalo, often even over 90% (Bernardes, 2010).

Also according to Bernardes (2010), the lactation period for buffaloes in Brazil usually coincides with the lowest supply of pasture which, while on the one hand compromises milk productivity, on the other hand ensures that the calf, which is raised in the country under natural suckling, has a good growth rate until weaning which, occurring in the spring when there is a greater supply of pasture, allows the animal to continue its development continuously until the start of the next unfavorable period when it will be around 12-15 months old on average. Even during this period, they usually show comparatively better weight gain at pasture than cattle, due to their admittedly better ability to convert poorer quality food.

Once the period of food restriction has passed, the return of pastures in better condition allows the animals to reach puberty at around 24 months of age, and to present their first calving at an average age of 36 months, earlier than in the regions from which they originated (India), where the dynamics of food supply are different from those in Brazil (Bernardes, 2010).

The weight development of buffalo in Brazil depends on the management conditions to which they are subjected, the breed, and the fact that whether or not their dams are used for dairy production. In general, males reach slaughter weight (around 430-480 kg) between 18-24 months of age in herds dedicated exclusively to beef, and between 30-36 months of age in dairy herds. According to Assumpção (1996), when finished in confinement, however, buffaloes perform quite satisfactorily with weight gains equivalent to and even slightly higher than those achieved by zebu under the same conditions, 1,144 g/d and 1,026 g/d respectively.

### 3 | MEAT PRODUCTION

According to the FAO (2006), global production of buffalo meat has grown significantly, especially in the East, with India, Pakistan, and China standing out as the main producing countries. In the West, Brazil is the leading producer of buffalo meat, due to territorial extension, combined with favorable climate and soil conditions, which facilitate buffalo production in the medium and long term, resulting in better quantitative and qualitative performance (Bernardes, 2006).

In Brazil, according to Vale (1999), for many years, buffalo meat came from old animals, slaughtered at the end of a long working life. As a result, a great deal of prejudice was created by associating buffalo meat with the characteristics of low-quality meat. Nowadays, this type of prejudice has diminished a lot and there is a good demand for the meat of these animals which, due to its nutritional value, is considered healthy food.

Lisboa et al. (2020) said that in Brazil there is still little and divergent information on the production and consumption of buffalo meat and the data is often confused with beef statistics.

World production of buffalo meat was estimated at 74.64 million tons in 2016, which corresponded to only 5.44% of the total beef produced in the world, which was around 1.3 billion tons (Oliveira, 2018). 23 Records from the Brazilian Association of Meat Exporting Industries (ABIEC) in 2019 showed that Brazil was responsible for 14.8% of the world's beef and veal production, about 10.5 million tons, and of this total there is no specific data to determine the portion of buffalo meat (ABIEC, 2019).



According to Jorge and Andrighetto (2005), during their experience, they witnessed how difficult it is for beef buffalo farmers to sell their animals ready for slaughter. Many meatpackers claim that there are operational problems on the slaughter line (mainly higher labor costs); that the head, hide and bones are heavier; and that the carcass yield is lower than that of cattle, among other justifications. Also, according to Jorge and Andrighetto (2005), meatpackers, because they have strong bargaining power, prefer to continue with these historical allegations rather than face up to the positive results of scientific research, which could reduce their profit margins to the benefit of the producer. As a result, after boning, buffalo meat ends up being identified and marketed as beef.

Despite this, even though there are no Brazilian statistics on buffalo meat production, due to several factors, Jorge and Andrighetto (2005) were able to estimate meat production by estimating the buffalo herd according to the ABCB, the national average slaughter rate for cattle and the average weight of buffalo carcass in Brazil. And following their same reasoning, it was possible to estimate.

According to ABCB estimates, the Brazilian buffalo herd has around 3.5 million animals (Bernardes, 2010); Average national bovine slaughter rate in 2021 according to IBGE data (2021):  $\text{Cattle slaughtered} / \text{Cattle herd in the year 2021} \times 100 = 27.54 \text{ million} / 224.6 \text{ million} = 0.1226 \times 100 = 12.26\%$ ; and the average carcass weight of buffalo in Brazil, according to Jorge (2001), is 240 kg/cwt. Therefore, the estimated slaughter in 2021 was approximately 429,100 head ( $3,500,000 \times 12.26\%$ ) producing around 102,984 tons of meat ( $429,100 \times 240$ ).

## **4 | MEAT ASPECTS (PHYSICOCHEMICAL)**

Monte et al. (2012) stated that among the most important properties of meat, chemical quality stands out, based on the levels of protein, lipids, cholesterol and fatty acids; physical quality through parameters such as pH, color, weight loss due to cooking, water retention capacity and sensory quality that evaluates flavor, tenderness, aroma, juiciness and others.

### **4.1 Fatty acids in buffalo meat**

Lipids are important macronutrients present in different concentrations in meat, depending on different factors such as species, breed, sex, age at slaughter, sexual condition and the animal's diet. Lipids are made up of simpler substances, fatty acids, and buffalo meat has a different fatty acid profile to that found in other red meats, as evidenced by the lower content of saturated fatty acids and the presence of polyunsaturated fatty acids (Leach, 2001; Oliveira, 2005).

## 4.2 Water retention capacity of meat

According to Vieira (2007), water is the main constituent of meat (lean meat: 70-75%) and its ability to retain this moisture is very important for maintaining its functional properties. The amount of water present at the intramuscular level has a direct influence on texture, as the higher the water content fixed in the muscle, the more tender the meat will be (Gaya and Ferraz, 2006). Water retention capacity refers to the meat's ability to retain water during the application of external forces, such as cutting, heating, grinding or pressure. A lower water retention capacity implies losses in nutritional value through the exudate released, resulting in drier and less textured meat after cooking (Zeola et al., 2002).

The water retention capacity can be influenced by the drop in pH; the higher the pH, the greater the water retention capacity (Huff- Lonergan And Lonergan, 2005). Pearson (1994) also states that the water retention capacity is related to the color of the meat, as the amount of light absorbed or reflected depends on the surface structure, which varies with the isoelectric point of the myofibrillar proteins and the location of water within the cells.

In terms of capacity, water comes in the form of bound water (5%), immobilized water (10%) and free water (85%), and the total water content of meat is important for the processing it will undergo, such as cooling, freezing, salting, curing, canning, etc. The higher the bound water content, the greater the water retention capacity of the muscle tissue (Dabés, 2001; Pardi et al., 2006). All the factors that influence the water retention capacity of fresh meat also affect the water retention capacity of frozen and thawed meat.

## 4.3 Meat pH

According to Pinheiro et al. (2009), in circumstances where the animal's ante-mortem welfare conditions are respected, the pH of the muscle after the animal's death decreases from approximately 7 to 5.5. This is due to the use of glycogen, which, in the absence of oxygen, is transformed into lactic acid, resulting in post-mortem biochemical reactions and the transformation of muscle into meat. According to Woltersdorf and Troeger (1990), pH is the most important parameter for predicting the final quality of meat and is considered the main indicator of its quality at a commercial level, since it can affect important characteristics such as color, tenderness, flavor, water retention capacity, weight loss due to cooking and conservation (OURIQUE and NICOLAIEWSKY, 1990).

## 4.4 Meat color

Zeola et al. (2004) said that the color of meat is a basic criterion in the choice of product, which the consumer can appreciate at the time of purchase, unless other factors, such as odor, are strongly undesirable. Many factors can influence the color stability of meat products, from the animals' diet to the meat packaging procedures. According to José et al. (2009), color stability can be optimized by controlling these factors to keep the amount of oxidation to a minimum.

If the surface appears discolored and brown, the consumer will probably choose not to buy that cut, causing losses for the meat industry. The color of the surface of the meat is due to the chemical state of the myoglobin pigment present in the muscle (Fox, 1966). Hunt (1980) states that the red pigment, oxymyoglobin, can be oxidized to form brown metmyoglobin, leaving the surface of the meat with this color, when the ratio between oxymyoglobin and metmyoglobin becomes very low.

#### **4.5 Shear force**

Consumer demand has increased for standardized products with guaranteed tenderness (Koochmaraie, Shackelford and Wheeler, 1995), so meat producers and industries are mobilizing to adapt their production systems to offer their customers a better quality product. Meat texture is the first characteristic evaluated by consumers when qualitative aspects are mentioned (Luchiari Filho and Moura, 1997).

According to Ishihara and Madrugá (2013), some indicators can and should be used in meat tenderness studies, such as shear force measurement, myofibrillar fragmentation index, sarcomere length and collagen quantification, considering their ease of application and high correlation with meat tenderness.

#### **4.6 Weight loss due to cooking**

According to Bressan et al. (2001), cooking losses are an essential measure of meat quality, since during cooking the heat causes changes in the appearance and physical properties of the meat, such as tenderness and yield at the time of consumption.

Cooking is a process that includes all the chemical, physicochemical and structural changes to food components that are intentionally caused by heat. This process breaks down food structures, improving palatability and digestibility (TSCHEUSCHNER, 2001). In cooking, heating is the result of energy being added to the system as a result of heat transfer (GIRARD, 1991). In the different cooking methods, the forms of heat transfer, the temperature, the duration of the process and the cooking medium are some of the factors responsible for the chemical and physical changes that can modify the nutritional value of food (GARCIA-ARIAS et al., 2003; POTTER and HOTCHKISS, 1995).

### **5 | SENSORY QUALITIES**

There are numerous factors involved in the variation of tenderness, such as post-mortem proteolysis, connective tissue, state of contraction of the muscle, marbling fat, among others, where it must be considered that the marbling fat of the buffalo species has a low concentration (BELEW et al., 2003). The tenderness of buffalo meat is directly associated with physiological maturity, whereas the animal gets older, there is a reduction in the tenderness of the meat of these animals (Vaz et al., 2003).

According to Warriss (2000), the compounds that contribute to the flavor and aroma of meat depend on how much is produced, when the odor starts and what is the minimum concentration detected by the nose. Meat aroma and flavor can be considered complex sensations involving the combination of odor, flavor, texture, temperature and pH. According to Roça (1997), they are determined by factors that affect sensory attributes, related to ante-mortem such as species, age, sex, breed, feeding and handling; and post-mortem such as final muscle pH, carcass cooling conditions, storage and cooking procedures also affect this sensory parameter. When the texture is acceptable, the taste determines consumer satisfaction and appreciation of the meat (Rodas-González et al., 2009).

Acebrón and Dopico (2000) said that in addition to attributes related to color, visible fat and the appearance of freshness of the meat are characteristics that influence the moment of purchase, while flavor and tenderness become more relevant than juiciness when it comes to consumption alone.

## 6 | CONCLUSION

Buffalo meat production presents a sustainable and efficient alternative to livestock farming, particularly in regions with less fertile soils where buffaloes thrive due to their adaptability, high fertility, and efficient weight gain. Its physicochemical and nutritional qualities, including lower saturated fat content, superior water retention, and tenderness, make it an attractive option for health-conscious consumers. Despite historical prejudices and challenges in commercialization, buffalo meat is gaining recognition as a nutritious and flavorful product. Addressing barriers such as market acceptance and processing limitations through research, innovation, and education will be essential for expanding its production and fully realizing its potential to contribute to global food security and sustainable livestock systems.

## REFERENCES

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. BeefREPORT: **Perfil da Pecuária no Brasil**. Brasília, 2019.

ACEBRÓN, Laurentino Bello; DOPICO, Domingo Calvo. The importance of intrinsic and extrinsic cues to expected and experienced quality: an empirical application for beef. **Food Quality And Preference**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 229-238, maio 2000.

ASSUMPÇÃO, J. C.; **Bufalando sério**. São Paulo: Liv Agropecuária, 1996.

BERNARDES, O. Bubalinocultura no Brasil e no mundo: perspectivas frente ao agonegócio. RUMINANT SYMPOSIUM, v. 1, 2010

BERTONI, et al. Similarities and Differences between River Buffaloes and Cattle: health, physiological, behavioral and productivity aspects. **Journal Of Buffalo Science**, [S.L.], v. 9, p. 92-109, 25 jun. 2020. Lifescience Global. <http://dx.doi.org/10.6000/1927-520x.2019.08.03.12>.

BELEW, J.B.; BROOKS, J.C.; MICKENA, D.R.; SAVELL, J.W. Warner-Bratzler shear evaluations of 40 bovine muscles. **Meat Science**, v. 64, 507-512, 2003.

BRESSAN, M. C.; PRADO, O. V.; PÉREZ, J. R. O.; LEMOS, A. L. S. C. E BONAGURIO, S. 2001. Effect of slaughter weight of Santa Inês and Bergamácia lambs on the physicochemical characteristics of the meat. **Food Science and Technology** 21:293-303.

BRUINSMA, J. The resource outlook to 2050. By how much do land, water and crop yields need to increase by 2050? Expert Meeting on How to Feed the World in 2050. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Economic and Social Development Department. 2009.

DABÉS, A. C. (2001). Properties of fresh meat. **Revista Nacional da Carne**, São Paulo, 25(288): 32-40.

FAO. Food and Agriculture Organization. Data Base 2006.

FOX JR, Jay B. Chemistry of meat pigments. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 14, n. 3, p. 207-210, 1966.

GARCIA-ARIAS, M. T.; PONTES, E. A.; GARCIA- LINHARES, M. C.; FERNANDEZ, M.C. G.; SANCHEZMUNIZ, F. J. Cooking-freezing-reheating (CFR) of sardine (*Sardina pilchardus*) fillets: effect of different cooking and reheating procedures on the proximate and fatty acid compositions. **Food Chemistry**, Great Britain, v. 83, n. 3, p. 349-356, 2003.

GAYA, L. G.; FERRAZ, J. B. S. Genetic and quantitative aspects of meat quality in chickens. **Ciência Rural**. v.36, n. 1, p. 349-356, Santa Maria, 2006.

GIRARD, J. P. Tecnología de la carne y los productos cárnicos. Zaragoza: Acribia, 1991. 300 p.

HUFF-LONERGAN, E.; LONERGAN, S.M. Mechanisms of waterholding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. **Meat Science**, Barking, England, v.71, n.1, p.194- 204, 2005.

HUNT, M. C. Meat Color measurements. 33rd Meat Conference of the American Meat Science Association, Manhattan, 1980. Proceedings... Meat quality measurement systems. Kansas State University: **American Meat Science association**, 1980. P. 1-21.

ISHIHARA, Y.M. MADRUGA, M.S. Indicators of tenderness in salted and dried meats: a review. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 34, n. 6, supplement 2, p. 3721-3738, 2013.

JORGE, A.M., ANDRIGHETTO, C., STRAZZA, M. R. B., CORREA, R. D. C., KASBURGO, D. G., PICCININ, A., & DOMINGUES, P. F. Correlações entre o California Mastitis Test e a Contagem de células somáticas do leite de búfalas Murrah. **Rev. Bras. Zootec.** v.34, n.6, p. 2039-2045, 2005.

JOSE, C. G., PETHICK, D. W., JACOB, R. H., GARDNER, G. E. (2009). CT scanning carcasses has no detrimental effect on the color stability of *M. longissimus dorsi* from beef and sheep. **Meat Science**, 81(1),183-187.

LAMBERTZ, C.; PANPRASERT, P.; HOLTZ, W.; MOORS, E.; JATURASITHA, S.; WICKE, M.; GAULY, M. Carcass characteristics and meat quality of swamp buffaloes (*Bubalus bubalis*) fattened at different feeding intensities. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, v. 27, n. 4, p. 551–560, 2014.

LEACH, R. C. Maximizing marketing opportunities for buffalo products: a report for the Rural Industries Research and Development Corporation. Publication n. 01/15, Barton, AUS: RIRDC, 2001. p. 17.

LISBOA, E. P. C.; DE OLIVEIRA, A. S.; VINHOLTE, B. P.; & JÚNIOR, R. N. C. C. Perfil dos consumidores de carne bovina e bubalina no município de Santarém. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 64527-64539, 2020.

LUCHIARI FILHO, A., MOURA, A. C. Current situation and trends of beef cattle in Brazil related to meat quality. In: **I International Symposium on Intensive Beef Cattle Production**. Proceedings... São Paulo, p. 42-44, 1997.

KOOHMARAIE, M.; SHACKELFORD, S. D.; WHEELER, T. L. et al. A muscular hypertrophy condition in lamb (callipyge): Characterization of effects on muscle growth and meat quality traits. **Journal of Animal Science**, v. 73, p. 3596-3607, 1995.

MONTE, A. L. S.; GONÇALVES, H. R. O.; VILLARROEL, A. B. S.; DAMACENO, M. N.; CAVALCANTE, A. B. D. Quality of goat and sheep meat: a review. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.8, n.3, p.11-17, 2012.

OLIVEIRA, A. L. Buffalo: production, carcass and meat quality. Some quantitative, qualitative and nutritional aspects to promote genetic improvement. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, Belo Horizonte, v.29, n.2, p.122-134, April/June 2005.

OLIVEIRA, B. P. D. Análise da conjuntura de mercado da bubalinocultura no Brasil e no estado do Pará. 2018.

OURIQUE, J.M.R.; NICOLAIEWSKY, S. Physicochemical and organoleptic characteristics and their relationship in the evaluation of pork quality. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.19, n.2, p.118-125, 1990.

PARDI, M. C.; SANTOS, I. F.; SOUZA, E. R.; PARDI, H. S. *Ciência, Higiene e Tecnologia da Carne*. Goiânia: Editora UFG, 2006, v.2.

PEARSON, A.M. (1994). *Muscular function and post-mortem changes*. 2nd ed. Zaragoza: Acribia, 273p.

PIRONDI, et al. Reproductive Characteristics of Buffaloes: a review. **Journal Of Agricultural Science**, [S.L.], v. 11, n. 13, p. 167, 15 ago. 2019. Canadian Center of Science and Education.

PINHEIRO, R. S. B.; JORGE, A. M.; MOURÃO, R. C.; POLIZEL NETO, A.; ANDRADE, E. N.; GOMES, H. F. B. Meat quality of confined lambs receiving different ratios of volume:concentrate in the diet. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v.29, n.2, p.407-411, 2009.

POTTER, N. N.; HOTCHKISS, J. H. *Ciência de los Alimentos*. 5. ed. Zaragoza: Acribia, 1995. 667 p.

RODAS-GONÇALES, A.; HUERTA-LEIDENZ, N.; JEREZ-TIMAURE, N.; MILLER, M.F. Establishing tenderness threshold of Venezuelan beef steaks using consumer and trained sensory panels. **Meat Science**, v.83, n.2, p. 218-223, 2009.

ROÇA, R.O. Tecnologia de carne e produtos derivados. Botucatu: Department of Agroindustrial Management and Technology, FCA, UNESP, 1997, 205p.

THANH, Vo Thi Kim; CHANG, Wang Shi. Differences in adaptation to tropical weather between buffaloes and cattle. **Italian Journal Of Animal Science**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 1340-1343, jan. 2007.

TSCHEUSCHNER, H. D. Fundamentos de tecnologia de los alimentos. Zaragoza: Acribia, 2001. 746 p.

VALE, W.G.; Perspectivas da bubalinocultura no Brasil e na América Latina. In: Simpósio Paulista de Bubalinocultura, 1, 1999, Jaboticabal, SP. Anais... Jaboticabal: UNESP/FCAV, 1999. p.1-26.

VAZ, F. N.; RESTLE, J.; BRONDANI, I. L.; PACHECO, P. S. Study of the carcass and meat of Mediterranean buffalo finished in confinement with different sources of roughage. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 393-404, April, 2003.

VIEIRA, T. R. L.; CUNHA, M. G. G; GARRUTI, D. S; et al. Sensory physical properties of meat from Santa Inês lambs finished on diets with different levels of whole cottonseed (*Gossypium hirsutum*). **Food Science and Technology. Campinas**, v.30, n.2, p.372-377, 2007.

WARRISS P.D. Meat science: an introductory text. CAB International, CABI Publishing, Wallingford, UK, p. 310, 2000.

WOLTERS DORF, W.; TROEGER, K. Mejoramiento de la capacidad de la carne PSE de cerdos mediante refrigeración extra rápida. *Fleischwirtschaft*, Español, n. 1, p. 29-37, 1990.

ZEOLA, N. M. B. L.; SILVA SOBRINHO, A. G.; GONZAGA NETO, S.; E SILVA, A. M.(2002). Influence of different concentrate levels on the meat quality of Morada Nova lambs. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, Lisbon, 97(544): 175- 180.

ZEOLA, N. M. B. L., SILVA SOBRINHO, A. G., SOUZA, H. B. A., LIMA, T. M. A. Quality of Sheep Meat Subjected to the Salting Process. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 24(3): 369-372, jul.-set. 2004.

# BRUSONE EM AZEVÉM NA FRONTEIRA OESTE DO RIO GRANDE DO SUL EM 2024

Data de submissão: 08/01/2025

Data de aceite: 05/03/2025

### Maria Fernanda Antunes da Cruz

Universidade Federal do Pampa, Campus Itaqui-RS  
<http://lattes.cnpq.br/5683901072996340>

### Franciele Roberta Munieweg

Universidade Federal do Pampa, Campus Itaqui-RS

### Alberto Gonçalves Soares Neto

Universidade Federal do Pampa, Campus Itaqui-RS

### Amauri Nelson Beutler

Universidade Federal do Pampa, Campus Itaqui-RS

**RESUMO:** O azevém anual é uma das principais espécies forrageiras utilizadas na região Sul do Brasil, dentre as doenças que afetam a produção dessa forrageira está a brusone. O objetivo deste trabalho foi avaliar a reação do genótipo de azevém BRS Ponteiro à infecção natural por *P. grisea* em condições de campo em Itaqui-RS. Para a caracterização da reação da doença foram avaliadas 60 folhas, coletadas do terço médio de plantas, com intensidade de sintomas representativos da área com o auxílio da escala de IRRI. A nota média da

reação do cultivar BRS Ponteiro foi 6,75, ou seja, uma reação de suscetibilidade, a maioria das amostras apresentou mais de 40% da área foliar com necrose e lesões esporulativas. Nas lesões verificou-se a presença de conidióforos e conídios piriformes, hialinos, com dois septos típicos do gênero *Pyricularia*. Conclui-se que BRS Ponteiro é suscetível à brusone na região de Itaqui, fronteira oeste do RS, no ano de 2024.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Pyricularia grisea*, azevém anual, infecção natural

## BRUSONE IN RYEGRASS ON THE WESTERN BORDER OF RIO GRANDE DO SUL IN 2024

**ABSTRACT:** Annual ryegrass is one of the main forage species used in the southern region of Brazil. Among the diseases that affect the production of this forage is blast. The objective of this study was to evaluate the reaction of the ryegrass genotype BRS Ponteiro to natural infection by *P. grisea* under field conditions in Itaqui-RS. To characterize the disease reaction, 60 leaves collected from the middle third of plants were evaluated, with intensity of symptoms representative of the area using the IRRI scale. The average reaction score of the



BRS Ponteiro cultivar was 6.75, that is, a susceptibility reaction. Most samples presented more than 40% of the leaf area with necrosis and sporulative lesions. The presence of hyaline, pyriform conidiophores and conidia with two septa typical of the genus *Pyricularia* was observed in the lesions. In conclusion, BRS Ponteiro is susceptible to blast in the Itaqui, western border of RS, in the year 2024.

**KEYWORDS:** *Pyricularia grisea*, annual ryegrass, nature infection

## INTRODUÇÃO

O azevém anual *Lolium multiflorum* Lam. é uma das principais espécies forrageiras utilizadas na região Sul do Brasil. Apresenta alto nível de palatabilidade e digestibilidade para ruminantes, além de resistência à geada, é de fácil rebrote e destaca-se entre as demais gramíneas pela abundante produção de massa, sendo usada para pastejo, feno ou silagem. É uma espécie comum em culturas de inverno e verão em áreas temperadas e subtropicais. Dentre as doenças que afetam a produção dessa forrageira está a brusone.

A doença foi identificada em azevém pela primeira vez no Rio Grande do Sul (RS) em 1994, safra de inverno caracterizada por chuvas frequentes e altas temperaturas (Medeiros *et al.*, 1996). Causada pelo fungo *Pyricularia grisea*, que possui habilidade em infectar e colonizar a parte aérea da planta, a doença nas folhas caracteriza-se pela presença de manchas ovais elípticas, com margens marrom e o centro gris. Já as espigas apresentam branqueamento total ou parcial, com esterilidade das flores e/ou chochamento de sementes. Desde o registro da primeira ocorrência de brusone em azevém, inúmeros são os trabalhos que relatam a preocupação da dispersão do patógeno através de sementes contaminadas, ou mesmo genótipos suscetíveis que poderiam servir de fonte de inóculo para outras culturas de inverno como trigo, aveia ou triticale. O objetivo deste trabalho foi avaliar a reação do genótipo de azevém BRS Ponteiro à infecção natural por *P. grisea* em condições de campo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Área Experimental do curso de Agronomia da Universidade Federal do Pampa, Campus Itaqui, Itaqui, RS. A semeadura do cultivar de azevém anual BRS Ponteiro ocorreu no mês de março de 2024, em uma área de 50 x 50 m. No mês de julho de 2024 foram observadas na área, plantas de azevém com sintomas de brusone. Para a caracterização da reação da doença foram avaliadas 60 folhas, coletadas do terço médio de plantas, com intensidade de sintomas representativos da área. Para as avaliações foi utilizada a escala proposta pelo IRRI (International Rice Research Institute, 1996), que atribui notas de 0 a 9 para reação à brusone (Figura 1). Na qual nota 0= ausência de sintomas; 1= pequenas manchas marrons pontuais; 2= lesões pequenas arredondadas a levemente alongadas, com centro acinzentado e margens amarronzadas,

frequente em folhas inferiores; 3= lesões similares a 2 em grande quantidade em folhas superiores; 4= lesões típicas de brusone, maiores de 3 mm em menos de 4% da folha; 5= lesões em cerca de 4 a 10% da área foliar; 6= lesões de 11 a 25% da área foliar; 7=lesões de 26 a 50% da área foliar; 8= lesões de 51 a 75 da área foliar, plantas já senescentes; 9= mais de 75% da área foliar afetada. Plantas com notas 0-1 são consideradas altamente resistentes/resistentes; 2-3: moderadamente resistentes; 4-5: moderadamente suscetíveis; 6-7: suscetíveis; 8-9: altamente suscetíveis. Para a confirmação do agente etiológico, folhas com lesões foram utilizadas para o preparo de uma câmara úmida, e posterior visualização das estruturas reprodutivas do fungo via técnicas de microscopia.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No exame das lesões verificou-se a presença de conidióforos e conídios piriformes, hialinos, com dois septos típicos do gênero *Pyricularia* (Figura 2). A nota média da reação do cultivar BRS Ponteiro foi 6,75. Ou seja, uma reação de suscetibilidade, a maioria das amostras apresentou mais de 40% da área foliar com necrose e lesões esporulativas. Epidemias de brusone na cultura do azevém foram registradas no RS no ano de 2003, desde então, a identificação de cultivares resistentes à doença e a qualidade fitossanitária das sementes têm se tornado o foco de trabalhos na área. Os dados do presente trabalho corroboram com Nunes e Mittelmann (2017), que verificaram maior suscetibilidade de BRS Ponteiro à brusone em testes com sete isolados de *Pyricularia*, em comparação à BRS Integração. Segundo os autores, a suscetibilidade do cultivar se deve à adaptabilidade do patógeno, uma vez que BRS Ponteiro é um dos principais genótipos semeados no RS desde o seu lançamento em 2003. No ano de 2019, na mesma área experimental no Campus Itaqui foi registrada a ocorrência de brusone em trigo (BRS Tarumã), aveia (IP Esmeralda), e azevém perene e da cultivar Barjumbo (Cruz *et al.*, 2021), ou seja, a ocorrência de brusone em plantas voluntárias ou cultivadas de azevém se faz recorrente ao longo das safras na área de estudo. Este fato reforça a atenção para a importância das plantas voluntárias e forrageiras suscetíveis à brusone, que podem servir como fonte de inóculo do patógeno *Pyricularia* principalmente para culturas de inverno que não apresentam resistência duradoura à doença. Além, da possibilidade de recombinação de isolados de diferentes hospedeiros que são semeados na área. Ou ainda, da seleção de patótipos mais agressivos, e/ ou agressivos a um número maior de hospedeiros.

## CONCLUSÃO

Conclui-se que BRS Ponteiro é suscetível à brusone na região de Itaqui, fronteira oeste do RS, no ano de 2024.

## REFERÊNCIAS

International Rice Research Institute. **Standard Evaluation System for Rice**, 4th ed. Manila, Rice Knowledge Bank. 52p.1996.

CRUZ, M. F.A. et al. Occurrence of leaf blast on white oats, Italian ryegrass and wheat in Southern Brazil. **Summa Phytopathologica**, v.47, n.1, 2021.

Medeiros, CA; Reis, E; Souza, PE. Ocorrência de *Pyricularia grisea* e de *Claviceps* sp. em azevém (*Lolium multiflorum* L.) no Rio Grande do Sul. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 20, n. 1, p. 119-121. 1996.

Nunes, CDM; Mittelmann, A. **Avaliação da reação de resistência dos genótipos de azevém anual (*Lolium multiflorum*) à brusone (*Pyricularia grisea*)**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017, 6p. (Comunicado técnico 350)

## FIGURAS:

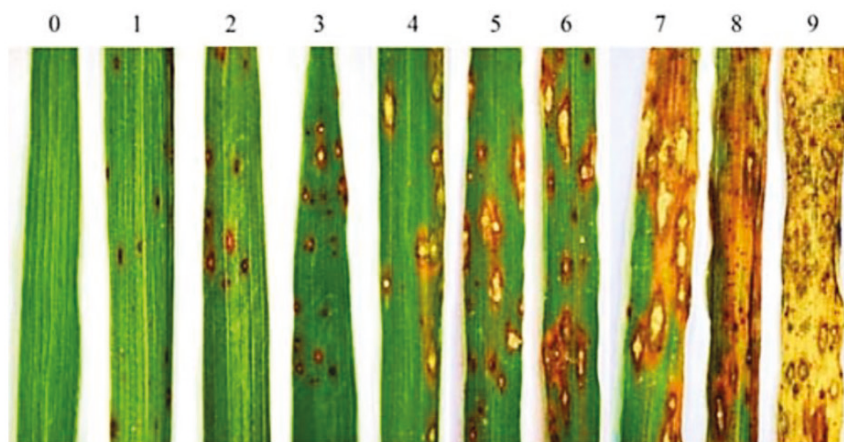
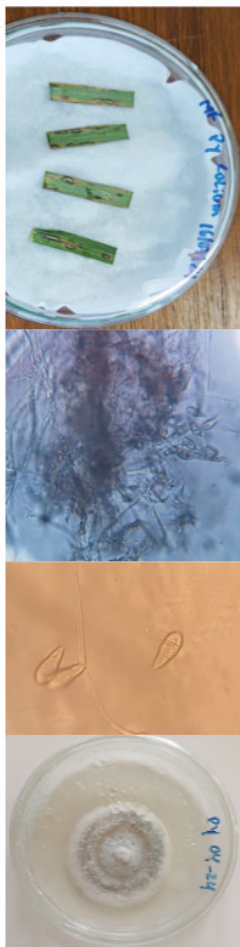


Figura 1. Escala de severidade da brusone IRRI (1996).



**FIGURA 2:** Câmara úmida de folhas de azevém com sintomas de brusone, Conídeos de *P.oryzae* , placa de Petri com colônia do fungo.

# CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE FRUTOS E SEMENTES, E AVALIAÇÃO DA EMERGÊNCIA EM MATRIZES DE RAMBUTEIRA

Data de submissão: 08/01/2025

Data de aceite: 05/03/2025

**Walnice Maria Oliveira do Nascimento**

**Lucas Rozendo de Lima Silva**

**Caio Xavier dos Santos**

**Ester Costa Franco**

**RESUMO** - O rambutan (*Nephelium lappaceum* L. - Sapindaceae), espécie frutífera originária do sudeste asiático, com ampla adaptação em clima tropical úmido, apresenta frutos tipo drupa com polpa esbranquiçada envolvendo as sementes. No Brasil é encontrado em cultivos comerciais nos estados do Pará e da Bahia. A diversidade genética existente entre as matrizes pode ser avaliada precocemente por meio da qualidade fisiológica das sementes, fornecendo informações para produção de mudas em escala comercial. O presente trabalho teve como objetivo realizar a caracterização morfológica de frutos, sementes e vigor de sementes em sete matrizes de rambuteira (*Nephelium lappaceum*). Foram avaliados frutos de matrizes de rambuteira estabelecidas no campo de fruteiras da Embrapa Amazônia Oriental, com as seguintes os seguintes nomes fantasias: Amarela; R-162; EAO-1;

EAO-2; EAO-3; EAO-4; e EAO-5. Foram colhidos 50 frutos por matriz, em completo estágio de maturação. Logo após a colheita foi feita a caracterização morfométrica dos frutos e das sementes. Em seguida, o teste de germinação e avaliação do vigor das plântulas. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado. Com base nos resultados obtidos para a caracterização morfológica, pode-se concluir que as matrizes EAO-1 e Amarela apresentam frutos com características desejáveis, com as maiores massa do fruto e rendimento de polpa. Não houve diferença significativa para a emergência das plântulas entre as matrizes avaliadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Plântula, Tempo médio, *Nephelium lappaceum*, Vigor de Sementes.

## MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF FRUITS AND SEEDS, AND EVALUATION OF EMERGENCE IN RAMBUTY PLANTS

**ABSTRACT:** The Rambutan (*Nephelium lappaceum* L. - Sapindaceae), a fruit species originally from Southeast Asia, with wide adaptation in humid tropical climate, has drupe type fruits with whitish pulp surrounding the seeds. In Brazil it is found in

commercial crops in the states of Pará and Bahia. The genetic diversity between the matrices can be evaluated early through the physiological quality of the seeds, providing information for the production of seedlings on a commercial scale. The present work has aimed to evaluate the morphological characterization of fruits and germination percentage of seven matrices of rambuteira (*Nephelium lappaceum*) seeds. Fifty fruits were harvested per plant, in complete maturation stage, being evaluated fruits of seven matrices established in the fruit field of Embrapa Amazônia Oriental, with the following research denominations. Yellow; R-162; EAO-1; EAO-2; EAO-3; EAO-4; and EAO-5. After harvesting the fruits, the physical characterization of the fruits was performed. Then, the germination test, emergence speed and seedling dry mass. The experiment was carried out in a completely randomized design. Based on the results obtained in this work for the morphological characterization, it can be concluded that the EAO-1 and Yellow matrices present fruits with desirable characteristics. There was no significant difference for the germination percentage in the seven rambutan (*Nephelium lappaceum*) matrices evaluated in the experiment.

**KEYWORDS:** Seedling, Average time, *Nephelium lappaceum*, Seeds vigour.

## INTRODUÇÃO

A rambuteira (*Nephelium lappaceum* L.) é espécie tropical pertencente à família Sapindaceae, que possui aproximadamente 1.400-2.000 espécies. A planta é nativa de várias regiões tropicais do Sudeste Asiático, como Malásia e Indonésia, mas seu cultivo comercial se expandiu até a Austrália, Índia, Madagascar, Filipinas, Cingapura, África do Sul, Síria, Tailândia, Vietnã e Congo (ARIAS-CRUZ *et al.*, 2016). O fruto é uma drupa globosa ou oval, com pericarpo vermelho ou amarelo, com longos tricomas, têm um arilo comestível branco translúcido, adocicado, succulento e rico em vitamina C e fenóis totais (AVENDAÑO-ARRAZATE *et al.*, 2018).

O consumo de seus frutos é preferencialmente na forma de fruta fresca, tendo como atrativo sua cor brilhante da polpa, a aparência marcante do fruto. Dessa forma, é uma frutífera com elevado potencial de mercado que se enquadra perfeitamente nas tendências da fruticultura mundial que está em constante transformação, inovando por meio de opções com novas espécies que atendam tanto às necessidades de mercado quanto do consumidor (GARCIA-GURRÍA *et al.*, 2013).

No Brasil, o fruto do rambutan foi introduzido nos anos de 1970, no Estado do Pará, o qual somente despertou a atenção de produtores paraenses depois da introdução do clone malaio R-162, no ano de 2000. Posteriormente algumas introduções foram feitas via sementes nos estados da Bahia e S. Paulo, onde também é cultivado, (SACRAMENTO *et al.*, 2009). No Brasil, o maior estado produtor é a Bahia (região de Itabuna/Ilhéus), e o maior mercado consumidor é São Paulo. O aumento da demanda tem levado alguns produtores paulistas a instalar a cultura por mudas originadas de sementes, com alta variabilidade e sem informações sobre as características de frutos.

Para a rambuteira os métodos de propagação possíveis e utilizados, são: sementes, enxertia e alporquia. A propagação por sementes é relativamente fácil. A germinação da semente de rambutan é rápida e uniforme, iniciando-se a emergência das plântulas nove dias após a semeadura e prolongando-se por até 30 dias, ocasião em que a porcentagem de sementes germinadas atinge valor próximo a 100%. As plantas propagadas por sementes entram em produção cerca de 8 a 10 anos após o plantio, entretanto, a formação de mudas de rambuteira por meio de sementes resulta em diversos inconvenientes: elevada variabilidade genética, longo período vegetativo e plantas masculinas ou hermafroditas (SACRAMENTO; ANDRADE, 2014). Por outro lado, a propagação vegetativa por enxertia tem sido uma técnica bastante utilizada na espécie, garantindo a formação de pomares com populações de plantas homogêneas e a técnica de alporquia, também conhecida como mergulhia aérea, consiste na indução do enraizamento de ramos por meio de um anelamento envolvido com substrato. Após as raízes serem formadas na parte apical do anelamento, aquele ramo pode ser separado da planta matriz (HARTMANN *et al.*, 2010).

Diversas pesquisas foram desenvolvidas com a caracterização de frutos de rambutan. Andrade *et al.* (2008) realizou a caracterização morfológica e química em frutos de rambutan colhidos no pomar da UNESP-Jaboticabal, SP e identificou duas matrizes com características desejáveis. No Pará, resultados semelhantes, em termos de características físicas foram obtidos com frutos oriundos de cinco plantas matrizes (SACRAMENTO *et al.*, 2009). Ferreira *et al.* (2017) realizaram a caracterização físico-química dos frutos da matriz R-162 e encontraram 4,08 pH, 3,03% de açúcares redutores, 17,81% (°Brix) de sólidos solúveis totais e 3,08% de proteínas.

Visando a obtenção de maiores informações sobre a variabilidade genética entre as diferentes matrizes, Andrade *et al.* (2012) fez uso de marcadores moleculares para verificar a divergência genética entre progênies de rambuteira e verificou a eficiência dos marcadores moleculares na distinção de materiais e na obtenção de distância genética.

O presente trabalho teve como objetivo realizar a caracterização morfológica de frutos e sementes e avaliação do vigor em plântulas de sete matrizes de rambuteira (*Nephelium lappaceum*).

## MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliação da caracterização morfológica dos frutos e sementes foram colhidos frutos em completo estágio de maturação de plantas com quinze anos estabelecidas na forma de clones, no Campo de fruteiras da Embrapa Amazônia Oriental, em Belém, PA. Foram caracterizadas sete matrizes, com os seguintes nomes fantasias. EAO (abreviatura de Embrapa Amazônia Oriental): sendo elas: amarelo (essa matriz apresenta frutos com o epicarpo amarelo), R-162, EAO-1, EAO-2, EAO-3, EAO-4, EAO- 5 (Figuras 1- 4).



**Figura 1.** Frutos de rambutan das matrizes, Amarela e R-162.

Fonte: Walnice Nascimento.



**Figura 2.** Cacho com frutos de rambutan das matrizes, EAO-1 e EAO-2.

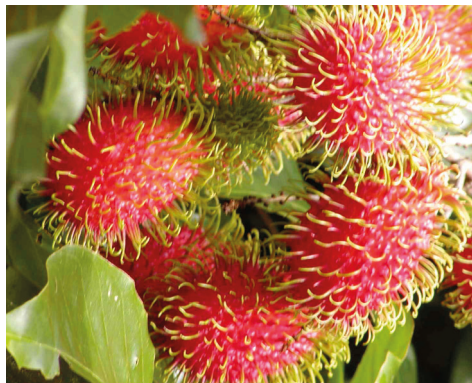
Fonte: Walnice Nascimento.



**Figura 3.** Frutos de rambutan das matrizes, EAO-3 e EAO-4.

Fonte: Walnice Nascimento.



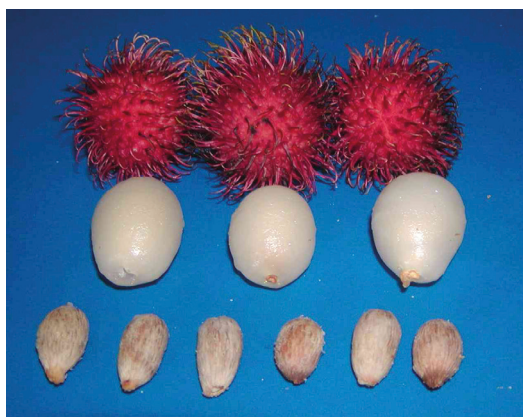


**Figura 4.** Fruto de rambutan da matriz EAO-5.

Fonte: Walnice Nascimento.

## 1. Caracterização morfométrica de frutos e sementes

Após a colheita, uma amostra contendo 50 frutos de cada matriz foi usada para a determinação das características morfológicas de frutos e sementes (Figura 5). Que constou das seguintes avaliações: massa (MF), comprimento (CF), diâmetro do fruto (DF). Para a caracterização das sementes foi determinado: a massa (MS), o comprimento (CS), o diâmetro (DS) e a espessura da semente (ES). As medidas foram determinadas com uso de paquímetro digital com precisão centesimal. A massa do fruto e da semente foi obtida com auxílio de balança digital. Após a obtenção das massas dos frutos, casca e sementes foi feita a determinação da porcentagem de polpa, casca e de semente. Os dados obtidos com a caracterização dos frutos foram analisados por meio de estatística simples, envolvendo as médias, máximo e mínimo e desvio-padrão.



**Figura 5.** Detalhe do fruto e sementes de rambutan da matriz R-162.

Fonte: Walnice Nascimento.

## 2. Determinação da porcentagem de germinação

Teste de germinação – O teste padrão de germinação foi feito em bandejas de plástico utilizando como substrato, de areia umedecida com 70% de sua capacidade de retenção de água, empregando 50 sementes por repetição, semeadas a 1 cm de profundidade, em ambiente protegido, sem o controle de temperatura e a umidade relativa do ar (Figura 6). Os resultados computados aos 30 dias após a semeadura foram expressos em porcentagem de emergência das plântulas normais.



**Figura 6.** Bandeja com plântulas de rambutan após a emergência.

Fonte: Walnice nascimento.

Na Figura 7 pode ser observado o desenvolvimento de plântulas de rambuteira em vários estágios após a germinação.



**Figura 7.** Plântulas da rambuteira em vários estádios de desenvolvimento.

Fonte: Walnice Nascimento.

### 3. Velocidade de emergência das plântulas

a) Índice de velocidade de emergência de plântulas – o teste de vigor foi obtido concomitantemente ao teste de germinação; para tanto, foram consideradas contagens, diárias durante 30 dias, do número de plântulas emersas. O cálculo do índice de velocidade de emergência de plântulas (IVE) considerou a equação (2) proposta por Maguire (1962).

$$IVE = \frac{E_1}{N_1} + \frac{E_2}{N_2} + \dots + \frac{E_n}{N_n}, \text{ onde:}$$

IVE = índice de velocidade de emergência de plântula.

$E_1, E_2, \dots, E_n$  = número de plântulas emersas nas primeiras, segunda... e última contagens.

$N_1, N_2, \dots, N_n$  = número de dias da semeadura à primeira, à segunda... e à última contagens.

A determinação da massa seca da plântula foi obtida separadamente, com a determinação da massa de matéria seca da parte aérea (MSPA) - as plântulas normais após a separação da semente e da raiz primária foram acondicionadas em saco de papel, pesadas e colocadas em estufa a  $70^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  por 48 horas e pesadas novamente após a secagem.

#### c) Massa da matéria seca das plântulas

Foi obtida a massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz primária (MSRP). As plântulas normais após a separação do restante da semente foi dividida em parte aérea e raiz, acondicionadas em saco de papel tipo Kraft e colocadas em estufa com circulação de ar, a  $70^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  por 48 horas, previamente às pesagens.

A massa de matéria seca (g/plântula) foi obtida por meio do quociente entre o somatório de massa de plântulas normais e o número de sementes componentes da amostra.

Foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições, considerando-se sete tratamentos (matrizes). Os dados em porcentagem foram transformados em arco seno da raiz quadrada de  $x+a/100$  e os demais em raiz quadrada de  $x+a$ . As médias foram comparadas pelo teste de Tukey (5% de probabilidade).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1. Caracterização morfológica dos frutos

A média da massa de frutos avaliada nas sete matrizes de rambuteira foi de 33,24 gramas, esse resultado ficou próximo ao encontrado no estudo realizado por Andrade *et al.* (2008), com 18 plantas de rambuteira, o qual encontrou frutos menores, com massa média de 30,49 gramas (Tabela 1).

Com relação ao rendimento da polpa, a matriz Amarela e a EAO-5 obtiveram frutos com os maiores rendimentos de polpa, com 63,00% e 49,63%, respectivamente. Frutos menores (21,85 g), com menor porcentagem de polpa (33,11%) e maior porcentagem de semente (7,94%), foram observados na matriz EAO-4 (Tabelas 2). Em experimento desenvolvido por Andrade *et al.* (2008) foi feito a caracterização de frutos em duas matrizes de rambuteira, e verificaram que as matrizes produziram frutos com porcentagem de polpa acima de 45%. Sendo as matrizes A51 e B03, com 45,98% e 50,83% de polpa, respectivamente.

Apesar do rendimento de polpa não ser citado como item de qualidade em frutos para exportação, a aderência do arilo à semente é vista como aspecto negativo em alguns países (SACRAMENTO; ANDRADE, 2014). Nesse aspecto, algumas matrizes apresentaram arilo aderido à semente, enquanto as demais apresentaram arilo parcialmente aderido ou solto.

Geralmente o consumidor visualiza que em frutos maiores terá maior porcentagem de polpa, porém, a matriz Amarela com frutos pesando apenas 27,26 g, apresentou o maior rendimento de polpa (63%), enquanto, a matriz EAO-1 com frutos mais pesados (43,73 g) apresentou (47,28%) de polpa (Tabelas 2). O que representa que para o mercado os frutos *in natura*, os frutos da matriz amarelo são mais interessantes que os EAO-1, mesmo que esses tenham os maiores valores de massa.

Matriz	MF (g)	CF (cm)	DF (cm)	MS (g)	CS (cm)	DS (cm)	ES (cm)
Amarelo	27,26	3,85	3,73	1,31	1,63	1,16	0,91
R – 162	35,58	4,69	4,04	2,11	2,11	1,42	1,08
EAO - 1	43,73	6,27	4,14	2,44	3,31	0,91	1,36
EAO – 2	25,65	4,69	3,59	1,28	2,14	1,20	0,80
EAO – 3	24,85	4,25	3,66	1,50	2,10	1,38	0,88
EAO – 4	21,85	4,38	3,36	1,30	2,08	1,19	0,83
EAO – 5	26,79	4,38	3,51	1,74	2,29	1,28	0,93
Média	33,24	4,64	3,72	1,81	2,24	1,22	0,97
Máximo	43,73	6,27	4,14	2,44	3,31	1,42	1,36
Mínimo	21,85	3,81	3,51	1,30	1,63	0,91	0,80
Desvio Padrão	7,60	0,77	0,28	0,45	0,52	0,17	0,19

**Tabela 1.** Massa (PF), comprimento (CF) e diâmetro do fruto (DF); e massa (MS), comprimento (CS), diâmetro (DS) e espessura da semente (ES), em matrizes de rambuteira. Belém, 2023.

A matriz EAO-1 apresentou frutos maiores em relação às demais, mais pesados, com massa de 43,73 g e mais compridos, com 6,27 cm (Figura 8). Resultados divergentes dos encontrado por Sacramento *et al.* (2009), quando caracterizaram frutos de quatro dessas matrizes e verificaram que na safra avaliada, a matriz EAO-1 apresentou frutos um pouco menores, com massa de 34,8g e 5,7cm de comprimento.



**Figura 8.** Frutos da matriz EAO-1.

Fonte: Walnice Nascimento.

Matriz	Polpa (%)	Semente (%)	Casca (%)
Amarelo	63,00	4,00	33,00
R - 162	43,13	5,88	50,98
EAO - 1	47,28	5,53	47,18
EAO - 2	35,20	4,80	60,00
EAO - 3	39,46	6,28	54,25
EAO - 4	33,11	7,94	58,94
EAO - 5	49,63	6,25	44,12
Máximo	63,00	7,94	60,00
Mínimo	33,11	4,00	33,00

**Tabela 2.** Rendimento de polpa, casca e semente em frutos de matrizes de rambuteira. Belém, 2023.

## 2. Germinação e vigor das sementes

Com os dados apresentados na Tabela 3, podemos verificar que as sementes das sete matrizes de rambuteira não apresentaram valores divergentes significativamente para o teste de germinação. Não houve diferença significativa para a porcentagem de emergência nas sete matrizes de rambuteira avaliadas no experimento. Todas as sementes testadas no experimento apresentaram germinação acima de 96%.

Matriz	E (%)	TM (dia)	MSPA (g)	MSRP (g)
Amarelo	100,00 a	11,50 a	6,17 b	1,54 c
R-162	98,75 a	13,75 bc	8,64 ab	3,16 a
EAO-1	100,00 a	13,00 bc	9,78 a	3,09 ab
EAO-2	100,00 a	15,25 cd	6,90 ab	1,83 bc
EAO-3	100,00 a	15,75 d	5,23 b	1,45 c
EAO-4	96,25 a	14,00 dbc	5,76 b	1,85 bc
EAO-5	98,75 a	14,00 dbc	8,14 ab	2,60 abc

\* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 3.** Porcentagem de emergência (%E) e tempo médio (TM), massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz primária (MSRP), em plântulas de matrizes de rambuteira. Belém, 2023.

Em relação ao vigor das sementes, a matriz Amarela diferiu significativamente das demais, com maior velocidade de emergência das plântulas, com 100% das plântulas emersas aos 11,5 dias após a semeadura. Relacionando a massa seca da parte aérea (MSPA) com a massa seca da raiz primária (MSRP) pode-se verificar que as matrizes EAO-1 e R-162 apresentaram plântulas mais vigorosas com valores de soma da massa seca de 12,87g e 11,80g, respectivamente (Tabela 3). O que para a produção de mudas para uma posterior enxertia, se tornam matrizes mais interessantes, visto que, plântulas mais vigorosas geram melhores mudas e podendo ter influência sobre a porcentagem de da enxertia.

## CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos no experimento, pode-se concluir que as matrizes EAO-1 e Amarela apresentam melhor conjunto de características desejáveis, para a massa do fruto e porcentagem de polpa, sendo preferida pelo mercado consumidor, portanto, promissores aos produtores na instalação de novos plantios da cultura.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, R.A. de; LEMOS, E.G. de M.; MARTINS, A.B.G.; PAULA, R.C. de; PITTA JUNIOR, J. L. **Caracterização morfológica e química de frutos de rambutan**. Revista Brasileira de Fruticultura. Jaboticabal, v. 30, n.4, p. 958-963, 2008.

ANDRADE, R.A. de; WICKERT, E.; MARTINS, A.B.G.; LEMOS, E.G. de M. **Diversidade genética entre progênies e matrizes de rambutan**. Revista Brasileira de Fruticultura. Jaboticabal, v. 34, n.2, p. 630-634, 2012.

ARIAS-CRUZ, M.E., VELÁSQUEZ-RAMÍREZ, H.A., MATEUS-CAGUA, D., CHAPARRO-ZAMBRANO, H.N., ORDUZ-RODRÍGUEZ, J.O. (2016). El rambután (*Nephelium lappaceum*), frutal asiático con potencial para Colombia: avances de la investigación en el piedemonte del Meta. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, 10(2), 262-272. doi: 10.17584/rcch.2016v10i2.5761

AVENDAÑO-ARRAZATE, C.H., MORENO-PÉREZ, E. DEL C., MARTÍNEZ-DAMIÁN, M.T., CRUZ-ÁLVAREZ, O., VARGAS-MADRÍZ, H. Postharvest quality and behavior of rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) fruits due to the effects of agronomic practices. **Revista Chapingo**. Serie horticultura, v.24, n.1, 13-26. 2018. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.08.025>

FERREIRA, S.R.D.; FERREIRA, Q.M.; NASCIMENTO, W.M.O. do; SILVA, S.A.; MÜLLER, S.R.C. Caracterização físico-química de rambutã (*Nephelium lappaceum* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA., 2017. Gramado, RS.

GARCÍA-GURRÍA, L.; SALINAS-HENÁNDEZ, R.M.; ULÍN-MONTEJO, F.D.; PETIT-JIMÉNEZ, R.; BÁEZSAÑUDO, J.; MERCADO-RUIZ, G.; ROBLES, J.; MANUEL, J.; PÉREZ-BASURTO, E. **Rev. Technol. Postcosecha**. 14(2), 101–108 (2013).

HARTMANN, H.T.; KESTER, D.E.; DAVIES JR.; F.T. AND GENEVE, R.L. (2010) **Plant Propagation: Principles and Practices**. 8th Edition, Prentice-Hall, New Jersey, 915 p.

MAGUIRE, J.D. **Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour**. Crop Science, Madison, v.2, n.2, p.176-177, 1962.

SACRAMENTO, C.K. do; ANDRADE, R.A. **Cultivo do rambotã**. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 36, n. 1, p. 79-85, 2014.

SACRAMENTO, C.K; LUNA, J.V.; CARVALHO, J.E.de; MÜLLER, C.H.; NASCIMENTO, W.M.O. do. Rambotã. cap. 18, p. 404-421. In: E. SEREJO, J.A. dos S.; DANTAS, J.L.L.; SAMPAIO, C.V.; COELHO, Y.S. **Fruticultura tropical: espécies regionais e exóticas**. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2009. 509p.

## ESTRATEGIAS PARA LA GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN EN LAS UNIVERSIDADES

*Data de submissão: 08/02/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Rosa Elsa Pérez Peña**

Profesora de cátedra, Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación GAMMA  
<https://orcid.org/0000-0003-2620-6173>

### **Holmes Rodríguez Espinosa**

Profesor Titular, Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación GAMMA  
<https://orcid.org/0000-0002-0822-0898>

### **Adriana Arango Correa**

Profesora de cátedra, Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación GAMMA  
<https://orcid.org/0000-0003-1136-3678>

**RESUMEN:** El fortalecimiento de la gestión de la innovación universitaria requiere la consolidación de redes de conocimiento, para lo cual es indispensable implementar tres estrategias clave: fortalecer capacidades en gestión de la innovación, conformar un comité de Innovación e implementar una plataforma para su gestión. Este estudio adoptó un enfoque cualitativo basado en el análisis de caso, utilizando entrevistas semiestructuradas y la matriz de Rovere para evaluar los niveles de relación

entre grupos de investigación y conocer sus percepciones sobre el aporte de la facultad a la innovación y explorar estrategias para mejorar su impacto. Se encontró que los niveles de relación predominantes entre los grupos son “reconoce” y “conoce”, indicando un enfoque de innovación centrado en la obtención de productos con vínculos externos poco sostenibles. Se concluye que la FCA debe promover interacciones más profundas para fortalecer la cooperación y la asociación, favoreciendo una cultura de innovación colaborativa. De este modo, se espera potenciar la generación de valor en los sistemas productivos agropecuarios mediante mecanismos de apoyo e integración con otros actores del ecosistema de innovación.

**PALABRA CLAVE:** activos de conocimiento, gestión del conocimiento, innovación colaborativa, instituciones de educación superior, redes de colaboración.

## 1 | INTRODUCCIÓN

El Plan de Desarrollo Institucional 2017-2027 “Una Universidad innovadora para la transformación de los territorios” y el propósito de la Facultad de Ciencias Agrarias expuesto en el Plan de Acción



2024- 2027 de contribuir al desarrollo socioeconómico de la sociedad por medio de la generación de conocimiento científico y tecnológico a través del trabajo colaborativo de los grupos de investigación, los servicios de extensión y la docencia, pretende la consolidación de redes de gestión del conocimiento que faciliten la identificación, sistematización y difusión de las innovaciones producidas al interior de la facultad, como una medida para aportar a la construcción de paz en los territorios.

Para ello se plantean como herramientas básicas, el fortalecimiento de las capacidades y habilidades para la gestión de la innovación, la conformación de un comité de innovación y la implementación de una plataforma para la gestión de la innovación. Adicionalmente se plantea que frente a la política en construcción de la gestión del conocimiento que propone la UDEA, base para la innovación, el sistema de gestión de la Facultad de Ciencias Agrarias funcionaría más como un subsistema de gestión de la innovación el cual retroalimenta el Sistema de innovación de la Universidad.

En consecuencia, el objetivo de este estudio es proponer una estrategia de fomento a la cultura de la innovación en la comunidad académica que facilite el proceso de gestión de la innovación, de tal manera que las prácticas y las actitudes hacia la generación de ideas y la gestión del conocimiento de manera colaborativa, y su transformación en proyectos agreguen valor en los sistemas productivos agropecuarios, a través de la creación de mecanismos de apoyo y el fortalecimiento de capacidades.

## **2 | METODOLOGÍA**

Se utilizó un enfoque cualitativo a partir del análisis de caso, mediante entrevista semiestructurada y la aplicación de la matriz de Rovere (1999), que permite identificar los niveles de relación para trabajar en redes. Desde una mirada interna se busca que el fenómeno de la innovación sea considerado un proceso continuo, dinámico y co-creativo y no un resultado final, facilitando el desarrollo de tejido social entre los grupos de investigación de la facultad, así como con otros actores relacionados con los procesos de innovación que se desarrollan. Como actores clave de este proceso fueron identificados los 9 Grupos de Investigación (GI) que trabajan en la FCA y 3 semilleros de investigación. De estos 7 GI aceptaron participar contestando la entrevista y diligenciando la matriz y 2 semilleros. Además, se consultaron fuentes secundarias con el objeto de dar soporte teórico a la temática de la innovación como proceso y cómo se pueden establecer estrategias desde esta visión para su gestión.

Se utilizaron como variables: a) aporte de la facultad a la innovación del departamento, la región o el país, b) fuentes principales de innovación en la facultad, c) fuentes para crear valor agregado a la investigación universitaria, d) potencial de agregación de valor social a los servicios de la facultad, e) factor diferencial de los procesos innovativos de la facultad.

La información fue analizada por medio de análisis de contenido en profundidad, con el objeto de identificar las categorías emergentes, que permiten visualizar las percepciones de los integrantes de los grupos y semilleros de investigación en torno a la gestión de la innovación en la Facultad de Ciencias Agrarias de la UdeA.

### 3 | RESULTADOS

#### 3.1 Relacionamiento de los grupos de investigación y semilleros

Se encontró que los niveles de relación con mayor número de vínculos entre grupos de investigación y con otros actores son los de reconoce y conoce, lo que muestra que su enfoque de innovación es operacional, orientado a la obtención del producto, con nexos externos no duraderos (Tabla 1).

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8	Grupo 9	Semillero 1	Semillero 2	Semillero 3
Grupo 1		asocia	coopera	reconoce	reconoce		reconoce	conoce		conoce	asocia	coopera
Grupo 2	Asocia		coopera	reconoce	conoce		reconoce	conoce		0	conoce	reconoce
Grupo 3	Coopera	asocia		conoce	coopera		reconoce	conoce		conoce	conoce	reconoce
Grupo 4	Coopera	reconoce	asocia		colabora		conoce	conoce		asocia	conoce	coopera
Grupo 5	Conoce	colabora	colabora	conoce			reconoce	colabora		0	reconoce	colabora
Grupo 6	Conoce	colabora	0	conoce	colabora		conoce	conoce		0	reconoce	coopera
Grupo 7	Reconoce	reconoce	0	conoce	conoce			conoce		0	0	asocia
Grupo 8	Reconoce	reconoce	0	reconoce	reconoce		reconoce			0	0	reconoce
Grupo 9	Reconoce	reconoce	0	reconoce	reconoce		reconoce	reconoce		0	0	reconoce
Semillero 1	Reconoce	colabora	0	reconoce	conoce		reconoce	reconoce		reconoce	0	
Semillero 2	Reconoce	reconoce	0	asocia	reconoce		0	reconoce			0	
Semillero 3	Asocia	colabora	0	conoce	conoce		0	reconoce		0		
Centro de Extensión FCA	Coopera	asocia	asocia	reconoce	colabora		conoce	conoce		conoce	asocia	conoce
Facultad de Ciencias Económicas	Colabora	reconoce	colabora	reconoce	reconoce		0	conoce		reconoce	conoce	reconoce
Facultad de Ciencias Sociales y Humanas	Colabora	reconoce	0	reconoce	colabora		0	conoce		reconoce	reconoce	reconoce
Facultad de Ingeniería	Coopera	asocia	0	reconoce	reconoce		0	coopera		reconoce	reconoce	reconoce

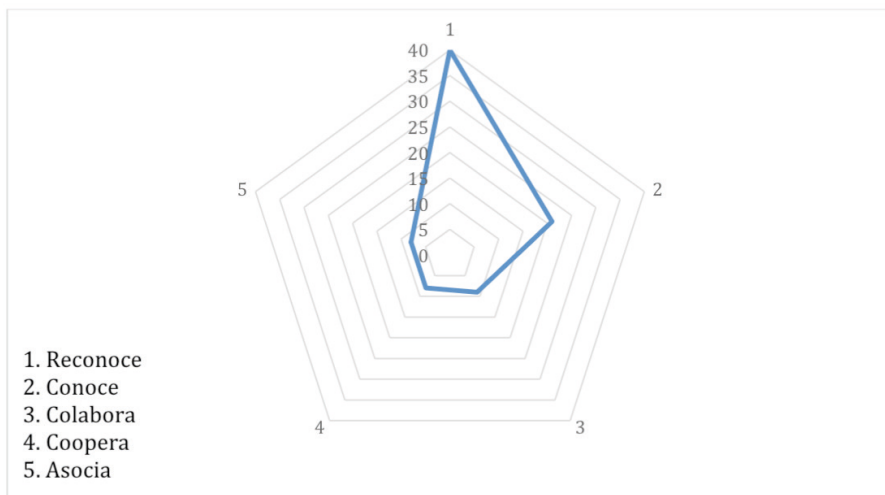
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8	Grupo 9	Semillero 1	Semillero 2	Semillero 3
Facultad de Farmacéuticas y Alimentarias	Colabora	colabora	coopera	reconoce	colabora		0	conoce		reconoce	reconoce	reconoce
Facultad de Comunicacione	Conoce	reconoce	0	reconoce	reconoce		0	conoce		reconoce	reconoce	reconoce
Facultad de Derecho y Ciencias Políticas	Conoce	reconoce	0	reconoce	reconoce		0	conoce		reconoce	conoce	reconoce
Facultad de Educación	Conoce	reconoce	0	conoce	reconoce		0	conoce		reconoce	reconoce	reconoce
Facultad de Salud Pública	Conoce	asocia	reconoce	reconoce	conoce		0	conoce		reconoce	reconoce	reconoce
Escuela de Nutrición y Dietética	Coopera	colabora	0	reconoce	reconoce		0	colabora		reconoce	conoce	reconoce
Instituto de Estudios Regionales	Conoce	conoce	0	reconoce	reconoce		0	conoce		reconoce	reconoce	reconoce
Instituto Universitario de Educación Física y Deporte	Conoce	conoce	0	reconoce	conoce		0	conoce		reconoce	conoce	reconoce
Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI)	Conoce	reconoce	0	reconoce	reconoce		0	reconoce		0	0	reconoce
Área de Fomento - Unidad de Innovación UDEA	Conoce	conoce	0	0	reconoce		0	conoce		0	0	conoce
Área de Innovación Social - Unidad de Innovación UDEA	Conoce	asocia	0	reconoce	reconoce		0	reconoce		0	0	conoce
Área de Emprendimiento - Unidad de Innovación UDEA	Conoce	conoce	0	reconoce	reconoce		0	colabora		0	0	colabora
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia	Asocia	conoce	coopera	reconoce	reconoce		reconoce	colabora		conoce	colabora	reconoce
Municipios	Coopera	asocia	0	colabora	colabora		0	colabora		conoce	conoce	reconoce
Fedegan	Coopera	reconoce	coopera	reconoce	reconoce		0	conoce		conoce	reconoce	reconoce
Fenavi	Asocia	colabora	0	reconoce	reconoce		0	conoce		conoce	conoce	reconoce
PorkColombia	Colabora	colabora	0	reconoce	reconoce		coopera	conoce		conoce	conoce	reconoce
Anco	Reconoce	reconoce	0	reconoce	reconoce		0	reconoce		0	0	0
Colanta	Asocia	asocia	0	coopera	reconoce		0	colabora		conoce	colabora	reconoce

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8	Grupo 9	Semillero 1	Semillero 2	Semillero 3
Aunap	Reconoce	reconoce	colabora	0	reconoce		0	reconoce		0	0	0
Federacafé	Asocia	conoce	0	0	reconoce		0	reconoce		0	0	reconoce
Fedecacao	Asocia	reconoce	0	0	reconoce		0	reconoce		0	0	reconoce
Otros gremios	0	coopera	reconoce	coopera	reconoce		coopera	reconoce		colabora	asocia	0
Empresas	0	coopera	0	0	colabora		0	reconoce		coopera	0	0
ONG'S	0	reconoce	0	0	colabora		0	reconoce		reconoce	0	0
Agrosavia	Asocia	conoce	colabora	reconoce	reconoce		0	conoce		reconoce	asocia	reconoce
Otras Instituciones Académicas	Asocia	colabora	0	asocia	asocia		coopera	conoce		reconoce	0	0

**Tabla 1.** Matriz con niveles de relación de los grupos y semilleros de investigación de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia.

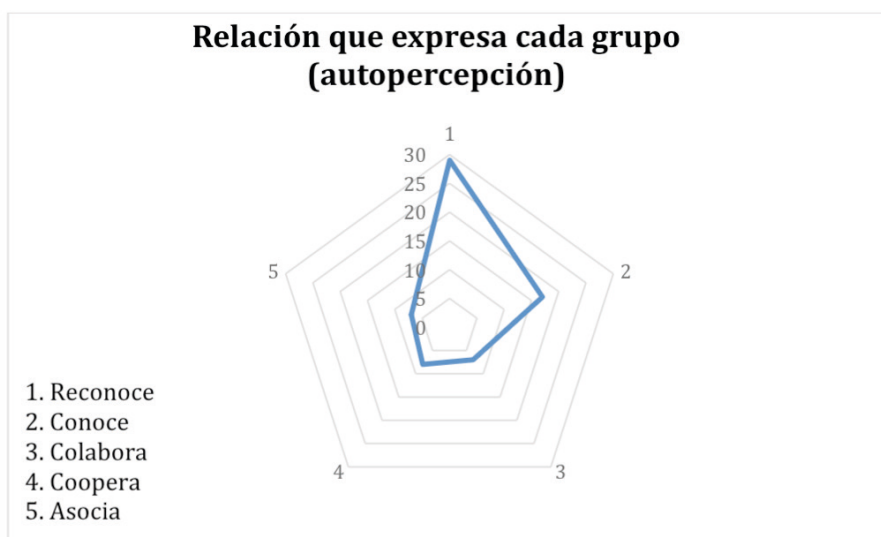
Reconoce, implica aceptación y buena opinión del otro actor. Conoce, implica haber constatado lo que ése otro actor hace y dice. Colabora: implica el establecimiento de vínculos coyunturales o puntuales limitados a un período muy corto de tiempo. Cooperera, implica el establecimiento de vínculos en proyectos o acciones, con duración determinada, corto plazo, con aportación de recursos provenientes de ambas partes. Asocia: implica haber sumado recursos en proyectos a mediano y largo plazo, dado que se comparten visiones, intereses, objetivos de lo que es el sector.

Con respecto a los niveles de relación entre los grupos de investigación de la facultad, se encontró que las relaciones se circunscriben a reconoce y en menor nivel a conoce, con niveles muy bajos de colabora, coopera y asocia (Figura 1).



**Figura 1.** Niveles de relación que se da entre grupos y semilleros de investigación

De igual manera se encontró que no existe diferencia entre la percepción de los niveles de relación que expresan tener los grupos y semilleros de investigación entre sí, y la percepción que el grupo tiene en relación con los vínculos que establece con otros grupos. Es decir, existe autoconocimiento del tipo de relación que se establece con otros grupos, lo que facilita cualquier proceso de mejora que quiera establecerse (Figura 2).



**Figura 2.** Percepción sobre niveles de relación entre grupos y semilleros de investigación

Considerando que vínculos y niveles de relación son importantes en las instituciones, en este caso la Facultad de Ciencias Agrarias, para enfrentar desafíos y operar en sistemas institucionales abiertos, la figura 3 muestra que el nivel de relación se reduce aún más a la categoría reconoce, aunque se amplía un poco la categoría colabora. Esto muestra la centralización de la relación hacia el interior de los grupos, dibujándose más como un sistema cerrado.



**Figura 3.** Niveles de relación que establecen con otros actores

Considerando que “la Unidad de Innovación de la UDEA y la OTRI, ofrece servicios para conseguir una mayor pertinencia e impacto en toda la comunidad universitaria, siempre con una fuerte proyección nacional e internacional y busca que la Unidad contribuya a que la comunidad académica saque mayor provecho de la oferta de cursos de formación en creatividad e innovación, de los procesos de transferencia de conocimiento, del acompañamiento a los emprendimientos y de la ideación de soluciones a problemas sociales que hace desde Innovación”, se espera encontrar entre grupos y semilleros de investigación y dichos espacios un nivel de relacionamiento de tipo articulador (asocia, coopera y colabora), más que de tipo operacional (reconoce y conoce), pero la gráfica muestra una situación contraria, que puede mejorarse (Figura 4).



**Figura 4.** Niveles de relación que establecen con la Unidad de Innovación y OTRI

Los resultados ponen en evidencia un tipo de relacionamiento mayoritario al interior de la FCA cerrado, por producto, de corto plazo y operacional. Cabe anotar acá que muchas relaciones no fueron identificadas y en algunos casos se pusieron en una categoría adicional de “no conozco”.

Por otro lado, aunque es importante fijar la atención en la forma en que los productos de innovación son gestionados al interior de la facultad como resultados, su existencia por sí sola no produce valor o impacto; su impacto depende de la forma como se gestione dicha innovación. Para ello es importante fortalecer la capacidad de innovar como parte de un proceso colaborativo, co-creativo, interinstitucional, en equipos multifuncionales y transdisciplinarios, de tipo multigeneracional y que esta no sea concebida como una destreza individual, ni tampoco como la suma de una serie de aptitudes individuales en una dinámica competitiva, sino que pueda tomarse como «una competencia social compartida por los actores sociales que forman parte de una cantidad, quizás extensa, de prácticas relevantes» (Engel, 1997, p. 130, citado por Robayo P., 2016).

Ante esta situación, la propuesta de estrategias para la gestión de innovación debe estar centrada en la generación de espacios y escenarios de diálogo para el fortalecimiento de relaciones de colaboración, cooperación y asociación, más que de competencia entre actores.

Habría que resaltarse que adicionalmente existen tres categorías: productos, resultados e impactos de innovación. Los productos hacen referencia a lo tangible como bienes, servicios, diseño, conocimiento, que en sí mismos no generan valor. Los resultados hacen referencia a los conocimientos transferidos y comportamientos cambiados, aquellos beneficios que los clientes perciben con el producto entregado, que pueden o no perdurar en el tiempo. Mientras el impacto indica si el producto y los resultados de la innovación tuvieron un efecto perdurable en el entorno del cliente en términos de factores económicos, técnicos, socioculturales, institucionales y/o medioambientales.

Cuando se gestiona la innovación como proceso éstas tres categorías deben tenerse en cuenta. Por eso la importancia de equipos multidisciplinares, interinstitucionales, multigeneracionales, etc. con lazos de cooperación y asociación, más que de colaboración o conocimiento mutuo. Como lo mencionan Ojeda, J. y Puga, C, (2010) “la cooperación permite que los proyectos de innovación sean divididos entre varios participantes que pueden trabajar conjuntamente para completar dichos proyectos con éxito de esta forma, cada participante puede centrarse en su área de especialización e invertir mucho menos de lo que sería necesario para abordar el proyecto en solitario”, y adicionalmente puede intervenir en diferentes etapas del proceso hasta llegar a la evaluación de impactos.

### 3.2 Aporte de la facultad a la innovación territorial

Se encontró que lo más mencionado por los entrevistados son las áreas posibles de innovación que la facultad puede fomentar o fortalecer desde su talento humano (27%). Estas áreas incluyen ganadería sostenible, seguridad alimentaria, desarrollo empresarial, pequeñas especies, bienestar animal. Cabe destacar que se piensa en la innovación desde el conocimiento a partir de nuevas formas de comprensión de los problemas del sector agropecuario, lo cual entraría en procesos de innovación social. También se señala la competitividad del sector como la finalidad de la innovación en la FCA (14%), mientras con un 13% aparecen impactos y resultados de innovación e investigación y un 10% las actividades de innovación. Se destaca aquí que en las respuestas existe una tendencia a confundir productos de innovación, resultados de innovación e impactos de la innovación. Pero en la mayoría de los casos se menciona falta de pertinencia (7%), falta de adopción y falta de relación con el sector económico. Con un 3% se destaca la innovación en servicios lograda por la FCA en cuanto a diagnóstico veterinario y servicio de extensión, considerándolos únicos en la región y el país (producto y servicio diferencial) (Figura 5)

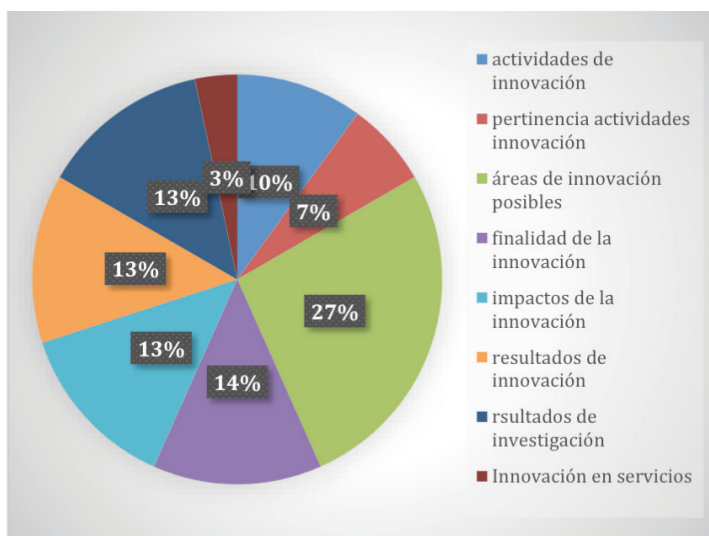


Figura 5. Tendencias de las respuestas a la pregunta 1



### 3.3 Fuentes principales de innovación en la facultad

Se encontró que en la facultad no existe una sola fuente de innovación, pero las iniciativas son individuales, sin acompañamiento institucional y sin articulación. Las principales fuentes de innovación mencionadas por los entrevistados son los docentes, los grupos de investigación, los estudiantes de pregrado y posgrado; sólo una vez se menciona los empresarios y productores como fuente de innovación y el trabajo en articulación con otros grupos de investigación. Lo que corrobora lo encontrado anteriormente en la matriz de relaciones diligenciada en cuanto a niveles de relacionamiento más operacionales y de tipo cerrado.

Como lo menciona Zubeldía S. (s.a.), la innovación abierta rompe con el tradicional sistema de gestión de la innovación, que supone que las nuevas ideas deben generarse **únicamente** al interior de las organizaciones desde una mirada estrecha de lo que esta es. A partir el punto de vista académico-práctico la innovación puede surgir desde varios ámbitos adicionales a los mencionados (Tabla 2).

De la competencia	Como estrategia oportunista	De la necesidad de establecer un proceso
Como estrategia ofensiva	De los proveedores	De la necesidad de cambios en la estructura (organizacional, mercadeo, de la demanda)
Como estrategia defensiva	De los clientes	De cambios poblacionales o demográficos
Como estrategia imitativa	De fracasos	De catástrofes
De cambios de significados en el entorno	De cambios de percepciones sobre algo	De la necesidad de nuevas estrategias
Procesos	Tecnologías	Desde las personas

**Tabla 2.** Fuentes de innovación

La fuente más importante es la que procede desde las personas, el origen en una nueva mirada de algo que es cotidiano y obvio para los demás que supone un modelo distinto de hacer las mismas cosas de siempre (Grañó, 2019). La realidad muestra que la innovación de hoy en día está más impulsada por la creatividad de las personas, por esto se dice que la innovación está en manos de todos y no solo de algunos investigadores, por lo que es fundamental recordar que una de las principales fuentes de innovación de la FCA es precisamente su capital humano. “No existe en el mundo académico una teoría que explique qué va a suceder cuando combinas a varias personas” (Grañó, 2019).

Finalmente cabe resaltar que se señala en las respuestas como ambiguo y mal orientado el acompañamiento proveniente de la Unidad de Innovación de la UDEA, lo que se corresponde con el nivel de relacionamiento que establecen los entrevistados con esta Unidad y la OTRI que en su mayoría es reconoce y conoce.

### 3.4 Generación de valor agregado a la investigación

Se encontró que es la unidad de análisis con más categorías difusas, aparentemente no conectadas entre sí, pero que conducen a pensar que no se tiene claro cómo se agrega valor a los productos o resultados de una investigación, dado que se parte de un modelo de gestión de la innovación cerrado y una visión de innovación como actividad enfocada a resultados y no como un proceso integrado a un sistema en un escenario estratégico, multifuncional, interinstitucional y colaborativo. Entre los ítems que se mencionan se encuentran, asesoría o liderazgo de buenos innovadores, creación de estructuras de apoyo a la innovación, difusión o escalamiento de resultados, gestión administrativa de la innovación, relaciones de reciprocidad o reconocimiento mutuo, hacer transferencia de tecnología, crear la plataforma de innovación PICA, no sólo realizar venta de servicios locales sino escalarlos como lo hacen otras universidades.

A la vez se citan varios productos y resultados obtenidos a través de investigaciones en las Haciendas por los que se preguntan como son: el programa silvopastoril de Candelaria, el potrero con árboles viejos y sin futuro, la disminución de las moscas en la Montaña, el software de los porcinos en la Montaña, el programa silvopastoril de la Montaña, los búfalos de Vegas de la Clara, el censo de aves de Vegas y de Candelaria, el software de bovinos y búfalos de los profesores de la Facultad.

Dado este panorama generar un escenario estratégico y colaborativo para la gestión de la innovación es esencial. Para dicho contexto se deben fortalecer los lazos de confianza, y a través de la sincronización de estrategias, procesos, herramientas y modelos, impulsar estrategias que faciliten la interacción y el diálogo bidireccional y el actuar como un colectivo en red.

Un ejercicio que puede aportar elementos frente a estos aspectos es la planeación por escenarios, definiendo los escenarios que se presentan en la FCA como colectivo, no como individuos (grupos específicos de investigación). Una vez identificados, la FCA debe elegir cuál escenario es el que más se acomoda a su visión y misión y como un colectivo trabajar y encontrar sus fortalezas y debilidades frente a ese escenario, planteando estrategias específicas a corto, mediano y largo plazo (Figura 7).

<b>Escenario 2.</b> Innovación alta Enfoque de redes bajo	<b>Escenario 1.</b> Innovación alta Enfoque de redes alto
<b>Escenario 3.</b> Innovación baja Enfoque de redes bajo	<b>Escenario 4.</b> Innovación baja Enfoque de redes alto

**Figura 7.**

Fuente: tomado de Argueta et. al. (2016).

En este contexto, se identifican distintos escenarios que ilustran diversas concepciones y estrategias en la gestión de la innovación dentro de la facultad. En el escenario de “Innovación aislada”, se valora el potencial competitivo de la innovación de manera individual, enfatizando la contratación de talentos creativos y el uso de sistemas cerrados, lo que limita el intercambio de información y favorece una mentalidad de beneficio exclusivo para cada grupo de investigación. En contraste, el escenario de “Redes innovadoras” promueve una visión colectiva en la que todos los actores reconocen su interdependencia, colaborando de manera abierta para atender diversas necesidades del mercado y fortaleciendo valores como la sostenibilidad y la responsabilidad social (Figura 8).

<p><b>Escenario 2. Innovación aislada.</b> En este escenario se reconoce el valor de la innovación como fuente de ventaja competitiva pero no se quiere compartir con los demás. La clave es atraer/contratar los recursos más innovadores para los GI. El talento creativo es el generador de ventaja competitiva al interior de cada GI. Nadie quiere compartir información, esta solo debe ser usada para el beneficio del equipo, por lo que se potencian plataformas y sistemas de información cerrados.</p>	<p><b>Escenario 1. Redes innovadoras.</b> En este escenario todos los actores trabajan en red y reconocen su interdependencia. Existe una visión colectiva que reconoce que la innovación basada en la colaboración es la única solución a los problemas y necesidades que se plantean. Se atienden múltiples segmentos del mercado con necesidades distintas de manera cooperativa o colaborativa. Los temas de sostenibilidad, responsabilidad social, empresarial y valor compartido son parte del ADN de la FCA</p>
<p><b>Escenario 3. Eficiencia colaborativa.</b> En este escenario, la FCA se reúne con gremios, asociaciones, instituciones y otros actores para colaborar en temas tradicionales. Trabaja con sus ecosistemas para hacer transacciones (generalmente económicas) eficientes. Desarrolla actividades a corto con base en productos y resultados. Ni las directivas ni la Institución invierten en investigación colaborativa, pues no creen que sea de valor, por lo que, a pesar de trabajar en redes de valor, no se potencia el valor de uso de la innovación ni de los resultados investigación.</p>	<p><b>Escenario 4. Capitalismo salvaje.</b> En este escenario, los GI de la FCA trabajan aislados, compiten a muerte los unos con los otros por los recursos. No existe conciencia de la importancia de innovar o de trabajar en red. Tienen una mentalidad pierde-gana frente a los demás actores del sistema. Se tiene un enfoque de resultados de corto plazo, basados principalmente en la generación de beneficios individuales, las lecciones aprendidas sólo se quedan en proyectos exitosos desarrollados con pocos GI que funcionan como silos aislados en sus respectivas áreas. Los temas de sostenibilidad, responsabilidad social empresarial y valor compartido no existen.</p>

**Figura 8.** Escenarios estratégicos para la gestión de la innovación

Por otro lado, el escenario de “Eficiencia colaborativa” refleja una relación más transaccional, en la que la colaboración se orienta a obtener resultados inmediatos en contextos económicos, sin que se apueste por una inversión sostenida en la investigación colaborativa, lo que reduce el potencial de generar un valor innovador duradero. Finalmente, el escenario del “Capitalismo salvaje” describe un ambiente de competencia extrema y aislamiento, donde la mentalidad de “gana-pierde” impera, los grupos trabajan de forma individualista y los beneficios se centran en resultados a corto plazo, sin incorporar aspectos de sostenibilidad ni valor compartido. En conjunto, estos escenarios evidencian la importancia de trascender enfoques operacionales y competitivos para favorecer una cultura de innovación colaborativa que, a través de relaciones abiertas y de largo plazo, contribuya de manera más integral y sostenible al desarrollo institucional y territorial.

### 3.5 Agregación de valor social a los productos, servicios, procesos y prácticas

Los entrevistados reconocen las falencias que tiene la FCA frente a esta temática, mencionan falta de continuidad de las acciones con las comunidades, falencias en las propuestas presentadas sobre todo en áreas diferentes a las netamente agropecuarias, falta de pertinencia de las acciones desarrolladas por no articulación entre actores y no integralidad de los proyectos. Se destaca la comprensión de que el valor social lo produce la articulación entre varios actores y la integración de áreas diferentes, así como el trabajar en escenarios multifuncionales a mediano y largo plazo. Las iniciativas Buppe son vistas como una oportunidad que debe ser aprovechada para fortalecer estas capacidades.

Cabe aclarar que en contextos competitivos las capacidades de los demás pesan demasiado a la hora de autovalorarnos, pero al no reconocerlas y conocerlas se pueden estar obviando muchas oportunidades de alianzas estratégicas, incluso con actores cercanos a las actividades cotidianas (Tabla 3).

Actores	Grupos de investigación y líneas de investigación afines a las necesidades manifestadas por los entrevistados
Facultad de Ciencias Económicas	<p><b>Comportamiento Humano Organizacional COMPHOR</b>- Acompañamiento en procesos de clima organizacional; Asesoría en temas de diversidad e inclusión en el trabajo; Desarrollo y asesoría de procesos formativos en clave del desarrollo de las personas en la organización. <b>Grupo de Estudios Regionales -GER</b>, Desarrollo económico regional y local (teorías y políticas); Análisis económico de género: políticas e inclusión económica y social; Estructura productiva regional y estudios sectoriales. <b>Grupo de Investigación en Gestión Organizacional- GESTOR</b>, Gestión de ciencia, tecnología e innovación; Gestión de derechos de propiedad intelectual; Formulación y evaluación de proyectos y planes de negocios. <b>Grupo de Macroeconomía Aplicada</b>, asesoría en comercio internacional, Asesoría en capacidades de desarrollo local y sectores productivos, Estudios sobre competitividades regionales y locales. <b>Grupo microeconomía aplicada</b>, Organización industrial y estudios de mercado (oferta, demanda, precios, estrategias de mercado), Valoración económica y estudios de impacto ambiental de actividades productivas y de consumo, Diseño y aplicación de encuestas. <b>Grupo de Investigación de Finanzas- GIFL</b>, Formulación y evaluación socioeconómica de proyectos.</p>
Facultad de Ciencias Sociales	<p><b>GI ESEN Grupo de Investigación Interdisciplinaria en Educación para la Salud y Educación Nutricional</b>-Evaluación de programas, proyectos y acciones en Información, Comunicación y Educación para la Salud y la nutrición, Educación para la salud orientada a audiencias diversas en condiciones, necesidades y saberes/pedagogía terapéutica. <b>Didáctica y nuevas tecnologías</b>, Educación, tecnología e Inclusión, Perspectivas críticas: Educación, tecnología y cultura. <b>DIVERSER (Pedagogía y Diversidad Cultural)</b>, Formación en cultura investigativa, Estudios sobre creatividad y excepcionalidad. <b>INNOVACIENCIA</b>, La modelización, La resolución de problemas y los enfoques CTSA y CSC, Las representaciones científicas. <b>EDI-Educación y Diversidad Internacional</b>, Creatividad y diversidad cultural, Entornos Digitales y Diversidad, Paradigmas socioculturales, políticas públicas y educación para el liderazgo, Relación universidad y comunidades culturalmente diversas.</p>
Humanidades	<p><b>Grupo de Investigación en Historia Social</b>, Historia empresarial e institucional, Historia regional y local.</p>

Facultad de Ingeniería y tecnología	<p><b>Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental- GIGA</b>, cambio ambiental. <b>Diagnóstico y Control de la Contaminación –GDCON</b>, Calidad del agua, Microbiología ambiental, Remediación de suelos, Tecnologías avanzadas para el tratamiento de aguas, Tratamiento biológico y fisicoquímico de aguas, Residuos Peligrosos, Análisis de residuos tóxicos. <b>Grupo de investigación en Gestión y Modelación Ambiental –GAIA</b>, Modelación de sistemas ambientales, Microbiología ambiental y aplicada, Ecotoxicología y Genotoxicología, Geología y suelos, Ecología de ambientes acuáticos, Tratamiento biológico de residuos, Desarrollo e implementación de técnicas analíticas. <b>Grupo de Investigación Aliados con el Planeta</b>, Agroecología, Manejo de residuos, Educación ambiental, Gestión ambiental, Manejo ecosanitario de plagas, Modelación de sistemas dinámicos. <b>Sistemas Embebidos e Inteligencia Computacional –SISTEMIC</b>, Inteligencia Computacional. <b>Grupo de Electrónica de Potencia, Automatización y Robótica –GEPAR</b>, robótica, biometría. <b>Ingeniería y Software</b>, Gestión y procesamiento de grandes volúmenes de datos, Inteligencia computacional. <b>Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales –CIDEMAT</b>, biomateriales. <b>Grupo de Energía Alternativa –GEA</b>, Energía solar, Energía eólica, Hidráulica y hidrocinética. <b>Ingeniería médica, Ingeniería química, Grupo CERES – Agroindustria &amp; Ingeniería, GeoR (GeoResearch International)</b> es un grupo de investigación interdisciplinar, conformado por investigadores de las áreas de ingeniería, sociales, humanas y comunicaciones. <b>Análítica e Investigación para la Toma de Decisiones – ALIADO, Análítica para la toma de decisiones (Descriptiva, Predictiva y Prescriptiva)</b>, Modelación y optimización de sistemas logísticos y cadenas de abastecimiento, Logística de servicios (e.g., hospitalaria-salud, humanitaria, educación, etc.), medición de desempeño y análisis de riesgo. <b>Ingeniería y Tecnologías de las Organizaciones y de la Sociedad – ITOS</b>, Sistemas de gestión participativa, Gestión integral de conocimiento e información.</p>
Facultad de Farmacéuticas y Alimentarias	<p><b>Farmacia</b>, Biopolímer- Biodegradación y Bioconversión de Polímeros, Diseño y Formulación de Medicamentos, Cosméticos y Afines, Grupo de Estudio e Investigaciones Biofarmacéuticas, Grupo de Estudio de Estabilidad de Medicamentos, Cosméticos y Alimentos – GEMCA, Grupo de Investigación en Sustancias Bioactivas. GISB Grupo de Investigación Productos Naturales Marinos, Grupo de Ofidismo y Escorpionismo, Promoción y Prevención Farmacéutica. <b>Alimentos</b>, Grupo de Nutrición y Tecnología de Alimentos, Grupo de Investigación en Alimentos Saludables, Biotecnología de Alimentos - BIOALI, Grupo de Investigación en Análisis Sensorial.</p>
Facultad de Comunicaciones	<p><b>Contracampo: grupo de investigación audiovisual</b>, Analizar las relaciones entre las producciones audiovisuales y sus contextos socioculturales de producción, circulación y consumo, Desarrollar productos audiovisuales de investigación-creación. <b>Dinámicas de la pedagogía y de la investigación/ creación audiovisual</b>, Desarrollar productos pedagógicos y de difusión sobre la enseñanza y la investigación-creación en los ámbitos audiovisuales.</p>
Facultad de Derecho y Ciencias Políticas	<p><b>Conflictos, violencias y seguridad humana</b>, Conflictos, violencias y paz. Observatorio de seguridad humana. <b>Derecho y sociedad</b>, Derecho, resistencia y cambio social, transformación positiva de conflictos; emociones, pasiones y razones. <b>Gobierno y asuntos públicos</b>, planeación y desarrollo; Gobierno, gobernabilidad y gobernanza. <b>Saber, poder y derecho</b>, estudios interseccionales (las diferencias, las subjetividades y las epistemes, hegemónicas, subordinadas, emergentes, ancestrales, insurgentes).</p>
Facultad de Educación	<p><b>Grupo didáctica de la educación superior</b>, La innovación en los procesos didácticos para la Educación Superior. <b>Grupo de Investigación sobre formación y antropología pedagógica</b>, prácticas educativas y formación d docentes. <b>Unipluriversidad</b>, educación rural y ruralidad, pedagogía social. <b>DIVERSER</b>, estudios interculturales.</p>
Facultad de Salud Pública	<p>Grupo Epidemiología, Grupo Demografía y Salud, Grupo Gestión y Políticas en Salud, Grupo Salud y Ambiente, Grupo Salud y Sociedad, Estadísticas y Salud Pública, Grupo Sistemas de Información en Salud (modelado en salud).</p>

Escuela de Nutrición y Dietética	Alimentación y nutrición en el proceso vital humano, Impacto de componentes de los alimentos en la salud de individuos y poblaciones, Alimentos funcionales y Bioingredientes, Biocatálisis y Fermentaciones en la Alimentación. Pedagogía y didácticas de la Información, Comunicación y Educación para la Salud, Alimentación y Nutrición (ICESAN). Responsabilidad social empresarial y la Información, Comunicación y Educación en alimentación y Nutrición (ICEAN). Alimentación, sociedad y cultura. Sociedad, cultura y políticas alimentarias. Gestión, acompañamiento, seguimiento y control en alimentación y nutrición a colectividades.
Instituto de Estudios Regionales	Especialización en teorías, métodos y técnicas de investigación social, Recursos Estratégicos, Región y Dinámicas Socioambientales (RERDSA), Estudios del Territorio (GET), Propuestas de innovación (Metodologías participativas de planeación y evaluación. Cartografías sociales informadas por procesos de mapeamiento participativo, Georreferenciación y análisis espacial de dinámicas históricas y georeferenciamiento espacial. Reflexiones y análisis socioespaciales informados por aproximaciones multiescalares, interescalares, de fronteras y regiones. Desarrollo e Impactos locales del desarrollo. Procesos de mapeamiento participativo. Metodologías participativas de planeación y evaluación. Gobernabilidad y recursos.
Instituto Universitario de Educación Física y Deporte	<b>Centro de investigación en Ciencias del Deporte - CICIDEP</b> , Construcción social, Contexto educativo. <b>Grupo de investigación Ocio, Expresiones Motrices y Sociedad</b> , Ocio, sociedad y conflicto. <b>Biomecánica</b> .

**Tabla 3.** Grupos de investigación y líneas de investigación afines a las necesidades de innovación territorial

### 3.6 Factor diferencial en relación con otras instituciones

La mayoría de entrevistados está de acuerdo en que la FCA es reconocida por la comunidad en el nivel local, regional, nacional e internacional y que el esfuerzo debería centrarse en hacer de otra manera lo que sabe hacer, es decir articulándose con otros, siendo gestores de proyectos a mediano y largo plazo en colaboración con diferentes actores locales, regionales y nacionales. También se habla de la atención diferencial que se hace entre pequeños y medianos productores, excluyendo muchos de ellos por razones políticas y económicas, lo cual no debería presentarse si se tienen en cuenta la razón social de la Institución en sí.

### 3.7 Estrategias para la gestión de la innovación en la facultad

#### 3.7.1 Fortalecimiento de las capacidades y habilidades para la gestión de la innovación

Tal como lo menciona Klerkx, Hall & Leeuwis (2009), el enfoque lineal clásico de la innovación en el que la investigación, la extensión y la transferencia de tecnología ofrecen su tecnología de manera funcional ha emigrado hacia un enfoque sistémico en el que la innovación es el resultado de un proceso de trabajo colaborativo en redes, con enfoque de aprendizaje organizacional interactivo y de procesos de negociación con grupos de actores diferentes.

Por otro lado, se afirma que en el sector agropecuario la rentabilidad social de los conocimientos muchas veces es superior a la rentabilidad privada, es decir los beneficios recibidos por todos los usuarios de una innovación es mayor que los frutos (económicos) recibidos por quienes han invertido en la creación o producción de ellos, lo que conduce a que se busque estimular la creación de conocimientos que sean útiles y tiendan a considerarse un bien de uso público (Muñoz, et al. 2004).

El mismo autor explica que en este panorama adquieren importancia los mecanismos de intercambio y retroalimentación de conocimientos, tanto tácitos como explícitos, los cuales conducen a la introducción en el análisis del proceso de gestión de la innovación del concepto de redes, lo que a su vez obliga a replantear la relación aislada, vertical y muchas veces desarticulada que se da entre los diferentes actores de un sistema de innovación.

Es así como ante la necesidad de promover los flujos de información y conocimientos entre los diferentes actores en la FCA, se cree necesaria la presencia de un interfaz, intermediario o catalizador que facilite el intercambio de experiencias para el aprendizaje mutuo a través de las complementariedades, la creación de vínculos y redes de innovación, así como de espacios de participación para la coinnovación, con la finalidad de favorecer el trabajo colaborativo, la creación y el mejoramiento de los productos, servicios, procesos y prácticas innovativas.

En países como Holanda se ha venido hablando en los últimos tiempos del gestor sistémico de innovación, como facilitador de la gestión de la innovación, especialmente cuando está dirigida al sector agropecuario, dada la complejidad del mismo.

### *3.7.2 Comité de innovación como escenario participativo y de gestión asociada*

Tal como lo menciona Robledo (2009), es importante no confundir los lugares o espacios físicos con los escenarios, dado que estos son construcciones sociales y no sólo espacios físicos o geográficos. Como escenario participativo de gestión asociada se está considerando el Comité de Innovación de la FCA como un entorno dónde pueda manifestarse la realidad social de la facultad, con toma de decisiones que afectan a muchos actores dentro y fuera de la institución, producción de interrelaciones y comportamientos entre actores con diferentes roles de actuación y decisionales, expresiones de normativas y desarrollo de actividades que afectan la gestión de la innovación dentro y fuera de la FCA.

Para construir un escenario de este tipo es necesario tener en cuenta algunos elementos como, la estructura actual del sistema; la definición de los elementos que pueden ser decisivos o incorporados al sistema en el futuro; los actores y sus intenciones, sus conflictos potenciales y las alianzas, los modos de actuar; la identificación de factores que influyen sobre el sistema (Baena, 2014).

Desde un enfoque sistémico la innovación requiere de liderazgo compartido, de un trabajo multidisciplinario y colaborativo, por lo tanto, se ha pensado en la creación de un Comité, cuya principal misión es la de liderar la exploración de nuevas maneras de hacer las cosas y de gestionar las prácticas innovativas en la FCA y, proponga un flujo de actuación para canalizar las innovaciones por caminos más cortos y eficaces dentro y fuera de la FCA. Además, como parte del subsistema de innovación de FCA, el Comité se encarga de la cogestión, coordinación, dinamización y seguimiento de los esfuerzos de innovación que se realizan al interior de la FCA para reconocerlos, fortalecerlos y darlos a conocer.

Díez (2010) menciona que es muy importante la multidisciplinariedad en estos comités, porque permite la dinamización de procesos de cooperación transversal, indispensable para discutir ideas concretas y gestionar eficientemente la innovación,

Para la creación del Comité de Innovación de la Facultad de Ciencias Agrarias se propone los siguientes pasos: a) determinar el nombre del Comité y su justificación; b) establecer sus objetivos: general y específicos; c) estructurar el enfoque metodológico de trabajo, condiciones y alcances (se propone como modelo de gestión la metodología Planificación Participativa-Gestión Asociada- PPGA); d) plantear los productos y/o resultados esperados; e) determinar participantes, deberes y responsabilidades de los mismos; f) realizar convocatoria para la participación en el Comité; g) elegir Presidente del Comité. El ejercicio del cargo durará tres años, con la posibilidad de reelección; h) elaborar el Plan Operativo Anual. Distribuir tareas, responsables, tiempos y presupuesto solicitado; i) proporcionar al CIAG el material de sistematización de la experiencia actualizado para ser publicado en la Plataforma PICA. Muchas experiencias de Comités revelan que es mejor sistematizar experiencias que realizar las actas tradicionales, ya que los procesos de gestión de la innovación y generación de la innovación son dinámicos y vivenciales; j) promover y difundir la labor del Comité dentro de la FCA, entre organizaciones, académicos u otros.

Puesto que se considera que el Comité de Innovación de la FCA debe ser un escenario participativo de planificación-gestión-acción, que involucra la gestión colaborativa en redes, se recomienda parte del modelo de la metodología de la Planificación Participativa- Gestión Asociada (PPGA).

De acuerdo con Poggiese (1993), la Gestión Asociada se usa para dar lugar a acuerdos, negociaciones o concertaciones, al diseño de propuestas de manera colaborativa, integrando visiones e intereses diferentes y hasta contrapuestos, reconociendo y trabajando los conflictos, lo que las hace viables y de uso inmediato en un contexto específico. Esta actividad implica tomar en consideración los recursos disponibles y accesibles, la idea no es esperar a que haya un entorno ideal para arrancar sino dar inicio a la gestión de lo existente de manera articulada y eficiente con los actores clave identificados.



Por otra parte, Poggiese (1993) propone tres etapas dentro del ciclo PPGA para la gestión de planes, proyectos o acciones cogestionadas: Una primera Preparatoria, una segunda de Implementación Estratégica y una tercera de Reformulación y Ajuste.

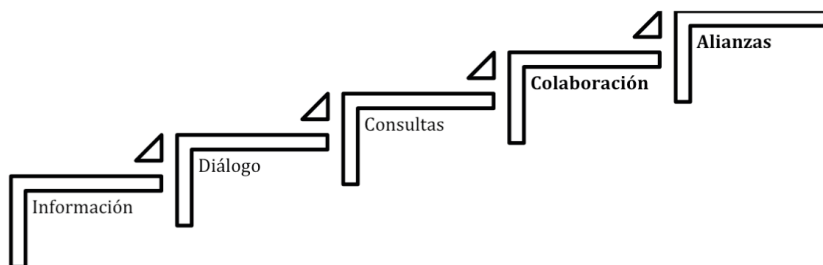
En la fase preparatoria, se plantea una propuesta inicial, se presentan de manera flexible los avances para llegar a la negociación e intercambio de conocimientos y al establecimiento de acuerdos. En esta fase son importantes los procesos de autorregulación respecto de las expectativas individuales frente a las expectativas comunes o de grupo para asegurar una participación efectiva y que se valoren todos los puntos de vista de manera transversal. Existen múltiples metodologías de las ciencias sociales y humanas que facilitan este tipo de procesos. Si la dinámica de grupo inicial presenta falencias es necesario fortalecer las competencias de sus integrantes.

En una segunda etapa más formal o de definición operativa de grupo, se utiliza un criterio de disposición, duración y amplitud de las tareas frente ya a una propuesta co-construida. Posterior a esto se designan, ya sea consciente o inconscientemente, los roles y estatus que cada uno cumple al interior del grupo, dejándose claramente establecido su función en la gestión del Plan Operativo Anual de Innovación, en el cual “Todos somos responsables”.

En una tercera etapa, la asociación para la gestión se materializa, se busca no un trabajo grupal en el cual cada uno sólo se responsabiliza de una parte de la gestión sino que el equipo del Comité como un todo trabaje como si fueran un solo actor y, conduzca y oriente las transformaciones en el modelo decisorio y la cultura de innovación de manera colaborativa al interior de la FCA, incluyendo las decisiones tomadas en el Plan Operativo Anual de Innovación.

Cuando un actor del sistema de innovación de la FCA ingresa en un modelo de trabajo colaborativo como el del Comité de Innovación, asume un compromiso de trabajo no solo consigo mismo sino también con las personas que están participando conjuntamente y con el proceso que allí se requiere, es decir asume un compromiso personal ante un compromiso colectivo.

Por esta razón requiere herramientas personales que le permitan aplicar y desarrollar diferentes niveles de comunicación, que favorezcan la cogestión en un escenario multiactoral y multidisciplinario, en dónde existen diversos intereses, formas de hacer y expectativas. Tener en cuenta que su participación en el Comité es fundamental para el logro del propósito final que es colectivo y, por lo tanto, debe superar estas situaciones. Los niveles de compromiso para tener en cuenta en el Comité de Innovación de acuerdo con Larra (2016) son:



El ideal es que en el Comité no sólo se produzcan relaciones de tipo informativo, de diálogo conjunto o consultas respecto a los procesos de innovación que se adelantan en la facultad y cómo gestionarlos, sino que se establezcan relaciones de tipo colaborativo y alianzas entre los actores del subsistema de innovación de la FCA de manera coordinada y complementaria, buscando siempre complementariedades entre los actores.

Se recomienda 1 vez al semestre o mínimo una vez al año. El direccionamiento puede estar dado con metas a corto, mediano y largo plazo. El seguimiento y evaluación debe hacerse conforme se establezcan las metas.

NO ES TRABAJO COLABORATIVO	SI ES TRABAJO COLABORATIVO
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elegir un líder para todo tipo de trabajo</li> <li>2. Estructurar actividades que no requieran trabajo conjunto o co-creación de ideas</li> <li>3. Favorecer el trabajo individual donde resulte que quien termine primero es el mejor o competente</li> <li>4. Intercambiar información, pero no estar motivado a enseñar lo que se sabe</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Comprender que los líderes dependen de las capacidades que se necesiten en un determinado momento (líder por escenario de trabajo)</li> <li>2. La gestión de las actividades debe promover el intercambio de ideas y experiencias</li> <li>3. Ser responsable del resultado individual en relación con el resultado colectivo</li> <li>4. Construir socialmente el conocimiento</li> </ol>

Fuente: elaboración propia con base en Saldivia (2014).

### 3.7.3 *Gestionando la innovación como un subsistema*

En primera instancia, se ha hablado que en Ciencias Agrarias y Agropecuarias principalmente existen tres sistemas de innovación: un sistema de innovación agropecuario, un sistema de innovación agroindustrial y un sistema de innovación agroambiental (Arocena & Sutz, 2003). El ideal, desde el enfoque sistémico de la innovación, sería lograr la integración de los tres en uno sólo de tal manera que el trabajo sea colaborativo y en términos económicos, sociales, ambientales, culturales sostenible permita llevar todo el proceso, desde la producción primaria hasta la transformación y el consumidor final, teniendo presente la inocuidad y seguridad alimentaria y, el bienestar animal, humano y ambiental, acorde con los nuevos enfoques de la producción agropecuaria.

Así también cuando el dinamismo innovativo es escaso, se recomienda acortar la ruta o camino de la gestión de la innovación estableciendo lo que serían circuitos cortos de gestión, desde un enfoque sistémico constructivista, que bien podrían ser subsistemas concretos que retroalimentan un sistema mayor desde su especificidad. Estos subsistemas son considerados origen de procesos de aprendizaje acumulativo, construcción de confianza entre actores y de efecto demostrativo acerca de lo que la innovación puede ofrecer a actores concretos tanto en la producción agropecuaria como del ámbito social (Arocena & Sutz, 2003).

Para el caso el Subsistema de Gestión de la Innovación de la FCA, que se encuentra respaldado por el CIAG, se articulará con el Sistema de innovación de la Universidad, dentro del marco normativo vigente, mediante la participación activa de la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación OTRI y la Unidad de Innovación con las áreas de Fomento, Emprendimiento, e Innovación social, entre otros.

El Subsistema de gestión de la innovación de la FCA debe contemplar como característica mínima la facilitación de relaciones de alianzas al interior de esta, teniendo en cuenta en la interacción a la sociedad como receptora de los beneficios de los bienes, productos, servicios, procesos que se desarrollen. Además, sus espacios deberán ser incluyentes y los procesos flexibles para el análisis, la negociación y la concertación de la gestión de la innovación, así como para su seguimiento y evaluación.

Es importante que los resultados de los proyectos de investigación que se desarrollen en la FCA generen capacidades de innovación de manera sistemática, colaborativa y coordinada, en un lapso estimado de tiempo inicialmente de 5 años, mediante el trabajo en redes y la articulación con el sistema de innovación de la UDEA.

Constituirse en el sistema funcional especializado para la gestión de la innovación al interior de la FCA, en articulación y trabajo colaborativo con el Sistema de Innovación de la UDEA para la planeación, diseño e implementación de estrategias, modelos y procesos específicos de gestión de la innovación y gestión del conocimiento.

Ser reconocidos en el 2030, a nivel regional, departamental, nacional e internacional, como una unidad académica de la UDEA que desarrolla productos, bienes y servicios innovadores para el sector agropecuario.

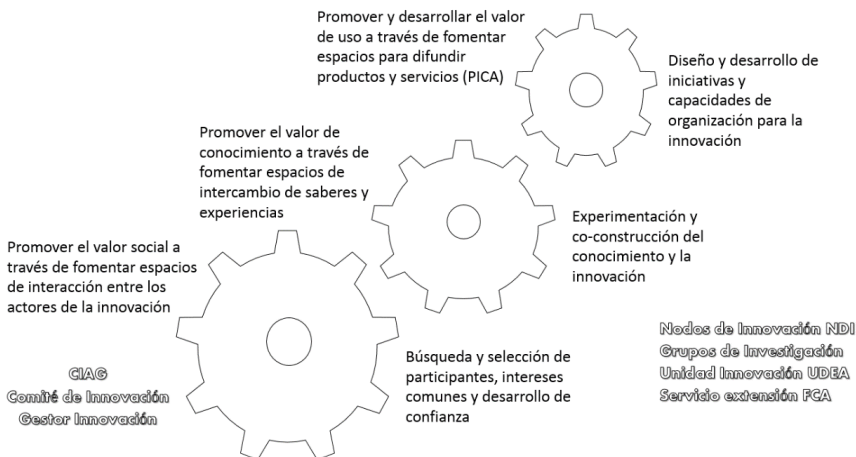
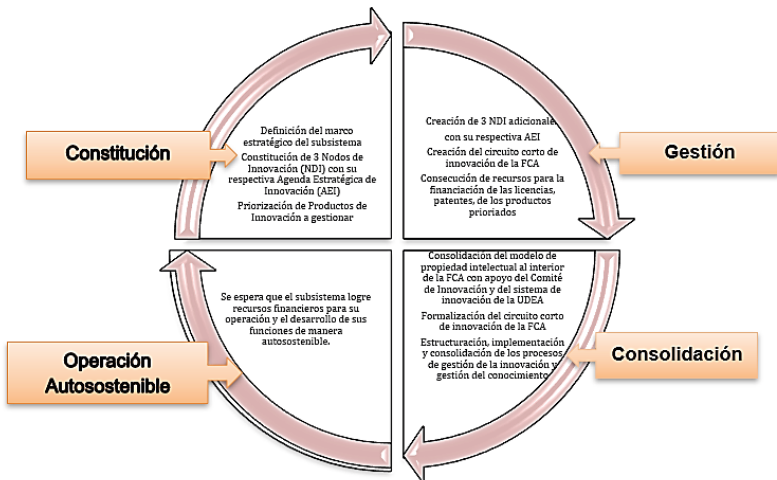
Establecer la ruta corta de gestión de la innovación al interior de la FCA para canalizar recursos, talento humano, conocimientos y servicios disponiendo adecuadamente el uso de la infraestructura y herramientas tecnológicas de punta, junto con mejores prácticas y normas para la gestión de innovación y la gestión del conocimiento.

De acuerdo con García & Gracia (2018), los nodos son interrelaciones de actores sociales que construyen, socializan y difunden discursos y prácticas que son de su interés, las cuales convergen en estrategias específicas y se dan en espacios físicos determinados e involucran recursos materiales, sociales, simbólicos, económicos y políticos. Generalmente desarrollan proyectos de carácter familiar, entendiendo proyectos como las actividades

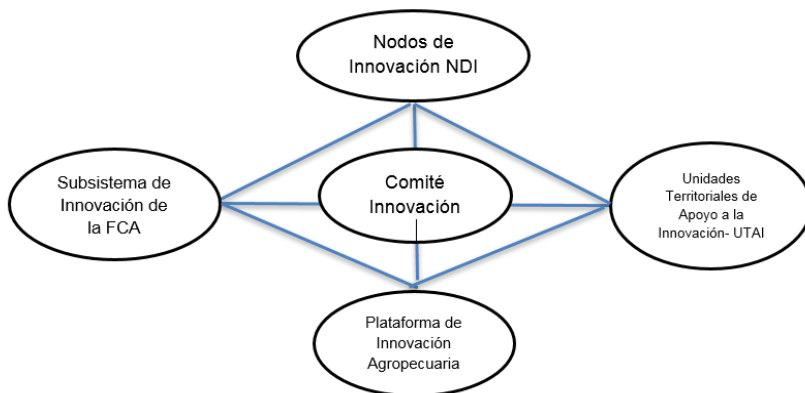
conscientes cuyo propósito es construir conjuntamente un futuro, lo que les otorga ciertas capacidades específicas para procesar la experiencia y diseñar maneras particulares de lidiar con los retos en su campo de acción. Cabe anotar que las relaciones que se generan en y a partir de los nodos, son dinámicas y varían en su intensidad, pues se establecen lazos fuertes, débiles, continuos, discontinuos y no lineales que cambian en el tiempo.

Considerando lo anterior se entiende que los nodos desempeñan en las redes el papel de detonantes de procesos, de relaciones y de cambios, que facilitan procesos como la gestión de la innovación. Es así como los grupos de investigación de la FCA cumplen con los requisitos para convertirse en Nodos que jalonen la gestión de la innovación al interior de esta, de manera colaborativa, coordinada y en complementariedad, generando el circuito corto del que se habló anteriormente.

Para la implementación del subsistema de gestión de la innovación de la FCA o circuito corto de innovación, se plantean básicamente cuatro fases:



Se recomienda un modelo de procesos y no de producto.



### 3.7.4 Plataforma de innovación de ciencias agrarias (PICA)

El Comité de Innovación de la FCA, el subsistema de gestión de la innovación y la Plataforma de Innovación de Ciencias Agrarias (PICA) formarán parte de la Plataforma Innovación de la Universidad de Antioquia. Esta estructura específica para la gestión de la innovación y gestión del conocimiento al interior de la facultad es promovida por el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias (CIAG) en coordinación con Decanatura.

La Plataforma PICA se piensa como una estructura de apoyo a la innovación agropecuaria, y su objetivo es facilitar que los activos de conocimiento de la facultad de Ciencias Agrarias lleguen a generar valor para el Sistema de Innovación de la Universidad a través de favorecer la transferencia de tecnología, la cultura de la innovación, pero sobre todo la comunicación con el resto de la sociedad.

La Plataforma PICA acopia la información producida por los Nodos de Innovación (NDI), los grupos de investigación, semilleros de investigación, unidad de extensión, Comité de Innovación, que conforman el circuito corto de innovación de la facultad, conformando una red de información de diversos actores, que incluyen representantes de la Unidad de Innovación de la Universidad, Unidad de Fomento y actores sociales interesados en la información que allí se produzca.

Su principal misión es establecer un foro de comunicación permanente y abierta entre los diferentes actores del proceso de innovación y las personas usuarias del subsistema de innovación de la FCA, facilitando así la comprensión y valoración de los procesos innovativos desarrollados por la FCA, a través de herramientas que permitan conocer en tiempo real el panorama de la innovación en la FCA. Se considera que el lenguaje sencillo ayuda a las personas a encontrar información de una manera más fácil y rápida, ayuda a las personas a entender lo que tienen que hacer a través de descripciones e instrucciones concretas sobre los procesos, productos y actividades innovativas que están a su disposición en la FCA.

La actividad de la plataforma gira en torno a dos ejes estratégicos o línea de trabajo: 1) Activos de conocimiento disponibles para la sociedad; 2) Banco de retos de innovación de la sociedad que pueden ser abordados por la FCA. Para cada eje, los planes de acción definidos se llevan a cabo a través de un conjunto de grupos de trabajo constituidos por miembros y colaboradores de la plataforma.

Por otro lado, otra de las principales herramientas de PICA para dar impulso a la innovación abierta es **la creación de Unidades Territoriales de Apoyo a la Innovación (UTAI)** en los municipios dónde hay haciendas, dónde hay sedes de UDEA, dónde se trabaja con CMDR, etc., dónde se armarán grupos de trabajo, a través de las cuales, se pretende dotar de los medios y ayuda necesarios para potenciar la innovación, por medio de la validación de los activos de conocimiento de la FCA. Con ellos se trabajaran actividades de formación y capacitación, generación de manuales, guías prácticas de gestión de la innovación, informes, etc.

## REFERENCIAS

Baena Paz, Guillermina. Publicado en 24 septiembre, 2014. Conocimientosweb.net. <https://www.conocimientosweb.net/portal/article490.html>

Carballo, C., Carballo, E., Yera, R, Gómez, M. (2029). Vinculación entre actores locales para la gestión del conocimiento y la innovación en municipios, Rev retos, 13(1) [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2306-91552019000100086](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-91552019000100086)

Clos Ignasi, (2014). 6 preguntas y respuestas clave para crear un Comité de Innovación de éxito. <https://www.sociedaddelainnovacion.es/6-preguntas-y-respuestas-clave-para-crear-un-comite-de-innovacion-de-exito/>

Figuerola, Cristian (2016). Libro tejeRedes - Trabajo en Red y Sistemas de Articulación Colaborativos. Primera edición digital e impresa: Septiembre 2016. Madrid | Santiago de Chile. Tomado de <https://www.cpalsocial.org/documentos/445.pdf>

Funiber (2014) Siete fuentes de oportunidades para la innovación. <https://blogs.funiber.org/tecnologias-informacion/2014/06/19/siete-fuentes-de-oportunidades-para-la-innovacion>

García Bustamante Rocío; Gracia Amalia (2018). Nodos, actores y discursos en la generación de alternativas alimentarias locales en Quintana Roo y Yucatán, México, 2000-2016. (2018). Intersticios sociales, núm. 17, 2019. | Colegio de Jalisco, A.C. Tomado de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/4217/421759176008/html/index.html>

IICA (2014). Experiencia Centroamericana: redes de innovación. Guía para su construcción y funcionamiento. Proyecto Red SICTA, Cooperación Suiza en América Central. Tomado de <http://opackoha.iica.int/cgi-bin/koha/opac-imageviewer.pl?biblionumber=50>

Klerkx, L. (2011). El papel del gestor sistémico en el desarrollo de capacidades para la innovación en el sector agroalimentario. Estudios de Comunicación e Innovación Universidad de Wageningen –Países Bajos. Tomado de <https://docplayer.es/76496174-El-papel-del-gestor-sistemico-en-el-desarrollo-de-capacidades-para-la-innovacion-en-el-sector-agroalimentario.html>

Klerkx, L., Hall, A. y Leeuwis, C. (2009) 'Strengthening agricultural innovation capacity: are innovation brokers the answer?' (Fortalecimiento de la capacidad de innovación agrícola: ¿los gestores sistémicos de innovación son la respuesta?), *Int. J. Agricultural Resources, Governance and Ecology*, 8(5/6): 409–438. [https://www.redinnovagro.in/documentosinnov/Enhancing\\_ag\\_innovation\\_capacity-brokers.pdf](https://www.redinnovagro.in/documentosinnov/Enhancing_ag_innovation_capacity-brokers.pdf)

Larra Bujalance, Francisco. La necesidad de alianzas multisectoriales para generar un cambio social Author: /lunes, 21 de noviembre de 2016 <https://www.fomin.org/es-es/PORTADA/noticiasNew/ArtMID/18979/ArticleID/12455/La-necesidad-de-alianzas-multisectoriales-para-generar-un-cambio-social.aspx>

Muñoz Rodríguez, Manrubbio; Roberto Rendón Medel, Jorge Aguilar Ávila, José Guadalupe García Muñiz y J. Reyes, Altamirano Cárdenas (2004). Redes de innovación: un acercamiento a su identificación, análisis y gestión para el desarrollo rural. Fundación PRODUCE Michoacán, A.C. / Universidad Autónoma Chapingo. ISBN: 968-02-0068-X.

Ojeda, J., Puga, C. (2020). Vínculos de cooperación como fuente de información para la innovación. [https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cuadernos\\_admon/article/view/3604/2711](https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cuadernos_admon/article/view/3604/2711)

Poggiese, Héctor Atilio (1993) FLACSO1 Serie documentos e informes de investigación nº 163 Area: Planificación y Gestión METODOLOGÍA FLACSO DE PLANIFICACIÓN-GESTIÓN (PLANIFICACIÓN PARTICIPATIVA Y GESTIÓN ASOCIADA). [http://legacy.flacso.org.ar/uploaded\\_files/Publicaciones/Metodologia.FLACSO.de.planificacion.gestion.pdf](http://legacy.flacso.org.ar/uploaded_files/Publicaciones/Metodologia.FLACSO.de.planificacion.gestion.pdf)

Prada Madrid, Ennio. LAS REDES DE CONOCIMIENTO Y LAS ORGANIZACIONES. Publicado en: Revista Bibliotecas y tecnologías de la información Vol. 2 No 4 (Octubre – Diciembre) Año 2005. [http://eprints.rclis.org/9127/1/redes\\_de\\_conocimiento.pdf](http://eprints.rclis.org/9127/1/redes_de_conocimiento.pdf)

Rendón Medel, Roberto; Manrubbio Muñoz Rodríguez, Jorge Aguilar Ávila y J. Reyes Altamirano Cárdenas (2007). Planeación de proyectos para gestionar la innovación. Universidad Autónoma Chapingo-CIESTAAM/PIAI. Primera edición en español. ISBN: 978-968-02-0387-1.

Robayo, P. (2016). La innovación como proceso y su gestión en la organización: una aplicación para el sector gráfico colombiano. *Suma de Negocios*, 7(16)

Robledo Martín Juana (2009). Observación participante: los escenarios. Departamento de Investigación FUDEN. *Nure Investigación*, 41(4). [www.nureinvestigacion.es/OJS/index.php/nure/article/download/452/440/](http://www.nureinvestigacion.es/OJS/index.php/nure/article/download/452/440/)

Saldivia J., (2014) Aprendizaje Colaborativo. Módulo V del Diplomado de Componente Docente en Educación Interactiva a Distancia de la Universidad Fermín Toro. <https://aprendizajecolaborativogrup03.blogspot.com/2014/07/desarrollo-del-compromiso-cuadro.html>

Silvia Zubeldia-(s.a.) ¿Cuáles son las fuentes de la Innovación? [https://imagoinnovation.com/wp-content/uploads/2018/08/plan9\\_sm\\_silvia\\_zubeldia.pdf](https://imagoinnovation.com/wp-content/uploads/2018/08/plan9_sm_silvia_zubeldia.pdf)

# PRODUÇÃO DE BOVINOS DE CORTE ALIMENTADOS COM SUBPRODUTOS DA AGROINDÚSTRIA

*Data de submissão: 09/01/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Claudete Maria da Silva Moura**

Docente do curso Bacharelado em Zootecnia. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Campus Santa Inês, Santa Inês - BA, 45320-000, Brasil.  
<http://lattes.cnpq.br/3611428668104273>  
<https://orcid.org/0000-0002-2345-2152>

### **Erisvânia Oliveira do Carmo**

Bacharelado em Zootecnia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Campus Santa Inês, Santa Inês - BA, 45320-000, Brasil.  
<http://lattes.cnpq.br/7260228465316439>  
<https://orcid.org/0009-0005-8716-0238>

### **Paola Carolayne Barbosa Santos**

Bacharelado em Zootecnia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Campus Santa Inês, Santa Inês - BA, 45320-000, Brasil.  
<http://lattes.cnpq.br/6949908597363350>  
<https://orcid.org/0009-0004-0880-5687>

### **Glacyane Costa Gois**

Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal. Universidade Federal do Maranhão, 65500-000, Chapadinha/MA, Brasil.  
<http://lattes.cnpq.br/4306037261876678>  
<https://orcid.org/0000-0002-4624-1825>

**RESUMO:** A utilização de subprodutos na alimentação animal é vista como uma atividade econômica e sustentável para a diminuição de descartes e impacto ambiental. Visando isso, esses derivados são utilizados como matéria-prima alimentar para uso da produtividade animal sendo aplicados em dietas de diferentes espécies animais procurando extrair o máximo dos seus potenciais nutritivos. Para os bovinos de corte, utiliza-se uma grande cadeia desses subprodutos tais como os subprodutos do milho, mandioca, cana-de-açúcar e abacaxi. Quando usados em níveis adequados, resultados desejados são alcançados, como bom rendimento de carcaça, qualidade da carne, boa conversão alimentar, entre outros. Assim, através de uma breve revisão da literatura, buscamos apresentar possíveis resíduos agroindustriais que podem ser usados na composição de dietas para bovinos em substituição ao milho, de forma a reduzir os gastos com a alimentação animal, fator este que onera o sistema de confinamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** alimentos alternativos, confinamento, rendimento de carcaça, qualidade de carne



## PRODUCTION OF BEEF CATTLE FED WITH AGROINDUSTRIAL BYPRODUCTS

**ABSTRACT:** The use of by-products in animal feed is seen as an economic and sustainable activity to reduce waste and environmental impact. With this in mind, these derivatives are used as food raw materials for animal productivity and are applied to the diets of different animal species, seeking to extract the maximum of their nutritional potential. For beef cattle, a large chain of these by-products is used, such as corn, cassava, sugar cane and pineapple by-products. When used at adequate levels, desired results are achieved, such as good carcass yield, meat quality, good feed conversion, among others. Thus, through a brief review of the literature, we seek to present possible agro-industrial residues that can be used in the composition of diets for cattle to replace corn, in order to reduce spending on animal feed, a factor that burdens the confinement system.

**KEYWORDS:** alternative foods, carcass yield, confinement, meat quality

### 1 | INTRODUÇÃO

O Brasil é um grande produtor de gado, destacando-se a região Centro-Oeste, na qual os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás concentram cerca de 30% da produção bovina nacional (Vale et al., 2019). Certamente, na pecuária de corte, o custo com alimentação é um fator que mais onera a atividade, representando cerca de 70% dos custos totais. Este fato está diretamente relacionado com a oferta de alimentos da região, tornando-se determinante para a viabilização do sistema produtivo (Makkar et al., 2018).

Os altos custos das commodities agrícolas, como milho e a soja, amplamente utilizados na alimentação de bovinos, elevam os custos de produção (Santana et al., 2023). Em virtude disso, se faz necessário utilizar alimentos alternativos e de boa qualidade para compor a dieta dos animais, que permitam reduzir os custos e, ao mesmo tempo, melhorar a eficiência e a competitividade do sistema de produção (Halmemies-Beauchet-Filleau et al., 2018; Jalal et al., 2023).

O uso dos subprodutos da agroindústria como ingrediente em dietas tem o potencial de manter e/ou elevar os níveis de produção bovina já que, devido a sua composição nutricional, permite substituir o uso de ingredientes tradicionais nas dietas ofertadas aos animais (Dentinho et al., 2023). Esta ação favorece ainda a redução da competição dos grãos para a alimentação humana, além do uso na fabricação de biocombustíveis. O Brasil produz uma grande quantidade de subprodutos da agroindústria, alguns são encontrados em todo o país, outros, apenas em determinadas épocas e regiões. No entanto, a utilização dos subprodutos muitas vezes é restringida devido à falta de conhecimento de suas características nutricionais.

Além disso, os alguns subprodutos necessitam passar por processos de conservação ou desidratação para a aumento da vida útil, principalmente aqueles que apresentam elevados teores de umidade e lipídios (Vastolo et al., 2022). Outro aspecto está relacionado a reduzida disponibilidade de resultados de desempenho produtivo de bovinos alimentados

com esse alimento alternativo (Meneghetti & Domingues, 2008). Sousa et al. (2021) enfatizam que os produtores que dispõe de subprodutos na sua região possuem uma alternativa econômica favorável para baratear os custos com a alimentação dos animais.

Diante do exposto, essa revisão tem o objetivo de levantar informações acerca do uso de subprodutos da agroindústria na alimentação de bovinos de corte e o seu efeito sobre o desenvolvimento e rendimento de carcaça.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Qualidade e produção de carne bovina

Diante da grande diversidade na pecuária, o grande crescimento do setor de bovinocultura aponta que o Brasil é um dos grandes representantes comerciais. Atualmente segue sendo um dos principais responsáveis pela comercialização e exportação mundial de carne, possibilitando uma receita anual de US\$7,4 bilhões, com uma distribuição estimada em 74% da produção para o mercado brasileiro (ABIEC, 2021).

De acordo com a Embrapa (2021), em 2020 houve uma admirável redução de 9,8% da exportação mundial de carne contabilizando 5,9 milhões de consumação em toneladas dado por taxas de pesquisa, tendo assim, um consumo único de 24,4 kg de carne por pessoa, obtendo exportação de 2,7% milhões em tec (tonelada equivalente por carcaça), caracterizando 26% em média de produtividade.

Com o avanço da tecnologia nos próximos 20 anos, o Brasil ocupará lugares incontestáveis no mercado bovino, isso será possível a partir de melhoramento genético e introdução de biotecnologias para a qualificação e sustentabilidade, de modo a melhorar a qualidade da carne atingindo mercados emergentes e sofisticado do exterior. Como resultado, o país deixará de compor 20% de produtos tecnológicos (carne), alcançando um montante maior no mercado de carne bovina (EMBRAPA, 2021).

Na concepção comercial, a carcaça bovina é dividida em três partes: traseiro especial, a ponta de agulha e o dianteiro (Roman et al., 2010). A separação em partes facilita a manipulação na sala de desossa ou o transporte em veículos refrigerados. No entanto, de acordo com Jaeger et al. (2004), cuidados devem ser tomados quando se comparam os rendimentos destes cortes em diferentes animais, pois a divisão é feita de forma subjetiva em alguns cortes e, podendo levar a resultados distorcidos comprometendo o cálculo do rendimento, como é o caso dos limites dos cortes ponta de agulha e do traseiro especial, que podem variar em função do tamanho do animal. O produto que tem melhor preço de mercado é o traseiro. Logo, é economicamente desejável maior rendimento do traseiro em relação ao dianteiro e ponta de agulha, uma vez que nele se encontram as partes nobres da carcaça, que alcançam maior valor comercial (Mayer et al., 2017).

A classificação de carcaça de bovinos é de suma importância para as exportações, devido ao rigoroso sistema de classificação nos países que importam carne brasileira (Santos et al., 2018). Alexandrino et al. (2020) em sua revisão sobre qualidade, avaliação e tipificação de carcaças das principais espécies de interesse zootécnico, mencionaram que sistema brasileiro de tipificação é um esquema de classificação realizado quanto ao gênero (macho; macho castrado; fêmea) e maturidade dentária (1ª dentição, dois, quatro, seis e oito dentes incisivos permanentes), e a tipificação propriamente dita pela combinação desses fatores com conformação (avaliação subjetiva do desenvolvimento das massas musculares do coxão, paleta e região dorso-lombar (convexa; subconvexa; retilínea; sub-retilínea ou subcôncava; côncava)) e acabamento (avaliação subjetiva da espessura de gordura subcutânea sobre o contrafilé (1 = ausente; 2 = escassa, 1-3 mm; 3 = mediana, 4-6 mm; 4 = uniforme, 7-10 mm; e 5 = excessiva, 10 mm ou mais de gordura)).

No Brasil, a grande heterogeneidade dos sistemas de produção na bovinocultura de corte reflete diretamente sobre as características da carcaça. Sendo assim, aspectos qualitativos e quantitativos da carcaça podem sofrer alterações pela utilização de diferentes dietas, genética, idade ao abate, entre outros fatores (Gomes, 2021). Assim, para a predição da porcentagem e rendimento de carcaça as características mais importantes é a espessura da gordura subcutânea, a região do músculo, espaço *Longissimus dorsi*, a porcentagem da gordura renal, pélvica e cardíaca, o peso da carcaça e marmorização (Gesualdi Júnior et al., 2006). A carcaça que não atinge no mínimo 230 kg, tem o valor comercial irrelevante para os frigoríficos, supermercados e açougues, pois preferem carcaças com músculos maiores e com características que atendam às exigências dos consumidores (Abrahão et al., 2005).

Um dos principais fatores para determinar a qualidade da carne é o pH, pois durante o processo de pós-morte ocorre uma alteração de acidez da carne devido à cessação do glicogênio muscular influenciando na aparência dos cortes e atributos de qualidades como maciez, cor, sabor e odor (Pogorzelski et al., 2022).

A qualidade da carne está associada à alimentação do bovino, aspectos como a composição química, e a redução na idade do abate pode influenciar na proporção do tecido adiposo em relação ao muscular, contribuindo para o melhoramento do produto final (Abrahão et al., 2005). Por conseguinte, para obter uma carcaça que atenda aos requisitos da indústria, é fundamental que os produtores rurais adotem um sistema de produção e manejo que garanta uma carcaça com o peso e acabamento ideal (Polkinghorne, 2018). Diante dessa realidade, Nath et al. (2023) destaca a utilização de subprodutos na alimentação animal como uma alternativa de minimização de custos de produção, obtendo resultados maiores e melhores em menos tempo, visando uma atividade econômica, visto que a alimentação tem um custo significativo no sistema de produção.

Ademais, o uso de uma dieta adequada principalmente para animais jovens manifesta-se mais favoravelmente, pois permite o abate do animal com um bom acabamento de gordura, sem prejuízo a qualidade da carne (Piovesan e Gai 2016).

## **2.2 Alimentos alternativos em substituição ao milho na alimentação de bovinos**

A fonte energética mais utilizada para a dieta de bovinos é o grão de milho. Logo, conforme Bezerra et al. (2021) é fundamental a utilização de subprodutos alternativos na dieta de ruminantes para favorecer o desempenho do animal, pois, em determinadas épocas do ano, produtos como o milho tendem a ter alterações de preço. Assim, na industrialização do milho é gerado o farelo de gérmen de milho e o gérmen de milho integral, que possuem potencial nutricional para uso na alimentação de bovinos, o que foi avaliado por Miotto et al. (2009), ao avaliar as características de carcaça de tourinhos que receberam dietas contendo diferentes níveis de gérmen de milho em substituição ao milho moído. Os autores observaram que a substituição do milho pelos níveis do gérmen de milho nas dietas proporcionou maiores pesos de abate e carcaças mais pesadas, sem afetar as características de rendimento da carcaça e dos cortes comerciais. Já no experimento conduzido por Ezequiel et al. (2006a e b) substituindo parcialmente o milho moído pela casca de soja ou pelo farelo de gérmen de milho na dieta de bovinos, foram observadas que as dietas proporcionaram semelhante ingestão de nutrientes, desempenho e rendimento de carcaça dos bovinos e os autores recomendaram a substituição do milho pelos subprodutos em até 70 %, sendo usados nas dietas os ingredientes com maior disponibilidade na região e com menor custo.

De acordo com Silva et al. (2012), é de conhecimento geral que o milho é trivialmente utilizado na alimentação de bovinos de corte e outros ruminantes, entretanto, foi reportado que o farelo de mesocarpo do babaçu representou uma excelente alternativa de alimentação, pois pode substituir 60% do milho em concentrados para bovinos em confinamentos, conseqüentemente, o mesmo é abatido em menor tempo. Sob o mesmo ponto de vista, o estudo de Miotto et al. (2012) afirma que a substituição do milho pelo farelo de mesocarpo do babaçu não altera o peso e rendimento cárneo do traseiro especial, porém reduz o peso da carcaça quente e espessura de gordura subcutânea em níveis de substituição superiores a 33,3% e proporciona melhoria da relação porção comestível.

No entanto, Henrique et al. (1998) estudando o desempenho de bovinos Gertrudes com idade média de nove meses alimentados com ração contendo 20% de polpa cítrica peletizada como única fonte de concentrado e tendo como volumosa silagem de milho. Constatou que o grão de milho foi mais favorável do que a polpa cítrica, pois proporcionou maior média de peso diário. Assim, isso reforça que os subprodutos não se recomendam como fonte única de alimento concentrado, energético e proteico.

Berndt et al. (2002) compararam o desenvolvimento de 28 tourinhos Santa Gertrudes alimentados com silagem de milho + milho seco, bagaço cru + milho úmido e bagaço cru + milho seco e verificou que a silagem de grão de milho foi superior ao bagaço, aumentando o teor de gordura, a taxa de deposição de lipídeos e o teor de energia no ganho de peso, em suma, aumentou o teor de energia líquida.

Miotto et al. (2009) avaliaram as características quantitativas das carcaças de 24 tourinhos Nelore x Limousin que foram alimentados com dieta contendo 15%, 30% e 45% de gérmen de milho integral (GMI), 25% de volumoso e 75% de concentrado, como resultado, para obter maiores peso de abate e carcaças mais pesadas pode incluir o GMI em nível de 45% da matéria seca em dietas para bovinos em confinamento. Para novilhos em confinamento, a substituição de 50% do grão de milho pela casca de soja e pelo farelo de gérmen de milho não afeta o desempenho e as características da carcaça.

Uma planta forrageira com grande potencial para substituir o milho em dietas para bovinos, proporcionando ingestão e desempenho similares, é o milheto. Fato observado por Silva et al. (2014) ao incluírem diferentes níveis de milheto em substituição ao milho em dietas para novilhos confinados. Em outro estudo, Silva et al. (2014) ao avaliarem a composição centesimal e as características físico-químicas da carne de tourinhos mestiços alimentados com dietas com níveis de milheto em substituição ao milho, observaram que as dietas proporcionaram efeito semelhante sobre as características avaliadas na carne, sendo, portanto, recomendada a substituição do milho pelo milheto, pois, além de proporcionar resultados semelhantes, a utilização do milheto reduz os custos de produção e aumenta a margem de lucro no sistema de produção (Silva et al., 2014, Silva et al. 2014).

### 2.3 Cana - de - açúcar

A levedura da cana-de-açúcar é um dos produtos da agroindústria que podem substituir os suplementos proteicos estipulados para a dieta de bovinos (Prado et al. 2000). No que se refere a viabilidade econômica e disponibilidade do subproduto, a cada ano são obtidas 75 milhões de toneladas de bagaço de cana. Esse subproduto pode ser usado na alimentação de ruminantes, no entanto, pesquisas relacionadas ao valor nutritivo afirmam que o bagaço *in natura* não apresenta potencial para ser utilizado em grandes proporções na dieta de ruminantes quando se visa desempenho animal de moderado a alto, devido às ligações que ocorrem na parede celular entre a celulose, a hemicelulose e a lignina (Almeida et al., 2018; Freitas et al., 2018). Logo, o uso de tratamentos químicos e físicos são necessários para melhoria de sua qualidade nutricional. Estes tratamentos tem como finalidade a ruptura das complexas ligações químicas da lignina com a celulose e hemicelulose, possibilitando a adesão e colonização microbiana, aumentando a degradação ruminal através da hidrólise dos carboidratos pelas enzimas fibrolíticas (Missio, 2016).

Neumann et al. (2016) ao incluírem diferentes níveis de bagaço de cana-de-açúcar peletizado em substituição ao milho em dietas para tourinhos em confinamento, verificaram que a substituição aumentou o consumo de ração, o ganho de peso corporal e a espessura da camada de gordura subcutânea. Os autores recomendaram a substituição do milho pelo bagaço de cana peletizado em até 7%. Já Freitas et al. (2018) ao avaliarem o efeito de diferentes níveis crescentes de bagaço de cana-de-açúcar em substituição ao milho moído em dietas para bovinos observaram que a inclusão do bagaço de cana-de-açúcar como fonte exclusiva de volumoso na dieta reduz o consumo e a digestibilidade de matéria, afetando diretamente o desempenho animal. Esses resultados contraditórios estão relacionados ao teor de fibras de baixa digestibilidade do bagaço de cana, promovendo maior retenção no trato digestivo e restrições na ingestão. Sendo, portanto, de suma importância o tratamento do bagaço de cana-de-açúcar ao incluí-lo na alimentação de bovinos.

Conforme estudado por Pinto & Millen (2016), dietas a base de cana-de-açúcar *in natura* apresentaram maiores coeficientes de digestibilidade e consumo da matéria seca, entretanto, dietas contendo cana-de-açúcar ou silagem de sorgo, não houve efeito sobre a digestibilidade da matéria orgânica, proteína bruta, fibra em detergente neutro, extrato etéreo e carboidratos não fibrosos, não houve diferença para ganho médio diário, rendimento de carcaça, ganho de carcaça e conversão alimentar na produção de bovinos de corte castrados com aproximadamente 394 kg.

Siqueira et al. (2019), verificaram menor consumo de matéria seca com silagens contendo cana de açúcar em relação a silagem contendo milho, o ganho médio diário foi similar entre os tipos de volumosos e a conversão alimentar foi melhor em rações contendo cana de açúcar, porém, não foram encontradas efeito nas características de carcaça.

Clímacol et al. (2011) com o objetivo de avaliar o desempenho dos bovinos confinados, a princípio com peso vivo de  $394 \pm 21$  kg, utilizando dieta para bovinos confinados contendo silagem de cana-de-açúcar e ração comercial na proporção de 55 e 45% (base seca), respectivamente, com 14,99% de proteína bruta e 59,84% de nutrientes digestíveis totais, relatou que embora bovinos puros da raça Tabapuã tiveram melhores médias para rendimento de carcaça quente (56,2%) e fria (55,2%), os animais atingiram escore corporal de abate tardio em relação aos mestiços  $\frac{1}{2}$  Bonsmara +  $\frac{1}{2}$  Nelore e mestiços  $\frac{1}{2}$  Bonsmara +  $\frac{1}{4}$  Red Angus +  $\frac{1}{4}$  Nelore.

Oliveira et al. (2009) utilizando 15 bovinos da raça Canchim com cerca de 300 kg e 15 meses de idade e 15 Nelore com 330 kg e 18 meses aproximadamente, sendo alimentados com 60% e 40% de concentrado em dietas experimental, conclui-se que, é apropriado utilizar 60% de concentrado nas dietas contendo cana-de-açúcar e grãos de girassol, pois os tourinhos Canchim apresentou melhor desempenho na produção de tecido magro enquanto o Nelore apresentou melhor acabamento de carcaça.

## 2.4 Mandioca

Os subprodutos da mandioca apresentam custo agregado e possuem um grande potencial para ser utilizado na dieta de bovinos (Bizzuti et al., 2021). Além disso, apresentam altas quantidades de carboidratos solúveis, com alta digestibilidade (Amir et al., 2021). Geron et al. (2019) enfatizaram que a raspa de mandioca é um subproduto da moagem de farinha e pode ser utilizada como aditivo em silagens, principalmente com o objetivo de aumentar a concentração de matéria seca, além de fornecer carboidratos para fermentar o material ensilado. Bizzuti et al. (2021) mostraram que os subprodutos da mandioca levaram a resultados positivos quando analisados em ensaios *in vitro*, como aumento da eficiência dos microrganismos e diminuição das perdas de nitrogênio, sem causar impactos negativos nos parâmetros fermentativos ruminais. Dian et al. (2006) ao avaliar a digestibilidade aparente e degradabilidade *in situ* de dietas com subprodutos de mandioca em substituição ao milho fornecidas a touros de corte observaram que ocorreu elevação da fração solúvel da matéria seca e da degradabilidade efetiva da matéria seca com o aumento da proporção de subprodutos da mandioca na dieta.

Em relação ao desempenho produtivo, Marques et al. (2000) constatou que a mandioca e seus resíduos, sobretudo a casca, embora tenha diminuído o consumo de alimentos, não alterou o ganho de peso, a conversão alimentar da MS e rendimento de carcaça, podendo ser utilizados em substituição do milho para bovinos confinados. Já Abrahão et al. (2005) em seus estudos substituindo o milho pelo resíduo úmido da extração da fécula de mandioca, inferiu a influência no teor de umidade da carne, a carcaça obteve boa conformação, musculosidade e uma ideal cobertura de gordura, dentro das características desejáveis para o mercado, tais como porcentagem da porção comestível de 85,07%, rendimento de carcaça superior a 50%, área do *Longissimus dorsi* 79,25%, e 20,85 de gordura entre outros atributos.

## 2.5 Abacaxi

Sousa et al. (2021) afirmaram que a utilização dos subprodutos do abacaxi como alimento para os animais tem sido uma estratégia muito considerada em países tropicais. O resíduo do abacaxi é composto por casca, coroa, caroço, folha, ponta da coroa, etc, representando cerca de 60% do peso do abacaxi e são considerados por causar problemas de descarte e poluição (Sarangi et al., 2023).

Os resíduos industriais de abacaxi apresentam características nutricionais próximas à da silagem de milho (Paula & Faria Junior, 2019). Segundo Sousa, et al. (2021), a composição química dos resíduos apresenta 23,60% de matéria seca, 6,3% de proteína bruta; 73,1% de fibra em detergente neutro; 7,0% de lignina e 58,0% de nutrientes digestíveis totais. Já Paula & Faria Junior (2019), mencionam que o restolho do abacaxi apresenta 84,12% de matéria seca, 5,95% de proteína bruta, 2,54 de extrato estéreo,

61,06% fibra em detergente neutro e 2,10% de lignina. Dessa maneira, os restos culturais do abacaxi se caracterizam como alimento de baixo teor proteico e rico em fibra. Por serem ricos em carboidratos solúveis, esses materiais são degradados rapidamente no ambiente ruminal (Sousa et al., 2021). Lallo et al. (2003) ao avaliarem níveis de substituição da silagem de milho pela silagem de resíduos industriais de abacaxi sobre a degradabilidade ruminal em bovinos de corte observaram que a silagem de resíduos industriais de abacaxi pode substituir em até 60% a silagem de milho nas rações para bovinos em confinamento, sem afetar a fermentação ruminal. No entanto, os autores apresentam a necessidade do desenvolvimento de mais pesquisas, com o objetivo de conhecer com melhor acurácia a degradabilidade ruminal, digestibilidade aparente e metabolismo dos animais que estejam recebendo maiores níveis destes resíduos nas dietas.

Prado et al. (2003), trabalhando com níveis de substituição da silagem de milho pela silagem de resíduo industrial de abacaxi sobre o desempenho de bovinos, observaram que o uso da silagem de resíduo industrial de abacaxi proporciona desempenho animal, conversão alimentar e rendimento de carcaça semelhante a silagem do milho. No entanto, uma desvantagem é que a silagem de resíduo industrial de abacaxi tem elevado teor de água, sendo necessário a inclusão de um aditivo sequestrador de umidade para que não ocorram perdas de nutrientes por lixiviação durante o período de fermentação da silagem (Gowda et al., 2015).

Em relação ao peso de carcaça, Deng et al. (2022) ao estudarem os efeitos do resíduo fermentado de abacaxi sobre o peso de carcaça de touros Simental em engorda, verificaram que o uso de até 50 % do resíduo de abacaxi nas dietas elevaram numericamente o peso das carcaças em relação a dieta controle (0% de resíduo de abacaxi), não havendo diferenças significativas entre as dietas testadas. O oposto foi observado por Choi et al. (2021) que ao incluírem diferentes níveis de resíduo de abacaxi em dietas para novilhos Hanwoo em terminação observaram uma redução no peso da carcaça dos animais em relação a dieta controle e recomendaram o uso de apenas 1.5 % (com base na matéria seca) do resíduo de abacaxi nas dietas. Assim, apesar do resíduo de abacaxi apresentar valor nutricional que possa substituir o milho nas dietas, é necessário que se observe em qual fase da criação comercial o animal se encontra para que se possa incluir o nível adequado desse subproduto nas dietas, de forma que não se tenha um maior peso e rendimento de carcaça.

## **2.6 Polpa cítrica no rendimento de carcaça bovina**

O manejo alimentar a partir da utilização de subprodutos na nutrição de bovinos permite a transformação de matérias de emprego limitado na alimentação humana em proteína animal. Os animais ruminantes são elementos essenciais nesse processo (Villarreal et al., 2006). A polpa cítrica comumente tem sido utilizada na alimentação animal, sendo essa prática vantajosa por resultar em desempenho satisfatórios, além de contribuir com a redução do descarte desses resíduos no meio ambiente.



A polpa cítrica é um subproduto da indústria de citrus que apresenta composição nutricional que a torna atrativa para utilização como ingrediente na alimentação animal (Luzardo et al., 2021). Luzardo et al. (2021) descreve que a polpa cítrica é um resíduo composto principalmente de água, açúcares solúveis, fibras, ácidos orgânicos, aminoácidos, proteínas, minerais e lipídios, além de flavonoides e vitaminas.

Ademais, a polpa cítrica é referenciada por ser palatável para os animais, além de possuir preço baixo quando comparado a outros ingredientes da alimentação animal com o mesmo valor nutricional, bem como fornece nutrientes de boa digestão. A polpa cítrica é um subproduto rico em vitamina C e antioxidantes, isso reflete de forma positiva na saúde e produtividade do rebanho. Entretanto, como desvantagens tem-se o volume, estraga rapidamente e pode ser um meio favorável para a reprodução de moscas se apodrecer, e provê uma relação C:P desequilibrada (Bakr, 2020).

Habeeb (2023) reportou em uma revisão sistemática que bovinos alimentados com até 40% de polpa cítrica seca em suas refeições não se constatou nenhum efeito negativo para a saúde dos animais, e que em touros jovens o crescimento, peso vivo e rendimento da carcaça não foram afetados quando foi incluído 55% de polpa cítrica em substituição a 86% do grão do milho.

Salami et al. (2020) concluiu que a inclusão de até 80% de polpa cítrica em substituição aos suplementos concentrados (grãos de soja e cevada) não afetou a capacidade antioxidante da carne de novilhos alimentados com silagem de milho e melhorou a composição de ácidos graxos da carne bovina, aumentando a porcentagem de ácido linoléico conjugado e ácidos graxos poliinsaturados.

A polpa cítrica foi avaliada como uma fonte de fibra alimentar ao farelo de trigo na dieta de novilhos Angus de 7 meses de idade juntamente com o bagaço de uva seco. Foi observado que os pesos vivos iniciais não foram diferentes entre as dietas e que os animais alimentados com a polpa cítrica apresentaram maior consumo de matéria seca em relação aos novilhos alimentados com o bagaço de uva seco. Em adição, verificou-se que o ganho médio diário e o peso vivo final foram maiores em novilhos recebendo dietas com polpa cítrica e bagaço de uva em comparação a dieta controle, e que houve carcaças quentes e frias mais pesadas e maiores percentagens de rendimento para os novilhos que receberam a polpa cítrica (Tayengwa et al., 2020).

Na alimentação de ruminantes, esse subproduto dos citros pode ser fornecido principalmente como componente energético da dieta, e outro fator interessante é que sua disponibilidade coincide com o período de escassez de forragem (Henrique et al., 2004). Conforme Bakr (2020), as opções de alimentação com subprodutos cítricos da dieta de ruminantes incluem a polpa cítrica fresca, a silagem de polpa cítrica, polpa cítrica seca, farelo de polpa cítrica, melaço cítrico entre outros. Sendo que polpa cítrica apresenta em sua composição: cascas, bagaços, sementes e frutas, refletindo em 50% do total da fruta (Silva et al., 2013).

Em dietas com 20% de silagem de milho e 40% de grãos combinado à inclusão de polpa cítrica peletizada nas proporções de 0, 25, 40 e 55% em substituição ao milho, Henrique et al. (2004) constaram não haver influência sobre o desempenho e características da carcaça de tourinhos Santa Gertrudes confinados, além de não haver diferença no ganho de peso, ingestão diária de matéria seca, eficiência alimentar, rendimento de carcaça e área de olho de lombo entre os níveis de polpa cítrica.

### 3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação dos subprodutos da agroindústria que são ricos em fontes energéticas e proteicas na dieta adequada com acréscimos de aditivos, suplementos e concentrados na alimentação de bovinos em terminação influencia na qualidade do produto final, obtendo um rendimento de carcaça dentro dos padrões comerciais, além de ser uma fonte econômica para os produtores.

### REFERÊNCIAS

ABIEC. **Associação Brasileira Das Indústrias Exportadoras de Carnes. Perfil da pecuária no Brasil.** São Paulo. Relatório anual 2020, 48 p. 2021. Disponível em: <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2020/>.

ABRAHÃO, J. J. S.; PRADO, I. N.; PEROTTO, D.; MOLETTA, J. L. Características de carcaças e da carne de tourinhos submetidos a dietas com diferentes níveis de substituição do milho por resíduo úmido da extração da fécula de mandioca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, p. 1640-1650, 2005.

ALEXANDRINO, S. L. S. A.; SANTOS, T. L. S.; MORAES, R. C.; GONÇALVES, L. F.; PAULA, L. C.; SILVA, G. S.; MINAFRA, C. S.; GOMIDE, A.P.C. Qualidade, avaliação e tipificação de carcaças das principais espécies de interesse zootécnico: bovina, suína e aves. **Research, Society and Development**, v. 9, e1719108422, 2020.

ALMEIDA, G. A. P.; FERREIRA, M. A.; SILVA, J. L.; CHAGAS, J. C. C.; VÉRAS, A. S. C.; BARROS, L. J. A.; ALMEIDA, G. L. P. Sugarcane bagasse as exclusive roughage for dairy cows in smallholder livestock system. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, v. 31, p. 379-385, 2018.

BAKR, M. Citrus pulp as an innovative feed ingredient in ruminant nutrition. A review. **Egyptian Journal of Animal Production**, v. 57, p. 73–80, 2020.

BERNDT, A.; HENRIQUE, W.; LANNA, D. P. D.; LEME, P. R.; ALLEONI, G. F. Milho úmido, bagaço de cana e silagem de milho em dietas de alto teor de concentrado. 2. composição corporal e taxas de deposição dos tecidos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, p. 2105-2112, 2002.

AMIR, A.; PURWANTO, B. P.; ATABANY, N. A.; SALUNDIK YANI, A. Nutrient quality, digestibility and amino acid of cassava leaves silages in different additives. **Livestock Research for Rural Development**, v. 33, 2021.

BEZERRA, L. R.; SOUSA, S. V.; DIOGÉNES, L. V.; OLIVEIRA, J. P. F. Viabilidade nutricional e perspectivas econômicas de coprodutos usados na alimentação de bovinos no Nordeste do Brasil. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 23, p. 21-35, 2021.

BIZZUTI, B. E.; FARIA, L. A.; COSTA, W. S.; LIMA, P. M. T.; OVANI, V. S.; KRÜGER, A. M.; LOUVANDINI, H.; ABDALLA, A. L. Potential use of cassava by-product as ruminant feed. **Tropical Animal Health and Production**, v. 53, e108, 2021.

CHOI, Y.; LEE, S.; NA, Y. Effects of a pineapple (*Ananas comosus* L.) cannery by-product on growth performance and carcass characteristics in finishing. **Animal Bioscience**, v. 34, p. 233-242, 2021.

CLÍMACO, S. M.; RIBEIRO, E. L. A.; MIZUBUTI, I. Y.; SILVA, L. D. F.; BARBOSA, M. A. A. F.; BRIDI, A. M. Desempenho e característica de carcaça de bovinos de corte de quatro grupos genéticos terminados em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 1562-1567, 2011.

DENG, M.; XIAO, Z.; LIU, G.; SUN, B.; GUO, Y.; ZOU, X.; LIU, D.; YANG, Z.; LI, Y. The effects of fermented pineapple residue on growth performance, meat quality, and rumen microbiota of fattening Simmental bull. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, e942208, 2022.

DIAN, P. H. M.; PRADO, I. N.; GERON, L. J. V.; LOBO JÚNIOR, A. R.; ZEOULA, L. M.; SCOMPARIN, V. X.; MOREIRA, F. B. Apparent digestibility and *in situ* degradability of diets with cassava by-products fed to beef bulls. **Archivos de Zootecnia**, v. 57, p. 373-376, 2008.

DENTINHO, M. T. P.; PAULOS K.; COSTA, C.; COSTA, J.; FIALHO, L.; CACHUCHO, L.; PORTUGAL, A.P.; ALMEIDA J.; REHAN, I.; BELO, A. T.; JERÔNIMO, E.; SANTOS-SILVA, J. Silages of agro-industrial by-products in lamb diets – Effect on growth performance, carcass, meat quality and *in vitro* methane emissions. **Animal Feed Science and Technology**, v. 298, e115603, 2023.

EMBRAPA. **Cadeia produtiva da carne bovina: contexto e desafios futuros**. 2021.

EZEQUIEL, J. M. B.; CRUZ E SILVA, O. G.; GALATI, R. L.; WATANABE, P. H.; BIAGIOLI, B.; FATURI, C. (2006a). Desempenho de novilhos Nelore alimentados com casca de soja ou farelo de gérmen de milho em substituição parcial ao milho moído. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 569-575.

EZEQUIEL, J. M. B.; GALATI, R. L.; MENDES, A. R.; FATURI, C. Desempenho e características de carcaça de bovinos Nelore em confinamento alimentados com bagaço de cana-de-açúcar e diferentes fontes energéticas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 2050-2057, 2006b.

FREITAS, W. R.; FERREIRA, M. A.; SILVA, J. L.; VÉRAS, A. S. C.; BARROS, L. J. A.; ALVES, A. M. S. V.; CHAGAS, J. C. C.; SIQUEIRA, T. D. Q.; ALMEIDA, G. A. P. Sugarcane bagasse as only roughage for crossbred lactating cows in semiarid regions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, p. 386-393, 2018.

GERON, L. J. V.; AGUIAR, S. C.; SILVA, A. P.; ROBERTO, L. S.; COELHO, K. S. M.; CARVALHO, J. T. H.; DINIZ, L. C. Inclusão da raspa de mandioca residual desidratada na alimentação de ovinos sobre parâmetros ruminais e balanço de nitrogênio. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 17, p. 40-49, 2019.

GESUALDI JÚNIOR, A.; QUEIROZ, A. C.; RESENDE, F. D.; ALLEONII, G. F.; RAZOOK, A. G.; FIGUEIREDO, L. A.; GESUALDI, A. C. L.; DETMANN, E. Características de carcaça de bovinos Nelore e Caracu selecionados para peso aos 378 dias de idade recebendo alimentação restrita ou à vontade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 131-138, 2006.

GOMES, M. N. B. **Manual de avaliação de carcaças bovinas** [recurso eletrônico] / organizadora – Campo Grande, MS: Ed. UFMS, 62p. 2021.

GOWDA, N. K. S.; VALLESHA, N. C.; AWACHAT, V. B.; SAMIREDDYPALLI, A.; PAL, D. T.; PRASAD, C. S. Study on evaluation of silage from pineapple (*Ananas comosus*) fruit residue as livestock feed. **Tropical Animal Health and Production**, v. 47, p. 557–561, 2015.

HABEEB, A. A. M. Importance of utilization of citrus by-product waste in ruminant animal nutrition. **Indiana Journal of Agriculture and Life Sciences**, v. 3, p. 1-9, 2023.

HALMEMIES-BEAUCHET-FILLEAU, A.; RINNE, M.; LAMMINEN, M.; MAPATO, C.; AMPAPON, T.; WANAPAT, M.; VANHATALO, A. Review: Alternative and novel feeds for ruminants: nutritive value, product quality and environmental aspects. **Animal**, v. 12, p. 295–309, 2018.

HENRIQUE, W.; SAMPAIO, A. A. M.; LEME, P. R.; LANNA, D. P. D.; ALLEONI, G. F.; COUTINHO FILHO, J. L. V. Desempenho e características da carcaça de tourinhos Santa Gertrudes confinados, recebendo dietas com alto concentrado e níveis crescentes de polpa cítrica peletizada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 463-470, 2004.

HENRIQUE, W.; LEME, P. R.; LANNA, D. P. D.; COUTINHO FILHO, J. L. V.; PERES, R. M.; JUSTO, C. L.; SIQUEIRA, P. A.; ALLEONI, G. F. Substituição de amido por pectina em dietas com diferentes níveis de concentrado. 1. Desempenho animal e características da carcaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 27, p. 1206-1211, 1998.

JAEGER, S. M. P. L.; DUTRA, A. R.; PEREIRA, J. C.; OLIVEIRA, I. S. C. Características da carcaça de bovinos de quatro grupos genéticos submetidos a dietas com ou sem adição de gordura protegida. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 1876-1887, 2004.

JALAL, H.; GIAMMARCO, M.; LANZONI, L.; AKRAM, M. Z.; MAMMI, L. M. E.; VIGNOLA, G.; CHINCARINI, M.; FORMIGONI, A.; FUSARO, I. Potential of fruits and vegetable by-products as an alternative feed source for sustainable ruminant nutrition and production: a review. **Agriculture**, v. 13, e286, 2023.

LALLO, F. H.; PRADO, I. N.; NASCIMENTO, W. G.; ZEOULA, L. M.; MOREIRA, F. B.; WADA, F. Y. Níveis de substituição da silagem de milho pela silagem de resíduos industriais de abacaxi sobre a degradabilidade ruminal em bovinos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, p. 719-726, 2003.

LUZARDO, S.; BANCHERO, G.; FERRARI, V.; IBÁÑEZ, F.; ROIG, G.; AZNÁREZ, V.; CLARIGET, J.; LA MANNA, A. Effect of fresh citrus pulp supplementation on animal performance and meat quality of feedlot steers. **Animals**, v. 11, e3338, 2021.

MAKKAR, H. P. S. Review: Feed demand landscape and implications of food-not feed strategy for food security and climate change. **Animal**, v. 12, p. 1744–1754, 2018.

MARQUES, J. A.; PRADO, I. N.; ZEOULA, L. M.; ALCALDE, C. R.; NASCIMENTO, W. G. Avaliação da mandioca e seus resíduos industriais em substituição ao milho no desempenho de novilhas confinadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 1528-1536, 2000.

MAYER, A. R.; RODRIGUES, L. S.; ALVES FILHO, D. C.; CATTELAM, J.; CALLEGARO, A. M.; ARGENTA, F. M.; BRONDANI, I. L.; PACHECO, P. S. Características da carcaça e qualidade da carne de novilhos alimentados com diferentes fontes energéticas. **Revista Espacios**, v. 38, p. 1-12, 2017.

MENEGHETTI, C. C.; DOMINGUES, J. L. Características nutricionais e uso de subprodutos da agroindústria na alimentação de bovinos. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 5, p. 512-536, 2008.

MIOTTO F. R.; RESTLE, J.; NEIVA, J. N. M.; RESENDE, P. L. P.; LAGE, M. E.; PRADO, C. S.; PADUA, J. T.; ARAÚJO, V. L. Farelo de mesocarpo de babaçu (*Orbygnia* sp.) na terminação de bovinos: composição física da carcaça e qualidade da carne. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1271-1277, 2012.

MIOTTO, F. R. C.; NEIVA, J. N. M.; ROGÉRIO, M. C. P.; CASTRO, K. J.; FACÓ, O.; VOLTOLINI, T. V.; RESTLÉ, J. Características da carcaça de tourinhos nelore x limousin alimentados com dietas contendo germen de milho integral. **Ciência Animal Brasileira**, v. 10, p. 474-484, 2009.

- MISSIO, R. L. Tratamento do bagaço de cana-de-açúcar para alimentação de ruminantes. **Archivos de Zootecnia**, v. 65, p. 267-278, 2016.
- NATH, P. C.; OJHA, A.; DEBNATH, S.; SHARMA, M.; NAYAK, P. K.; SRIDHAR, K.; INBARAJ, B. S. Valorization of food waste as animal feed: a step towards sustainable food waste management and circular bioeconomy. **Animals**, v. 13, e1366, 2023.
- NEUMANN, M.; UENO, R. K.; PERUSSOLO, L. F.; GHELLER, L. F. M.; POCZYNEK, M.; BARCELLOS, J. O. J.; BUMBIERIS JUNIOR, V. H. Inclusão de bagaço de cana-de-açúcar peletizado em dietas desprovidas de fibra longa para tourinhos terminados em confinamento. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, p. 3305-3316, 2016.
- OLIVEIRA, E. A.; SAMPAIO, A. A. M.; FERNANDES, A. R. M.; HENRIQUE, W.; OLIVEIRA, R. V.; RIBEIRO, G. M. Desempenho e características de carcaça de tourinhos Nelore e Canchim terminados em confinamento recebendo dietas com cana-de-açúcar e dois níveis de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 2465-2472, 2009.
- PAULA, K., FARIA JÚNIOR, O. L. Utilização dos restos culturais e resíduos da industrialização de abacaxi na alimentação de ruminantes: Revisão. **Pubvet**, v. 13, p. 1-7, 2019.
- PINTO, A. C. J.; MILLEN, D. D. Situação atual da engorda de bovinos em confinamento e modelos nutricionais em uso. In: X Simpósio Internacional de Produção de Bovinos de Corte, Viçosa. **Anais... Viçosa: DZO-UFV**, p. 103-120, 2016.
- PIOVESAN, L. C.; GAI, V. F. Ganho de peso e desempenho econômico em confinamento de animais cruzados submetidos a diferentes dietas. **Revista Cultivando o Saber**, p.62-69, 2016.
- POGORZELSKI, G.; POGORZELSKA-NOWICKA, E.; POGORZELSKI, P.; PÓŁTORAK, A.; HOCQUETTE, J. F.; WIERZBICKA, A. Towards an integration of pre- and post-slaughter factors affecting the eating quality of beef. **Livestock Science**, v. 255, e104795, 2022.
- POLKINGHORNE, R. From commodity, to customer, to consumer: The Australian beef industry Evolution. **Animal Frontiers**, v. 8, p. 47-52, 2018.
- PRADO, I. N.; LALLO, F. H.; ZEOULA, L. M.; CALDAS NETO, S. F.; NASCIMENTO, W. G.; MARQUES, J. A. Níveis de substituição da silagem de milho pela silagem de resíduo industrial de abacaxi sobre o desempenho de bovinos confinados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, p. 737-744, 2003.
- PRADO, I. N.; MARTINS, A. S.; ALCALDE, C. R.; ZEOULA, L. M.; MARQUES, J. A. Desempenho de novilhas alimentadas com rações contendo milho ou casca de mandioca como fonte energética e farelo de algodão ou levedura como fonte proteica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 278-287, 2000.
- ROMAN, J.; JOBIM, C. C.; RESENDE, F. D.; SIQUEIRA, G. R.; FARIA, M. H.; RIVAS, R. Composição física da carcaça e características da carne de bovinos de corte terminados em confinamento com diferentes dietas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, p. 1430-1438, 2010.
- SALAMI, S. A.; O'GRADYA, M. N.; LUCIANO, G.; PRIOLOB, A.; MCGEEC, M.; MOLONEYC, A. P.; KERRY, J. P. Quality indices and sensory attributes of beef from steers offered grass silage and a concentrate supplemented with dried citrus Pulp. **Meat Science**, v. 168, e108181, 2020.

- SANTANA, A. E. M.; BOZORG, V. L. A.; RESTLE, J.; BILEGO, U. O.; AUGUSTO, W. F.; NEIVA, J. N. M. Does the use of corn and soybean hulls affect calf performance in the preweaning period? **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 52, e20200241, 2023.
- SANTOS, A. C. P.; SILVA, B. C. D.; OLIVEIRA, V. S.; VALENÇA, R. L. Métodos de avaliação de carcaça e de carne dos animais através de predições *in vivo* e post mortem – revisão de literatura. **Revista Científica de Medicina Veterinária**, v. 10, p. 1-21, 2018.
- SARANGI, P. K.; SINGH, A. K.; SRIVASTAVA, R. K.; GUPTA, V. K. Recent Progress and Future Perspectives for Zero Agriculture Waste Technologies: Pineapple Waste as a Case Study. **Sustainability**, v. 15, e3575, 2023.
- SILVA, R. M.; RESTLE, J.; BILEGO, U. O.; MISSIO, R. L.; PACHECO, P. S.; PRADO, C. S. Características físico-químicas da carne de tourinhos Zebuínos e Europeus alimentados com níveis de grão de milho na dieta. **Ciência Animal Brasileira**, v. 15, p. 20-31, 2014.
- SILVA, R. H. P.; SOUSA, B. M.; SILVA NETA, C. S.; INÁCIO, D. F. S.; MUNIZ, T. M. P. Utilização de subprodutos na alimentação de bovinos leiteiros em Minas Gerais. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 10, p. 2962 – 2981, 2014.
- SILVA, A. H. G.; RESTLE, J.; MISSIO, R. L.; BILEGO, U. O.; FERNANDES, J. J. R.; REZENDE, P. L. P.; SILVA, R. M.; PEREIRA, M. L. R.; LINO, F. A. Milheto em substituição ao milho na dieta de novilhos confinados. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, p. 2077-2094, 2014.
- SILVA, N. R.; FERREIRA, A. C. H.; FATURI, C.; SILVA, G. F.; MISSIO, R. L.; NEIVA, J. N. M.; ARAÚJO, V. L.; ALEXANDRINO, E. Desempenho em confinamento de bovinos de corte, castrados ou não, alimentados com teores crescentes de farelo do mesocarpo de babaçu. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1882-1887, 2012.
- SIQUEIRA, G. R.; ROTH, M. T. P.; MORETTI, M. H.; BENATTI, J. M. B.; RESENDE, F. D. Uso da cana-de-açúcar na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, v. 13, p. 991-1008, 2012.
- SOUSA, A. R. B. C.; ARAUJO, M. H. C. M.; GUIMARÃES, C. R. R.; OLIVEIRA, R. A. P. Utilização de subprodutos do abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill) na dieta animal. **Revista Novos Desafios**, v. 1, p. 44-55, 2021.
- TAYENGWA, T.; CHIKWANHA, O. C.; DUGAN, M. E. R.; MUTSVANGWA, T.; MAPIYE, C. Influence of feeding fruit by-products as alternative dietary fibre sources to wheat bran on beef production and quality of Angus steers. **Meat Science**, v. 161, e107969, 2020.
- VASTOLO, A.; CALABRÒ, S.; CUTRIGNELLI, M. I. A review on the use of agro-industrial Co-products in animals' diets. **Italian Journal of Animal Science**, v. 21, p. 577-594, 2022.
- VILLARREAL, M.; COCHRAN, R. C.; ROJAS-BOURRILLÓN, A.; MURILLO, O.; MUÑOZ, H.; POORE, M. Efeito da suplementação com polpa cítrica peletizada na digestibilidade e consumo de bovinos de corte alimentados com dieta à base de capim tropical (*Cynodon nlemfuensis*). **Animal Feed Science and Technology**, v. 125, p. 163-173, 2006.
- VALE, P.; GIBBS, H.; VALE, R.; MUNGER, J.; BRANDÃO JR, A.; CHRISTIE, M.; FLORENCE, E. Mapping the cattle industry in Brazil's most dynamic cattle-ranching state: Slaughterhouses in Mato Grosso, 1967-2016. **PLoS ONE**, v. 14, e0215286, 2019.

# UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO AGROINDUSTRIAIS FUNCIONALIZADO COM NANOPARTÍCULAS PARA REMOÇÃO DE METFORMINA PRESENTE EM ÁGUAS CONTAMINADAS

*Data de submissão: 10/02/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

**Nicolle Ramos dos Santos**

Universidade Estadual de Maringá - UEM

**Letícia Nishi**

Universidade Estadual de Maringá - UEM

**Daniel Mantovani**

Universidade Estadual de Maringá - UEM

**Diana Gomes**

Universidade Estadual de Maringá - UEM

**Rosangela Bergamasco**

Universidade Estadual de Maringá - UEM

**Luís Fernando Cusioli**

Universidade Estadual de Maringá - UEM

**RESUMO:** O uso de fármacos em todo o planeta vem aumentando, e conseqüentemente a ocorrência da sua presença em diferentes níveis de detecção em águas subterrâneas e superficiais vem tornando sérios problemas ambientais. Nesse sentido o objetivo do presente trabalho é estudar a capacidade de adsorção e porcentagem de remoção de fármacos a partir do desenvolvimento de um novo material adsorvente utilizando as cascas das sementes de Moringa oleifera Lam. funcionalizada com nanopartículas de óxido de ferro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cascas das sementes de Moringa oleifera Lam.; fármacos; adsorção; nanopartículas.

## INTRODUÇÃO

As últimas décadas, a ocorrência de micropoluentes no ambiente aquático passou a ser uma questão de grande preocupação mundial. Os micropoluentes, também denominados contaminantes emergentes, consistem em uma vasta quantidade de substancias de origem antrópica ou natural. Esse grupo inclui produtos químicos industriais, agrotóxicos, hormônios e esteroides, produtos de higiene pessoal e os fármacos. Os contaminantes emergentes estão comumente presentes nos corpos hídricos em concentrações baixas, podendo variar de  $\text{ng L}^{-1}$  a  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Essa baixa concentração e a diversidade dos compostos não só complicam os procedimentos de detecção e análise, como também dificultam os processos de tratamento de águas residuas e tratamento de água para abastecimento (LUO et al., 2014).

Os produtos oriundos das empresas farmacêuticas vêm se tornando um grande problema para o ambiente, pois conseguem alcançar de várias formas diferentes e conseqüentemente contaminando. A forma principal é por meio dos efluentes domésticos e hospitalares, após serem consumidos. Pois o que não é metabolizado no corpo humano ou dos animais é excretado por via real ou fezes, fazendo com que alcancem as estações de tratamento de esgoto por via dos seres humanos, podendo esses fármacos sofrer algum tipo de transformação, esses compostos não são removidos nos tratamentos convencionais, e são diretamente despejados como efluentes em corpos hídricos. Os produtos veterinários são excretados por meio do estrume dos animais nos campos e conseqüentemente entram em contato com lagos, lagoas, riachos e rios (RIVERA-UTRILLA et al., 2013). Sabendo que as ocorrências de resíduos de fármacos em águas residuais são relatadas em concentrações baixas, sua presença na vida aquática e terrestre é extremamente prejudicial, pois não se sabe determinar quais são os efeitos em longos prazos (PATEL et al., 2019).

Sabe-se que tratamentos convencionais não são eficientes na remoção de produtos farmacêuticos, incluindo a metformina e conseqüentemente encontra-se em perfeito estado em ambientes aquáticos (AHMED et al., 2017). Portanto muitos estudos de tratamentos terciários estão sendo estudados que excelentemente removam os fármacos de efluentes e águas de abastecimento, esses tratamentos são: fotocatálise, separação por membranas, osmose reversa, ozonização e adsorção (GEHRKE, et al., 2015).

A adsorção é um método eficiente e confiável é basicamente a acumulação de uma substância na superfície de um adsorvente sólido, as vantagens de utilização, estão na natureza universal, baixo custo e facilidade de operação (ALI et al., 2012). Quando o material adsorvente é proveniente de material biológico, o processo pode ser denominado biossorção, os resíduos agroindustriais tem sido avaliados com grande frequência por terem uma grande quantidade de grupos funcionais que favorecem a biossorção (ZAFAR et al., 2015). Tendo em vista a tal constatação, é possível enquadrar a casca da semente de *Moringa oleifera* Lam. como um biossorvente.

A *Moringa oleifera* Lam. é uma planta de porte médio, de origem da Índia, existe vários estudos trabalhando com várias partes da planta para vários tipos de estudos. Suas sementes têm sido frequentemente utilizadas como coagulantes no tratamento de água, e as cascas indicaram alto potencial das cascas na remoção de poluentes em soluções aquosas, tais como metais e compostos orgânicos (AKHTAR et al., 2007; ARAÚJO et al., 2013; REDDY et al., 2011).

As nanopartículas metálicas são uma classe de nanopartículas que podem ser manipuladas com a utilização de um campo magnético, suas vantagens são o alto número de locais ativos de superfície, uma grande área de superfície e altas propriedades magnéticas, que causam alta eficiência de adsorção, alta taxa de remoção de contaminantes, separação rápida e fácil por meio de campo magnético. Dentre os vários materiais magnéticos utilizados, as nanopartículas de óxido de ferro estão sendo amplamente utilizadas por possuir altas capacidades de adsorção e propriedades magnéticas (ALI et al., 2016).



## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os experimentos foram realizados em duas etapas: 1) desenvolvimento e preparo do novo adsorvente e suas caracterizações e 2) estudo do processo de adsorção para remoção de fármacos de soluções aquosas. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental (LGCPA) no Departamento de Engenharia Química (DEQ), da Universidade Estadual de Maringá (UEM) - campus sede.

### **Preparo das cascas das sementes de Moringa oleifera Lam.**

As sementes saudáveis de Moringa oleifera Lam. foram adquiridas da Universidade Federal de Sergipe, em Aracajú – SE. Foram selecionadas sementes de boa qualidade e as cascas retiradas manualmente e trituradas em liquidificador industrial (Poli LS04MB). Após a separação, as cascas foram lavadas com água deionizada para remover as impurezas grosseiras presentes e foram secas em estufa micro processada com circulação de ar (Temporizador Digital SX CR/42) a 105 °C durante 12 horas.

### **Tratamento químico e térmico das cascas das sementes**

As cascas in natura foram submetidas a um tratamento químico, a qual se manteve em contato com o álcool metílico (CH<sub>3</sub>OH) 0,1M por 4 horas na relação m/v de 1:5 sob agitação constante e temperatura ambiente, com auxílio de agitador mecânico (Fisatom 713D). Após esse período, realizou-se lavagem com água deionizada à temperatura ambiente. Logo após, as cascas ficaram em contato com ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) 0,1M por 1 hora, na relação m/v de 1:5 sob agitação constante e temperatura. Novamente as cascas foram secas em estufa de ar a 105 °C por 12 horas. A finalidade desse tratamento foi remover matérias orgânicas e inorgânicas indesejáveis da superfície do adsorvente. Após o tratamento químico, foi realizado o tratamento térmico do material utilizando um forno mufla (Forno Jung 10.012) a 300 °C por uma hora. Após o processo térmico o biossorvente foi colocado em dessecador até atingir temperatura ambiente. O intuito do tratamento térmico é aumentar a área superficial (AKHTAR et al., 2007).

### **Desenvolvimento do novo material funcionalizado com nanopartículas de óxido de ferro**

Após o processo de preparo da MOM. O novo material foi desenvolvido a partir de sulfato ferroso (FeSO<sub>4</sub>) e de nitrato de ferro (Fe(NO<sub>3</sub>)) ambos foram dissolvidos separadamente em água deionizada em béquer de 50 mL com auxílio de agitador magnético por 20 minutos. Feito isso, em um béquer de 250 mL foi pesado uma massa de 2 gramas das cascas das sementes de Moringa oleifera Lam. MOM e despejado as soluções de (FeSO<sub>4</sub>) e (Fe(NO<sub>3</sub>)) e completado o volume até 150 mL com água deionizada. Deixando em contato por 1 hora em agitador magnético.

Após o tempo de contato foi realizado o processo de coprecipitação no qual utilizou o material presente no béquer e com auxílio do pHmetro (Thermo Scientific) corrigiu o pH até atingir pH 11. Após a titulação o béquer foi colocado em cima do imã de neodímio até decantar por 10 minutos e descartado a água destilada. Feito isso novamente foi colocado água deionizada e o processo foi repetido por quatro vezes. Após esse processo o material foi seco em estufa de circulação de ar a 60 °C por 12 horas.

## **Caracterização do novo material desenvolvido**

Após o preparo do adsorvente e a separação no tamanho de partícula (tamanho selecionado 300  $\mu\text{m}$ ), foram utilizadas as técnicas para caracterizar o adsorvente quanto a sua composição morfológica e química. As técnicas utilizadas foram: Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS).

## **Microscopia eletrônica de varredura acoplada a espectroscopia de energia dispersiva**

O material foi analisado em microscopia eletrônica de varredura, utilizando o microscópio eletrônico de varredura por emissão de campo, Quanta 250 – FEG (FEI Company). Para realização da análise as amostras foram recobertas com ouro a uma espessura de aproximadamente 30 nm. Equipado com o sistema de análise química tipo EDS (Oxford) com software AZ Tech (Advanced) com detector tipo de deriva de silicone (SDD) de 80 mm<sup>2</sup>.

## **Preparo da solução de metformina**

A solução de metformina de 10 mg L<sup>-1</sup> foram preparadas a partir do padrão (99% de pureza) da Sigma-Aldrich em água deionizada. As amostras foram homogeneizadas com auxílio de um agitador magnético e realizou as leituras de concentração utilizou-se o espectrofotômetro UV-VIS (HACH DR 5000) a um comprimento de onda de 229 nm.

## **Ensaio preliminares de adsorção**

Os ensaios preliminares foram realizados em batelada utilizando a metodologia adaptada de Akhtar et al. (2007). A concentração inicial de metformina de 10 mg L<sup>-1</sup> foi proposta por Zhu et al. (2017) e a massa utilizada do adsorvente foi de 0,03 g. E as demais condições iniciais foram fixadas em:

- Velocidade de agitação: 150 rpm;
- Diâmetro de partículas: 300 e 600  $\mu\text{m}$ ;
- Temperatura: 25  $\pm$  1 °C;

- pH natural da solução:  $7.1 \pm 0,5$  °C;
- Volume de solução: 30 mL;
- Tempo: 24 horas.

As soluções foram colocadas em frascos de vidro com tampa rosqueável de 120 mL, nos quais também foi adicionado o adsorvente. Então os frascos foram agitados com auxílio da mesa agitadora orbital e após o tempo de contato a separação foi realizada com auxílio de um ímã de neodímio e foram filtradas em membranas de acetado de celulose (Unifil)  $0,45 \mu\text{m}$ . As leituras de concentração final foram feitas em espectrofotômetro (HACH DR 5000) no comprimento de onda de 229 nm. Todos os testes foram realizados em duplicatas. Com os resultados de concentração final de metformina, foram calculadas as capacidades de adsorção e a porcentagem de remoção.

## Estudo de equilíbrio e cinético

Após a avaliação da melhor massa e pH a serem estudadas o estudo cinético e de equilíbrio foram realizados a partir de ensaios em batelada, nos quais foi utilizado a massa de 0,03 g do adsorvente em contato com 30 mL de metformina a  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , mantidos em velocidade de agitação de 150 rpm, pH 7 e temperatura controlada de 25 °C. Os intervalos de tempo para retiradas das alíquotas das amostras analisadas foram de 5, 20, 30, 60, 120, 240, 360, 480, 600, 720, 900, 1080, 1260 e 1440 minutos, tempo necessário para que o equilíbrio fosse alcançado. As alíquotas foram filtradas e a concentração final de metformina foi determinada para o cálculo da capacidade de adsorção, todos os testes foram realizados em duplicatas. Para explicar o mecanismo cinético, aplicaram-se os dois modelos mais conhecidos aos dados experimentais, pseudo- primeira ordem e pseudo- segunda ordem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Microscopia eletrônica de varredura acoplada à espectroscopia de energia dispersiva

As amostras do material desenvolvido foram submetidas à microscopia eletrônica de varredura onde se avaliou a estrutura morfológica do biossorvente. Na Figura 1 estão apresentadas as estruturas morfológicas.

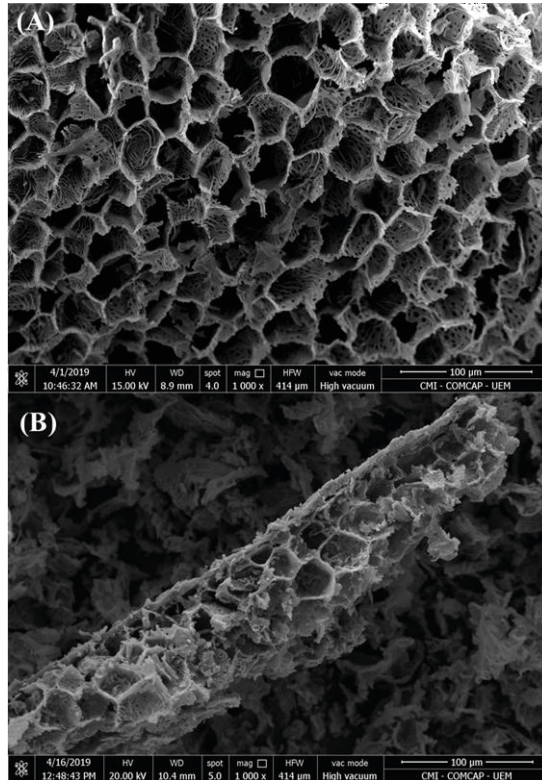


Figura 1: (A) Estrutura morfológica da Moringa oleifera Lam. tratada quimicamente e termicamente (B) Estrutura morfológica do novo material desenvolvimento

A imagem de morfologia foi realizada em magnitude de 1000 x do material desenvolvido. Nota-se na que na Figura 1 (A) possui uma grande quantidade de cavidades de poros, sendo esses poros heterôgenos podendo favorecer a capacidade de adsorção do biossorvente. Coldebella et al. (2017), relatam em seus estudos que o biossorvente proveniente de tratamento químico e térmico possui muitas cavidades abertas favorecendo no processo de adsorção. Reddy et al. (2010), afirmam que esse tipo de modificações são promissoras para adsorção de espécies químicas metálicas e de contaminantes orgânicos. Foi observado na Figura 1 (B) há presença de partículas aglomeradas possivelmente de  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e agradadas de na estrutura do biossorvente. Mateus et al. (2018), em seus estudos utilizando extrato da semente de Moringa oleifera funcionalizado com óxido de ferro afirmar que esses aglomerados no material são as nanopartículas aderidas no material utilizado. Acoplado com o microscópio eletrônico de varredura, existe a análise química tipo EDS (Oxford) com software AZ Tech (Advanced) com detector tipo de deriva de silicone (SDD) de 80 mm<sup>2</sup> e os resultados obtidos estão apresentados na Figura 2.

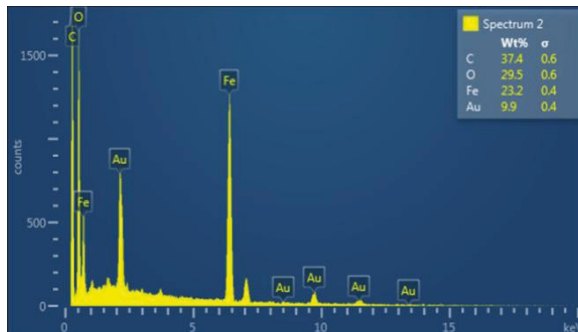


Figura 2: (A) Estrutura morfológica da Moringa oleifera Lam. tratada quimicamente e termicamente (B) Estrutura morfológica do novo material desenvolvido

Observa-se na Figura 2 a composição do material bioadsorvente a presença de Carbono (C), Oxigênio (O), Ferro (Fe) e Ouro (Au) nas seguintes composições 37,4, 29,5, 23,2 e 9,9% respectivamente. Os picos dos elementos C e O são provenientes do material bioadsorvente, provavelmente da celulose e lignina da Moringa oleifera. Os picos de Fe obtido no EDS comprova que o elemento está aderido na superfície do bioadsorvente. Os picos de Au apresentados são referentes ao recobrimento do material analisado e consequentemente aparece no EDS.

## Estudos preliminares

Esse estudo foi realizado verificar se novo adsorvente desenvolvido teria interação de remoção da metformina. Os resultados de capacidade de adsorção e porcentagem de remoção de metformina utilizando o novo material desenvolvido estão representados na Tabela 1.

Mesh 28 (600 $\mu\text{m}$ )		
Massa de adsorvente (g)	qe (mg g <sup>-1</sup> )	Remoção (%)
0,03	4,67	62,04
Mesh 48 (300 $\mu\text{m}$ )		
Massa de adsorvente (g)	qe (mg g <sup>-1</sup> )	Remoção (%)
0,03	9,76	96,83

Tabela 1: Estudo preliminar do novo material desenvolvido para remoção de metformina

Foram utilizados essas duas granulometria no estudo preliminar devido serem os maiores rendimentos no peneiramento. A peneira de Mesh 20 teve maior rendimento em relação à peneira Mesh 28, porém não foi selecionada, pois era a primeira peneira do conjunto e onde ficaram retida todas as partículas maiores que 850  $\mu\text{m}$ . Na Tabela 1 observa-se que os estudos utilizando o adsorvente com o diâmetro médio 600  $\mu\text{m}$  obteve-se capacidade de adsorção e porcentagem de remoção menor em relação quando se

utilizou o adsorvente com o diâmetro médio 300  $\mu\text{m}$ . Tal fato pode ser explicado porque o processo de adsorção é dependente a superfície externa do material, a área é aumentada com a diminuição das partículas (OUASIF et al., 2013). Com isso os estudos subsequentes foram conduzidos utilizando a peneira de Mesh 28.

### Estudo de equilíbrio e cinético de biossorção da metformina

É de grande importância o estudo de equilíbrio e cinético para o processo de adsorção, pois é através onde se estuda a capacidade de adsorção em relação ao tempo. Kabbashi et al. (2009), relatam que o estudo cinético é de grande importância para o processo de adsorção, pois é o estudo que avalia a remoção ou a capacidade de adsorção do contaminante em relação ao tempo. O gráfico com os modelos de pseudo- primeira ordem e pseudo-segunda ordem estão representados na Figura 3.

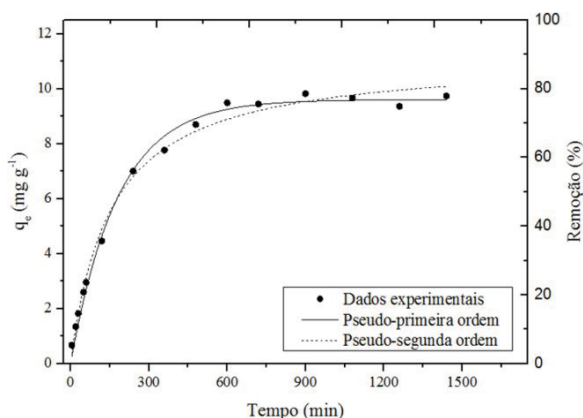


Figura 3: Cinética de adsorção e estudo de equilíbrio da metformina utilizando o material novo desenvolvido.

Confirmou-se na Figura 3 que a capacidade de adsorção da metformina na fase inicial do processo aumentou rapidamente, sendo demonstrado que os sítios ativos estão bem disponíveis inicialmente. Com o passar do tempo, a metformina foi removida a taxas menores da solução aquosa, alcançando a estabilidade em aproximadamente 720 minutos. Devido não haver uma variação significativa entre as capacidades de adsorção caracteriza-se que o estado de equilíbrio. Pois os sítios ativos vazios diminuiram dificultando que a molécula de metformina fosse adsorvida e impossibilitando a entrada de uma nova molécula (SALIH e MAHRAMANLIOĞLU, 2014). Após a estabilidade, alcançou-se no estudo cinético, o valor máximo da capacidade de adsorção de 9,45  $\text{mg g}^{-1}$  e a porcentagem de remoção de 93,9 %.

Após a construção do gráfico de capacidade de adsorção e porcentagem de remoção por tempo foram aplicados os modelos de pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e difusão intrapartícula apresentados na Tabela 2.

Modelos	Parâmetros	MOM-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Pseudo- primeira ordem	qe (mg g <sup>-1</sup> )	9,602
	k1 (min <sup>-1</sup> )	0,005
	R <sup>2</sup>	0,993
	χ <sup>2</sup>	0,087
	qe (mg g <sup>-1</sup> )	11,16
Pseudo- segunda ordem	k2 (g mg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	0,006
	R <sup>2</sup>	0,991
	χ <sup>2</sup>	0,111

Tabela 2: Modelos cinéticos para bioadsorção de metformina.

Verifica-se com os resultados apresentados na Tabela 2 que os valores do coeficiente de correlação (R<sup>2</sup>) foram similares para o modelo de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem (R<sup>2</sup> = 0,993 e 0,991) respectivamente, porém o valor de capacidade de adsorção calculada pelo modelo de pseudo-primeira ordem foi de 9,602 mg g<sup>-1</sup>, concordou fortemente com o obtido experimentalmente 9,45 mg g<sup>-1</sup>. Além disso, o valor de qui-quadrado (χ<sup>2</sup>) foi menor (0,087). Portanto o modelo de pseudo- primeira ordem foi determinado para representar os dados experimentais indicando que a velocidade de remoção de metformina é diretamente proporcional à diferença na concentração de saturação e ao número de sítios ativos (HO e MCKAY 1998, 1999).

## CONCLUSÃO

Nesse estudo, foi avaliada a capacidade de adsorção e a porcentagem de remoção da metformina utilizando o novo material desenvolvido com a as cascas da semente modificadas e funcionalizadas com nanopartículas de óxido de ferro.

As caracterizações do bioadsorvente funcionalizados foram possíveis verificar pela MEV que o material possui superfície altamente porosa. A análise de EDS comprovou a presença de ferro na composição do novo material desenvolvido.

Nos ensaios preliminares determinaram a melhor granulometria de 300 μm. O estudo de dosagem da concentração de adsorvente determinou a melhor dosagem de 1 g L<sup>-1</sup>, na variação de pH foi estabelecido o pH 7. Com isso foi determinado as melhores condições para dar continuidade ao estudo.

Em relação ao estudo cinético foi determinado que o equilíbrio da adsorção acontecesse em 720 minutos, e o modelo que se melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de pseudo-primeira ordem.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e Cnpq pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, Mohammad Boshir. Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging contaminant removal from wastewater: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 2017.
- AKHTAR, Mubeena. Sorption potential of *Moringa oleifera* pods for the removal of organic pollutants from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, v. 141, n. 3, p. 546–556, 2007.
- ALI, Attarad Synthesis, characterization, applications, and challenges of iron oxide nanoparticles. *Nanotechnology, Science and Applications*. 2016.
- ARAÚJO, Cleide S T. Characterization and use of *Moringa oleifera* seeds as biosorbent for removing metal ions from aqueous effluents. *Water Science and Technology*, v. 62, n. 9, p. 2198–2203, 2010.
- COLDEBELLA, Priscila Ferri. Potential effect of chemical and thermal treatment on the Kinetics, equilibrium, and thermodynamic studies for atrazine biosorption by the *Moringa oleifera* pods. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, v. 95, n. 5, p. 961–973, 2017.
- GEHRKE, Ilka; GEISER, Andreas; SOMBORN-SCHULZ, Annette. Innovations in nanotechnology for water treatment. *Nanotechnology, Science and Applications*. 2015.
- HO, Y. S.; MCKAY, G. Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry*, v. 34, n. 5, p. 451–465, 1999.
- KABBASHI, Nassereldeen A. Kinetic adsorption of application of carbon nanotubes for Pb ( II ) removal from aqueous solution. v. 21, p. 539–544, 2009.
- LUO, Yunlong. A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, v. 473–474, p. 619–641, 2014.
- MATEUS, Gustavo Affonso Pisano; PALUDO, Michele Putti. Obtaining drinking water using a magnetic coagulant composed of magnetite nanoparticles functionalized with *Moringa oleifera* seed extract. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2018.
- OUASIF, H. Removal of a cationic dye from wastewater by adsorption onto natural adsorbents. *Journal of Materials and Environmental Science*, 2013.
- PATEL, Manvendra. Pharmaceuticals of emerging concern in aquatic systems: Chemistry, occurrence, effects, and removal methods. *Chemical Reviews*. 2019.
- Harikishore Kumar. Biosorption of Pb<sup>2+</sup> from aqueous solutions by *Moringa oleifera* bark: Equilibrium and kinetic studies. *Journal of Hazardous Materials*, v. 174, n. 1–3, p. 831–838, 2010.
- RIVERA-UTRILLA, José. Pharmaceuticals as emerging contaminants and their removal from water. A review. *Chemosphere*. 2013.
- SALIHI, Elif Çalışkan; MAHRAMANLIOĞLU, Mehmet. Equilibrium and kinetic adsorption of drugs on bentonite: Presence of surface active agents effect. *Applied Clay Science*, v. 101, p. 381–389, 2014.
- ZAFAR, Muhammad Nadeem. Characterization of chemically modified biosorbents from rice bran for biosorption of Ni(II). *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, v. 46, p. 82–88, 2015.
- ZHU, Shuai. Adsorption of emerging contaminant metformin using graphene oxide. *Chemosphere*, 2017.



## USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AGRICULTURE

---

*Data de submissão: 11/02/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

**Marcos Elias Silva Januário**

**Emanuel Medeiros Vieira**

**Maria Leticia Rodrigues Gomes**

**Vanessa Alexandre Vieira**

**Fernanda Ferreira da Hora**

### 1 | INTRODUCTION

Agriculture is one of the main pillars sustaining humanity, being responsible for the production of food, fibers, and energy. However, due to population growth and climate change, the agricultural sector has faced significant challenges, such as the need to increase productivity sustainably, optimize the use of natural resources, and reduce environmental impacts (FAO, 2021). In this context, Artificial Intelligence (AI) emerges as a promising tool to revolutionize agricultural practices, offering innovative and comprehensive solutions that range from crop monitoring to process automation.

AI in agriculture, also referred to as precision agriculture, utilizes algorithms, sensors, drones, and data analysis systems to make more assertive and predictive decisions. According to Kamilaris and Prenafeta-Boldú (2018), the application of machine learning and computer vision techniques has enabled the early diagnosis of plant diseases, crop yield prediction, and efficient water resource management. These technologies not only increase productive efficiency but also contribute to cost reduction and the more sustainable use of agricultural inputs.

Beyond these applications, AI has also been employed in the development of autonomous systems, such as intelligent tractors and harvesters that operate with minimal human intervention (Zhang et al., 2020). These advances are particularly relevant given the current scenario of increasing rural labor shortages and the need for more precise agricultural practices with less dependence on external factors.

A review was conducted on the use of AI in agriculture, addressing its main applications, benefits, challenges, and future perspectives. The discussion is based on recent studies demonstrating the transformative potential of this technology, as well as the obstacles that still need to be overcome for its adoption on a larger scale.

## 2 | AI TECHNOLOGIES APPLIED TO AGRICULTURE

The application of Artificial Intelligence (AI) technologies in agriculture has revolutionized the sector, presenting a wide range of applications that enable process optimization, cost reduction, and productivity increase. Among the most important technologies are Machine Learning (ML), Deep Learning (DL), Computer Vision, Artificial Neural Networks (ANN), Natural Language Processing (NLP), and the integration between the Internet of Things (IoT) and Big Data.

Machine Learning and Deep Learning are widely used AI techniques for predictive analysis and decision-making in various fields, including agriculture. ML algorithms are employed to predict crop yields, identify climate patterns, and detect plant diseases based on historical and real-time data. For example, regression and classification models have been applied to estimate crop productivity based on variables such as soil type, weather conditions, and management practices (Liakos et al., 2018). Deep Learning, a subfield of ML, uses deep neural networks for more complex tasks, such as satellite and drone image analysis for crop monitoring. These techniques enable early detection of pests and diseases, as well as aiding in water resource management (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018).

Computer Vision has emerged as an essential tool for crop analysis through images captured by drones, satellites, and sensors. This technology enables the identification of anomalies such as water stress, nutrient deficiencies, and pest infestations with high precision. For example, drones equipped with multispectral cameras can capture detailed images of plantations, which are processed by computer vision algorithms to generate crop health maps (Zhang et al., 2020). This approach not only increases monitoring efficiency but also reduces the need for manual intervention.

Artificial Neural Networks (ANNs) are widely used in agricultural applications, particularly for weather forecasting and crop optimization. These systems can learn complex patterns from large volumes of data, such as historical temperature, humidity, and precipitation series, to predict future weather conditions. Additionally, ANNs have been applied to optimize the use of agricultural inputs, such as fertilizers and pesticides, based on the specific needs of each crop area (Pantazi et al., 2016). This personalization contributes to cost reduction and environmental impact mitigation.

Natural Language Processing (NLP) has gained ground in agriculture through virtual assistants and technical text analysis systems. NLP-based assistants can help farmers interpret climate data, receive planting recommendations, and find solutions to common field problems. Furthermore, NLP is used to analyze large volumes of text, such as scientific articles and technical reports, extracting relevant information for decision-making (Wolfert et al., 2017). This technology facilitates access to knowledge and promotes the adoption of more efficient agricultural practices.

The integration between IoT and Big Data has revolutionized agricultural data collection and analysis. IoT sensors installed in fields collect real-time information on soil moisture, temperature, light intensity, and other parameters, which are stored and processed on Big Data platforms. These data are analyzed by AI algorithms to generate insights that assist in crop management. For example, IoT and Big Data-based systems can predict irrigation needs or disease occurrences, allowing precise and timely interventions (Tzounis et al., 2017). This approach promotes precision agriculture, maximizing productivity and minimizing resource waste.

### **3 I PRACTICAL APPLICATIONS OF AI IN AGRICULTURE**

Artificial Intelligence (AI) has been applied in various areas of agriculture, providing innovative solutions that enhance efficiency, reduce costs, and promote sustainability. These practical applications range from crop monitoring to process automation and intelligent management of natural resources.

Crop monitoring and management have significantly benefited from AI, especially through techniques such as remote sensing, satellite image analysis, and the use of drones. Sensors and cameras attached to drones or satellites capture multispectral and hyperspectral images, which are processed by AI algorithms to assess plant health, identify water stress, and detect pests or diseases at early stages (Zhang et al., 2020). This approach enables precise and timely interventions, reducing losses and increasing productivity.

Moreover, AI is used for early disease detection in crops. Machine learning algorithms are trained to recognize patterns in images that indicate the presence of pathogens, such as fungi or bacteria. For example, Deep Learning-based systems have been employed to identify plant leaf diseases with high accuracy, helping farmers take preventive measures (Mohanty et al., 2016).

Precision agriculture is one of the most promising AI applications, focusing on optimizing the use of agricultural inputs such as fertilizers and pesticides. AI systems analyze data collected by soil sensors, drones, and satellites to recommend the ideal amount of inputs to be applied in each field area. This personalized approach reduces waste, lowers production costs, and minimizes environmental impacts (Liakos et al., 2018).

Additionally, AI is used in recommendation systems for personalized management, providing specific guidelines for each crop type and soil condition. These systems integrate historical, climatic, and sensor data to suggest management practices that maximize productivity and sustainability (Wolfert et al., 2017).

Automation and robotics have been transforming agriculture, particularly with the use of autonomous tractors and agricultural robots. Tractors equipped with AI and GPS systems can perform operations such as planting, spraying, and harvesting with minimal human intervention, increasing efficiency and reducing errors (Zhang et al., 2020). Agricultural robots, in turn, are used for specific tasks such as harvesting fruits and vegetables, where precision and delicacy are essential.

Another relevant application is automated harvesting, which employs computer vision and AI algorithms to identify and harvest crops at the optimal time. These systems are particularly useful for high-value crops such as fruits and vegetables, where manual harvesting is costly and labor-intensive (Bac et al., 2017).

AI has also been widely used for climate modeling and crop yield forecasting, helping farmers make informed decisions based on future projections. Machine learning algorithms analyze large volumes of climate data, such as temperature, humidity, and precipitation, to predict weather conditions and their impacts on crops (Pantazi et al., 2016). These forecasts are essential for planning planting, irrigation, and harvesting.

Furthermore, AI-based predictive models are employed to anticipate the effects of climate change on agriculture. These models help identify vulnerable regions and develop adaptation strategies, such as selecting crops that are more resistant to extreme conditions (Lary et al., 2016).

Efficient management of natural resources is a key pillar of sustainable agriculture, and AI has played a crucial role in this area. Smart irrigation systems use soil moisture sensors and AI algorithms to determine the optimal amount of water to be applied in each field area, reducing waste and ensuring efficient use of water resources (Tzounis et al., 2017).

Moreover, AI is used for soil monitoring, evaluating parameters such as fertility, texture, and moisture. These data are processed by algorithms that generate recommendations for soil correction and fertilizer application, promoting crop health and environmental sustainability (Liakos et al., 2018).

## **4 | BENEFITS AND IMPACTS OF AI IN AGRICULTURE**

The adoption of Artificial Intelligence (AI) technologies in agriculture has brought significant benefits, transforming traditional practices and promoting a more efficient, sustainable, and profitable sector. These benefits include increased productivity, reduced input waste, improved decision-making, and positive economic and agribusiness impacts.

One of the main benefits of AI in agriculture is the increase in productivity and operational efficiency. Technologies such as sensors, drones, and data analysis systems enable real-time monitoring of crop, soil, and climate conditions. This information is processed by AI algorithms to provide precise recommendations on crop management, such as the ideal timing for planting, irrigation, and harvesting (Liakos et al., 2018). As a result, farmers can maximize crop yields, reduce losses, and optimize resource use.

Additionally, the automation of agricultural tasks, such as harvesting and spraying, has increased operational efficiency. Autonomous tractors and agricultural robots equipped with AI systems perform these activities with greater precision and speed, reducing dependence on human labor and minimizing errors (Zhang et al., 2020).

Another relevant aspect is the humanization of agricultural work. By automating repetitive and physically demanding tasks such as manual harvesting or pesticide application, AI frees farmers to focus on less strenuous and more strategic activities, improving their quality of life.

AI has played a crucial role in reducing input waste, such as water, fertilizers, and pesticides, contributing to more sustainable agriculture. Smart irrigation systems, for example, use soil moisture sensors and AI algorithms to determine the exact amount of water needed for each area of the field, preventing excessive use of this resource (Tzounis et al., 2017).

Similarly, the application of fertilizers and pesticides is optimized through precision agriculture techniques. AI algorithms analyze soil and plant conditions to recommend the ideal dosage of these inputs, reducing costs and minimizing environmental impacts, such as soil and water contamination (Wolfert et al., 2017). These practices not only promote sustainability but also increase farmers' profitability.

AI has revolutionized decision-making in the agricultural sector by providing farmers with accurate and real-time information. AI-based systems integrate data from multiple sources, such as sensors, satellites, and weather forecasts, to generate insights that support crop planning and management. For instance, AI predictive models can anticipate pest or disease outbreaks, allowing for preventive interventions and reducing losses (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018).

Moreover, virtual assistants and AI-based data analysis platforms have facilitated farmers' access to technical knowledge and personalized recommendations. These tools help producers adopt more efficient and sustainable agricultural practices, even in regions with limited access to specialists and technological resources (Wolfert et al., 2017).

The adoption of AI in agriculture has had positive economic and agribusiness impacts, boosting the sector's competitiveness. By increasing productivity and reducing costs, AI technologies have contributed to improving farmers' profitability and expanding the agricultural market. According to estimates, precision agriculture powered by AI could increase global productivity by up to 70% by 2050, meeting the growing demand for food (FAO, 2021).

Additionally, AI has created new business opportunities, such as the development of agricultural data analysis platforms and AI-based consulting services. These innovations have attracted investments and fostered the creation of technological ecosystems in the agricultural sector, driving global economic growth (Wolfert et al., 2017).

Finally, AI has contributed to the economic sustainability of agribusiness by reducing dependence on expensive inputs and mitigating risks associated with climatic and market factors. Farmers who adopt AI technologies are better prepared to face challenges such as climate change and resource scarcity, ensuring the long-term viability of their operations (Liakos et al., 2018).

## 5 | CHALLENGES AND LIMITATIONS OF AI IN AGRICULTURE

Despite its promising benefits, the adoption of Artificial Intelligence (AI) technologies in agriculture faces various challenges and limitations. These obstacles include economic, technical, ethical, and infrastructure-related issues that can hinder large-scale implementation, particularly in regions with lower technological development.

One of the main challenges for AI adoption in agriculture is the high implementation cost. Technologies such as sensors, drones, data analysis systems, and autonomous equipment require significant investments, which can be prohibitive for small and medium-sized farmers (Wolfert et al., 2017). Additionally, the cost of maintaining and updating these technologies can also be high, limiting their accessibility.

In economically underdeveloped regions, access to these technologies is even more restricted, creating a technological divide among farmers of different scales and locations. This disparity can widen differences in productivity and competitiveness, exacerbating social and economic challenges in the agricultural sector (Liakos et al., 2018).

The effective implementation of AI solutions in agriculture depends on a robust infrastructure, particularly regarding rural connectivity. Many agricultural areas, especially in developing countries, lack access to high-speed internet and reliable communication networks, which are essential for the functioning of IoT (Internet of Things) and Big Data-based systems (Tzounis et al., 2017).

Without adequate connectivity, real-time data collection and transmission become unfeasible, limiting the effectiveness of AI technologies. Therefore, investments in telecommunications infrastructure are crucial to overcoming this challenge and ensuring widespread adoption of these solutions.

The complexity of AI technologies also presents a technical barrier for many farmers. The effective use of these tools requires specialized knowledge in fields such as data science, programming, and systems analysis, which are often beyond the reach of rural producers (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018).

Moreover, the lack of adequate training and capacity-building can limit the adoption and efficient use of these technologies. Education and rural extension programs are essential to familiarize farmers with new tools and ensure they can fully benefit from them. Without this support, there is a risk that AI technologies may be underutilized or misapplied, reducing their potential impact.

The adoption of AI in agriculture also raises ethical concerns and data privacy issues. The collection and analysis of large volumes of agricultural data, including information on farming practices, soil conditions, and climate, can lead to concerns about the misuse or commercialization of this data by third parties (Wolfert et al., 2017).

Additionally, the reliance on automated systems and AI algorithms can reduce farmers' control over their operations, raising questions about autonomy and accountability. For example, who is responsible for incorrect decisions made by AI systems? These issues require the establishment of ethical guidelines and clear regulations to ensure the responsible and transparent use of AI technologies in agriculture.

Despite these challenges, the future of AI in agriculture remains promising, with continuous advancements in technologies such as machine learning, computer vision, and IoT. The trend is for these tools to become more accessible and efficient, with lower costs and increased ease of use. Additionally, the integration of AI with other emerging technologies, such as blockchain and biotechnology, may open new opportunities for sustainable and intelligent agriculture (Liakos et al., 2018).

Another important perspective is the development of solutions tailored to the needs of small farmers and regions with limited infrastructure. Initiatives such as offline AI applications and low-cost systems can democratize access to these technologies, reducing the technological divide and promoting digital inclusion in the agricultural sector (Tzounis et al., 2017).

Looking ahead, the relationship between AI, science, and traditional agricultural practices has the potential not only to mitigate food and environmental crises but also to pave the way for a more resilient and human-centered agri-food system.

Finally, collaboration among public authorities, private entities, and research institutions is essential to overcoming current challenges and ensuring that AI's benefits are widely shared and democratized. These technologies should be accessible to all stakeholders in the agricultural sector, from small family farmers to large-scale producers. Investments in education, public policies, and infrastructure can accelerate the adoption of these technologies, making agriculture increasingly productive, sustainable, and resilient.

## REFERÊNCIAS

Bac, C. W., van Henten, E. J., Hemming, J., & Edan, Y. (2017). Harvesting robots for high-value crops: State-of-the-art review and challenges ahead. **Journal of Field Robotics**, 34(6), 1020-1041. DOI: 10.1002/rob.21715.

FAO. (2021). **The State of Food and Agriculture 2021**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <https://www.fao.org/state-of-food-agriculture/2021/en/>.

Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. **Computers and Electronics in Agriculture**, 147, 70-90. DOI: 10.1016/j.compag.2018.02.016.

Lary, D. J., Alavi, A. H., Gandomi, A. H., & Walker, A. L. (2016). Machine learning in geosciences and remote sensing. **Geoscience Frontiers**, 7(1), 3-10. DOI: 10.1016/j.gsf.2015.07.003.

Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. **Sensors**, 18(8), 2674. DOI: 10.3390/s18082674.

Mohanty, S. P., Hughes, D. P., & Salathé, M. (2016). Using deep learning for image-based plant disease detection. **Frontiers in Plant Science**, 7, 1419. DOI: 10.3389/fpls.2016.01419.

Pantazi, X. E., Moshou, D., & Alexandridis, T. (2016). Wheat yield prediction using machine learning and advanced sensing techniques. **Computers and Electronics in Agriculture**, 121, 57-65. DOI: 10.1016/j.compag.2015.11.018.

Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2017). Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. **Biosystems Engineering**, 164, 31-48. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007.

Pantazi, X. E., Moshou, D., & Alexandridis, T. (2016). Wheat yield prediction using machine learning and advanced sensing techniques. **Computers and Electronics in Agriculture**, 121, 57-65. DOI: 10.1016/j.compag.2015.11.018.

Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2017). Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. **Biosystems Engineering**, 164, 31-48. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2017.09.007.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming—A review. **Agricultural Systems**, 153, 69-80. DOI: 10.1016/j.agsy.2017.01.023.

Zhang, C., Kovacs, J. M., & Liu, Y. (2020). The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. **Precision Agriculture**, 21(3), 605-629. DOI: 10.1007/s11119-019-09678-2.



# PREVISÃO DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL EM BEIRA, MOÇAMBIQUE: UMA ABORDAGEM COM MODELOS DE SÉRIES TEMPORAIS

*Data de submissão: 15/02/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Francisco José Noris**

Doutorando do Curso de Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Rural

### **Domingos Mário Zeca Fernando**

Doutorando do Curso de Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Rural

### **Valéria Cristina Rodrigues Sarnighausen**

Professora Doutora - Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Botucatu

futuras e avaliado por meio dos critérios AIC (Akaike Information Criterion), BIC (Bayesian Information Criterion), RMSE (Root Mean Square Error) e MAE (Mean Absolute Error). O modelo SARIMA (1,1,1) (1,1,2) demonstrou o melhor desempenho, capturando com precisão a sazonalidade da precipitação. Os resultados deste estudo fornecem uma base científica relevante para políticas de mitigação climática e estratégias de resiliência na região costeira de Moçambique.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agrometeorologia, Séries Temporais, SARIMA, Modelagem Climática, Previsão Sazonal

### FORECASTING AVERAGE MONTHLY PRECIPITATION IN BEIRA, MOZAMBIQUE: A TIME SERIES MODELLING APPROACH

**ABSTRACT:** Rainfall forecasting is imperative for agricultural planning, water resource management and adaptation to climate change. This study presents a detailed analysis of monthly rainfall forecasting in the city of Beira, Mozambique, using time series models. Statistical tests were applied, including Shapiro-Wilks for normality, Mann-Kendall for detecting trends and Fisher for identifying seasonality. The

**RESUMO:** A previsão da precipitação é essencial para o planejamento agrícola, a gestão de recursos hídricos e a adaptação às mudanças climáticas. Este estudo apresenta uma análise detalhada da previsão da precipitação mensal na cidade de Beira, Moçambique, utilizando modelos de séries temporais. Foram aplicados testes estatísticos, como Shapiro-Wilks para normalidade, Mann-Kendall para detecção de tendências e Fisher para identificação de sazonalidade. O modelo SARIMA foi utilizado para projeções

SARIMA (1,1,1)(1,1,2) model was employed for future projections, and its performance was evaluated using the AIC (Akaike Information Criterion), BIC (Bayesian Information Criterion), RMSE (Root Mean Square Error) and MAE (Mean Absolute Error) criteria. The results indicated that the SARIMA (1,1,1) (1,1,2) model exhibited the optimal performance, accurately capturing the seasonality of rainfall. The results of this study provide a relevant scientific basis for climate mitigation policies and resilience strategies in the coastal region of Mozambique.

**KEYWORDS:** Agrometeorology, Time Series, SARIMA, Climate Modelling, Seasonal Forecasting

## 1 | INTRODUÇÃO

A precipitação exerce um papel fundamental na produção agrícola, no abastecimento de água e na regulação ambiental. Em Moçambique, um país caracterizado por climas tropicais e subtropicais, é imperativo compreender a variabilidade da precipitação para minimizar os impactos de fenómenos climáticos extremos, como secas e cheias.

A cidade da Beira, localizada na costa central de Moçambique, está a enfrentar desafios crescentes devido às alterações climáticas, com padrões de precipitação cada vez mais irregulares. Consequentemente, a utilização de metodologias estatísticas avançadas, tais como modelos de séries temporais, tornou-se imperativa para efeitos de previsão climática a curto e médio prazo.

Este estudo tem como objetivo desenvolver um modelo estatístico robusto para prever a precipitação mensal na cidade da Beira utilizando modelos SARIMA, que consideram componentes sazonais e tendências históricas nas séries temporais.

## 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As habilidades de fazer previsões, facilita o melhor manejo nas atividades agrícolas, hidrologia, turismo, entre outras atividades sociais. Previsões climáticas são essenciais para o processo de tomada de decisões, frente as constantes mudanças climáticas que se registram nos últimos anos, mais ainda pela complexidade e mutações contínuas dos dados (FATHI *et al.*, 2022; SILVA; GUIMARÃES; TAVARES, 2008).

Uma série temporal pode ser definida como um conjunto de observações de uma dada característica coletadas em sequência, sendo a sua maior característica a dependência dos dados vizinhos, podendo ser uma série contínua ou discreta e representada pela função matemática  $y = f(\text{tempo})$  (CHATFIELD, 2016; COSTA, 2019; PARMEZAN; BATISTA, 2016). Os modelos de previsão de séries temporais por diversas vezes exibem fortes tendências e variações sazonais que apresentam desafios no desenvolvimento de modelos de previsão efetivos (LIMA; CASTRO; CARTAXO, 2019).

## 2.1 Modelos de previsão de BOX & JENKINS

A previsão de Box e Jenkins consiste no fato de uma série  $Y(t)$  e o modelo serem considerados como uma sequência, com uma distribuição normal que apresente ruído branco, que é um processo estocástico onde todas as variáveis aleatórias seguem uma distribuição normal de média zero, variância constante e as covariâncias nulas (LJUNG, REINSEL, JENKINS, 2016). O modelo de Box & Jenkins verifica a estacionariedade e a sazonalidade e identifica os parâmetros autorregressivos (AR), e de médias móveis (MA), em que se utiliza da diferenciação para obter dados estacionários e assim estimar um modelo (SAMAL *et al.*, 2019).

## 2.2 Modelo Autorregressivo Integrado de Médias Móveis Sazonal (SARIMA)

O modelo SARIMA é comumente utilizado em dados cujo comportamento é não estacionário e é denotado por  $(p, d, q)(P, D, Q)$ , sendo que estes são números inteiros não negativos, onde  $p$  é a defasagem do modelo,  $d$  é o índice de diferenciação e  $q$  é o grau de média móvel (COSTA, 2019). O modelo SARIMA é o modelo que lida com a sazonalidade das séries, caracterizando as correlações no período sazonal e pelas observações próximas (MIRANDA, 2016).

# 3 | METODOLOGIA DA PESQUISA

## 3.1 Localização e caracterização da área de estudo

A cidade da Beira está localizada na região central de Moçambique, nas coordenadas  $19^{\circ}51'$  sul e  $34^{\circ}51'$  leste, a 6m do nível do mar, com uma extensão de  $633 \text{ km}^2$ , as temperaturas variam de  $20^{\circ} \text{ C}$  a  $31^{\circ} \text{ C}$ , com uma precipitação mínima de  $10,5 \text{ mm/mês}$  no mês de setembro e máxima de  $162,4 \text{ mm/mês}$  no mês de janeiro, a umidade vai de 26% em julho a 100% em fevereiro. O clima da cidade da Beira, segundo a classificação de Köppen é *Aw* – clima tropical de savana (chuva no verão). Os dados foram obtidos plataforma *Langley Research Center* (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer>), sendo utilizados dados de precipitações médias mensais, observadas no período de janeiro de 1982 a dezembro de 2020, num total de 468 meses. Destes, 360 meses (30 anos) de dados serviram para testar os modelos e 108 meses (8 anos) foram utilizados para a validação dos modelos.

## 3.2 Análise estatística inicial

Inicialmente, calculou-se a média, a mediana, o desvio padrão, o coeficiente de variação, o erro padrão, o primeiro e o terceiro quartil. Inferiu-se a normalidade estatística dos dados por meio do teste de Shapiro Wilks. O teste de Mann Kendall foi utilizado para verificar a tendência da série e o teste de Fisher para verificar a sazonalidade.

### 3.2.1 Modelos de Previsão

Antes do ajuste dos Modelos da classe SARIMA, a série foi suavizada e a sua variância estabilizada aplicando a raiz cúbica, devido a grade variabilidade dos dados e para garantir a qualidade do ajuste, a qual foi avaliada por meio do teste de Box Pierce, com base na estatística Q da função de autocorrelação (ESPINOSA; PRADO; GHELLERE, 2010).

Os modelos ajustados foram utilizados para previsões futuras e, através do critério de informação de Akaike (AIC), foi escolhido o modelo que melhor se ajusta aos dados, observando o menor valor do AIC (MIRANDA, 2016; WU *et al.*, 2021).

Devido a sazonalidade dos dados, foi utilizada a equação modificada de Ljung, Reinsel, & Jenkins (2016), representada pelos parâmetros (p,d,q)\*(P, D, Q)s e expressa pela equação 1 (ESPINOSA; PRADO; GHELLERE, 2010)

$$\varphi(B)\Phi(B^{12})(1 - B^{12})^D(1 - B)^d Z_t = \theta(B)\Theta(B^{12})a_t \quad (1)$$

sendo B o operador de translação para o passado, definido como  $B^m = Z_t - Z_{t-m}$ ;  $\varphi(B) = 1 - \varphi_1(B) - \dots - \varphi_p(B^p)$ , representando a parte autorregressiva não sazonal ou estacionária de ordem p;  $\Phi(B^{12}) = 1 - \Phi_1(B) - \dots - \Phi_p(B^{p \cdot 12})$ , representando a parte autorregressiva sazonal de ordem p e ordem sazonal de ordem 12;  $(1 - B^{12})^D$  é a sazonalidade de ordem D e estação 12;  $(1 - B)^d$  é a não sazonalidade de ordem d;  $\theta(B) = 1 - \theta_1(B) - \dots - \theta_q(B^q)$  é a parte não sazonal de médias móveis de ordem q;  $\Theta(B^{12}) = 1 - \Theta_1(B^{12}) - \dots - \Theta_Q(B^{Q \cdot 12})$  é a parte sazonal de médias móveis de ordem Q estação sazonal de ordem 12;  $a_t$  é o ruído branco.

Para avaliar o desempenho do modelo foi utilizado o *Akaike's Information Criterion* (AIC), *Bayesian Information Criterion* (BIC), erro médio quadrático (RMSE) e erro médio absoluto (MAE), na previsão de séries temporais, de acordo com as equações 3, 4, 5 e 6:

$$RMSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z_i - \hat{Z}_i)^2 \quad (3)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Z_i - \hat{Z}_i| \quad (4)$$

$$AIC = -2l(\xi) + 2k \quad (5)$$

$$BIC = -2l(\xi) + k \log(n) \quad (6)$$

Sendo  $Z_i$  e  $\hat{Z}_i$  valores observados e previstos no tempo i e n é o número de observações da precipitação mensal.  $l(\xi)$  é a função de log-verossimilhança maximizada e k é o número de parâmetros do modelo e o n é o número de observações da amostra.

O modelo que tiver o menor valor de AIC, BIC, RMSE e MSE é selecionado como o melhor o melhor modelo de previsão de poluição.

O ajuste dos modelos, validação e cálculo dos indicadores de desempenho foi realizado no ambiente R (R CORE TEAM, 2023), por meio do pacote *forecast* (HYNDMAN, ATHANASOPOULOS, *et al.*, 2023). Assim, foi possível criar um script que pode ser usado para fazer previsões a partir do modelo ajustado por meio da função "*forecast*".

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.3 Análise estatística de dados

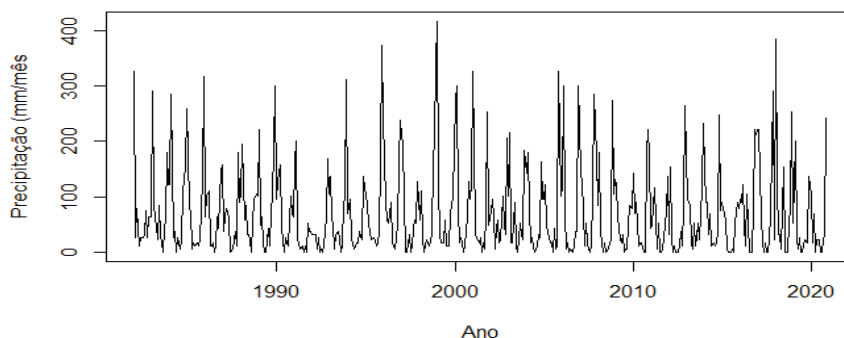
Inicialmente a série temporal de precipitação de Beira (Figura 1) foi caracterizada pelas estatísticas descritivas apresentadas na Tabela 1. Observou-se que a precipitação média foi de 69,07mm/mês, com um desvio padrão de 79,31 mm/mês.

A precipitação máxima observada foi de 416,6 mm/mês (fevereiro de 1999) e a menor zero mm/mês (nos meses de julho a setembro e em alguns anos foi observado no mês de outubro). Em todo o período as menores precipitações se registram no mês de setembro (Figura 1).

Cidade	Precipitação (mm)							
	Mínimo	1° Quartil	Mediana	Média	3° Quartil	Máximo	Erro padrão	Desvio Padrão
Beira	0	14,50	36.91	69.13	94.92	416.6	3.66	79.31

**Tabela 1:** Estatísticas descritivas da precipitação média mensal na cidade de Beira no período de 1982 a 2020

Fonte: Autores, 2023



**Figura 1:** Série de precipitações mensais (mm) na cidade da Beira no Período Janeiro de 1982 a Dezembro de 2020

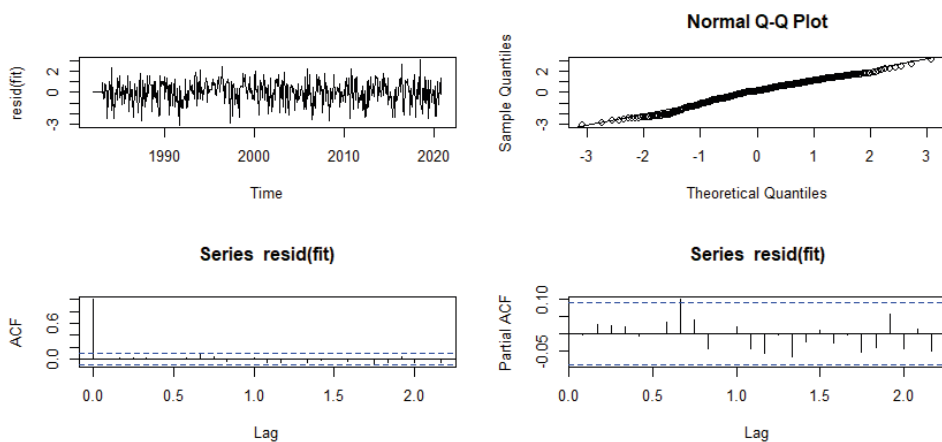
Fonte: Autores, 2023

Na Figura 1 demonstra a flutuabilidade da série temporal de precipitações médias mensais da cidade de Beira no período de janeiro de 1982 a dezembro 2020.

Pelo teste de Shapiro Wilk observou-se os resultados da estatística teste de  $w=0.79$  e o  $p\text{-valor}<0,05$ , logo rejeita-se a hipótese de normalidade da série e pelo teste de Mann Kendall rejeita-se a hipótese de tendência na série, pois o p-valor foi de 0,8724 (maior que a significância estatística de 0,05). Com o teste de Fisher verificou-se a existência de periodicidade na série, com o período maior de 12 meses e apresentou resultado significativo por possuir o p-valor menor que 0,05. Portanto existe sazonalidade na série, conforme o encontrado por trabalho relacionado ao tema (MORETTIN; TOLOI, 2006).

#### 4.4 Ajuste e avaliação de desempenho dos modelos de previsão

A série foi suavizada e a sua variância estabilizada utilizando a transformação raiz cúbica nos dados. Dois modelos foram ajustados: o modelo 1 foi o SARIMA (1,1,1) (0,1,1) e modelo 2 o SARIMA (1,1,1) (1,1,2). A análise dos resíduos foi avaliada pela Figura 2 do modelo 2 que melhor se ajustou aos dados, assim como a função *acf*, onde é possível estimar a autocorrelação e a função *pacf*, usada para as autocorrelações parciais.



**Figura 2:** Correlogramas de resíduos suavizados

Fonte: Autores, 2023

Observa-se na Tabela 2 que o modelo 2 apresentou melhor desempenho que modelo 1, indicando uma acuracidade adequada para ser utilizada na tomada de decisão. O modelo 2 apresentou-se melhor que o primeiro por conta do valor do AIC ser menor e pelos resíduos destes se constituírem resíduos brancos gaussianos com o valor o que torna os resultados fidedignos e o mesmo modelo apresentou valores baixos de RMSE e MAE (ROB J HYNDMAN; GEORGE, 2014).

Modelo 1		AIC	BIC	RMSE	MAE
	Treinamento	1375,56	455,44	1,99	1,59
	Validação	1390,79	456,66		
Modelo 2	Treinamento	1269,12	438,94	2,29	1,79
	Validação	1291,97	454,26		

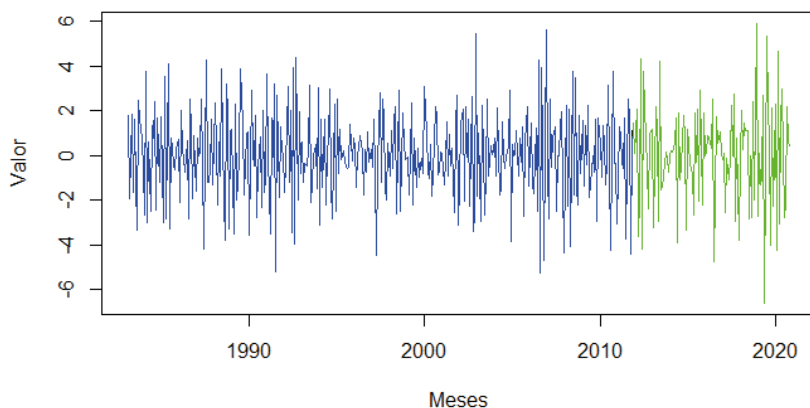
**Tabela 2:** Desempenho dos modelos

Fonte: Autores, 2023

O modelo 2, configurado como Sarima 2 (1,1,1) \* (1,1,2) pode ser reescrito pela equação 2:

$$(1-0,0468B)(1-B^{12})Z_t = (1+0,055B^{12})a_t \quad (2)$$

Na Figura 3, onde o eixo horizontal refere-se ao tempo (meses) do estudo e o eixo vertical representa a precipitação mensal padronizada, observa-se os valores previstos pelo modelo na etapa de treinamento (cor azul) e os valores previstos padronizados na etapa de validação (cor verde) é a validação do modelo.



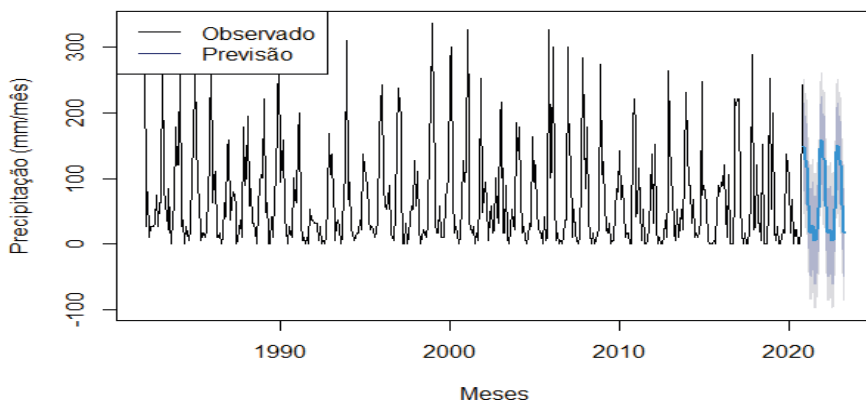
**Figura 3:** Teste e validação do modelo

**Fonte:** autores, 2023

O modelo 2 foi utilizado para previsão da série de precipitação para um total de 30 meses. Observando a Figura 4, pode-se perceber que existe uma tendência decrescente no regime de chuvas na cidade da Beira no período de previsão representada pela cor azul. Preta representa a precipitação observada no período de janeiro de 1982 a dezembro de 2020 e a cor azul representa a previsão da precipitação de 30 meses (janeiro de 2021 a junho de 2023).

Observa-se do gráfico que há uma certa continuidade nos dados previstos, com uma tendência minúscula de diminuição do regime de chuvas.

#### Previsão Sarima



**Figura 4:** Previsão série temporal para cidade da Beira por 30 meses

**Fonte:** Autores, 2023

Pela Figura 4, observa-se também que os valores previstos pelo modelo 2 estão muito próximos e o comportamento do gráfico não muda com relação aos dados observados. Sendo que este modelo pode ser usado para prever precipitações.

Tendo em conta a relevância da precipitação nas atividades agrícolas, turismos entre outros, esta pesquisa é um incentivo para estudos vindouros que estejam diretamente correlacionadas as diversas atividades praticadas na região, considerando que o uso de outros modelos estatísticos e ou uso de redes neurais, podem ser eficazes. A sazonalidade da distribuição de chuvas é uma informação útil a ser utilizada como ferramenta para as tomadas de decisão em campo.

## 5 | CONCLUSÕES

Observou-se nos dados de precipitação a ausência de tendência significativa e a presença forte da sazonalidade (verão e inverno). O modelo que melhor se ajustou os dados deste município e usado nas previsões foi o SARIMA (1,1,1) \* (1,1,2), o qual apresentou o menor valor de AIC (1269,12), sendo indicado como um modelo para previsão de precipitação na cidade da Beira.

## REFERÊNCIAS

CHATFIELD, C. **The Analysis Of Time Series An Introduction**. *Journal of the American Statistical Association* London Chapman & Hall/CRC, , 2016.

COSTA, E. **Análise da Série Temporal de reciptação Total Mensal do Município de Cruz das Almas-BA.** , 2019.

ESPINOSA, M. M.; PRADO, S. M.; GHELLERE, M. Uso do modelo SARIMA na previsão do número de focos de calor para os meses de junho a outubro no Estado de Mato Grosso. **Ciência e Natura**, v. 32, n. 2, p. 7–21, 2010.

FATHI, M. et al. Big Data Analytics in Weather Forecasting: A Systematic Review. **Archives of Computational Methods in Engineering**, v. 29, n. 2, p. 1247–1275, 28 mar. 2022.

GRETA M. LJUNG, GREGORY C. REINSEL, GWILYM M. JENKINS, G. E. P. B. **Time Series Analysis Forecasting and Control**. Fifth Edit ed. Lexington: John Wiley & Sons. Inc, 2016.

LIMA, J. E. C.; CASTRO, L. F. DE; CARTAXO, G. A. A. Aplicação do Modelo SARIMA na Previsão de Demanda no Setor Calçadista / Application of the SARIMA Model in the Forecast for Demand in the Footwear Sector. **ID on line REVISTA DE PSICOLOGIA**, v. 13, n. 46, p. 892–913, 29 jul. 2019.

MIRANDA, T. P. **Previsão da precipitação mensal do município de ouro branco – mg, por meio de modelos de séries temporais.** , 2016.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de Séries Temporais**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2006.



PARMEZAN, A. R. S.; BATISTA, G. E. DE A. P. A. DESCRIÇÃO DE MODELOS ESTATÍSTICOS E DE APRENDIZADO DE MÁQUINA PARA PREDIÇÃO DE SÉRIES TEMPORAIS. p. 2662–2673, 2016.

R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.

ROB J HYNDMAN; GEORGE, A. Forecasting: Principles and Practice. **Principles of Optimal Design**, n. September, p. 421–455, 2014.

SAMAL, K. K. R. et al. **Time Series based Air Pollution Forecasting using SARIMA and Prophet Model**. Proceedings of the 2019 International Conference on Information Technology and Computer Communications. **Anais...**New York, NY, USA: ACM, 16 ago. 2019. Disponível em: <<https://dl.acm.org/doi/10.1145/3355402.3355417>>

SILVA, M. I. S.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Forecast of monthly mean temperatures in Uberlândia, Minas Gerais, Brazil using time series models. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 5, p. 480–485, 2008.

WU, X. et al. The development of a hybrid wavelet-arima-lstm model for precipitation amounts and drought analysis. **Atmosphere**, v. 12, n. 1, p. 1–17, 2021.

# EVALUACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO SWAT BAJO DIFERENTES ESCENARIOS DE USOS DE SUELO EN LA MICROCUENCA PEÑAS BLANCAS, NARIÑO – COLOMBIA

*Data de submissão: 18/02/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Jesús Geovanny Solarte Guerrero**

Ingeniero Agroforestal. Magister en Ciencias Ambientales- PhD (c). en Ciencias Agrarias. Universidad de Nariño. Pasto. Colombia

### **José Julián Apráez Muñoz**

Ingeniero Agrónomo, Magister en Ciencias Agrarias. PhD. en Genética y Biología Molecular. Universidad Estadual de Santa Cruz. Ilheus. Brasil.

### **Alavro Javier Ceballos-Freire**

Ingeniero Agroforestal, Especialista en producción, transformación y comercialización de la madera, magister en desarrollo regional y planificación del territorio, PhD. (c) en Ciencias Agrarias. Universidad de Nariño. Pasto. Colombia

uso del suelo (escenario actual - 2013, escenario 1 - 1989, y escenarios 2 y 3) utilizando el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool). El escenario con el mejor desempeño hidrológico fue el escenario 1, que presentaba una mayor extensión de páramo y subpáramo, alcanzando un caudal promedio de 1.70 m<sup>3</sup>/s. En comparación, los caudales promedio de los otros escenarios fueron 1.39 m<sup>3</sup>/s para el escenario 2 (con mayor área de bosque y pastos, y menor área de páramo y subpáramo), 0.63 m<sup>3</sup>/s para el escenario actual de 2013, y 0.45 m<sup>3</sup>/s para el escenario 3. Tanto el escenario actual como el escenario 3 presentaron menor cobertura de bosque, páramo, subpáramo y pastos, y un aumento en áreas de cultivos, aunque con diferencias en la extensión de cada uso del suelo.

**PALABRAS CLAVE.** Modelación, SIG, calibración, validación.

**RESUMEN:** Comprender el comportamiento hidrológico bajo diferentes escenarios de uso del suelo es fundamental para una adecuada planificación y conservación de los recursos hídricos. Esta investigación se llevó a cabo en la microcuenca Peñas Blancas, ubicada en el municipio de Tangua, departamento de Nariño, Colombia. El objetivo fue modelar el comportamiento hidrológico bajo diferentes escenarios de

# EVALUATION OF THE SWAT HYDROLOGICAL MODEL UNDER DIFFERENT SCENARIOS OF SOIL USE IN THE MICROCUENCA PEÑAS BLANCAS, NARIÑO – COLOMBIA

**ABSTRACT:** Understanding hydrological behavior under different land use scenarios is essential for effective water resource planning and conservation. This research was conducted in the Peñas Blancas micro-watershed, located in the municipality of Tangua, Nariño department, Colombia. The objective was to model the hydrological behavior under various land use scenarios (current scenario - 2013, scenario 1 - 1989, and scenarios 2 and 3) using the SWAT model (Soil and Water Assessment Tool). The scenario with the best hydrological performance was scenario 1, characterized by a larger area of páramo and subpáramo, with an average flow rate of 1.70 m<sup>3</sup>/s. In comparison, the average flow rates for the other scenarios were 1.39 m<sup>3</sup>/s for scenario 2 (with a larger area of forest and pasture, and less páramo and subpáramo), 0.63 m<sup>3</sup>/s for the current 2013 scenario, and 0.45 m<sup>3</sup>/s for scenario 3. Both the current and scenario 3 showed reduced forest, páramo, subpáramo, and pasture cover, alongside an increase in agricultural areas, although they differed in the extent of each land use.

**KEYWORDS:** Modeling, GIS, calibration, validation.

## INTRODUCCIÓN

El cambio de uso del suelo sigue siendo uno de los principales impulsores de la pérdida de biodiversidad y se proyecta que tendrá un impacto global significativo para el año 2100, a la par con el cambio climático (IPBES, 2019). Estudios recientes han señalado que las modificaciones en los patrones espaciales de uso de la tierra, junto con el cambio climático, no solo aceleran la pérdida de servicios ecosistémicos cruciales, sino que también ponen en riesgo la capacidad de los ecosistemas para satisfacer las futuras demandas de la sociedad (Barone et al., 2023; Oliver & Morecroft, 2014). Este proceso dinámico, inducido por actividades humanas, es cada vez más evidente en las cuencas hidrográficas, donde las transformaciones ocurren con mayor rapidez y magnitud, afectando negativamente la disponibilidad de recursos hídricos para las comunidades rurales (Schulze, 2018; Echeverría et al., 2014).

En los últimos años, el cambio de uso del suelo combinado con los efectos del cambio climático, ha afectado significativamente la disponibilidad de agua en varias cuencas, especialmente en las cuencas pequeñas y medianas del país (MDPI, 2023). Asimismo, se ha observado una creciente preocupación por la sostenibilidad del recurso hídrico en zonas de alta intervención antrópica, donde el uso agrícola y la urbanización han acelerado la disminución en la calidad y cantidad del agua disponible (MDPI, 2023; Climate Knowledge Portal, 2023).

Por lo tanto, el uso de modelos hidrológicos con SWAT (Soil and Water Assessment Tool) son herramientas claves para simular el comportamiento hidrológico en cuencas hidrográficas de diferentes tamaños y condiciones, debido a que su importancia radica en la capacidad para evaluar el impacto de diferentes escenarios de uso del suelo, prácticas de manejo y cambios climáticos sobre los recursos hídricos, permitiendo modelar procesos como la escorrentía, la erosión y la carga de sedimentos, proporcionando información valiosa para la gestión sostenible de cuencas y la toma de decisiones (Janjić & Tadić, 2023; Cao et al., 2018).

En la zona altoandina de Colombia, los bosques nativos han sido sobreexplotados y reemplazados por usos del suelo no sostenibles, lo que ha provocado alteraciones significativas en los cuerpos de agua (WWF, 2023). En los Andes colombianos, los cambios en el uso del suelo, impulsados por la agricultura y la expansión urbana, han reducido la cobertura forestal, lo que ha tenido efectos directos en el régimen hídrico de las cuencas, disminuyendo los caudales y la disponibilidad de agua en varias regiones (Castellanos-Mora & Agudelo-Hz, 2021). Estos cambios responden en gran medida a la presión de las actividades agrícolas, que no solo modifican el paisaje, sino que también afectan negativamente la capacidad de las cuencas para regular los recursos hídricos (WWF, 2023). Además, la falta de alternativas económicas productivas para las comunidades locales ha sido un factor clave que impulsa la tala de bosques y el cambio de uso del suelo en estas zonas (MDPI, 2021).

Guapucal (2008), menciona que en la microcuenca Peñas Blancas, el estado de conservación y de protección de las corrientes es preocupante, porque en su mayoría se encuentran desprovistas de cobertura vegetal natural, razón que ha contribuido a la disminución del caudal. Esta condición, ha generado graves problemas de oferta hídrica para las comunidades que viven en la parte baja de la microcuenca. Es así, que a través del tiempo han sido diferentes las modalidades de intervención en cuencas hidrográficas para evaluar el cambio de uso del suelo y estimar el comportamiento hidrológico.

Es por ello, que el uso de modelos hidrológicos como SWAT sigue siendo una herramienta útil para estimar el caudal disponible en una microcuenca bajo diferentes escenarios de uso del suelo, lo que permite una mejor gestión de los recursos hídricos (Gassman et al., 2014). Estos modelos permiten simular de manera precisa los procesos hidrológicos, incluyendo la escorrentía y la infiltración, lo que resulta crucial para entender la oferta hídrica en zonas con diversos cambios en el uso del suelo (Arnold et al., 2012). Recientes investigaciones han demostrado que el modelo SWAT es eficaz para evaluar la disponibilidad de agua en cuencas sujetas a cambios climáticos y de cobertura del suelo, lo que facilita la toma de decisiones sobre la conservación y el manejo adecuado de los recursos (Bieger et al., 2017). De esta forma, se pueden recomendar alternativas ambientales que promuevan un uso sostenible del suelo y la protección de áreas claves como los bosques y páramos, fundamentales para la regulación hídrica en la microcuenca. Esta investigación se fundamenta en el uso del modelo hidrológico SWAT para estimar la oferta hídrica en distintos escenarios de uso del suelo.

# MATERIALES Y MÉTODOS

## Localización

La microcuenca Quebrada Peñas Blancas, parte de la cuenca del río Bobo, abarca 1.934 hectáreas. Según el sistema cartográfico del IGAC, se localiza al sureste del municipio de Tangua, Nariño (Colombia), en las coordenadas geográficas 1.034639 Latitud Norte y -77.312611 Longitud Oeste. Esta microcuenca se caracteriza por una temperatura promedio de 13.2°C, una humedad relativa del 81%, una precipitación anual de 1.041,5 mm, y una altitud de 3.623 metros sobre el nivel del mar (IGAC, 2020). Se ubica en la zona de vida de Bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB) (Holdrige, 1977).

## Desarrollo metodológico

Esta investigación, se desarrolló dentro del siguiente esquema metodológico y contemplo la siguiente información (Figura 1).

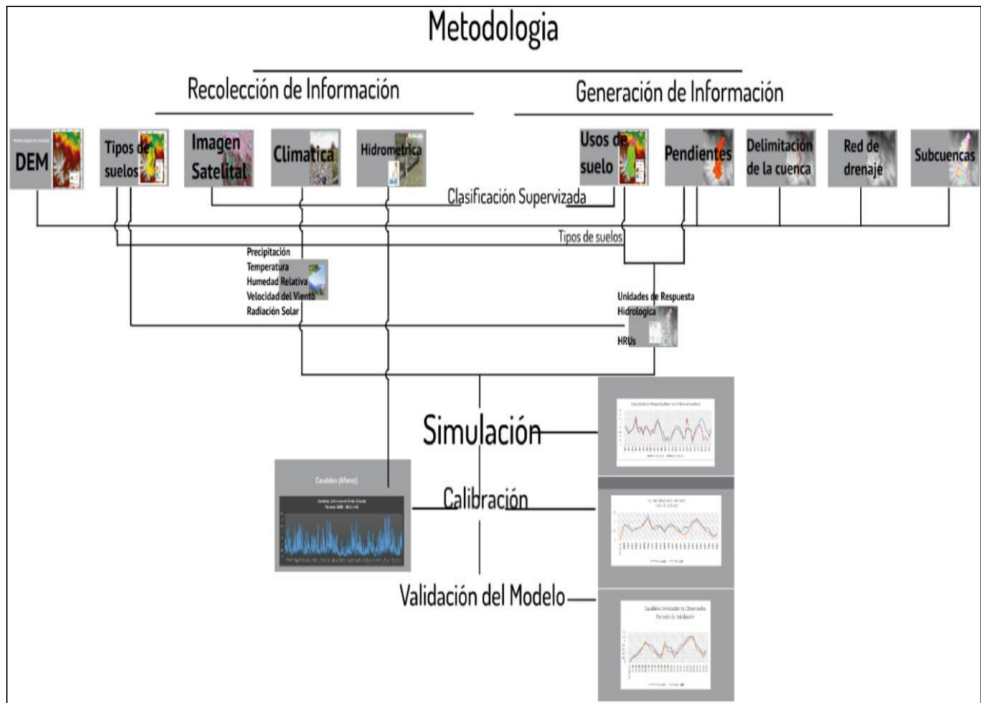


Figura 1. Esquema metodológico.

**Obtención de datos.** Se realizó la recolección de información como: (2) imágenes de satélite, una del sensor Landsat Tm de enero de 1989 y una tipo Aster de marzo del 2013, las cuales fueron adquiridas al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Estas imágenes se ortorectificaron con el software ERDAS IMAGINE 2011 y se les asignó un mismo sistema de referencia geográfica correspondiente a MAGNA SIRGAS ORIGEN OESTE. Posteriormente, se vectorizaron y digitalizaron mediante el software Arc Gis 10.2 donde se calcularon las diferentes áreas para cada cobertura.

Para el análisis de los diferentes escenarios, se hizo la modelación hidrológica del escenario actual (2013), el cual fue de referencia para correr, calibrar y validar el modelo, permitiendo obtener un modelo hidrológico ajustado a la realidad. Una vez calibrado y validado el modelo hidrológico, se plantearon los siguientes escenarios (Tabla 1).

Clasificación	Escenario actual (2013)	% Área	1 escenario (1989)	% Área	2 escenario	% Área	3 escenario	% Área
Bosques	1254.8	64.8	977	50.5	1308.7	67.6	1186.8	61.3
Paramo	275.5	14.2	475.2	24.6	275.5	14.2	275.5	14.2
Sub Paramo	18.9	1.0	30.8	1.6	18.9	1.0	18.9	1.0
Cultivos	253.5	13.1	50.1	2.6	144	7.4	369.7	19.1
Pastos	132.4	6.8	401.9	20.8	187.9	9.7	84.1	4.3
TOTAL	1935	100.0	1935	100.0	1935	100.0	1935	100

Tabla 1. Escenarios propuestos para la modelación.

La formulación de estos escenarios tuvo como objetivo evaluar el comportamiento superficial del caudal hídrico bajo diferentes condiciones a las que podría estar sujeta la microcuenca. El escenario de 2013 representa el estado actual del recurso hídrico, mientras que el primer escenario (1989) se incluyó para analizar su comportamiento 24 años atrás. Por otro lado, el segundo escenario proyecta un futuro optimista para la microcuenca, en el cual se promueven la conservación y la restauración de áreas boscosas. En contraste, el tercer escenario refleja una tendencia negativa, en la que la expansión de la frontera agrícola, impulsada por la deforestación, reduciría significativamente la cobertura forestal. Este último escenario es el que más se asemeja a la realidad que enfrentan muchas cuencas y microcuencas en la actualidad.

El escenario dos (2) se caracteriza por un aumento en las áreas de bosque y pastos, acompañado de una reducción en la superficie destinada a cultivos. En el escenario tres (3), ocurre lo contrario porque se observa una disminución en las áreas boscosas y de pasturas, mientras que el área agrícola se incrementa. En ambos casos, las áreas de páramo y subpáramo se mantuvieron sin cambios en comparación con el escenario actual (2013).

## Aplicación y requerimientos del modelo SWAT

Para la modelación hidrológica de la microcuenca con los diferentes escenarios, se utilizó el software SWAT (Soil and Water Assessment Tool), con la extensión ArcSWAT 2012.10.7, que funciona como una interfase del programa ArcGIS 10.2. Para ello, fue necesario obtener los siguientes datos de entrada:

- Modelo de elevación digital (DEM) con una resolución de 30 m y un gradiente altitudinal que va fue los 2160 hasta los 3934 msnm.

- Cartografía de los tipos de suelos, el cual se obtuvo con la clasificación de suelos del IGAC 2004 para Colombia y se generó en Arc Gis 10.2, logrando obtener siete (7) clasificaciones para la zona de estudio (MLAg, MLEd, MLAc, MHAd, MHEg, MEEg y MHDa),
- Mapa de uso actual del suelo del año 2013, el cual fue necesario para la modelación, calibración y validación del modelo, donde se obtuvo cinco (5) usos: bosque, páramo, subpáramo, pastos y cultivos.
- Datos de suelos, los cuales se obtuvieron con la metodología de (Legarda *et al.*, 2002), por medio de calcatas y toma de muestras en cada horizonte del suelo. Para este estudio, se tomaron las muestras en cuatro (4) horizontes del suelo correspondiente a cada uso (bosque, páramo, subpáramo, pastos y cultivos), los cuales fueron analizados en los laboratorios de la Universidad de Nariño.
- Información climatológica e hidrológica correspondiente a precipitación diaria, temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento y brillo solar, las cuales se seleccionaron de dos estaciones cercanas a la zona. Los datos hidrológicos (caudal) se obtuvieron de la estación Las Piedras, localizada dentro del área de influencia.

## Estructuración de la información de SWAT

La información climática (precipitación diaria, temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento y brillo solar), hidrológica, de uso y tipo suelos, se organizaron en tablas de formato texto (Txt), con el fin de generar una base de datos para esta información.

- **Tablas climáticas.** La información climatológica, que incluye datos de precipitación diaria, temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar y la máxima intensidad de lluvia registrada en media hora., fue organizada de manera cronológica desde el 1 de enero de 2008 hasta el 31 de diciembre de 2011, abarcando un período de cuatro años, el cual se empleó para la modelación hidrológica. Para este análisis, se utilizó la macro WGN en Excel, que permitió generar los estadísticos correspondientes a las estaciones climatológicas de Sindagua y Botana.
- **Cobertura o uso del suelo (Landuse data).** SWAT cuenta con una base de datos que incluye información fisiológica detallada de diversas coberturas vegetales, que le permite utilizar un modelo de crecimiento para simular el desarrollo de los cultivos, así como evaluar la extracción de agua en la zona radicular, la transpiración y la producción de biomasa. Dado que SWAT fue originalmente diseñado para modelar cuencas fuera de las regiones tropicales, fue necesario adaptar los parámetros climáticos, hidrológicos, geológicos y fisiológicos a estas condiciones particulares para obtener resultados precisos. En este estudio, se ajustaron los usos del suelo para bosques, pastos y cultivos de papa, que ya estaban incluidos en la base de datos de SWAT. No obstante, fue necesario realizar modificaciones adicionales para los usos de páramo RYEG - *Ryegrass Italian* (Annual) y subpáramo RYES - *Ryegrass*, ya que estos no estaban predefinidos en el software.

La relación de los usos del suelo con la base de datos de SWAT, se hizo mediante análisis de semejanzas, toma de información primaria y la búsqueda de información secundaria.

- **Red hídrica.** La red hídrica de la microcuenca fue generada a partir del modelo digital de elevación (DEM), utilizando algoritmos de dirección y acumulación de flujo. Este proceso se basa en la información de altitud proporcionada por el DEM, que define las cotas del parteaguas y delimita la cuenca a partir de un punto de desfogue, el cual puede ser seleccionado de manera automática o manual.
- **Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU's).** Las Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU's) se generaron a partir de la integración de información espacial sobre el uso del suelo, tipo de suelos y pendientes. Según el sistema de clasificación de pendientes del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), se definieron cinco rangos de pendiente: 0-7%, 7-12%, 12-25%, 25-50% y mayores al 50%. Las unidades de respuesta hidrológica (HRU), se definen como aquellas zonas que por sus características de coberturas, suelos y pendientes, presentan un comportamiento hidrológico similar.

**Aplicación del modelo.** Utilizando la información climática, hidrológica y las Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU's), se ejecutó el modelo SWAT, obteniendo como resultado el caudal superficial y la producción de agua desglosada zonas de la microcuenca.

Los datos de caudales se reportaron mensualmente, lo cual facilitó su respectivo análisis para cada año. Estos valores resultantes de la modelación se compararon con los datos de caudal reales observados en la estación las Piedras.

**Análisis de sensibilidad, calibración y validación.** El análisis de sensibilidad se llevó a cabo utilizando la herramienta SWAT-CUP4, lo que permitió identificar los parámetros con mayor influencia en los resultados del modelo hidrológico.

El proceso de calibración y validación se llevó a cabo de forma diaria durante un período de cuatro años (2008-2011). La calibración se realizó entre 2008 y 2009, mientras que la validación cubrió los años 2010 y 2011. Dado que no se disponían de datos aforados de caudales para 2012, este año no fue considerado en el análisis.

La calibración del modelo SWAT es un proceso crucial que consiste en comparar los parámetros de salida simulados (como el caudal, los sedimentos o la escorrentía) con los datos observados en campo. Por lo tanto, objetivo de la calibración es ajustar los parámetros de entrada del modelo para que los resultados se asemejen lo más posible a la realidad. Yang et al. (2023) destacan que la calibración puede realizarse mediante algoritmos de optimización como SUFI-2, que es eficiente en términos computacionales y ayuda a minimizar la incertidumbre en los modelos SWAT. Además, Ghimire et al. (2022) subrayan que el uso de múltiples variables y técnicas de ajuste, como la asimilación de datos climáticos y de suelo, puede mejorar significativamente la precisión de las simulaciones, especialmente en cuencas complejas o con escasez de datos.



**Evaluación del modelo.** El desempeño del modelo SWAT fue evaluado utilizando el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el cual indica el porcentaje de variabilidad de los datos observados que es explicado por la curva ajustada del modelo. Según Yang et al. (2023), un valor de  $R^2$  cercano a 1 indica una alta correlación entre los valores simulados y observados, lo que refleja un buen ajuste del modelo. Además, se calculó el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) y el sesgo porcentual (PBIAS). El NSE mide la eficiencia del modelo al comparar los valores simulados con los observados, donde un valor cercano a 1 indica una alta precisión en la simulación. Por su parte, el PBIAS refleja la tendencia promedio de los valores simulados a ser mayores o menores que los observados; un valor positivo sugiere una sobreestimación, mientras que un valor negativo indica una subestimación de las variables simuladas. Chen et al. (2023) destacan que el NSE y el PBIAS son herramientas clave para evaluar la exactitud del modelo, ya que permiten identificar sesgos en las predicciones y ajustar los parámetros en consecuencia para mejorar el rendimiento del modelo.

## RESULTADOS.

Los resultados obtenidos en la modelación, calibración y validación del modelo permitieron conocer y analizar el comportamiento hidrológico bajo los diferentes escenarios.

### Caudales simulados vs caudales observados.

La modelación hidrológica arrojó resultados variables, con un ajuste moderado entre los caudales simulados y los observados durante algunos meses del primer año. Sin embargo, a partir del segundo año, se evidenciaron diferencias significativas entre los valores simulados y los observados (Figura 2).

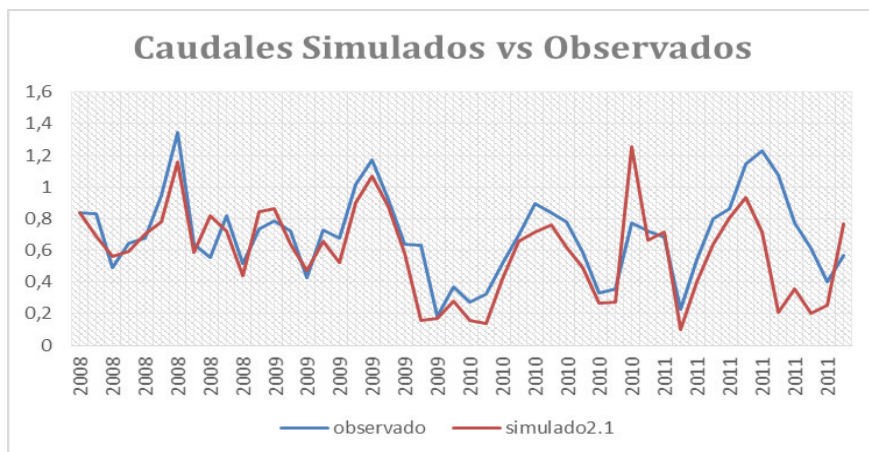


Figura 2. Caudales simulados vs Observados.

La figura anterior presenta los resultados de caudales cada dos (2) meses para los cuatro (4) años de modelación. Durante los meses de julio y agosto del año 2008, se observa una subestimación por parte del modelo, donde el caudal observado fue cercano a 1.4 m<sup>3</sup>/s y el modelo arrojó un caudal de 1.2m<sup>3</sup>/s. De igual manera, en los últimos meses del año 2009 se presenta diferencias de caudal de 0.1 y 0.2 m<sup>3</sup>/s entre lo observado y simulado. Sin embargo, a finales del año 2010, el modelo presenta diferencias significativas de 0.4 m<sup>3</sup>/s con respecto al valor real de caudal y finalmente, en el último año se presenta variaciones marcadas mayores a 0.3 m<sup>3</sup>/s

Con respecto a los estadísticos calculados para el modelo, se observó que el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) obtuvo un valor de 0.5. La eficiencia de *Nash- Sutcliffe* (NSE) fue igual a 0.24 y el sesgo porcentual (PBIAS, *Percent Bias*) adquirió un valor de -14.6 (Tabla 2); sin embargo, los otros valores no son favorables por lo que se hizo necesario realizar la calibración del modelo para su posterior validación.

Fase del Modelo	R <sup>2</sup>	NSE	PBias
Modelación Inicial	0.5	0.24	-14.6%
Calibración	0.74	0.65	-9.13%
Validación	0.8	0.70	-10.3%

Tabla 2. Estadísticos generados para la modelación, calibración y validación. Estadísticos del desempeño del modelo

**Balance hídrico.** El modelo SWAT se basa en la ecuación del balance hídrico, el cual considera el agua que entra, que se almacena y la que sale de la microcuenca. Por lo tanto, los valores anuales promedios producidos por SWAT, relacionados con el balance hídrico, se consideran apropiados a las condiciones climáticas, hidrológicas y de uso de la microcuenca, válidas para el periodo 2008 – 2011 (Figura 3).

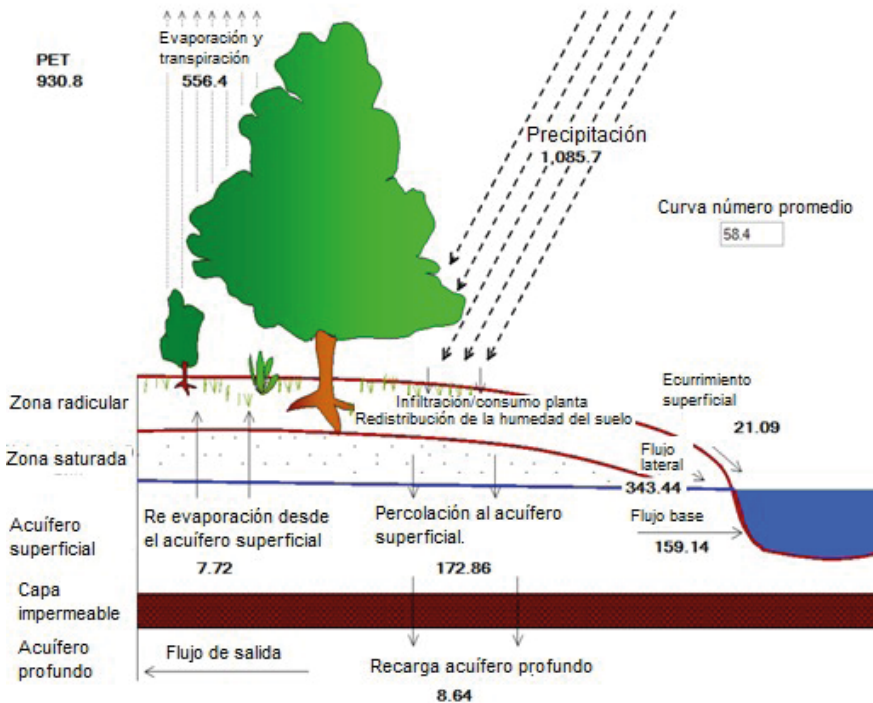


Figura 3. Representación de la ecuación del Balance hídrico.

La figura muestra el total de lluvia precipitada sobre la microcuenca, el 51.25% vuelve a la atmósfera vía evapotranspiración (ET) y 47.95% sale en forma de escorrentía por los cauces tipo superficial y en forma subsuperficial y subterránea; y el 0.8% pasa a formar parte de la recarga a los acuíferos profundos y sale del sistema. El número de curva (CN) para la microcuenca estudiada fue de 58.4.

**Calibración y validación.** Los parámetros que mostraron mayor sensibilidad en el modelo hidrológico, según el análisis realizado con SWAT-CUP, fueron la conductividad hidráulica del suelo (SOL\_K), la capacidad de agua disponible en el suelo (SOL\_AWC) y el factor de compensación de la evaporación del suelo (ESCO). Tras el proceso de calibración, la gráfica de los caudales simulados mostró un mejor ajuste con respecto a los caudales observados (Figura 4). Como resultado, los picos presentes a finales de 2009 fueron corregidos y desaparecieron en el modelo ajustado.

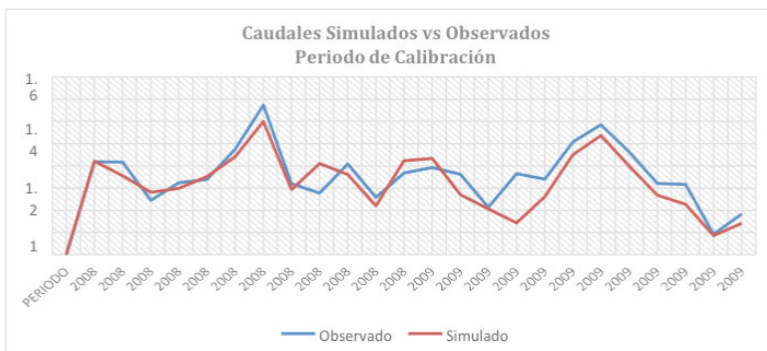


Figura 4. Caudales Simulados vs Observados en la calibración del modelo.

Con el modelo calibrado, se obtuvieron resultados estadísticos favorables, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.74, un sesgo porcentual (PBias) de -9.13% y un coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de 0.65. Estos valores representan una mejora significativa en comparación con los obtenidos antes de la calibración.

En el proceso de validación los caudales simulados se acercaron a los caudales observados para los años 2010 y 2011; por lo tanto, se afirma que el modelo se ajustó correctamente (Figura 5)

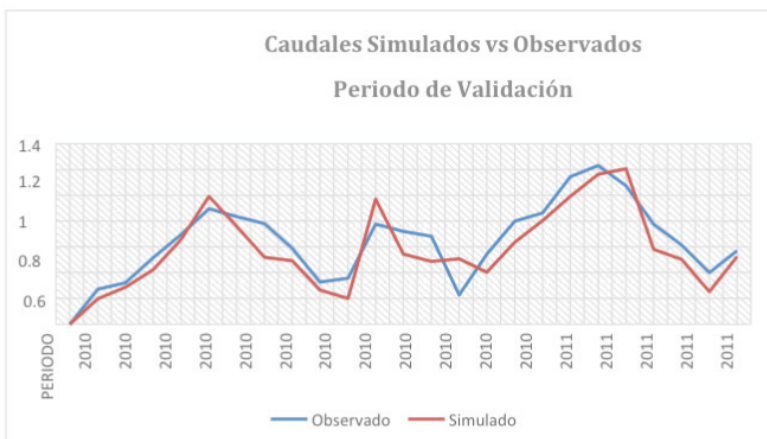


Figura 5. Caudales Simulados vs Observados en la validación del modelo.

La validación del modelo mostró resultados estadísticos favorables, con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.85, un PBias de -10.3% y un NSE de 0.70, lo que indica una mejora significativa en comparación con los valores obtenidos durante la calibración. Adicionalmente, los caudales simulados y observados durante los períodos de calibración y validación presentaron una tendencia similar, lo que confirma que el comportamiento hidrológico del modelo se ajusta de manera acertada a la realidad.

**Modelación de escenarios.** Los escenarios modelados arrojaron distintos comportamientos en relación con el caudal hídrico, evidenciando diferencias significativas en comparación con las condiciones actuales de uso del suelo en la microcuenca (Figura 6). Estos resultados destacan el impacto que los cambios en el uso del suelo tienen sobre la disponibilidad del recurso hídrico, subrayando la importancia de un manejo adecuado para garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas hídricos.

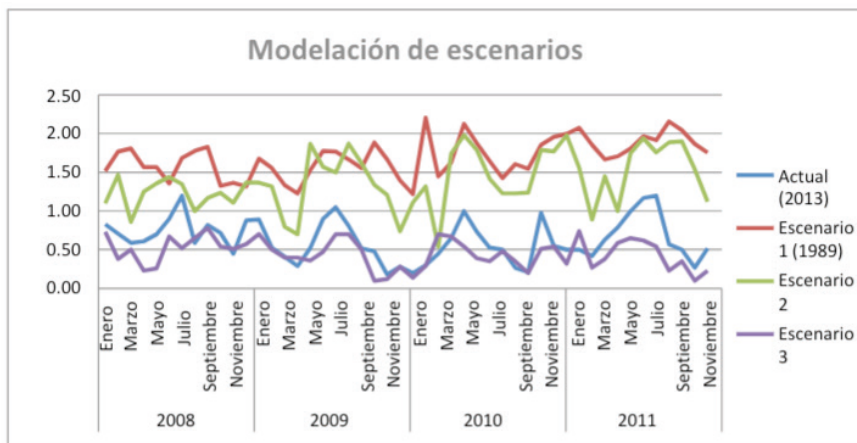


Figura 6. Modelación hidrológica de los diferentes escenarios.

En el escenario 1 (1989), durante el año 2008, el caudal máximo alcanzó los 1.83 m<sup>3</sup>/s, mientras que en los meses de junio, octubre y diciembre se registró un mínimo promedio de 1.33 m<sup>3</sup>/s. Para el año 2009, el caudal alcanzó su valor máximo en junio, julio y octubre con 1.89 m<sup>3</sup>/s, y su nivel más bajo en abril, con 1.23 m<sup>3</sup>/s. En 2010, los caudales más altos se presentaron en febrero, mayo y diciembre, con valores de 2.21, 2.13 y 1.96 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. Finalmente, en el último año de la modelación, el caudal mantuvo un comportamiento estable, oscilando entre 1.67 m<sup>3</sup>/s y 2.08 m<sup>3</sup>/s.

Con respecto al escenario dos (2), en el 2008, en los meses de febrero y junio se tuvo un caudal de 1.47 y 1.44 m<sup>3</sup>/s, pero se presentó una disminución significativa en marzo con 0.86 m<sup>3</sup>/s. En el 2009, los caudales más bajos se presentaron en los meses de abril y diciembre con el 0.7 y 0.74 m<sup>3</sup>/s; no obstante, en mayo y agosto se alcanzaron valores altos de 1.87 m<sup>3</sup>/s. Para el 2010 y 2011, se tuvieron caudales de 1.98 m<sup>3</sup>/s, pero en su mayoría no estuvieron por debajo 1.0 m<sup>3</sup>/s.

Por último, el escenario tres (3) fue el que mostró la mayor reducción en los caudales a lo largo de todos los años modelados, con valores inferiores a 0.74 m<sup>3</sup>/s y mínimos que llegaron hasta 0.1 m<sup>3</sup>/s. Este comportamiento indica un rendimiento hídrico muy limitado para este escenario, lo que sugiere condiciones desfavorables para la sostenibilidad del recurso en la microcuenca.

## DISCUSIÓN

### Modelación, calibración y validación de los caudales simulados vs caudales observados

La modelación de la microcuenca Peñas Blancas permitió evaluar el comportamiento hidrológico bajo diferentes escenarios de uso del suelo, proporcionando una valiosa comprensión de los procesos que influyen en la dinámica hídrica según las coberturas presentes. De acuerdo con Chow et al. (2021), los modelos hidrológicos son representaciones simplificadas pero efectivas de los sistemas hidrológicos, que permiten estudiar las relaciones de causa-efecto y comprender mejor los procesos físicos dentro de una cuenca. Beven (2012) también sostiene que estos modelos son esenciales para la predicción y gestión de los recursos hídricos, especialmente cuando se busca adaptar la gestión del agua a los cambios en el uso del suelo y el clima. Arnold et al. (2015), aseguran que la calibración y validación de modelos como SWAT son clave para asegurar su precisión y utilidad en la planificación de recursos hídricos. Por lo tanto, los modelos calibrados y validados representan una herramienta fundamental para evaluar la disponibilidad hídrica de la microcuenca y gestionar de manera integral los recursos naturales, apoyando así la toma de decisiones dentro de los planes de ordenamiento territorial.

Las diferencias entre los caudales observados y simulados en la modelación pueden deberse a la adaptación inadecuada del modelo a las condiciones específicas del trópico. El modelo hidrológico SWAT, fue desarrollado originalmente para zonas templadas, donde las condiciones biofísicas, como la precipitación, la temperatura y la cobertura vegetal, difieren considerablemente de las condiciones presentes en las regiones tropicales. Arnold et al. (2015), afirman que la precisión de los modelos hidrológicos depende en gran medida de la adecuación de los parámetros a las características locales; y en zonas tropicales, la variabilidad climática y la dinámica del suelo pueden influir de manera más pronunciada en los caudales. Beven (2012), sostiene que uno de los principales desafíos en la modelación hidrológica es la heterogeneidad espacial y temporal que caracteriza los sistemas tropicales, lo que afecta la capacidad del modelo para capturar con precisión los procesos hidrológicos locales. Además, Chow et al. (2021) señalan que, para mejorar el rendimiento del modelo en este tipo de condiciones, es fundamental ajustar los parámetros biofísicos y climáticos a las realidades del entorno tropical, lo que puede incluir la adaptación de la dinámica del suelo, la vegetación y los ciclos de precipitación. Por lo tanto, la discrepancia entre los caudales simulados y observados subraya la necesidad de una calibración cuidadosa y la inclusión de datos locales en el proceso de modelación para reflejar con mayor precisión el comportamiento hidrológico de la microcuenca en un contexto tropical.

Por otro lado, al abordar las diferencias entre los caudales observados y los simulados en el proceso de modelación hidrológica en zonas tropicales, es importante reconocer que los modelos desarrollados para zonas templadas pueden no ajustarse adecuadamente a las

características climáticas y biofísicas de las regiones tropicales. Arnold et al. (2015), señalan que los modelos como SWAT están diseñados para representar procesos hidrológicos bajo condiciones climáticas templadas, donde las estaciones están bien definidas, limitando su precisión cuando se aplican en zonas tropicales, que presentan condiciones de alta variabilidad climática y regímenes de lluvias intensas pero estacionales, como es el caso de la microcuenca Peñas Blancas. A su vez, Pappenberger et al. (2011) subrayan que las diferencias en las respuestas hidrológicas de las cuencas tropicales se deben a la mayor intensidad de las lluvias y la presencia de fenómenos climáticos como El Niño y La Niña, que no suelen estar presentes en zonas templadas, debido a que la frecuencia y la intensidad de estos eventos pueden alterar significativamente los patrones de escorrentía y retención de agua, lo que implica la necesidad de recalibrar los modelos al aplicarlos en estas áreas.

Por otro lado, Gupta et al. (2014) sostienen que los modelos hidrológicos también deben considerar las características geográficas únicas de las zonas tropicales, como la mayor presencia de pendientes pronunciadas y suelos más susceptibles a la erosión. Estas condiciones no se reflejan adecuadamente en los modelos diseñados para zonas templadas, donde los suelos tienden a ser más estables y menos propensos a la erosión por lluvias intensas. Asimismo, Beven (2012) destaca la necesidad de ajustar los parámetros del modelo a las realidades locales, incluidos los ciclos de lluvias bimodales, como los que se observan en muchas microcuencas tropicales. Estos ajustes son esenciales para capturar de manera más precisa los procesos hidrológicos en contextos tropicales y mejorar la confiabilidad de las simulaciones.

El proceso de modelación hidrológica realizado durante los cuatro años (2008-2011) en la microcuenca presentó una variabilidad aceptable en los caudales simulados durante los tres primeros años, con valores entre 0.2 m<sup>3</sup>/s y 1.4 m<sup>3</sup>/s, mientras que, en el último año se observaron discrepancias mayores. A pesar de estas diferencias, el modelo muestra un buen desempeño, tal como reflejan los resultados estadísticos obtenidos durante la fase de calibración y validación, lo que confirma su utilidad como herramienta para la simulación de caudales en la región altoandina. Estudios recientes han resaltado la importancia de la calibración y validación adecuada de los modelos en áreas con datos limitados. Asenso et al. (2022), manifiestan que el uso de datos geoespaciales y la calibración con algoritmos de ajuste secuencial pueden mejorar significativamente el desempeño del modelo, especialmente en áreas donde los datos climáticos son escasos. Mind'je et al. (2021) también destacaron la importancia de realizar análisis de sensibilidad para identificar los parámetros más influyentes en la simulación de caudales, lo que mejora la precisión del modelo. Además, Harka et al. (2020) subrayan que los modelos como SWAT pueden ajustarse de manera eficaz utilizando datos observacionales limitados, siempre que se realice una calibración rigurosa, lo cual es clave en zonas tropicales donde las condiciones biofísicas varían significativamente en comparación con zonas templadas. Bonini et al. (2003), mencionan que los avances en el uso de herramientas de modelación, incluyendo la calibración y validación con datos remotos, han permitido mejorar la precisión en la estimación de caudales en cuencas con datos limitados.

La modelación inicial de la microcuenca arrojó resultados satisfactorios según el coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.50$ ), aunque el coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE = 0.24) fue insatisfactorio, y el Percent Bias (PBIAS = -14.6%) se consideró bueno. Sin embargo, tras el proceso de calibración, el  $R^2$  mejoró a 0.74 y el PBIAS a -9.13%, mientras que el NSE alcanzó un valor de 0.65, mostrando un ajuste aceptable del modelo. En la fase de validación, los estadísticos mantuvieron estas categorías, lo que confirma la consistencia y utilidad del modelo en la estimación de caudales en la zona altoandina. Torres et al. (2005) reportaron un caso similar en la cuenca del río Laja, Guanajuato (México), donde el valor inicial del  $R^2$  fue de 0.5, lo que implicaba una subestimación significativa de los caudales; sin embargo, después de la calibración, el  $R^2$  alcanzó 0.99, mostrando una mejora considerable en el ajuste del modelo. Este caso destaca la importancia de la calibración y validación en la mejora de los modelos hidrológicos, ajustándolos a las condiciones reales de cada zona estudiada. Estudios recientes, como el de Desai et al. (2021), destacan que la calibración y validación adecuada de los modelos hidrológicos son fundamentales para mejorar su precisión en cuencas complejas, como se evidenció en la cuenca del río Mojo en India, donde un NSE de 0.72 fue considerado un ajuste aceptable tras la calibración. De manera similar, Hosseini et al. (2020) encontraron que la inclusión de datos de evapotranspiración mediante sensores remotos mejoró los resultados del modelo SWAT en una cuenca árida, incrementando el NSE a valores satisfactorios.

Según Arnold et al. (2015) y Gupta et al. (2014), la calibración y validación adecuadas son esenciales para ajustar los modelos hidrológicos a la variabilidad climática y geográfica local, lo que permite mejorar la precisión y confiabilidad de las predicciones. Por lo tanto, este proceso garantiza que el modelo sea una herramienta efectiva para futuras simulaciones en la zona altoandina, donde las condiciones climáticas y topográficas requieren ajustes específicos.

El poder predictivo del modelo SWAT depende en gran medida de la calidad y confiabilidad de los datos de entrada. Si estos datos son imprecisos o incompletos, el modelo puede sobreestimar o subestimar las variables estudiadas. Zheng et al. (2022) destacan que la calibración con datos de sensores remotos mejora significativamente la precisión del modelo SWAT, especialmente en cuencas con información limitada. En su aplicación en la cuenca del Lago Chad, la inclusión de datos de evapotranspiración elevó el NSE a más de 0.8 y el  $R^2$  a 0.9. A su vez, Bhatta et al. (2019) también señalan que la falta de estaciones climáticas locales y las discrepancias en los mapas de uso del suelo pueden generar errores significativos en las estimaciones de caudales, subrayando la importancia de contar con datos de calidad para una correcta aplicación del modelo SWAT en la simulación hidrológica.



## Balance hídrico

El número de curva (CN) ponderado para la microcuenca, con un valor de 58.4, sugiere un comportamiento hidrológico típico para suelos de grupos hidrológicos A y B, lo cual coincide con coberturas boscosas y condiciones óptimas. Estudios recientes, como el de Amini et al. (2022), resaltan que el uso de métodos ajustados al CN, basados en la humedad del suelo y la intensidad de la lluvia, puede mejorar las predicciones de escurrimiento en cuencas donde la variabilidad espacial es alta. Además, el ajuste del CN, como lo sugiere Bhatta et al. (2019), es crucial para reducir las discrepancias en áreas con características topográficas complejas.

El CN ajustado para bosques en esta microcuenca, que varía entre 55 y 66, es coherente con los valores simulados en el modelo SWAT, lo que indica que el comportamiento hidrológico está en línea con los parámetros establecidos en la literatura. Por lo tanto, la importancia de ajustar el número de curva de acuerdo con la cobertura del suelo y las condiciones locales ha sido ampliamente discutida en estudios recientes sobre modelación hidrológica, mejorando la precisión en las predicciones de flujo y escurrimiento. Brighenti et al. (2019) refuerzan que la correcta selección del CN es crucial para una simulación hidrológica precisa en cuencas pequeñas, ya que influye directamente en la estimación del escurrimiento. Asimismo, Bressiani et al. (2015) destacan la importancia de ajustar el CN al tipo de suelo y uso de la tierra para mejorar la predictibilidad del modelo.

El modelo SWAT, a pesar de no haber sido diseñado específicamente para áreas como el páramo, respondió de manera satisfactoria tras la adaptación de parámetros específicos para las coberturas de páramo y subpáramo. Estas coberturas tienen un papel crucial en la hidrología local debido a su alta capacidad de retención de agua y su influencia en el caudal hídrico. Estudios recientes, como los de Amini et al. (2022), demuestran que la correcta adaptación de parámetros locales en modelos hidrológicos puede mejorar significativamente su precisión, especialmente en ecosistemas sensibles como el páramo, que son clave en la regulación del agua y la biodiversidad. Además, Mosquera et al. (2022) señalan la importancia del páramo en la provisión de servicios ecosistémicos, como la captación y almacenamiento de agua, reforzando la relevancia de estos ecosistemas en el contexto de la modelación hidrológica. Por lo tanto, la introducción de estas coberturas en el SWAT no solo mejora su capacidad predictiva, sino que también sirve como base para futuros estudios y simulaciones en áreas altoandinas, donde las características del páramo son fundamentales para el manejo sostenible del recurso hídrico.

Por otra parte, en un estudio de la cuenca del río Chaguana en Ecuador, Bonini et al. (2011) concluyeron que la precisión predictiva del modelo SWAT depende en gran medida de la proximidad de las estaciones meteorológicas al área de estudio y de la calidad de los datos proporcionados. En el caso de la microcuenca Peñas Blancas, la ausencia de estaciones meteorológicas dentro de la zona de estudio obligó al uso de dos estaciones

cercanas, lo que probablemente generó discrepancias entre los caudales observados y simulados. Esta situación es respaldada por estudios recientes como el de Asenso et al. (2022), quienes encontraron que la distancia y la calidad de los datos meteorológicos impactan directamente en la precisión de las simulaciones hidrológicas. Lee et al. (2023) también destacan la importancia de la calibración con datos locales precisos, señalando que las estaciones distantes pueden afectar la exactitud del modelo al introducir variabilidad que no representa las condiciones microclimáticas locales.

La microcuenca Peñas Blancas presenta pendientes pronunciadas superiores al 50%, lo que puede influir en la precisión del modelo SWAT. Estudios recientes, como el de Malik et al. (2022), subrayan que las pendientes superiores al 25% tienden a ser subestimadas por el modelo, afectando su capacidad para representar de manera precisa la longitud de la pendiente y, en consecuencia, el escurrimiento superficial. Esta limitación está vinculada a la falta de adaptación del modelo a terrenos con topografías complejas, como los terrenos montañosos. De manera similar, Morante-Carballo et al. (2022) destacan que la implementación de SWAT en regiones con alta variabilidad topográfica requiere una calibración cuidadosa, ya que el modelo tiende a simplificar estas características, lo que puede resultar en errores en la estimación de caudales. Estas deficiencias son particularmente notorias en regiones de alta montaña, donde la topografía juega un papel crucial en la dinámica hídrica.

## **Análisis de los escenarios propuestos**

Según los resultados obtenidos, los escenarios que mejor representaron el comportamiento hidrológico en términos de la producción de caudales fueron el escenario uno (1) correspondiente al año 1989 y el escenario dos (2). En el escenario de 1989, el área de páramo ocupaba el 24.6%, mientras que los bosques representaban el 50.5% y los cultivos solo el 1.6%. Por su parte, el escenario dos mostró una mayor área de bosques (67.6%), una menor proporción de páramos (14.2%) y una superficie mínima de cultivos (1.0%). La mayor cobertura de páramos en el escenario de 1989 y el aumento de bosques en el escenario dos pueden haber influido positivamente en la producción hídrica, ya que ambos ecosistemas tienen un papel crucial en la regulación y almacenamiento de agua. Mosquera et al. (2022), destacan que los ecosistemas de páramos y bosques son fundamentales en la retención de agua y en la regulación del ciclo hidrológico en regiones montañosas. Además, Amini et al. (2022) señalan que las áreas con una mayor cobertura forestal y de vegetación nativa tienden a mejorar la infiltración y reducir el escurrimiento superficial, lo que contribuye a una mayor producción hídrica en los escenarios simulados.

Los bosques altoandinos, especialmente los bosques nublados, juegan un papel crucial en la regulación hídrica de la microcuenca, ya que contribuyen significativamente al almacenamiento y retención de agua, debido a que la presencia de neblina en estos

ecosistemas permite una mayor captación de agua a través de la intercepción y reduce la evaporación, lo que ayuda a mantener los caudales relativamente estables. Mayer et al. (2023), refuerzan esta idea, destacando que los bosques nublados actúan como una “esponja” que captura hasta el 60% del agua en la atmósfera, lo que regula el flujo de agua hacia los ríos y reduce los riesgos de inundaciones. A su vez, Mosquera et al. (2022) subrayan la importancia de estos bosques para garantizar un flujo constante de agua, especialmente en temporadas secas, contribuyendo así a la sostenibilidad de servicios ecosistémicos críticos. Además, Sun et al. (2018) destacan que los bosques altoandinos son clave en la provisión de servicios ecosistémicos, ya que su estructura y composición favorecen la infiltración de agua y la regulación de caudales, incluso en condiciones climáticas extremas. Estas características permiten deducir que los bosques nublados son fundamentales para el almacenamiento y la regulación hídrica, minimizando las pérdidas de agua por evapotranspiración y garantizando un mayor rendimiento hídrico en comparación con otros tipos de cobertura vegetal.

Otro uso que presentó buen comportamiento hídrico para estos escenarios fue el páramo, el cual ha sido de gran importancia ecológica por su contribución a la regulación del ciclo hidrológico siendo parte fundamental de la oferta hídrica de la zona. Buytaert et al. (2021), confirman la importancia de los ecosistemas de páramo en la regulación hídrica y su capacidad para almacenar agua en el suelo y liberar este recurso de manera continua, incluso durante las estaciones secas. Célleri y Feyen (2019) también subrayan que los páramos son esenciales para la estabilidad hídrica de las zonas andinas, dado que funcionan como “almacenes” naturales que amortiguan el impacto de las variaciones climáticas y garantizan una disponibilidad de agua constante para las comunidades locales y los ecosistemas.

Lo expresado por los autores respecto a los bosques y páramos reafirma la importancia de estos ecosistemas en la regulación hídrica de la microcuenca. El caudal observado en los dos escenarios analizados arrojó resultados satisfactorios, pero el comportamiento superior del escenario uno (1) se debe probablemente a su mayor extensión de páramo y subpáramo, con una diferencia de 199.7 hectáreas en comparación con el escenario dos (2). Estas áreas de páramo, como sostienen Buytaert et al. (2021), tienen una alta capacidad de retención de agua debido a sus suelos porosos y baja densidad aparente, lo que permite una mayor regulación del caudal. A su vez, Molina et al. (2020) y Mosquera et al. (2022) resaltan que los páramos son esenciales para la provisión de servicios ecosistémicos, incluyendo la regulación de flujos hídricos, y que su conversión en áreas de cultivo o bosques artificiales puede reducir la producción total de agua. Además, el bajo porcentaje de área destinada a cultivos (2.6%) en el escenario uno pudo haber contribuido al mejor comportamiento hidrológico observado. Mosquera et al. (2022), confirman que la sustitución de ecosistemas nativos como el páramo por cultivos o plantaciones altera significativamente el balance hídrico de la cuenca, afectando tanto la calidad como la cantidad de agua disponible.

Según lo expuesto por los autores, el comportamiento hidrológico inferior del escenario dos (2) puede atribuirse a la conversión de áreas de páramo y subpáramo en bosques de regeneración natural, tal como lo manifiesta Buytaert et al. (2021), confirmando que la transformación del uso del suelo en páramos, ya sea por plantaciones forestales o por agricultura, altera significativamente la dinámica hídrica y afectando la capacidad de estos ecosistemas para actuar como reguladores naturales del ciclo del agua.

Los escenarios actual (2013) y tres (3) presentaron el menor desempeño hidrológico, con caudales promedio de 0.63 y 0.45 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, siendo el escenario tres el de menor rendimiento. Esto se debió, en gran parte, al incremento del área agrícola en ambos escenarios, con porcentajes de 13.1% y 19.1%, lo que afectó negativamente la capacidad de retención hídrica del suelo. En el escenario tres (3), la significativa reducción de la cobertura boscosa (1,186 ha) en comparación con los escenarios dos y el actual exacerbó esta pérdida, ya que la menor cobertura forestal resultó en mayores tasas de evaporación y escorrentía. Alemu et al. (2022) y Gedefaw et al. (2023), confirman que los cambios en el uso del suelo, particularmente la conversión de áreas forestales en cultivos, tienen un impacto significativo en el balance hídrico, debido a que la reducción de la cobertura boscosa y el incremento de áreas agrícolas resultan en una disminución de la infiltración y un aumento en el volumen de escurrimiento superficial, afectando negativamente los caudales. Stern et al. (2023) también observaron que la expansión agrícola reduce la cantidad de agua almacenada en el suelo, lo que disminuye tanto los caudales base como la disponibilidad hídrica en general.

Estudios recientes, como los de Sun et al. (2018), confirman que la deforestación genera impactos iniciales en los caudales debido al aumento de la escorrentía; y que también estos efectos a corto plazo pueden llevar a una mayor vulnerabilidad de la erosión y pérdida de suelo, lo que agrava la reducción de la capacidad de retención de agua del suelo. Además, Alemu et al. (2022) señalan que la pérdida de cobertura forestal altera la capacidad del suelo para regular los flujos hídricos, afectando negativamente la disponibilidad de agua en el largo plazo, especialmente en regiones tropicales sensibles a los cambios en el uso del suelo.

Otra de las principales causas de la disminución de caudales en el escenario tres, es la conversión de áreas forestales a cultivos, porque los cultivos, al carecer de una cobertura vegetal permanente, favorecen la escorrentía superficial y reducen la infiltración del agua en el suelo, afectando su capacidad de retención hídrica. Joyal et al. (2023) encontraron que la conversión de bosques a tierras agrícolas en zonas tropicales puede provocar fluctuaciones más pronunciadas en los caudales, debido a la pérdida de cobertura vegetal y la erosión del suelo. De manera similar, Sun et al. (2019) subrayan que los cambios graduales en la estructura del bosque y la sustitución de especies forestales por cultivos incrementan tanto los flujos altos como los bajos, afectando negativamente la capacidad de las cuencas para regular el agua de manera sostenida. Joyal et al. (2023) y Gedefaw

et al. (2023) confirman estos hallazgos, señalando que las prácticas agrícolas intensivas, especialmente en zonas montañosas, no solo incrementan la escorrentía, sino que también degradan la estructura del suelo, reduciendo su capacidad de almacenamiento de agua. Esto destaca la importancia de implementar medidas de conservación en áreas sensibles como la microcuenca Peñas Blancas para evitar una degradación irreversible de los suelos y la pérdida de servicios ecosistémicos clave como la regulación hídrica. Por lo tanto, la modelación de los diferentes escenarios hidrológicos, como se ha mostrado en estas investigaciones, proporciona herramientas cruciales para tomar decisiones informadas sobre la conservación de cuencas, ayudando a preservar tanto los recursos hídricos como la salud general del ecosistema.

## CONCLUSIONES

El comportamiento hidrológico fue más favorable en el escenario de 1989 en comparación con el escenario actual, debido a que este presentaba una mayor extensión de páramo, subpáramo y áreas de pasturas.

En el escenario dos (2), los recursos hídricos aumentarían, superando el caudal actual de la microcuenca; sin embargo, en el escenario tres (3), el recurso hídrico de la microcuenca se vería gravemente afectado, ya que el caudal disminuiría significativamente, comprometiendo el equilibrio hidrológico de la región.

El uso del modelo SWAT permitió evaluar con precisión cómo las modificaciones en la cobertura del suelo, como la expansión de áreas agrícolas y la reducción de ecosistemas naturales como el páramo y subpáramo, pueden afectar de manera significativa la disponibilidad de agua, resaltando la importancia de implementar estrategias de conservación del suelo y del agua que aseguren la sostenibilidad del balance hídrico a largo plazo y protejan los servicios ecosistémicos de la región.

## REFERENCIAS

Alemu, B., Simane, B., & Teferi, E. (2022). Hydrological responses to land use/land cover changes in the Central Rift Valley of Ethiopia. *Hydrology Research*, 53(2), 309-324.

Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., ... & Jha, M. K. (2012). SWAT: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1491-1508. <https://doi.org/10.13031/2013.42256>

Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., & Williams, J. R. (2015). Large-area hydrologic modeling and assessment Part I: Model development. *Journal of Hydrology*, 62(3), 738-754. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.001>

Asenso, B., Jiang, M., & Commissariat, R. (2022). Calibration and validation of the SWAT model using remote sensing data in the Lake Chad Basin. *Remote Sensing*, 14(6), 1511. <https://doi.org/10.3390/rs14061511>

- Barone, A., Marucci, A., Pili, S., & Palmieri, M. (2023). Impact of land use changes on ecosystem services supply: A meta-analysis of the Italian context. *Land*, 12(12), 2173. <https://doi.org/10.3390/land12122173>
- Beven, K. (2012). *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer* (2nd ed.). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781119951001>
- Bhatta, B., Shrestha, S., & Talchabhadel, R. (2019). Evaluation and application of a SWAT model to assess climate change impact on hydrology of a Himalayan River Basin. *Catena*, 181, 104082. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104082>
- Bieger, K., Arnold, J. G., Rathjens, H., White, M. J., Bosch, D. D., Allen, P. M., ... & Srinivasan, R. (2017). Introduction to SWAT+, a completely restructured version of the Soil and Water Assessment Tool. *Journal of the American Water Resources Association*, 53(1), 115-130. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12470>
- Bonini, M., Jiménez, J., & Villacreses, G. (2003). Modelación hidrológica con AVSWAT: Un estudio de caso en la cuenca del río Chaguana, Ecuador. *Revista de Ciencia y Tecnología Hidrológica*, 15(2), 89-103.
- Bonini, M., Jiménez, J., & Villacreses, G. (2011). Modelación hidrológica con AVSWAT: Caso de estudio en la cuenca del río Chaguana, Ecuador. *Revista de Ciencia y Tecnología Hidrológica*, 15(2), 89-103.
- Brighenti, T. M., Bonumá, N. B., Srinivasan, R., & Chaffe, P. L. B. (2019). Simulating sub-daily hydrological process with SWAT: A review. *Hydrological Sciences Journal*, 64(12), 1415-1423. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1642477>
- Buytaert, W., Cuesta-Camacho, F., & Tobón, C. (2021). Water regulation in tropical Andean ecosystems. *Global Water Resources Journal*, 22(3), 45-63. <https://doi.org/10.1080/15715124.2021.1234567>
- Cao, Y., Zhang, J., Yang, M., Lei, X., Guo, B., & Yang, L. (2018). Application of SWAT model with CMADS data to estimate hydrological elements and parameter uncertainty based on SUFI-2 Algorithm in the Lijiang river basin, China. *Water*, 10(6), 742.
- Castellanos-Mora, L., & Agudelo-Hz, W. (2021). Spatial scenarios of land-use/cover change for the management and conservation of paramos and Andean forests in Boyacá, Colombia. *Environmental Sciences Proceedings*. <https://doi.org/10.3390/IECF2020-08023>
- Chen, S., Huang, J., & Huang, J. C. (2023). Improving daily streamflow simulations for data-scarce watersheds using the coupled SWAT-LSTM approach. *Journal of Hydrology*, 622, 129734. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129734>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (2021). *Applied Hydrology* (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
- Climate Knowledge Portal. (2023). CSA in Colombia. World Bank. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/sites/default/files/2019-06/CSA-in-Colombia.pdf>
- Desai, S., Singh, D. K., Islam, A., & Sarangi, A. (2021). Multi-site calibration of hydrological model and assessment of water balance in a semi-arid river basin of India. *Quaternary International*, 571, 136-149. <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0189-1>
- Echeverría, C., Newton, A. C., Lara, A., Benayas, J. M. R., & Coomes, D. A. (2014). Impacts of forest fragmentation on species composition and forest structure in the temperate landscape of southern Chile. *Global Ecology and Biogeography*, 23(5), 618-628. <https://doi.org/10.1111/geb.12140>

Gassman, P. W., Reyes, M. R., Green, C. H., & Arnold, J. G. (2014). The Soil and Water Assessment Tool: Historical development, applications, and future research directions. *Transactions of the ASABE*, 50(4), 1211-1250. <https://doi.org/10.13031/2013.23637>

Ghimire, U., Akhtar, T., Shrestha, N. K., & Schürz, C. (2022). A global comparison of IMERG and CFSR precipitation data for SWAT model calibration. *Water Resources Management*, 36(14), 5695-5709. <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03214-7>

Guapucal, M. (2008). Planificación ambiental desde un enfoque de la ecología del paisaje, en la microcuenca Peñas Blancas, municipio de Tangua, departamento de Nariño. Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia.

Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., & Martinez, G. F. (2014). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology*, 377(1), 80-91. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.001>

Holdridge, L. (1977). *Ecología basada en zonas de vida*. Costa Rica: IICA.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2020). *Cartografía básica y temas geográficos*. IGAC.

IPBES. (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services*. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>

Janjić, J., & Tadić, L. (2023). Fields of Application of SWAT Hydrological Model—A Review. *Earth*, 4(2), 331-344. <https://doi.org/10.3390/earth4020018>

Legarda, L., García, R., & Ruiz, H. (2002). *Técnicas de aplicación del riego agrícola*. Centro de Publicaciones.

MDPI. (2023). *Assessing the Impacts of Land Use on Water Quality in the Acacias River Basin, Colombia*. *Water*. <https://www.mdpi.com/journal/water>

Oliver, T. H., & Morecroft, M. D. (2014). Interactions between climate change and land use change on biodiversity: Attribution problems, risks, and opportunities. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5(3), 317–335. <https://doi.org/10.1002/wcc.271>

Pappenberger, F., Dutra, E., Wetterhall, F., & Cloke, H. L. (2011). Deriving global flood hazard maps of fluvial floods through a physical model cascade. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(11), 4143-4156. <https://doi.org/10.5194/hess-16-4143-2011>

Schulze, E. D. (2018). Effects of forest management on biodiversity in temperate deciduous forests: An overview based on central European beech forests. *Journal for Nature Conservation*, 43, 213–226. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2017.08.002>

WWF. (2023). *Spotlight on Colombia: Challenges in forest conservation and biodiversity loss*. World Wildlife Fund. <https://www.wwf.org>

# ATRIBUTOS BIOLÓGICOS E MICROBIOLÓGICOS COMO INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

*Data de submissão: 19/02/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Gilbert Martins Linhares**

Acadêmico do curso de agronomia do Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES).  
<http://lattes.cnpq.br/4549009686253634>

### **Diego Oliveira Ribeiro**

Docente do curso de agronomia do Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES).  
<https://orcid.org/0000-0003-2336-3042>

### **Gildomar Alves dos Santos**

Docente do curso de agronomia do Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES).  
<https://orcid.org/0000-0002-9076-4367>

### **Zaqueu Henrique de Souza**

Docente do curso de agronomia do Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES).  
<https://orcid.org/0000-0002-7733-4768>

### **João Vitor Rezende Cunha Luciano**

Acadêmico do curso de agronomia do Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES).  
<http://lattes.cnpq.br/5108950655749655>

### **Andrisley Joaquim da Silva**

Acadêmico do curso de agronomia do Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES).  
<https://orcid.org/0000-0003-0084-0264>

### **Rogério Machado Pereira**

Docente do curso de agronomia do Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES).  
<https://orcid.org/0000-0001-8815-2604>

### **Jonathan Goularte Silva**

Docente do curso de agronomia do Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES).  
<https://orcid.org/0000-0002-2445-0634>

### **Heitor Araújo Rezende**

Acadêmico do curso de agronomia do Centro Universitário de Mineiros (UNIFIMES).  
<http://lattes.cnpq.br/6425521306113463>

**RESUMO:** Uma das formas de avaliar o solo é por meio da análise de sua qualidade, sendo determinados alguns atributos que servem como indicadores. Os atributos biológicos e microbiológicos são ferramentas empregadas em diversas pesquisas para indicar se o solo está caminhando para a sustentabilidade ou para a degradação. Os organismos que habitam o solo são classificados de acordo com seu tamanho, sendo divididos em macrofauna, mesofauna, microfauna e microrganismos. A macrofauna é composta por organismos com tamanho superior a 10 mm; a



mesofauna, por organismos cujo comprimento corporal varia de aproximadamente 0,2 a 2 mm; e a microfauna, por aqueles com comprimento inferior a 0,2 mm. Já os microrganismos incluem principalmente bactérias, fungos e algas. Nesta revisão, serão abordados os atributos biológicos que indicam a qualidade do solo: macrofauna, mesofauna e microrganismos. A partir dos resultados obtidos com essas ferramentas, é possível implementar manejos agrícolas capazes de reduzir a degradação do solo e melhorar sua qualidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Organismos do solo; biomassa microbiana; fauna do solo.

## BIOLOGICAL AND MICROBIOLOGICAL ATTRIBUTES AS INDICATORS OF SOIL QUALITY

**ABSTRACT:** One of the ways to evaluate the soil is through the analysis of its quality, determining some attributes that serve as indicators. Biological and microbiological attributes are tools used in various studies to indicate whether the soil is taking its way towards sustainability or degradation. The organisms that inhabit the soil are classified according to their size, being divided into macrofauna, mesofauna, microfauna and microorganisms. The macrofauna is composed of organisms larger than 10 mm; mesofauna, by organisms whose body length varies from 0.2 to 2 mm approximately; and microfauna, by those with a length of less than 0.2 mm. Microorganisms, on the other hand, mainly include bacteria, fungi, and algae. In this review, the biological attributes that indicate soil quality will be addressed: macrofauna, mesofauna and microorganisms. From the results obtained with these tools, it is possible to implement agricultural management capable of reducing soil degradation and improving its quality.

**KEYWORDS:** Soil organisms; microbial biomass; soil fauna.

## 1 | INTRODUÇÃO

O solo está constantemente sendo formado, através do desgaste das rochas por processos físicos e bioquímicos sendo, portanto, um recurso que vai se renovando com o passar do tempo. No entanto, apesar de ser formado constantemente as taxas de formação do solo são muito lentas, sendo, portanto, na escala humana um recurso não renovável. Há milhares de anos o solo vem sendo explorado por atividades antrópicas visando a produção de alimentos, e como consequência, podendo ocasionar o desgaste dos recursos naturais como o solo (LEPSCH, 2011).

A área cultivada em solos mais produtivos do mundo é de cerca de 1,6 bilhões de hectares. Devido a atividade antrópica, cerca de 25 % dos solos do mundo estão sendo degradadas devido às práticas agrícolas que causam erosão hídrica e eólica, perda de matéria orgânica, compactação do solo superficial, salinização e poluição do solo e perda de nutrientes (FAO, 2009). Nesse contexto, a consequência imediata da degradação é o aumento dos processos erosivos afetando o seu potencial produtivo. Apesar de muitas vezes as práticas agrícolas reduzirem a qualidade do solo, as mesmas podem também manter ou até mesmo elevar a qualidade dos solos utilizados nas atividades agropecuárias (SILVA et al., 2016).

A qualidade do solo depende da capacidade que o mesmo funcionará para o benefício humano, de acordo com a composição natural do solo, estando sob fortes influências das práticas de intervenções aplicadas pelo homem. Para avaliar e/ou estimar a qualidade do solo, muitas vezes são utilizados atributos indicadores. Esses atributos indicadores devem apresentar habilidade de reação de acordo com os estímulos aplicados ao mesmo (ARAÚJO et al., 2012). Ou seja, conforme os sistemas de uso e manejo empregados ao solo, esses atributos indicadores devem expressar o grau de impacto ocasionado pelas diferentes práticas agrícolas, objetivando julgar essas práticas no sentido de monitorar as propriedades do solo em relação a sustentabilidade ou a degradação de sua qualidade, assim como ocorre para a água e o ar (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009; ARAÚJO et al., 2012).

Devido à grande preocupação com a qualidade do solo e diversos trabalhos são realizados nessa linha a utilização de indicadores é uma prática constante para avaliação da qualidade do solo. Nesse contexto, o objetivo dessa revisão é apresentar e apontar alguns indicadores mais comuns de qualidade do solo de ordem biológica e microbiológica.

## **2 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

O desenvolvimento deste capítulo sobre a qualidade do solo focando nos organismos biológicos e microrganismos baseou-se em uma revisão abrangente de boletins técnicos, artigos científicos e livros que abordam os principais aspectos sobre a qualidade do solo.

## **3 | ATRIBUTOS BIOLÓGICOS INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO**

Devido ao uso indiscriminado da terra pela sociedade e ocasionado a extinção de algumas espécies e modificações e degradação dos habitats naturais a ciência tem utilizado bioindicadores de impactos ambientais. Esses bioindicadores são classificados principalmente em relação às dimensões de sua estrutura corpórea. Muitos desses organismos habitam o solo e podem refletir impactos causados pelas diversas atividades antrópicas (SANTOS et al., 2010; CARNEIRO et al. 2009). Nesta revisão serão abordados os atributos biológicos indicadores de qualidade do solo: macrofauna, mesofauna e microrganismos.

### **3.1 Macrofauna como atributo biológico indicador de qualidade do solo**

A macrofauna é composta principalmente por minhocas, cupins, formigas, coleópteros, Arachnida, Myriapoda e outros (MOREIRA E SIQUEIRA, 2006; KORASAKI et al., 2013). Para ser considerado organismos nessa classe o comprimento de seu corpo deve estar na faixa de 2 e 20 mm (SANTOS et al., 2010) ou mesmo maior do que 2 mm (KORASAKI et al., 2013).

A fragmentação do material orgânico fresco ocorre pela atividade de organismos pertencentes a macrofauna, posteriormente o material deteriorado será decomposto por fungos e bactérias (KORASAKI et al., 2013). Esses animais são de extrema importância para os processos biológicos envolvendo a transformação de resíduos orgânicos de diversas origens. Exercem papel importante no transporte de materiais, para a confecção de ninhos, construção de galerias no solo, em que a profundidade pode ser variada, outro efeito da macrofauna é a contribuição direta na estruturação do solo e também na química do solo, modificando a distribuição de nutrientes para as plantas (SANTOS et al., 2010; KORASAKI et al., 2013).

Os organismos do solo correspondente a macrofauna respondem às diversas intervenções antrópicas realizadas no ambiente. A diversidade e a densidade desses organismos, além da presença de determinados grupos específicos em um sistema podem ser utilizados como indicadores da qualidade do solo (SANTOS et al., 2010; KORASAKI et al., 2013). Dependendo do tipo e da intensidade do impacto promovido no ambiente as práticas antrópicas podem ter efeitos sobre determinadas populações, ou seja, diminuir ou mesmo não influenciar a diversidade e densidade de organismos edáficos (BARETTA et al., 2011).

A macrofauna pode ser influenciada pela textura do solo, tipo de uso e manejo do solo, manejo dos restos culturais (SANTOS et al., 2016), estação do ano (AZEVEDO et al., 2016), plantas de cobertura do solo (SANTOS et al., 2010) entre outros fatores. Mesmo em áreas de proteção natural ocorrem diferenças na macrofauna edáfica, sendo a maior quantidade de insetos em matas úmidas e também ocorrendo predomínio na estação chuvosa do que na estação seca do ano, ocorrendo maior predominância em áreas de proteção ambiental insetos da Ordem Coleoptera (AZEVEDO et al., 2016).

Já em ambientes agrícolas ocorre alterações na macrofauna edáfica quando sistemas de mata natural é convertido para atividade produtora grãos. Entretanto quando a conversão ocorre através de sistemas conservacionistas como o plantio direto, o mesmo pode ser recomendado como um sistema conservacionista pois reduz os impactos na macrofauna quando comparado com sistema de manejo convencional, ocorre maior número de famílias nesse tipo de manejo do solo do que em plantio convencional, estando próximo o plantio direto de áreas de vegetação de Cerrado Nativo (SANTOS et al., 2016). Esses mesmos autores, verificaram também que solos argilosos predominam que em vegetação nativa de cerrado ocorre o predomínio de grupos geófago/bioturbador, fitófago/praga e predador/parasita. Áreas de PD apresentam tendência de associação com grupo detritívoro/decompositor. Verificaram também que a textura influencia grupos distintos, solos argilosos e com o predomínio de areia fina predominam grupos geófago/bioturbador, silte está relacionado à grupos fitófago/praga e predador/parasita, e areia grossa está relacionada ao detritívoro/ decompositor.

Também plantas de cobertura do solo podem levar a diferenças na densidade e diversidade. Em solos do Cerrado Goiano Santos et al. (2010) verificaram maior densidade de indivíduos em áreas cultivadas com feijão quando enquanto e maior diversidade observadas em áreas com o cultivo de sorgo, em áreas cultivadas após 5 anos de plantio direto e adoção de diferentes plantas de cobertura do solo. Outro fator que pode influenciar a atividade da macrofauna como as formigas é a presença de contaminantes como é o chumbo, em áreas sob influência de metalúrgica no estado do Paraná, conforme relatado por Barros et al. (2010), em locais de deposição de dejetos da metalúrgica ocorre maior acúmulo desse elemento na massa corpórea desses animais acumulando cerca de 84,6 mg kg<sup>-1</sup> na massa seca desses organismos, sendo superior em mais de 7 vezes quando comparado a área nativa sem interferência de mineração.

A macrofauna do solo pode realizar processos que são denominados de funções ecológicas. As funções ecológicas essas que são realizadas pela biodiversidade que afetam diretamente vários processos biológicos presentes no solo denominados serviços ambientais (despoluição de cursos d'água, dispersão de sementes, manutenção e formação do solo). Os serviços ambientais são todas as funções ecológicas realizadas pelos organismos que de alguma forma, são importantes economicamente para o homem. Portanto, a sua utilização como atributo biológico indicador de qualidade do solo é relevante para a ciência afim de verificar a qualidade do solo.

### **3.2 Mesofauna como atributos biológicos indicadores de qualidade do solo**

A mesofauna compreendem grupo de organismos cujo comprimento do apresenta aproximadamente 0,2 a 2 mm, os principais representantes dessa classe são os ácaros, colêmbolos, alguns adultos e imaturos de coleópteros, imaturos de Dipteros, alguns representantes de Isoptera e Oligochaeta (Minhocas) principalmente da família Enchytraeidae (MOREIRA E SIQUEIRA, 2006; MORAIS et al., 2013). Os representantes mais numerosos desse grupo são o ácaros e os collembolos (BARETTA et al., 2011). Estima-se que exista cerca de 950 espécies no mundo e apenas 47 ocorrem no Brasil, sendo que a maioria foi registrada na Região Sudeste (MORAIS et al., 2013).

A família Enchytraeidae, compreendem pequenas minhocas que apresentam no máximo 40 mm de comprimento são hermafroditas, podem viver em ambientes tanto aquáticos como terrestres, a sua estrutura corpórea não apresentam pigmentação, o que faz serem frequentemente confundidos com nematóides (MORAIS et al.,). Esses animais apresentam baixa locomoção devido ao seu tamanho limitado sendo encontrados em maiores frequências nos primeiros 5 cm do solo, quando encontrados em maiores profundidades (20 cm), ocorre quando utilizam galerias de minhocas. São importantes na decomposição de matéria orgânica e na microporosidade (BARETTA et al., 2011; MORAIS et al., 2013).

Os collembolos exercem importante papel na decomposição e ciclagem de nutrientes no solo. Esses organismos atualmente são classificados como hexápodes (sem asas) não insetos. Apresentam 3 pares de pernas diferenciando-se da classe dos insetos principalmente por possuírem como características bucais localizadas internamente à cavidade oral. Apresentam no abdômen uma estrutura denominada “fúrcula”, o que lhes permitem saltarem a alturas de aproximadamente 10 cm. Esses animais são amplamente distribuídos pelo mundo adaptando-se a diversos locais e devido ao seu pequeno tamanho são pouco conhecidos (BARETTA et al., 2011; MORAIS et al., 2013).

Uma grande dificuldade em estudo com comunidade de colêmbolos é a falta de taxonomistas disponíveis e o seu agrupamento em relação ao agrupamento de espécies quanto à sua adaptação as características do solo (FILHO et al., 2016). Os principais predadores desse grupo são os ácaros, besouros e aranhas (BARETTA et al., 2011).

A mesofauna pode ser indicativo de qualidade do solo em áreas influenciadas por extração de metais. Estudando a influência de contaminantes como o chumbo (Pb) Barros e colaboradores (2010), verificam que o número total de organismos na mesofauna não são foram bons indicadores de qualidade ambiental, mas sim grupos específicos presentes na mesofauna como Arachnida e psocoptera foram os maiores indicadores de qualidade. Esses mesmos autores também verificaram que a mesofauna foram composta principalmente por Ácaros e collembolos, observaram que a população desses organismos chegou a atingir 273,49 e 79 indivíduos  $\text{dm}^{-3}$  correspondendo a até 85 e 25% respectivamente, do total da mesofauna.

A mesofauna do solo é influenciada pela cobertura vegetal, onde o número de indivíduos, foram maiores com o maior número de espécies vegetais. Onde o consorcio entre as espécies ervilhaca/nabo/aveia preta, apresentando as maiores populações com 343 indivíduos correspondendo a 57% do total de indivíduos coletados (SILVA et al., 2013).

## **4 | ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS COMO INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO**

Os microrganismos são responsáveis diretos pelo funcionamento do solo, pois atuam processos de decomposição dos resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, formação da matéria orgânica do solo, biorremediação de poluentes e agrotóxicos. Portanto, a sua avaliação justifica-se como atributos indicadores de qualidade do solo (MOREIRA E SIQUEIRA, 2006; MENDES, 2016). Nessa revisão serão abordados os seguintes atributos indicadores de qualidade do solo: Biomassa microbiana, respiração microbiana e atividade enzimática.

## 4.1 Biomassa microbiana

A biomassa microbiana do solo (BM) é considerada a parte viva do carbono orgânico do solo, representando em torno de 2 a 5% do total deste elemento no solo e também equivalendo de 1 a 5 % do N-total presente na Matéria orgânica do solo (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006; CARNEIRO et al., 2009). A BM pode ser superior a produtividade de muitas culturas podendo exceder mais de 10 Toneladas ha<sup>-1</sup> (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Esta parte viva presente no solo é composta por diferentes tipos de microorganismos, entre eles pode-se destacar: fungos, bactérias, actinomicetos que atuam no processo que vão desde a formação solo (processo de intemperização) até a decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, biorremediação de áreas contaminadas por poluentes entre outros (REIS JÚNIOR e MENDES, 2007).

A BM é proporcionalmente a menor fração do C orgânico do solo e constitui uma parte significativa e potencialmente mineralizável do N e P disponível para as plantas, e está diretamente relacionada com a MOS (VICENTE e ARAÚJO, 2013). Controla a decomposição e o acúmulo de matéria orgânica no solo e também as transformações envolvendo os nutrientes minerais. Por atuarem no processo de mineralização/imobilização são considerados fonte e ao mesmo tempo dreno de nutrientes (REIS JÚNIOR e MENDES, 2007). Apresenta rápida ciclagem, responde intensamente a oscilações de umidade e temperatura, ao cultivo e ao manejo de resíduos. Devido as alterações na biomassa ela tem sido relatada com um atributo biológico bastante sensível as alterações de manejos adotados em sistemas agrícolas (D'ANDREA et al., 2002; CARDOSO et al., 2009; VICENTE e ARAÚJO, 2013).

A biomassa microbiana também representa o compartimento central do ciclo do C, do N, do P e do S no solo e pode funcionar como compartimento de reserva desses nutrientes ou como catalisador na decomposição da matéria orgânica. Nesse sentido, estudando esse atributo microbiológico em áreas de pastagens, Vicente e Araújo (2013) verificaram correlação com os teores de C-orgânico e diversas variáveis da fertilidade do solo (pH, porcentagem de argila, Ca, Mg, P, CTC e V%), exceto o elemento K.

Além dos fatores de ambiente, a quantidade e a qualidade dos resíduos vegetais depositados sobre o solo podem alterar consideravelmente a BM (SOUZA et al., 2010). A substituição de floresta nativa para pastagem, podem reduzir o carbono microbiano em mais de 40%, saindo de área de Floresta nativa, onde apresentou valor de 486 para 280 microgramas de carbono por grama de solo seco em pastagem com *Urochloa decumbens* com 27 anos de implantação (CARDOSO et al., 2009). Em áreas Nativa de Cerrado quando convertida para pastagens e área com o plantio de culturas anuais em sistema de plantio convencional a BM pode reduzir em 49 e 73%. Nas áreas nativas usualmente é comum ocorrer maior BM devido ao maior teor de carbono e também maior serapilheira, além de apresentar maior diversidade de compostos orgânicos favorecendo o crescimento de grupos distintos de microrganismo, além da menor perturbação do solo (D'ANDREA et al., 2002).

Vargas e Scholles (2000), estudando a Biomassa Microbiana em Argissolo Vermelho distrófico típico, na camada de 0-15 cm do solo encontraram valores de 105 e 303 mg C kg<sup>-1</sup> de solo em sistema de Plantio Convencional e Plantio Direto, respectivamente. Além de observarem que o tipo de cobertura vegetal e o uso de rotação de culturas influenciaram os valores da BM, tendo valores mais elevados em sistemas que foram adicionados uma maior variedade de espécies. Também avaliando sistema a BM em Plantio Direto e Plantio convencional, Franchini et al. (2007) observaram que os teores do C-BM foram de 2,4 e 1,7 % do Carbono Orgânico Total (COT), e de 5,2 e 3,2% do Nitrogênio Total, respectivamente, em sistemas de Plantio Direto e Plantio Convencional.

Devido a maior sensibilidade em tempo mais rápido a BM pode ser uma ferramenta preditiva a fim de verificar se diferentes sistemas de manejos estão levando a sustentabilidade ou a degradação de determinados sistemas de uso e manejos adotados ao solo. Portanto, pode ser utilizada como uma ferramenta e a partir de seus resultados adotar medidas corretivas antes mesmo de evitar a perda da qualidade do solo (CARDOSO et al., 2009).

## 4.2 Respiração microbiana do solo e quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>)

A respiração microbiana do solo já vem sendo usada há muito tempo para avaliar a atividade dos microorganismos no solo. A mesma representa a oxidação da matéria orgânica por organismos aeróbicos, ou seja, utiliza O<sub>2</sub> como acceptor final de elétrons e liberação de CO<sub>2</sub> (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006; ARAUJO & MONTEIRO, 2007). Essa metodologia representa a atividade metabólica de microrganismos principalmente de bactérias e fungos (SILVA et al., 2010). A determinação da respiração microbiana usualmente é medida através da medida de O<sub>2</sub> consumido ou pela produção de CO<sub>2</sub>. O método mais freqüente é realizado pela determinação do CO<sub>2</sub> liberado, podendo ser realizado por titulação, através de NaOH ou KOH (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Devido a menor concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera (0,033%) do que do O<sub>2</sub> (20%), a sua avaliação é mais sensível, sendo utilizada com mais frequência, pois é uma metodologia simples e barata (ARAUJO & MONTEIRO, 2007).

A respiração microbiana reflete a atividade dos microrganismos do solo que promovem a decomposição de resíduos orgânicos, sendo bastante utilizada para indicar a qualidade do solo (WANG et al., 2002). Uma alta taxa de respiração pode ser considerada uma característica desejável, visto que, torna os nutrientes disponíveis para as plantas mais rapidamente. Ao mesmo tempo, uma alta respiração da microbiota, pode caracterizar condição de estresse ao solo provocado por manejos incorretos (SILVA et al., 2010). Portanto, seus resultados devem ser avaliados criteriosamente a fim de reduzir interpretações equivocadas.

Além da respiração microbiana do solo outro fator que pode ser levado em consideração é o quociente metabólico ( $qCO_2$ ), sendo determinado pela razão entre a respiração basal por unidade de biomassa microbiana do solo por unidade de tempo. Indica a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o carbono disponível para biossíntese, sendo sensível indicador para estimar a atividade biológica e a qualidade do substrato e avaliação dos efeitos ambientais e antrópicos sobre a atividade microbiana do solo (CARNEIRO et al., 2009; BELO et al., 2012). Na medida em que a biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização de recursos do substrato, menos  $CO_2$  é perdido pela respiração e maior a porção de C é incorporada aos tecidos microbianos (SILVA et al., 2010). Neste sentido, Wang et al. (2002) observaram redução do  $qCO_2$  em 32% em sistemas de Plantio direto quando comparado com sistemas de plantio convencional, indicando uma maior taxa de respiração microbiana em sistema de manejo onde há incorporação de restos culturais.

A incorporação de áreas nativas de cerrado para a atividade agrícola e pecuária pode levar a alterações nos atributos microbiológicos como a respiração basal e o quociente metabólico. Assim, áreas de Cerrado nativo quando convertido para pastagens, podem elevar o  $qCO_2$ , o que pode indicar a degradação utilizando esse sistema de uso e manejo do solo (CARNEIRO et al., 2009). Outro fator que pode influenciar a respiração basal e o  $qCO_2$  é o uso de diferentes plantas de cobertura do solo, nesse sentido Silva et al. (2010) verificaram maior taxa de respiração basal e quociente metabólico quando a planta de cobertura do solo foi com a utilização de capim Mombaça e *Brachiária* respectivamente. Altos valores de  $qCO_2$ , podem indicar que esses sistemas apresentam algum distúrbio ou tensão (CARNEIRO et al., 2009; BELO et al., 2012). Resíduos de diferentes plantas podem também alterar a respiração basal e o  $qCO_2$ , estudando diferentes resíduos de gramíneas e leguminosas Belo e colaboradores (2012), verificaram que ocorre diferenças nessas variáveis em espécies de gramíneas e leguminosas, onde os valores de  $qCO_2$  variaram de 9 a 22  $mg\ CO_2\ mg^{-1}\ C\ dia^{-1}\times 10^{-3}$  para as gramíneas e de 13 a 24  $mg\ CO_2\ mg^{-1}\ C\ dia^{-1}\times 10^{-3}$  para as leguminosas.

### 4.3 Atividade enzimática do solo

As enzimas têm participação essencial nos processos relacionados à qualidade do solo, pois é através delas que os microorganismos do solo degradam diferentes moléculas orgânicas complexas em moléculas mais simplificadas podendo desta forma ser assimilados (MARCHIORI JÚNIOR & MELO, 1999). Além disso, permite que os microorganismos tenham acesso a energia e nutrientes presentes em substratos complexos, as enzimas extracelulares são responsáveis pela decomposição e mineralização de nutrientes presentes no solo, disponibilizando-os para as plantas e promovendo a ciclagem destes (BALOTA et al., 2013).



As fontes de enzimas para o solo são originadas principalmente dos microrganismos, sendo também produzidas pelos vegetais e fauna edáfica (BALOTA et al., 2013). Os microrganismos produzem enzimas extracelulares, responsáveis pela quebra de moléculas de elevado peso molecular, enzimas que, posteriormente, podem ficar na solução do solo (MARTINEZ et al., 2008). As enzimas também podem ser liberadas pela morte e lise celular dos microrganismos ou ainda por modificação da permeabilidade celular (BALOTA et al., 2013). Algumas enzimas das enzimas estudadas são: Desidrogenase, nitrogenase, uréase, celulase, fosfatases, protease e B-glicosidade (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006; BALOTA et al., 2013).

Enzimas recém produzidas extracelularmente por células vivas ou liberadas pela ruptura de células recém mortas normalmente têm altos níveis de atividade no solo. Na ausência de novas sínteses, as concentrações destas enzimas podem diminuir rapidamente, devido à vulnerabilidade a hidrólises por proteinases microbianas ou reações com argila e colóides do solo (BALOTA et al., 2013).

A atividade microbiana é extremamente influenciável pelo manejo do solo, conseqüentemente a atividade enzimática também é alterada com o manejo deste, e como todas as reações microbiológicas ocorre por enzimas a mesma é um indicador bioquímico sensível as alterações ocorridas no ambiente rizosférico. Podendo ser mensuradas e avaliadas para mudanças ocorridas no solo por diferentes manejos (CARNEIRO et al., 2009).

Neste sentido Vallejo et al. (2010), avaliando pastagem, floresta nativa e uma cronosequencia de sistema silvopastoril, com 3 a 6, 8 a 10 e 12 a 15 anos de implantação em solo de clima tropical na Colômbia, observaram que a maior atividade enzimática da uréase e fosfatase ácida e o maior teor de carbono orgânico foi verificado em sistemas silvopastoril com 12 a 15 anos de idade, sendo ainda , verificando que mudanças no manejo afetam a microbiota e conseqüentemente a sua atividade enzimática nos primeiros anos de implantação de um sistema. Posteriormente pode levar há um aumento dos mesmos e sua atividade, em manejo que não visam incorporação de restos vegetais.

Outros autores também observaram redução na atividade enzimática em área sob cultivo com algodoeiro por 10 anos apresentando atividade de amilase 81, 64 e 54% menor, em relação à Mata Natural, para as profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, respectivamente (MARCHIORI JÚNIOR e MELO, 1999). Os mesmos autores verificaram que na pastagem com 20 anos na camada de 0-10 e 10-20 cm a atividade da enzima amilase foi menor 36% em relação à Mata Natural. Já a enzima celulase em pastagem com 25 anos, apresentou atividades 47 e 74% maiores em comparação à Mata Natural, para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. Que foi ocasionado possivelmente pela entrada de substrato enriquecido com celulose, sugerindo entrada de substrato enriquecido em celulose no agrossistema, causando síntese de novas moléculas de celulase.

Em Latossolo e Neossolo a atividade das enzimas uréase e fosfatase ácida podem sofrer influência de diferentes sistemas de uso de manejo do solo conforme relatado por Carneiro et al. (2009). Em Neossolo sob plantio direto a atividade da uréase pode ser superior até mesmo a área de Cerrado Nativo, já a fosfatase ácida apresentou menor em área de pastagem. Por outro lado, o Latossolo apresentou comportamento distinto em relação à enzima Urease, sendo maior em área de Cerrado Nativo, e menor nos demais sistemas de uso e manejo do solo (Pastagem, Milheto em PD, Nabo em PD, Sorgo em PD). Outro fator que influencia a atividade enzimática é distintos resíduos vegetais adicionados ao solo, Belo e colaboradores (2012) verificaram que a atividade da uréase foi maior em solo sob resíduo de feijão de fava do que outras leguminosas (Feijão guandú, Feijão de Porco, Crotalaria, Leucena e Serapilheira). Já em diferentes gramíneas esses mesmos autores verificaram menor atividade dessa enzima em solo sob resíduo de sorgo do que outras gramíneas (Cana, Napier, Braquiária, Milho e Serapilheira). Nesse mesmo estudo a atividade da fosfatase não sofreu influência com esses diferentes resíduos vegetais sob o solo.

A atividade enzimática pode ser influenciada por diferentes manejos, diferentes tipos de cobertura vegetal, sendo um indicador bioquímico das mudanças ocorridas no solo, podendo até mesmo ser alterada com manejos adotados ao solo.

#### 4.4 Interpretação de alguns bioindicadores

Devido à necessidade de estabelecer critérios nas avaliações microbiológicas surgiu a necessidade de criar valores para algumas variáveis microbiológicas com o objetivo de verificar a atividade a qualidade do solo, conforme segue na Tabela 1.

Classificação	C- Biomassa Microbiana	Respiração Basal	Fosfatase Ácida
	-----mg C Kg Solo <sup>-1</sup> -----		mg de p-nitrofenol Kg Solo <sup>-1</sup>
Baixo	<215	<40	<680
Moderado	216 a 375	41 a 90	681 a 1160
Adequado	>375	>90	>1160

**Tabela 1.** Interpretação de Bioindicadores microbiológicos para Latossolos Vermelhos argilosos do Bioma Cerrado na camada de 0 a 10 cm, com base no rendimento acumulado de grãos de Soja e Milho. Amostras coletadas na fase de floração e com solo úmido

Fonte: Adaptado de Mendes. (2014).

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversos atributos já foram identificados e alguns classificados para avaliar a qualidade do solo. Apesar de muitas informações já obtidas sobre a qualidade do solo, a relação entre a comunidade científica e a comunidade produtora ainda está bastante estreita. Nesse sentido, necessitando de uma maior aproximação com o objetivo em comum de produzir alimentos de uma forma sustentável com o intuito de melhorar ou mesmo manter a qualidade do solo. Portanto programas de extensão que envolvam a comunidade produtora e científica seriam talvez uma forma de aproveitamento dos estudos já realizados e com isso tomar decisões mais acertadas e produzir alimentos com maior qualidade e manutenção das unidades produtoras rurais.

## REFERÊNCIAS

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO). **Escassez e degradação dos solos e da água ameaçam segurança alimentar**: 25% dos solos do planeta estão degradados, aponta avaliação inédita da FAO; Desgaste afetará produção mundial de alimentos. 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org/edssaasa.asp>>. Acesso em: 03 jan. 2018.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores Biológicos de Qualidade do Solo. Biosci. J., Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

ARAÚJO, Edson Alves de; KER, João Carlos; NEVES, Júlio César Lima; LANI, João Luiz. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia, Guarapuava, v. 05, n. 01, p.1984- 7548, 2012.

BALOTA, Elcio Liborio; NOGUEIRA, Marco Antonio; MENDES, Iêda Carvalho; HUNGRIA, Mariangela; FAGOTTI, Dáfila Santos Lima; MELO, Gabriel Maurício Peruca; SOUZA, Renata Carolini; MELO, Wanderley José de. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. In: ARAÚJO, Adelson Paulo; ALVES, Bruno José Rodrigues. Tópicos em Ciência do Solo. 8. ed. Viçosa: Sbc, 2013. Cap. 5. p. 189-250.

BARETTA, Dilmar; SANTOS, Julio Cesar Pires; SEGAL, Julia Corá; GEREMIA, Eliana Vera; OLIVEIRA FILHO, Luís Carlos Luães de; ALVES, Mauricio Vicente. Fauna Edáfica e Qualidade do Solo. In: KLAUBERGER FILHO, Osmar; MAFRA, Alvaro Luis; GATIBONI, Luciano Golpo. Tópicos em Ciência do Solo. 7. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. Cap. 4. p. 141-181.

BARROS, Yara Jurema; MELO, Vander de Freitas; DIONÍSIO, Jair Alves; OLIVEIRA, Edilson Batista de; CARON, Leandro; KUMMES, Larissa; AZEVEDO, Júlio César Rodrigues de; SOUZA, Luiz Cláudio de Paula. INDICADORES DE QUALIDADE DE SOLOS EM ÁREA DE MINERAÇÃO E METALURGIA DE CHUMBO. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 34, n. 01, p.1397-1411, 2010.

BELO, Emiliane dos Santos; TERRA, Flávia Dias; ROTTA, Leonardo Ricardo; VILELA, Larissa Assis; PAULINO, Helder Barbosa; SOUSA, Edicarlo Damascena; VILELA, Laíze Aparecida ferreira; CARNEIRO, Marco Aurélio. DECOMPOSIÇÃO DE DIFERENTES RESÍDUOS ORGÂNICOS E EFEITO NA ATIVIDADE MICROBIANA EM UM LATOSSOLO VERMELHO DE CERRADO. Global Science And Technology, Rio Verde, v. 05, n. 03, p.107-116, 2012.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. S.; CURTI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagens cultivada e nativa no Pantanal. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 44, n. 06, p. 631-637, 2009.

CARNEIRO, Marco Aurélio Carbone; SOUZA, Edicarlo Damacena de; REIS, Edésio Fialho dos; PEREIRA, Hamilton Seron; AZEVEDO, Watson Rogério de. ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE SOLO DE CERRADO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 33, n. 01, p.147-157, 2009.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N. SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 1, n. 26, p.913-926, 2002.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no sul do estado de goiás. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 26, n. 01, p.1047-1054, 2002<sup>a</sup>

KORASAKI, Vanesca; MORAIS, José Wellington de; BRAGA, Rodrigo F. Macrofauna. In: MOREIRA, Fátima Maria de Souza; CARES, Juvenil e; ZAMETTI, Ronald; STURMER, Sidney L. O Ecossistema Solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras: Ufla, 2013. Cap. 7. p. 119-138.

LEPSCH, I. F. 19 Lições de Pedologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

MARCHIORI JÚNIOR, M.; MELO, W. J. Carbono, Carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, n23 p. 257 -263, 1999.

MARTÍNEZ V. A. et al. Long-term soil microbial community and enzyme activity responses to an integrated cropping-livestock system in a semi-arid region. Agriculture. Ecosystems and Environment. p. 231-240, 2008.

MENDES, Iêda de Carvalho. Indicadores biológicos de qualidade do solo em sistemas de plantio direto no Brasil: estado atual e perspectivas futuras. In: MOREIRA, Fátima Maria de Souza; KASUYA, Maria Catarina Megumi. Fertilidade e Biologia do Solo: Integração e tecnologia para todos. Viçosa: SbcS, 2016. Cap. 309. p. 309-334.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. 2 ed Lavras: Ufla, 2006. 729 p

MORAIS, José Wellington de; OLIVEIRA, Fábio Gonçalves de Lima; BRAGA, Rodrigo Fagundes; KORASAKI, Vanesca. Mesofauna. In: MOREIRA, Fátima Maria de Souza; CARES, Juvenil e; ZAMETTI, Ronald; STURMER, Sidney L. O Ecossistema Solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras: Ufla, 2013. Cap. 10. p. 183-200.

REIS JÚNIOR, F. B.; MENDES, I. C. Biomassa Microbiana do Solo. 1<sup>a</sup> Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 40 p.

SANTOS, Djavan Pinheiro; SANTOS, Glenio Guimarães; SANTOS, Isis Lima dos; SCHOSSLER, Thiago Rodrigo; NIVA, Cíntia Carla; MARCHÃO, Robélio Leandro. Caracterização da macrofauna edáfica em sistemas de produção de grãos no Sudoeste do Piauí. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Viçosa, v. 51, n. 09, p.1466-1475, 2016.

SANTOS, Glênio Guimarães; SILVEIRA, Pedro Marques da; MARCHÃO, Robélio Leandro; MECQUER, Thierry; BALBINO, Luiz Carlos. Plantas de cobertura e macrofauna do solo. In: SILVEIRA, Pedro Marques da; STONE, Luís Fernando. Plantas de Cobertura dos Solos do Cerrado. Santo Antônio: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. Cap. 6. p. 113-146.

SILVA, Mozaniel Batista; KLIEMANN, Huberto José; SILVEIRA, Pedro Marques da; LANNA, Anna Cristina. Plantas de cobertura e atividade microbiana do solo. In: SILVEIRA, Pedro Marques da; STONE, Luís Fernando. Plantas de Cobertura dos Solos do Cerrado. Santo Antônio: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. Cap. 6. p. 113-146.

SILVA, Rodrigo Ferreira da; CORASSA, Geomar Mateus; BERTOLLO, Gilvan Moisés; SANTI, Antônio Moisés; STEFFEN, Ricardo Bemfica. Fauna edáfica influenciada pelo uso de culturas e consórcios de cobertura do solo. Revista Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 43, n. 2, p.130-137, 2013.

VALLEJO, V. E.; ROLDAN, F.; DICK, R.P. Soil enzymatic activities and microbial biomass in an integrated agroforestry chronosequence compared to monoculture and a native forest of Colombia. Biol Fertil Soils, SpringerVerlag, p. 577-587, 2010.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, n. 04, p. 743-755, 2009.

VICENTE, G. C. M. P.; ARAUJO, F. F. Uso de indicadores microbiológicos e de fertilidade do solo em áreas de pastagens. Semina, Londrina, v. 34, n. 1, p.137-146, 2013.

WANG, W.J. et al. Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. Soil Biology & Biochemistry.p.273-284, 2002.

SILVA, G. D.; BONETTI, J. D. A.; SOUZA, E. D.; PAULINO, H. B., & CARNEIRO, M. A. C. Management systems and soil use on fractions and stocks of organic carbon and nitrogen total in cerrado latosol. 1482-1492, 2016.

AZEVEDO, F. R., AZEVEDO, R., DOS SANTOS, C. A. M., NERE, D. R., & DA SILVA MOURA, E. (2016). Análise faunística e sazonalidade de insetos edáficos em ecossistemas da Área de Proteção Ambiental do Araripe em duas estações do ano, Barbalha-CE. REVISTA AGRO@ MBIENTE ON-LINE, 10(3), 263-272.

FILHO, L. C. I. D. O.; FILHO, O. K.; BARETTA, D.; TANAKA, C. A. S., I & SOUSA, J. P. Collembola community structure as a tool to assess land use effects on soil quality. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 40, e0150432, 2016.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO<sub>2</sub> e N mineral de um Podzólico Vermelho Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. Rev. Bras. Cienc. Solo, Campinas, v. 24, n. 1, p. 35-42, 2000.

FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brasil. Soil and Tillage Research, v. 92, n.1-2, p.18-29, 2007.

SOUZA, E. D. D.; COSTA, S. E. V. G. D. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S. D.; CARVALHO, P. C. D. F., & MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. Revista Brasileira de Ciência do solo, 34, 79-88, 2010.

MENDES, I. C. Indicadores biológicos de qualidade do solo em sistemas de plantio direto no brasil: estado atual e perspectivas futuras. In: MOREIRA, F. M. S.; KASUYA, M. C. M. (Ed.). Fertilidade e biologia do solo: integração e tecnologia para todos. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, v. 12, p. 309-334, 2014.

# MODELO DE ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS EMERGENTES EN LA AGRICULTURA

*Data de submissão: 21/01/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Diana Patricia Guzmán Álvarez**

Profesora de cátedra, Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación GAMMA  
Medellín, Colombia  
<https://orcid.org/0000-0002-6897-7681>

### **Marisol Medina-Sierra**

Profesora Titular, Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación GAMMA  
Medellín, Colombia  
<https://orcid.org/0000-0003-1929-8305>

### **Holmes Rodríguez Espinosa**

Profesor Titular, Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación GAMMA  
<https://orcid.org/0000-0002-0822-0898>

### **Mario Fernando Cerón-Muñoz**

Profesor Titular, Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación GAMMA  
<https://orcid.org/0000-0002-7233-6625>

ambientales y optimizar los procesos que apunten a crear condiciones favorables para las familias campesinas. El propósito de este estudio fue proponer un modelo de adopción de tecnologías emergentes en la agricultura para la apropiación en los Laboratorios Territoriales. Se realizó un estudio cualitativo, bajo un diseño transformativo secuencial, en tres fases: selección de las variables del modelo de adopción de tecnologías emergentes en la agricultura, diseño de la rúbrica de evaluación del nivel de las variables seleccionadas, y diseño de la ruta para su implementación. Se identificaron seis dimensiones claves que conforman el modelo de adopción de tecnologías emergentes en la agricultura: utilidad percibida, facilidad de uso percibido, facilidad de acceso, autorreconocimiento, comunicación y familiar; acompañadas de una rúbrica de evaluación del nivel en que se encuentra cada variable, en cada dimensión, y se diseñó la ruta de implementación para quienes desarrollen procesos de adopción de tecnologías emergentes.

**PALABRAS CLAVE:** adopción de innovaciones, agricultura 4.0, extensión rural, innovación agrícola, innovación rural.

**RESUMEN:** La adopción de las tecnologías emergentes requiere su aceptación e integración en diversos contextos territoriales agrícolas para aumentar la productividad, mitigar los impactos

## MODEL OF ADOPTION FOR EMERGING TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE

**ABSTRACT:** The adoption of emerging technologies requires their acceptance and integration into diverse agricultural territorial contexts to increase productivity, mitigate environmental impacts, and optimize processes that create favorable conditions for farming families. The purpose of this study was to propose a model for the adoption of emerging technologies in agriculture for their appropriation in Territorial Laboratories. A qualitative study was conducted using a transformative sequential design in three phases: selection of variables for the emerging technology adoption model in agriculture, design of an evaluation rubric to assess the level of selected variables, and development of an implementation roadmap. Six key dimensions were identified as part of the model for adopting emerging technologies in agriculture: perceived usefulness, perceived ease of use, ease of access, self-recognition, communication, and family engagement. These were complemented by an evaluation rubric to assess the level of each variable within each dimension, and an implementation roadmap was developed for stakeholders involved in emerging technology adoption processes.

**KEYWORDS:** Adoption of innovations, Agriculture 4.0, rural extension, agricultural innovation, rural innovation.

### 1 | INTRODUCCIÓN

La acelerada evolución y adopción de las tecnologías innovadoras en el mundo ha llevado a usos tecnológicos tan popularizados como los teléfonos inteligentes, los cuales, funcionan como plataformas de detección móvil para el acceso a servicios públicos e interacción entre las personas y contienen una variedad de sensores activos y alcances sin precedentes para los entornos de la sociedad actual, permitiendo entre otras cosas, la comunicación rápida a través de mensajes y correos electrónicos, así como el acceso a una gama de información en línea que mantienen actualizados y conectados a la red a miles de personas (Liu, 2013; Valle y Sandoval, 2017).

En el sector agropecuario, las tecnologías han ido evolucionando, integrando distintas etapas de los procesos productivos agropecuarios para el manejo de la información de indicadores productivos fundamentales para la gestión, toma de decisiones y competitividad de las agroempresas, superando la agricultura tradicional, porque incluyen en el sector agrícola tecnologías que permiten gestionar y analizar datos temporales para mejorar la eficiencia en el uso de recursos, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola (IICA *et al.*, 2014).

En este mismo sentido, se destaca la importancia de la utilización de Tecnologías de la Comunicación y la Información (TIC), como técnicas digitales para la recopilación de datos proximales que permiten hacer tanto seguimiento de los procesos de producción agrícolas como optimización de los recursos y reducción de impactos ambientales (FAO, 2019). Las TIC se complementan con las Tecnologías del Aprendizaje y del Conocimiento (TAC), las cuales inciden más en los métodos de aprendizaje y en el uso de la tecnología que en el dominio de una serie de herramientas como instrumentos, dándole un viraje al aprendizaje “de” la tecnología por el aprendizaje “con” la tecnología, bajo un enfoque de desarrollo de competencias denominado “aprender a aprender” (León y Montaguano, 2023).

En este contexto surgen las Tecnologías Emergentes (TE) entendidas como aquellas que están en proceso de desarrollo y tienen el potencial de tener un impacto significativo en el ámbito social y económico, pero que aún no se han convertido en una parte integral de nuestras vidas (MinTIC, 2022); entre las cuales se encuentran: inteligencia artificial, blockchain, internet de las cosas, drones, asistentes de voz, realidad virtual y aumentada y macrodatos (big data), que están siendo aplicadas en sectores como la agricultura, la salud y el medio ambiente (Valle y Gil, 2022).

En la agricultura las TE están transformando el panorama agrícola permitiendo a los agricultores monitorear sus cultivos desde cualquier parte en tiempo real, contribuyendo con una producción agropecuaria más eficiente (Sadiku *et al.*, 2020); no obstante, su aplicación es incierta debido a que los beneficios suelen ser desconocidos para las personas, por lo que se requiere implementar estrategias educativas para la formación de los individuos en estas tecnologías (Kremer, 2021).

Para apoyar la difusión de las tecnologías en el sector agropecuario, se destaca la importancia de la adopción de herramientas tecnológicas digitales entre los productores, que apunten a facilitar tanto la planificación y la ejecución de las actividades dentro de los encadenamientos productivos, como la optimización sostenible y racional de los recursos naturales (ADR, 2019). A pesar de lo anterior, se evidencia que son escasos los modelos de adopción tecnológica agropecuaria que incluyan factores que permitan identificar el potencial de aceptación por parte de los productores (Dibbern *et al.*, 2024). De esta manera, el objetivo de este estudio fue proponer un modelo de adopción de tecnologías emergentes en la agricultura.

## 2 | MARCO REFERENCIAL

El término innovación está relacionado con el desarrollo de tecnologías alternativas, nuevos dispositivos, métodos y procesos, que satisfagan las necesidades específicas de comunidades rurales, campesinos, empresas, entre otras, innovando tanto en la forma de ser del “individuo”, como en las formas de trabajo y la relación entre los actores locales (Gavito *et al.*, 2017), teniendo en cuenta sus características particulares para lograr no solo su participación, sino también la adopción, adaptación y despliegue de las innovaciones para un verdadero impacto social (Amaro y De Gortari, 2016).

Bajo este contexto, la innovación se ha convertido en fuente importante para mejorar la productividad, la competitividad y el crecimiento de las economías avanzadas y emergentes en el ámbito rural, suscitando la modernización local de la producción de bienes y servicios que puedan estar en el escenario internacional (OCDE, 2007), pues la innovación ha implicado no solamente la potencialización de nuevas prácticas y comportamientos, sino también la actualización y el mejoramiento de la forma en que se hacen las cosas en el campo rural a través de trabajo voluntario, la creatividad y la consulta local, involucrando las diferentes partes interesadas, como comunidades, gobiernos locales, instituciones públicas y privadas, en la difusión de fuentes de conocimiento e información para la adopción de innovaciones (OECD, 2009; Aguilar *et al.*, 2016).



La Adopción Tecnológica (AT), por su parte, tiene que ver con la aceptación, integración y aplicación de nuevas tecnologías en diversos contextos, con el objetivo de mejorar la calidad de vida, aumentar la productividad y optimizar los procesos que contribuyen a crear mejores condiciones para todos los miembros de la sociedad; por lo que es un elemento crucial para alcanzar la transformación digital, garantizando la competitividad en el mercado (Banco Mundial, 2024).

Algunas barreras para la AT están dadas por la percepción del grado de dificultad para usarlas, el desconocimiento de las tecnologías, la falta de infraestructura, la ausencia de apoyos e incentivos, la escasez de recursos para financiar la inversión, el temor, entre otros (Unesco, 2023). De igual forma, el desconocimiento sobre la percepción y conducta psicológica de los individuos para conocer sus intenciones de utilizar las tecnologías (Acikgoz *et al.*, 2023).

En términos de los facilitadores de la AT, se debe tener en cuenta que la tecnología sea compatible con las necesidades de sus usuarios, es decir, que resuelva sus particularidades; que sea segura, de bajo costo, fácil de usar, y que, además, las personas tengan la suficiente preparación tecnológica y apoyo por parte de los funcionarios e instituciones de manera permanente (Amini y Jahanbakhsh, 2023). De igual manera, debe ir acompañada de las TAC y de las Tecnologías para el Empoderamiento y la Participación (TEP), las cuales permiten que se fomente la creatividad, el trabajo colaborativo y el pensamiento crítico, incitando que las personas pongan en práctica lo que aprenden en sus contextos reales, potencializando sus procesos de enseñanza y aprendizaje para que enfrenten los diversos desafíos digitales (León y Montaguano, 2023).

En este mismo sentido, es importante considerar los Modelos de Adopción de Tecnológica (MAT), basados en explicar los procesos que conducen a la adopción o rechazo de las tecnologías por parte de las personas, condicionados por factores como las capacidades cognitivas de las personas y su estado emocional para desear querer usar o rechazar una tecnología específica (López y López, 2011); también, por las condiciones que el individuo presenta como capacidades económicas y físicas disponibles, desarrollo de habilidades y destrezas, particularidades socioculturales, entre otros, (Cuevas *et al.*, 2014).

Por consiguiente, se deben definir modelos para transferir, adoptar, adaptar y organizar las innovaciones tecnológicas (Jaramillo *et al.*, 2017), de acuerdo con las perspectivas de los actores sociales y el entorno donde se adaptan, teniendo en cuenta el perfil de los actores que van a adoptar las tecnologías en términos de conocer qué tipo de adoptantes son (Rogers, 1962): a) adoptantes innovadores orientados al riesgo, b) primeros adoptantes con un elevado nivel de liderazgo y opinión, c) adoptantes por presiones económicas, o bien, d) adoptantes de personas relegadas que se oponen a la adopción e innovación, pues todos estos perfiles inciden en que las personas decidan adoptar o de rechazar una innovación tecnológica específica.

Por otra parte, otros estudios realizados sobre los procesos de adopción tecnológica, sugieren tener en cuenta dimensiones como la utilidad percibida, la facilidad de uso percibida (Davis, 1989), facilidad de acceso (Khanh *et al.*, 2022), así como la comunicación (Hernández, 2023), la familia (Rodríguez *et al.*, 2022) y el autorreconocimiento (Alda *et al.*, 2012).

De esta forma, se pone de manifiesto que para adoptar TE es necesario generar procesos de difusión entre las familias a través de canales de comunicación donde las personas, que tienen en común creencias e intereses, compartan información o conocimiento que los lleve a alcanzar una comprensión mutua de las tecnologías, en un tiempo determinado, de manera persuasiva y motivacional para suscitar un cambio de actitud y de comportamientos que favorezcan la adopción tecnológica (Rogers, 1962).

Sumado a lo anterior, este estudio toma como base el Modelo Antropogógico de Extensión Agropecuaria (MAEA) que planteó un proceso de enseñanza y aprendizaje holístico con un enfoque epistemológico basado en el aprendizaje con otros, aprendizajes de otros, aprendizaje juntos y el aprendizaje autónomo (Angulo y Negrón, 2008); tiene como pilar fundamental la transferencia del conocimiento como un activo para las familias campesinas, de acuerdo con su perfil, para el logro de sus diversos objetivos y necesidades, abordando dimensiones técnicas, económicas, sociales, ambientales y familiares mediante el intercambio de saberes en ambientes propicios como son los Laboratorios Territoriales (LT), los cuales representan una propuesta de innovación social para la construcción e integración comunal de conocimiento, satisfacción de las necesidades de las familias y adopción de tecnologías (Rodríguez *et al.*, 2022).

### 3 | METODOLOGÍA

Se realizó un estudio cualitativo, bajo un diseño transformativo secuencial (Fernández *et al.*, 2020). Los datos se recolectaron en tres fases: 1) Selección de las variables en cada dimensión para la proposición del modelo de adopción de tecnologías emergentes en la agricultura, 2) Diseño de la rúbrica de evaluación del nivel de las variables seleccionadas, y 3) Diseño de la ruta para su implementación.

En la primera fase, se partió de la identificación de posibles elementos y variables, los cuales, fueron sometidos a validación por seis (6) profesionales mediante un juicio de expertos, a través de un consenso grupal para la selección de las variables apropiadas (González *et al.*, 2017). Los criterios de inclusión de los expertos son los siguientes: 1) profesionales del agro y agricultores líderes; 2) con experiencia en el desarrollo de proyectos de extensión; 3) articulados con una organización o institución orientada a trabajar procesos de adopción de conocimientos a través del desarrollo continuo en los territorios; y 4) con conocimientos y experiencias en torno a temas como sociología rural, adopción tecnológica, educación y extensión agropecuaria.

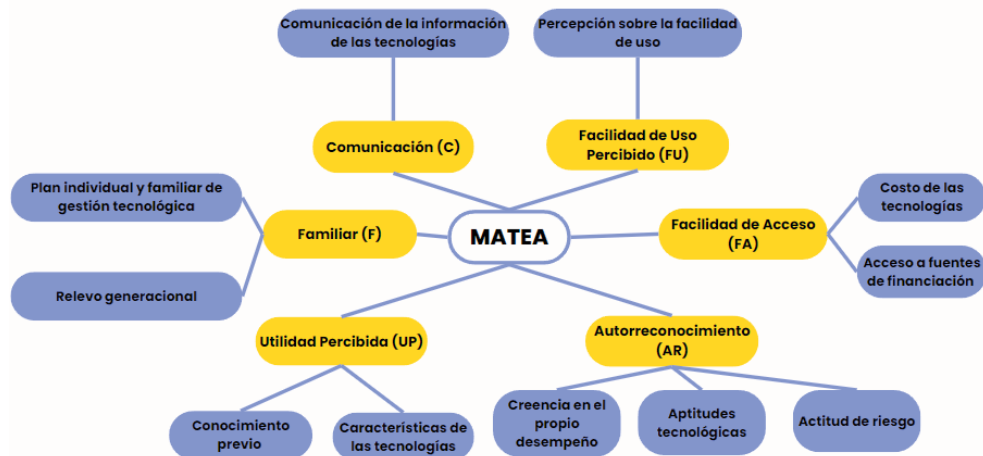
Una vez validadas y seleccionadas las variables por los expertos, se definió con ellos una rúbrica de evaluación del nivel en qué se encuentra cada agricultor y sus familias en cada una de las variables seleccionadas, utilizando una escala tipo ordinal de 1 a 5, donde uno (1) es la condición menos deseada y cinco (5) es la condición más deseada (Castaño *et al.*, 2021).

Para desarrollar la tercera fase, se diseñó una ruta de implementación del modelo, a partir del desarrollo de una caja de herramientas metodológicas para facilitadores basados en la metodología propuesta para los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial – PDET (Chavarría *et al.*, 2017)

## 4 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Dimensiones para la identificación de intenciones de adopción de TE

Se definió un Modelo de Adopción de Tecnologías Emergentes en la Agricultura (MATEA) constituido por seis dimensiones y 11 variables (Figura 1).



**Figura 1.** Dimensiones y variables que conforman el MATEA

Las seis (6) dimensiones que conforman el Modelo de Adopción de Tecnologías Emergentes en la Agricultura son: 1) la dimensión utilidad percibida explicada por las variables características de las tecnologías y conocimiento previo de las tecnologías; 2) la dimensión facilidad de uso percibido explicada por la variable percepción sobre la facilidad de uso de las tecnologías; 3) la dimensión facilidad de acceso explicada por las variables costo de las tecnologías y acceso a fuentes de financiación; 4) la dimensión autorreconocimiento explicada por las variables aptitudes tecnológicas, actitud de riesgo y creencia en el propio desempeño; 5) la dimensión comunicación explicada por la variable comunicación de la información de las tecnologías; y 6) la dimensión familiar explicada por las variables relevo generacional, y el plan individual y familiar de gestión tecnológica. A continuación, se presenta la discusión de cada una de las dimensiones con sus respectivas variables.

### *Utilidad percibida*

Incluye dos variables: 1) *características de las tecnologías*, y 2) *conocimiento previo de las tecnologías*. La utilidad percibida se define como la probabilidad subjetiva de una persona para utilizar una tecnología o aplicación específica de un sistema de información, que le permita aumentar su rendimiento, incrementar la productividad y la eficiencia del trabajo (Davis 1989), permitiendo, como planteó Rosario et al. (2012), mayor planificación y priorización de las tareas. Por su parte, el *conocimiento previo de las tecnologías* coincide con los hallazgos de López y Bernal (2023), quienes plantearon que la activación de los conocimientos previos en las personas impulsa la motivación intrínseca y el interés por el autoconocimiento de tecnologías, facilitando a las personas imaginarse posibles soluciones que les pueda ofrecer la aplicación de las tecnologías.

### *Dimensión facilidad de uso percibido*

Incluye una variable: *percepción sobre la facilidad de uso de las tecnologías*, que tiene que ver con el grado en que una persona cree que el uso de un sistema particular está libre de esfuerzo (Davis, 1989). La facilidad de uso está condicionada por actitudes como la ansiedad, que tiene que ver con el grado de presión o incluso el miedo que sienten las personas al enfrentarse a la posibilidad de usar una herramienta tecnológica, cualquiera que sea; también, tiene que ver con la alegría o disfrute que sienten las personas en el momento de interactuar con una tecnología y quererla llevar a la práctica (Venkatesh y Bala, 2008).

La *percepción sobre la facilidad de uso* está en concordancia con los hallazgos de Yong et al. (2010), quienes determinaron que esta variable guarda una relación estrecha con el resultado de uso de las tecnologías; esto es apoyado por López y Valdés (2020), quienes corroboraron que para tener éxito en un proceso de aceptación tecnológica es necesario que se perciban como fáciles para que se incremente un desarrollo de competencias en las personas al mismo tiempo que se cierran barreras en la gestión de ese conocimiento; no obstante, como mencionaron Sánchez et al. (2017), eso depende también en gran medida de la actitud del sujeto hacia el uso, ya que la actitud de resistencia al cambio permite predecir positivamente la intención o no de usar tecnologías.

### *Dimensión facilidad de acceso*

Incluye dos variables: 1) *costo de las tecnologías*, y 2) *acceso a fuentes de financiación* para la incorporación de la tecnología. La facilidad de acceso a la tecnología se considera que debe responder a las necesidades de todas las personas para que puedan acceder, dominar y utilizar la tecnología como una herramienta de empoderamiento para el desarrollo de los procesos productivos, ya que es un tema prioritario clave de acceso equitativo para la sociedad actual y futura (FAO, 2019).

El *costo de las tecnologías* concuerdan con lo encontrado por la FAO (2019) y la Unesco (2023), quienes proclamaron que las tecnologías, en general, tiene un alto costo para su adquisición, que su costo excede el presupuesto de las personas e incluso, exceden el presupuesto de muchos países con economías emergentes que presentan infraestructura tecnológica deficiente, elevados costos del internet y cobertura limitada, así como también, mínimos niveles de alfabetización electrónica, pocas aptitudes digitales y escaso acceso a los servicios, llevando a que las zonas rurales corran el riesgo de quedarse en la retaguardia de los procesos de digitalización y de adopción tecnológica; de ahí, que estas instituciones incluyeran dentro de sus propuestas fortalecer el costo de la inversión de las tecnologías.

Este estudio también concuerda con los hallazgos de éstas instituciones, en términos del *acceso a fuentes de financiación*, planteando como retos incentivar subsidios, préstamos con bajas tasas de interés, fondos rotatorios, alianzas, recursos derivados de proyectos, subvenciones y contrapartidas, entre otras estrategias de financiación, que faciliten el apoyo a los agricultores para que puedan implementar tecnologías que les permita tomar mejores decisiones que impacten de manera positiva los rendimientos productivos, el ambiente y sus medios de vida.

Así mismo, el resultado del *acceso a fuentes de financiación* es consistente con el estudio de Restrepo *et al.* (2022), quienes la resaltaron como un factor clave para el desarrollo de actividades de innovación en Colombia, mereciendo orientación en la gestión para el acceso a recursos de manera eficiente y oportuna, así como apoyo a través de políticas que garanticen financiar el acceso a innovaciones tecnológicas.

### *Dimensión autorreconocimiento*

Incluye tres variables: 1) *aptitudes digitales*, 2) *actitud de riesgo* y 3) *creencia en el propio desempeño*. El autorreconocimiento que tiene el productor de su propia identidad lo prepara de antemano para encarar la vida de manera consciente y crítica, reconociendo tanto sus limitaciones como sus oportunidades, así como sus fortalezas y desafíos. Esto implica que el productor debe asumir la responsabilidad de cumplir con las tareas que se le propongan dentro de su plan de trabajo, cumpliendo con los plazos establecidos y enfrentando las consecuencias de sus acciones y decisiones (Alda *et al.*, 2012).

El resultado de las *aptitudes digitales* es consistente con los hallazgos de la FAO (2019) y el estudio de Chasipanta y Corrales (2023), quienes anunciaron que la digitalización está generando una necesidad urgente de desarrollar aptitudes y habilidades digitales en las familias para el manejo de dispositivos, programas y aplicaciones que les permita tomar decisiones respecto a sus sistemas productivos; esto implica, por un lado, invertir en el desarrollo de aptitudes digitales en diversos temas a través modelos de capacitación, de manera presencial y virtual, para que los agricultores y sus familias, se sientan estimulados en la adopción de tecnologías; a su vez, Unesco (2023), señaló la importancia de invertir también en conocimientos y actitudes para que las personas generen valor a sus vida personales para que reciban la tecnología de manera crítica de tal forma que puedan protegerse de los riesgos y actúen de manera responsable para no dañar a otros.

Respecto al resultado *actitud de riesgo*, los agricultores temen asumir riesgos en la adopción de tecnologías que les son desconocidas, esto concuerda con los hallazgos Alda *et al.* (2012) y Jha *et al.* (2021), quienes indicaron, que la resistencia al cambio en los agricultores se manifiesta a través de la actitud de evitar riesgos que dificulten la adopción de nuevas tecnologías, pues esta reticencia surge del miedo a implementar prácticas inciertas en el campo, donde siempre existe la preocupación de perder lo que se está produciendo, sin embargo, es crucial que los agricultores no vean el riesgo como una barrera insuperable, sino como una oportunidad de cambio y crecimiento personal.

La *creencia en el propio desempeño* concuerda con los hallazgos de Blandi *et al.* (2011), quienes corroboraron que las personas, con alta creencia en el propio desempeño o autoconfianza psicológica, tienden a adaptarse mejor socialmente a diversas situaciones, siempre y cuando estén convencidas de su capacidad para llevar a cabo sus tareas o funciones con determinación, confiando en alcanzar el éxito en cada una de sus tareas mediante el esfuerzo, incluso, en medio de situaciones o experiencias adversas.

#### *Dimensión comunicación*

Incluye una variable que corresponde a la *comunicación de la información de las tecnologías*. La comunicación es uno de los elementos primordiales en un proceso educativo debido a que interviene en el cambio de mentalidad del campesinado y en su desarrollo sociocultural, transformando enormemente la comunidad rural (Hernández, 2023) en la medida que se comunican los procesos de innovación a través del diálogo de saberes (Solleiro *et al.*, 2020).

Desde este marco, *la comunicación* es una herramienta que desempeña un papel fundamental en el ámbito agropecuario en términos de permitir transmitir información a una persona o a grupos específicos para facilitar la adopción de innovaciones, asegurando que el conocimiento esté disponible para aquellos que lo necesitan. La variable comunicación coincide con los hallazgos de Cadena *et al.* (2018), quienes plantearon que la comunicación, fundamentalmente asertiva, puede llevar a que las familias consideren o no la decisión de adoptar tecnologías, esto dependerá de su interés, de su percepción frente a los mínimos efectos colaterales que se produzcan al adoptar tecnologías específicas, del costo y de las ventajas que perciban; de acuerdo con esto, el extensionismo de hoy, debe considerar la comunicación como un componente fundamental en el proceso de la comunicación de la información de las tecnologías, debido a que su difusión a través del voz a voz y la emulación hace parte del proceso de toma de decisiones entre los productores, en particular en aquellos que buscan implementar el desarrollo tecnológico y adquirir habilidades, para lo cual, los extensionistas deberán prepararse en términos de contar con múltiples herramientas para realizar la labor de adopción de conocimiento con las familias agricultoras.

Lo anterior coincide con los hallazgos del estudio de Galindo (2004), quien mencionó que el medio de comunicación más usado para la difusión y adopción de tecnologías son los mismos agricultores, quienes se convierten en una estrategia de comunicación

interpersonal en la medida que transfieren y dialogan con sus vecinos, familiares y grupos sociales sobre los resultados obtenidos de la aplicación de tecnologías, lo anterior también es apoyado por Hernández (2023), quién sostuvo que transferir información, a través de la voz a voz de los campesinos, debe corresponder a sus creencias y a sus conocimientos, los cuales, representan un insumo para su subsistencia.

### *Dimensión familiar*

Incluye dos variables: 1) *relevo generacional* y 2) *plan individual y familiar de gestión tecnológica*. En este contexto, la variable *relevo generacional* concuerda con el estudio de Pardo (2017), donde describe la importancia de fortalecer el factor relevo generacional en la agricultura a pequeña escala para mitigar el abandono de la agricultura, debido a que los jóvenes se niegan a asumir el trabajo en el campo por la difícil condición laboral, la violencia, por las limitadas oportunidades educativas y por la misma dificultad para acceder a la tierra por sus altos costos especulativos.

No obstante, el estudio de Rodríguez *et al.* (2003), dentro de sus hallazgos señaló que un sector de las nuevas generaciones, que están más articuladas con las ciudades, les interesa la agroecología, el turismo, el patrimonio, entre otras cosas relacionadas con el campo y los territorios, que según Rodríguez (2022), hay que potencializar mediante procesos educativos que susciten en los jóvenes nuevas ideas asociadas con la adopción de tecnologías.

Desde este punto de vista, el estudio de Rodríguez *et al.* (2003), señala también la importancia de la agricultura familiar campesina, debido a que tiene, en la juventud y en la mujer rural, actores decisivos para dirigirse a la sostenibilidad, la competitividad y la equidad; por lo cual, es fundamental el papel que cumple el conocimiento en el desarrollo de ideas tecnológicas en estos actores territoriales para posicionar los temas tecnológicos no solamente entre las familias, sino también a través de políticas públicas de desarrollo agrícola.

El resultado de la variable *plan individual y familiar de gestión tecnológica*, concuerda con las directrices de la FAO (2019), en el sentido de posicionar temas tecnológicos en las familias a través de planes individuales y familiares de gestión tecnológica que apunten a una transformación cultural mediante el fortalecimiento de aptitudes digitales como el uso del internet, uso de las redes sociales y el uso de la telefonía móvil, creando un espíritu agroempresarial a través de una verdadera alfabetización digital en doble vía, de extensionistas a las familias y de las familias a los extensionistas.

## **4.2 Rúbrica de evaluación del MATEA**

Se diseñó una rúbrica de evaluación del nivel de las dimensiones que conforman el MATEA, la cual aplicada previo a la actividad de difusión de TE permite identificar los aspectos a mejorar para lograr mejores resultados en el proceso (Tabla 1).

Dimensiones	Variables	Nivel en que se encuentra cada agricultor y sus familias				
		1	2	3	4	5
1. Utilidad Percibida (UP)	<b>1.1 Características de las tecnologías: (riego y siembra automatizada, sistema de planificación por drones, agricultura de precisión, software especializado para el sector agrícola, inteligencia artificial, uso de TICs, Internet de las cosas (IoT))</b>	No considero que las características de estas tecnologías se adapten a mis necesidades y proporcionen información útil para la toma de decisiones de mi sistema productivo	Las características de estas tecnologías se adaptan muy poco a mis necesidades y proporcionan muy poca información útil para la toma de decisiones de mi sistema productivo	Las características de estas tecnologías se adaptan poco a mis necesidades y proporcionan poca información útil para la toma de decisiones de mi sistema productivo	Las características de estas tecnologías se adaptan medianamente a mis necesidades y proporcionan medianamente información útil para la toma de decisiones de mi sistema productivo	Las características de estas tecnologías se adaptan completamente a mis necesidades y proporcionan información muy útil para la toma de decisiones de mi sistema productivo
	<b>1.2 Conocimiento previo de las tecnologías</b>	No conozco sobre estas tecnologías	Conozco muy poco sobre estas tecnologías	Conozco poco sobre estas tecnologías, con habilidades básicas en alguna de ellas	Conozco sobre estas tecnologías, con habilidades intermedias en alguna de ellas	Conozco y aplico totalmente estas tecnologías

Elemento	Variable	Nivel en que se encuentra cada agricultor y sus familias				
		1	2	3	4	5
2. Facilidad de Uso Percibido (FU)	<b>2.1 Percepción sobre la facilidad de uso de las tecnologías</b>	Considero imposible utilizar estas tecnologías	Considero muy difícil utilizar estas tecnologías	Considero difícil utilizar estas tecnologías	Considero fácil utilizar estas tecnologías	Considero muy fácil utilizar estas tecnologías
3. Facilidad de Acceso (FA)	<b>3.1 Costo de las tecnologías</b>	Considero que el costo de adquisición de estas tecnologías es muy elevado	Considero que el costo de adquisición de estas tecnologías es elevado	Considero que el costo de adquisición de estas tecnologías es moderado	Considero que el costo de adquisición de estas tecnologías es bajo porque cuento con una condonación del capital hasta del 20% como Incentivo de Capitalización Rural (ICR)	Considero que el costo de adquisición de estas tecnologías es muy bajo porque cuento con una condonación del capital hasta del 40% como Incentivo de Capitalización Rural (ICR)
	<b>3.2 Acceso a fuentes de financiamiento para la incorporación de la tecnología</b>	No tengo acceso a fuentes de financiamiento para la adquisición de tecnologías	Tengo muy poco acceso a fuentes de financiamiento para la adquisición de tecnologías	Tengo poco acceso a fuentes de financiamiento para la adquisición de tecnologías	Tengo acceso a fuentes de financiamiento para la adquisición de tecnologías sólo a través de cooperativas agrícolas	Tengo acceso a diversificadas fuentes de financiamiento para la adquisición de tecnologías



Elemento	Variable	Nivel en que se encuentra cada agricultor y sus familias				
		1	2	3	4	5
4. Autorreconocimiento (AR)	<b>4.1 Aptitudes tecnológicas</b>	No me interesa recibir orientación de profesionales con experiencia para el uso de las tecnologías	Me interesa, pero No tengo orientación de profesionales con experiencia para el uso de las tecnologías	Me interesa, pero tengo muy poca orientación de profesionales con experiencia para el uso de las tecnologías	Me interesa y tengo acompañamiento permanente y orientación de profesionales con experiencia para el uso de las tecnologías, pero sin planificación	Me interesa y tengo acompañamiento permanente y orientación de profesionales con experiencia para el uso de las tecnologías con planificación
	<b>4.2 Actitud de riesgo</b>	No estoy dispuesto(a) a asumir riesgos implementando tecnologías en mi sistema productivo	Estoy dispuesto(a) a asumir muy pocos riesgos implementando tecnologías en mi sistema productivo	Estoy dispuesto(a) a asumir pocos riesgos implementando tecnologías en mi sistema productivo	Estoy dispuesto(a) a asumir riesgos implementando tecnologías en mi sistema productivo, pero solo si tengo apoyo de asistencia técnica	Estoy dispuesto(a) a asumir muchos riesgos implementando tecnologías en mi sistema productivo, pero solo si tengo apoyo de asistencia técnica y de un profesional extensionista que me acompañe
	<b>4.3 Creencia en el propio desempeño</b>	No creo en mi desempeño para aprender y realizar las actividades de mi finca relacionadas con la aplicación de tecnologías	Creo muy poco en mi desempeño para aprender y realizar las actividades de mi finca relacionadas con la aplicación de tecnologías	Creo poco en mi desempeño para aprender y realizar las actividades de mi finca relacionadas con la aplicación de tecnologías	Creo en mi desempeño para aprender y realizar las actividades de mi finca relacionadas con la aplicación de tecnologías, pero no tomo decisiones	Creo totalmente en mi desempeño para aprender y realizar las actividades de mi finca relacionadas con la aplicación de tecnologías y tomo decisiones

Elemento	Variable	Nivel en que se encuentra cada agricultor y sus familias				
		1	2	3	4	5
5. Comunicación (C)	5.1 Comunicación de la información de las tecnologías	La información sobre las tecnologías está concentrada solo en una sola persona y no la comunica a otras personas	La información sobre las tecnologías está concentrada solo en el productor, pero comunica a su pareja solo alguna información puntual	La pareja utiliza y se comunica constantemente la información sobre las tecnologías sin incluir a otros miembros de la familia para la toma de decisiones y resolución de problemas	La pareja utiliza y comunica constantemente la información sobre las tecnologías solo a algunos miembros de la familia para la toma de decisiones y resolución de problemas	La pareja utiliza y comunica constantemente la información sobre las tecnologías a todos los miembros de la familia para la toma de decisiones y resolución de problemas
		6.1 Plan individual y familiar de gestión tecnológica	No conocen qué es un plan individual y familiar de gestión tecnológica y tampoco tiene uno	Tienen algún conocimiento de qué es un plan individual y familiar de gestión tecnológica pero no tienen uno	Tienen un plan individual y familiar de gestión tecnológica pero no lo ejecutan	Tienen un plan individual y familiar de gestión tecnológica y han logrado el 50% de las actividades del plan para cumplir las metas
6. Familia (F)	6.2 Relevó generacional	No hay jóvenes o se fueron porque no tienen su proyecto de vida en la finca	Hay jóvenes, pero no participan en los procesos educativos tecnológicos ni en las actividades productivas de la finca y no ven la finca como proyecto de vida	Hay jóvenes, participan en los procesos educativos tecnológicos y en las actividades productivas de la finca, pero no influyen en toman decisiones sobre el manejo de la finca y no la ven como proyecto de vida	Hay jóvenes, participan en los procesos educativos tecnológicos y en las actividades productivas de la finca e influyen en toman decisiones sobre el manejo de la finca, pero no la ven como proyecto de vida	Hay jóvenes, participan en los procesos educativos tecnológicos y en las actividades productivas de la finca y toman decisiones sobre el manejo de la finca y la ven como un proyecto de vida

Tabla 1. Rúbrica de evaluación del nivel de las dimensiones que conducen a la adopción de tecnologías emergentes

### 4.3 Ruta para la implementación del MATEA

Se diseñó una caja de herramientas con recursos y estrategias metodológicas y prácticas que se utilizan para facilitar y promover la adopción de TE agropecuarias en las familias, ayudando a gestionar los desafíos asociados con la introducción de tecnologías para aportar soluciones en el sector agropecuario sosteniblemente. Está compuesta por once (11) herramientas, que ayudarán a fortalecer las seis (6) dimensiones que conforman el MATEA.

La caja de herramientas proporciona un material de capacitación específica para que los extensionistas comuniquen de manera efectiva los beneficios de las nuevas tecnologías emergentes a los agricultores; apoyen la adquisición de habilidades y conocimientos necesarios para la adopción de TE; fomenten la participación activa y la aceptación de nuevas prácticas y; gestionen el cambio y superen posibles resistencias dentro de la comunidad ante la introducción de TE.

Para la implementación de la caja de herramientas metodológicas, la hoja de ruta incluye acciones como: 1) diagnóstico territorial, la cual incluye la detección de actores relevantes en la comunidad y la exploración de potencialidades y necesidades en el territorio; 2) priorización de necesidades y potencialidades de las familias en el territorio, la cual, incluye tanto la selección del perfil de las familias campesinas como la selección del perfil axiológico y virtudes cardinales del extensionista; y 3) implementación de la caja de herramientas.

### *Diagnóstico territorial*

El diagnóstico del territorio se presenta como un componente fundamental para levantar la línea base de información de los agricultores y familias que tienen presencia en el territorio (Concha *et al.*, 2022). Para realizar un diagnóstico territorial comunitario implica tener en cuenta:

#### ***i) Detección de actores relevantes en la comunidad***

Consultar con las personas que se tengan contacto al interior de la comunidad, instituciones u organizaciones sobre los posibles participantes, como productores y sus familias, el deseo, la disponibilidad, el interés y la voluntad de participar en los procesos de adopción de tecnologías emergentes en la agricultura.

#### ***ii) Exploración de potencialidades y necesidades en el territorio***

Reunir información relevante de las comunidades del territorio como datos demográficos, ubicación geográfica, información económica, vocación productiva, edad, infraestructura tecnológica instalada, tamaño de la unidad agrícola familiar, número de integrantes de la familia, formación en adopción de tecnologías, fuentes de financiación y pertenencia a organizaciones sociales legalmente constituidas.

### *Priorización de necesidades y potencialidades de las familias en el territorio*

La priorización de necesidades y potencialidades sobre la adopción de tecnologías emergentes en la agricultura bajo un enfoque participativo implica conocer i) el perfil de las familias campesinas, y ii) el perfil axiológico y virtudes cardinales del extensionista.

#### ***i) Selección del perfil de las familias campesinas***

El perfil de las familias son personas, como niños jóvenes, adultos, adultos mayores, mujeres, etnias, víctimas, firmantes de paz y productores, con niveles educativos variados y con vocación productiva agropecuaria variada, que tengan la disponibilidad de tiempo para participar en procesos de adopción de tecnologías emergentes, de manera presencial y digital, con la familia y de forma grupal.

Las familias y los participantes deben de contar con tan solo un dispositivo móvil tipo smartphone o computadora; señal de internet, con cobertura de banda ancha móvil en zonas rurales para que puedan conectarse a la red sin interrupciones y descargar material didáctico e informativo; tener diadema con micrófono; tener actitud de participación, interés y disposición para aprender; y llevar a la práctica lo que aprende a través del diálogo de saberes. También, las personas deben desarrollar los contenidos y evaluaciones de los talleres, y cumplir con una asistencia mínima del 80% a los talleres que se van a implementar en la intervención con ellos, con el fin, de que también puedan obtener un certificado de participación (DANE, 2023).

### ***ii) Selección del perfil axiológico y virtudes cardinales del extensionista***

El perfil del axiológico del extensionista está orientado a una persona que tiene valores y creencias fundamentales que guían su comportamiento, decisiones y percepción del mundo, estos valores pueden variar ampliamente de una persona a otra y se desarrollan a lo largo de la vida por influencias culturales o educativas que haya tenido la persona en su trayectoria de vida, valores como la honestidad, la justicia, la solidaridad, la libertad, la igualdad, entre otros importantes en los extensionistas, así como la moral, la ética y la espiritualidad (Martínez, 2009).

Los extensionistas deben lograr una verdadera participación de las comunidades asistidas en todo el proceso de intervención, para que las comunidades hagan suyo el éxito o el fracaso, entreguen lo mejor de sí mismas para el lograr la adopción de tecnologías emergentes, pues está demostrado que la comunidad por muy modestas y sencillas que sean, cuando se les invita a participar en procesos de mejoramiento individual, familiar y grupal, generan diversas alternativas a sus problemas, convirtiéndolas en seres autosuficientes, forjadores de su propio destino (Martínez, 2009), y en replicadores embajadores comunicantes del conocimiento entre las comunidades.

El extensionista deberá ser un animador, que proponga a las familias tener en cuenta dimensiones para la adopción de conocimiento desde la creatividad como un proceso lúdico, despertando en sus participantes la alegría de conocer y crear, fomentando la cooperación, el trabajo en equipo y la dinámica de grupo y familiar (Martínez, 2009).

El extensionista deberá tener, según Leighton y Sternberg (2003), características personales que representan la base de las virtudes cardinales como aprender a escuchar a las personas, interés por los problemas de las familias, con una alta comprensión y empatía, especial talento de autoconocimiento y de autoconciencia, habilidad de observación con una perspectiva amplia de los problemas territoriales y con habilidades resilientes para orientar situaciones difíciles que se presenten en el ámbito local y familiar.

### ***Implementación de la Caja de Herramientas***

La caja de herramientas se usa dependiendo de los diferentes perfiles de los individuos, familias y grupos, de acuerdo con los distintos niveles de conocimientos, habilidades y estilos de aprendizaje de las personas, y de acuerdo con las necesidades que haya que fortalecer en términos familiares y grupales. El número de participantes se estima entre 3 y 15 personas y se usa en sesiones presenciales o virtuales con tiempos delimitados, en ambientes de aprendizaje confortables, seguros y prácticos.

Para aplicar la caja de herramientas, previamente el extensionista debe aplicar la rúbrica a los agricultores y sus familias para conocer el nivel que tienen en cada una de las dimensiones, como son: 1) la dimensión utilidad percibida medida por las variables características de las tecnologías y conocimiento previo de las tecnologías; 2) la dimensión facilidad de uso percibido medida por la variable percepción sobre la facilidad de uso de las tecnologías; 3) la dimensión facilidad de acceso medida por las variables costo de las tecnologías y acceso a fuentes de financiación; 4) la dimensión autorreconocimiento medida por las variables aptitudes tecnológicas, actitud de riesgo y creencia en el propio desempeño; 5) la dimensión comunicación medida por la variable comunicación de la información de las tecnologías; y la 6) la dimensión familiar medida por las variables relevo generacional, y el plan individual y familiar de gestión tecnológica. Posteriormente, si el nivel de las personas es menor o igual a 3, el extensionista a cargo deberá fortalecer cada dimensión con sus respectivas variables a través de la caja de herramientas (Figura 2).

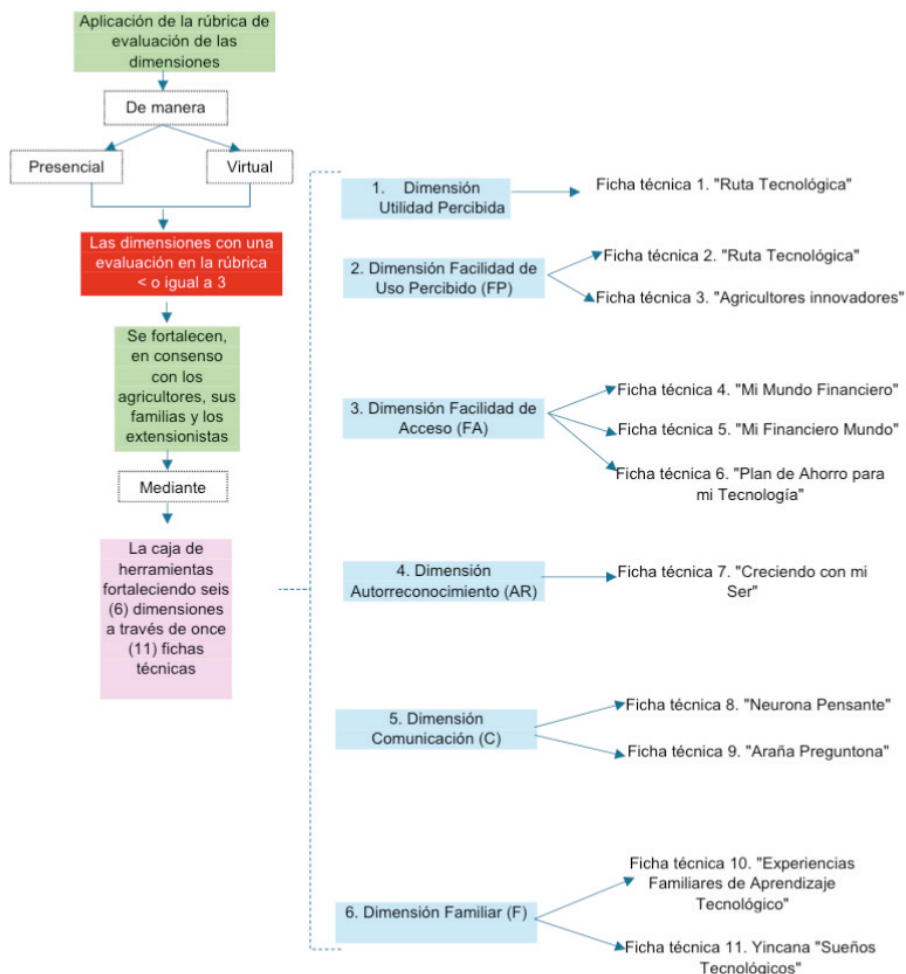


Figura 2. Esquema que orienta la implementación de la Caja de herramientas de acuerdo con las dimensiones a fortalecer

## 5 | CONCLUSIONES

Se concluye que el modelo de adopción de tecnologías emergentes en la agricultura para la apropiación en los Laboratorios Territoriales, está conformado por seis dimensiones como son la utilidad percibida explicada por las variables características de las tecnologías y conocimiento previo de las tecnologías; la facilidad de uso percibido explicada por la variable percepción sobre la facilidad de uso de las tecnologías; la facilidad de acceso explicada por las variables costo de las tecnologías y acceso a fuentes de financiación; el autorreconocimiento explicada por las variables aptitudes tecnológicas, actitud de riesgo y creencia en el propio desempeño; la comunicación explicada por la variable comunicación de la información de las tecnologías; y la dimensión familiar explicada por las variables relevo generacional y el plan individual y familiar de gestión tecnológica

La rúbrica diseñada permitirá la evaluación del nivel en que se encuentra el grupo de agricultores en cada dimensión para que el extensionista, a través de la caja de herramientas metodológicas, pueda implementar acciones previas al proceso de la adopción de tecnologías emergentes en la agricultura.

La relevancia práctica del MATEA es que se convierte en un instrumento para que los extensionistas y diferentes instituciones dedicadas a la extensión y el desarrollo agropecuario, motiven comportamientos entre las personas para que acepten, apropien e implementen tecnologías emergentes en la agricultura.

Se recomienda realizar futuros estudios que aborden la validación del modelo en procesos de extensión bajo la metodología de LT que permitan establecer su eficacia en el mejoramiento de la adopción de tecnologías emergentes e identificar otros aspectos que contribuyan a robustecer el modelo.

La principal limitación que tuvo este estudio es que se tuvo en cuenta un grupo de expertos muy reducido, pertenecientes a una sola organización y un territorio limitado; para futuros estudios se sugiere realizar procesos de validación del modelo con grupos más amplios.

## AGRADECIMIENTOS

Este capítulo hace parte del desarrollo de los Laboratorios Territoriales del Grupo de Investigación Agrociencias, Biodiversidad y Territorio – GAMMA – en el marco del proyecto “Desarrollo de una plataforma de agricultura inteligente y autónoma energéticamente para el monitoreo continuo de variables relevantes orientada a mejorar la productividad y mitigar el impacto ambiental en cultivos hortofrutícolas de Antioquia y Quindío” “código BPIN 2022000100012”, financiado con recursos de Sistema General de Regalías.

## REFERENCIAS

ACIKGOZ, F.; ELWALDA, A.; DE OLIVEIRA, M. Curiosity on cutting-edge technology via theory of planned behavior and diffusion of innovation theory. **International Journal of Information Management Data Insights**, v. 3, n. 1, p. 1–15, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijime.2022.100152>.

AGENCIA DE DESARROLLO RURAL (ADR). Reglamento para proyectos integrales de desarrollo agropecuario y rural con enfoque territorial. 2019. Disponible en: <https://www.adr.gov.co/wp-content/uploads/2021/07/Manual-PIDAR-2019-V1-06.06.2019.pdf>. Acceso en: 20 ene. 2025.

AGUILAR, N. et al. Análisis de redes sociales para catalizar la innovación agrícola: de los vínculos directos a la integración y radialidad. **Estudios Gerenciales**, v. 32, n. 140, p. 197–207, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.estger.2016.06.006>.

ALDA, R.; VILLARDÓN, L.; ELEXPURU, I. Propuesta y validación de un perfil de competencias de la persona emprendedora: implicaciones para la formación. **Journal of Research in Educational Psychology**, v. 10, n. 3, p. 1056–1080, 2012. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2931/293124654006.pdf>. Acceso en: 20 ene. 2025.

AMARO, M.; DE GORTARI, R. Innovación inclusiva en el sector agrícola mexicano: los productores de café en Veracruz. **Economía Informa**, v. 400, p. 86–104, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecin.2016.09.006>.

AMINI, M.; JAHANBAKSH, N. A multi-perspective framework established on Diffusion of Innovation (DOI) Theory and Technology, Organization and Environment (TOE) Framework toward supply chain management system based on cloud computing technology for small and medium enterprises. **International Journal of Information Technology and Innovation Adoption**, v. 11, n. 8, p. 1217–1234, 2023. Disponible en: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=4340207](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4340207). Acceso en: 20 ene. 2025.

ANGULO, E.; NEGRÓN, M. Modelo holístico para la gestión del conocimiento. **Revista Científica Electrónica Ciencias Gerenciales**, v. 11, n. 4, p. 38–51, 2008. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/782/78241104.pdf>. Acceso en: 20 ene. 2025.

BANCO MUNDIAL. Desarrollo digital. 2024. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/topic/digitaldevelopment/overview>. Acceso en: 20 ene. 2025.

BLANDI, M.; SARANDON, S.; PEREIRA, I. La “autoeficacia”: un indicador de la conducta sustentable. Su importancia para el logro de sistemas hortícolas sustentables en La Plata, Argentina. **Cuadernos de Agroecología**, v. 6, n. 2, p. 1–6, 2011. Disponible en: <https://revista.aba-agroecologia.site/cad/article/view/11233>. Acceso en: 20 ene. 2025.

CADENA, P.; GUEVARA, F.; ARGÜELLO, R.; RENDÓN, R. Proceso de comunicación, extensionismo y adopción de tecnologías. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 9, n. 4, p. 851–864, 2018. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i4.1401>.

CASTAÑO, C.; RODRÍGUEZ, H.; PÉREZ, R. Diseño de un índice para medir la percepción de las competencias básicas del extensionista agropecuario. **Revista Jangwa Pana**, v. 20, n. 3, p. 540–2021, 2021. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5880/588072488009/html/>. Acceso en: 20 ene. 2025.

CHASIPANTA, A.; CORRALES, J. Perspectivas y desafíos en la industria 4.0 para el sector agroindustrial de La Maná. **Revista G-Ner@ndo**, v. 4, n. 2, p. 848–869, 2023. Disponible en: <https://revista.gnerando.org/revista/index.php/RCMG/article/view/173/157>. Acceso en: 20 ene. 2025.

CHAVARRÍA, A.; PINEDA, T.; HOME, A. **El diálogo entre núcleos veredales. Caja de herramientas metodológicas para facilitadores(as) de diálogo en el marco de los Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (PDET)**. 2017. Disponible en: <https://berghof-foundation.org/library/el-di%C3%A1logo-en-los-n%C3%BAcleos-veredales>. Acceso en: 20 ene. 2025.

CONCHA, C.; SÁNCHEZ, G.; ROJAS, C. Diagnóstico socio territorial participativo: una estrategia que articula las necesidades de la sociedad con la formación universitaria. **Formación Universitaria**, v. 15, n. 6, p. 49–58, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062022000600049>.

CUEVAS, V.; ESPEJEL, A.; BARRERA, A.; SOSA, M. Redes sociales y actores relevantes para la difusión de innovaciones y conocimiento en los territorios rurales. **Spanish Journal of Rural Development**, v. 4, p. 1–14, 2014.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (DANE). **Caracterización sociodemográfica del campesinado colombiano**. 2023. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/notas-estadisticas-casen/doc-CASEN-CaracsociodemoCampesinadoCO.pdf>. Acceso en: 20 ene. 2025.

DIBBERN, T.; SANTOS, L.; FONSECA, S. Main drivers and barriers to the adoption of digital agriculture technologies. **Smart Agricultural Technology**, v. 8, p. 1–10, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.attech.2024.100459>.

FERNÁNDEZ, H.; KING, K.; ENRÍQUEZ, C. Revisiones sistemáticas exploratorias como metodología para la síntesis del conocimiento científico. **Enfermería Universitaria**, v. 17, n. 1, p. 87–94, 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.22201/eneo.23958421e.2020.1.697>. Acceso en: 20 jan. 2025.

GALINDO, G. Estrategias de difusión de innovaciones agrícolas en México. **Revista Chapingo Serie Zonas Áridas**, v. 3, p. 73–79, 2004. Disponible en: <https://test.chapingo-cori.mx/revistas/articulos/doc/rchszalll910.pdf>. Acceso en: 20 jan. 2025.

GAVITO, M. et al. Ecología, tecnología e innovación para la sustentabilidad: retos y perspectivas en México. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, p. 150–160, 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.09.001>. Acceso en: 20 jan. 2025.

GONZÁLEZ, I. et al. El panel de expertos como técnica de validación de contenido. Aplicación práctica en la definición del perfil profesional de la educación social. In: AIDIPE (Ed.). Actas XVIII Congreso Internacional de Investigación Educativa. **Interdisciplinaridad y transferencia**. AIDIPE, 2017. p. 1121–1128. Disponible en: [https://aidipe2017.aidipe.org/files/2017/07/ACTAS\\_AIDIPE\\_2017.pdf](https://aidipe2017.aidipe.org/files/2017/07/ACTAS_AIDIPE_2017.pdf). Acceso en: 20 jan. 2025.

HERNÁNDEZ, H. La comunicación como componente educativo para el campesino en Acción Cultural Popular (ACPO), Colombia 1954-1974. **Historia y Grafía**, n. 60, p. 345–382, 2023. Disponible en: <https://doi.org/10.48102/hyg.vi60.430>. Acceso en: 20 jan. 2025.



INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA (IICA); PROGRAMA COOPERATIVO PARA EL DESARROLLO TECNOLÓGICO AGROALIMENTARIO Y AGROINDUSTRIAL DEL CONO SUR (PROCISUR); EJE TRANSVERSAL INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA (ETIT); PROGRAMA DE DESARROLLO TERRITORIAL Y AGRICULTURA FAMILIAR (PDTAF). **Manual de agricultura de precisión**. Ed. Chartuni Mantovani, C.; Magdalena, Evandro. Uruguay: IICA, 2014. Disponível em: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/2972>. Acesso em: 20 jan. 2025.

JARAMILLO, C.; CID, B.; CANCINO, R. Adopción de tecnologías por productores agrícolas de la localidad Cosmito, región del Biobío, Chile. **Agroalimentaria**, v. 24, n. 47, p. 179–197, 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/1992/199260579011/html/>. Acesso em: 20 jan. 2025.

JHA, S.; KAECHLE, H.; SIEBER, S. Factors influencing the adoption of agroforestry by smallholder farmer households in Tanzania: case studies from Morogoro and Dodoma. **Land Use Policy**, v. 103, p. 1–15, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105308>. Acesso em: 20 jan. 2025.

KHANH, N.; DO, L.; NGOC, N. Tea farmers' intention to participate in livestream sales in Vietnam: the combination of the Technology Acceptance Model (TAM) and barrier factors. **Journal of Rural Studies**, p. 408–417, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2022.05.023>. Acesso em: 20 jan. 2025.

KREMER, M. **O papel das tecnologias emergentes na agricultura digital: um panorama geral**. Anais Do II CoBICET - Trabalho Completo, v. 1, p. 1–8, 2021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/354294757\\_O\\_Papel\\_das\\_Tecnologias\\_Emergentes\\_na\\_Agricultura\\_Digital\\_um\\_Panorama\\_Geral](https://www.researchgate.net/publication/354294757_O_Papel_das_Tecnologias_Emergentes_na_Agricultura_Digital_um_Panorama_Geral). Acesso em: 20 jan. 2025.

LEIGHTON, J.; STERNER, R. **The nature of reasoning**. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

LEÓN, W.; MONTAGUANO, J. TIC TAC TEP en Educación: estrategias y beneficios de su implementación. **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, v. 7, n. 5, p. 8917–8938, 2023. Disponível em: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i5.8462](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.8462). Acesso em: 20 jan. 2025.

LIU, M. A study of mobile sensing using smartphones. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 9, n. 3, p. 1–11, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2013/272916>. Acesso em: 20 jan. 2025.

LÓPEZ, E.; BERNAL, C. **Educación, tecnología, innovación y transferencia de conocimiento**. 1. ed. Madrid: DYKINSON, S.L., 2023. Disponível em: <https://www.dykinson.com/media/pdf/INDICE978-84-1170-570-7.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2025.

LÓPEZ, L.; LÓPEZ, J. Los modelos de adopción de tecnologías de la información desde el paradigma actitudinal. **Cadernos EBAPE**, v. 9, n. 1, p. 176–196, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1679-39512011000100011>. Acesso em: 20 jan. 2025.

LÓPEZ, N.; VALDÉS, J. Utilidad y facilidad de uso percibida: desafíos tecnológicos en una modalidad b-learning. **IE Revista de Investigación Educativa de La REDIECH**, v. 11, p. 1–18, 2020. Disponível em: [https://doi.org/10.33010/ie\\_rie\\_rediech.v11i0.938](https://doi.org/10.33010/ie_rie_rediech.v11i0.938). Acesso em: 20 jan. 2025.

MARTÍNEZ, M. Dimensiones básicas de un desarrollo humano integral. **Polis Revista Latinoamericana**, p. 1–17, 2009. Disponível em: <https://journals.openedition.org/polis/1802?lang=en#quotation>. Acesso em: 20 jan. 2025.

MINISTÉRIO DE TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÕES DA COLÔMBIA (MinTIC). **Guia com lineamentos gerais para o uso de tecnologias emergentes**. Bogotá: MinTIC, 2022. p. 1–39. Disponível em: [https://gobiernodigital.mintic.gov.co/692/articles-160829\\_Guia\\_Tecnologias\\_Emergentes.pdf](https://gobiernodigital.mintic.gov.co/692/articles-160829_Guia_Tecnologias_Emergentes.pdf). Acesso em: 20 jan. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (FAO). **Tecnologias digitais na agricultura e nas áreas rurais: documento de orientação**. Roma: FAO, 2019. p. 1–26. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/def3baab-d313-4158-9741-deb4418ad3ce/content>. Acesso em: 20 jan. 2025.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Manual de Oslo: guia para a coleta e interpretação de dados sobre inovação**. 3. ed. Madrid: Grupo Tragsa, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264065659-es>. Acesso em: 20 jan. 2025.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Innovation and modernising the rural economy**. Paris: OECD, 2009. p. 1–12. Disponível em: <https://www.oecd.org/regional/regional-policy/Innovation-Modernising-Rural-Economy.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2025.

PARDO, R. **Diagnóstico de la juventud rural en Colombia. Grupos de diálogo rural, una estrategia de incidencia**. 2017. 1-43. Disponible en: [https://rimisp.org/wp-content/files\\_mf/1503000650Diagn%C3%B3sticodelajuventudruralenColombia.pdf](https://rimisp.org/wp-content/files_mf/1503000650Diagn%C3%B3sticodelajuventudruralenColombia.pdf). Acesso em: 20 jan. 2025.

RESTREPO, C.; SEPÚLVEDA, C.; URIBE, J. Fuentes de financiación para la innovación, según grado de innovación de las empresas de los sectores servicios y comercio en Colombia. **Revista CEA**, v. 8, n. 18, 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.22430/24223182.1968>. Acesso em: 20 jan. 2025.

RODRÍGUEZ, A.; ECHEVERRI, R.; PORTILLA, M. **El enfoque territorial del desarrollo rural**. San José: IICA, 2003. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/7536/BVE19039821e.pdf?sequence=1>. Acesso em: 20 jan. 2025.

RODRÍGUEZ, H.; GUACANEME, C.; AGUILAR, V.; ZAPATA, N.; CERÓN, M. **Proyecto Educativo de los Laboratorios Territoriales (PELT) y Modelo Antropogógico de Extensión Agropecuaria (MAEA)**. Biogénesis, 2022. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/biogenesis/issue/view/4165/877>. Acesso em: 20 jan. 2025.

RODRÍGUEZ, U. Análisis del escaso relevo generacional desde los modelos de desarrollo rural en Colombia. **Agricolae & Habitat**, v. 5, n. 2, p. 23-40, 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.22490/26653176.5901>. Acesso em: 20 jan. 2025.

ROGERS, E. **Diffusion of innovations**. A Division of Macmillan Publishing, 1962. Disponible en: <http://www.lamolina.edu.pe/postgrado/pmdas/cursos/innovacion/lecturas/Obligatoria/17%20-%20Rogers%201995%20cap%206.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2025.

ROSÁRIO, P.; LOURENÇO, A.; PAIVA, M.; NÚÑEZ, J.; GONZÁLEZ, J.; VALLE, A. Autoeficacia y utilidad percibida como condiciones necesarias para un aprendizaje académico autorregulado. **Anales de Psicología**, v. 28, n. 1, p. 37-44, 2012. Disponible en: <https://revistas.um.es/analesps/article/view/140502/126592>. Acesso em: 20 jan. 2025.

SADIKU, S.; ASHAOLU, T.; MUSA, S. Emerging technologies in agriculture. **International Journal of Scientific Advances**, v. 1, n. 1, p. 31-34, 2020. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Tolulope-JoshuaAshaolu/publication/348641681\\_Emerging\\_Technologies\\_in\\_Agriculture/links/600c26e5299bf14088b768c8/Emerging-Technologies-in-Agriculture.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Tolulope-JoshuaAshaolu/publication/348641681_Emerging_Technologies_in_Agriculture/links/600c26e5299bf14088b768c8/Emerging-Technologies-in-Agriculture.pdf). Acesso em: 20 jan. 2025.

SÁNCHEZ, J.; OLMOS, S.; GARCÍA, F. Motivación e innovación: Aceptación de tecnologías móviles en los maestros en formación. **RIED: Revista Iberoamericana de Educación a Distancia**, v. 20, n. 2, p. 273-292, 2017. Disponible en: <https://revistas.uned.es/index.php/ried/article/view/17700/16045>. Acceso en: 20 jan. 2025.

SOLLEIRO, J.; CASTAÑÓN, R.; MARTÍNEZ, L. Buenas prácticas de extensionismo y transferencia de tecnología-recomendaciones para el sistema de extensionismo agroalimentario mexicano. **Revista Mexicana de Agronegocios**, v. 46, p. 508-522, 2020. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/141/14163631012/html/>. Acceso en: 20 jan. 2025.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). **Technology in education: a tool on whose terms?** 2023. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000385723>. Acceso en: 20 jan. 2025.

VALLE, D.; GIL, J. Tecnologías emergentes en gobiernos locales: Una revisión sistemática de literatura con la metodología PRISMA. **Revista Mexicana de Análisis Político y Administración Pública**, v. 11, n. 21, p. 9-28, 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.15174/remap.v11i21.376>. Acceso en: 20 jan. 2025.

VALLE, D.; SANDOVAL, R. Emerging technologies in municipal governments: a Mexican case from a qualitative approach. **ACM Journals**, p. 511-519, 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.1145/3085228.3085231>. Acceso en: 20 jan. 2025.

VENKATESH, V.; BALA, H. Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. **Decision Sciences**, v. 39, n. 2, p. 273-315, 2008. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00192.x>. Acceso en: 20 jan. 2025.

YONG, L.; RIVAS, A.; CHAPARRO, J. Modelo de aceptación tecnológica (TAM): un estudio de la influencia de la cultura nacional y del perfil del usuario en el uso de las TIC. **Innovar**, v. 20, n. 36, p. 187-204, 2010. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/inno/v20n36/20n36a14.pdf>. Acceso en: 20 jan. 2025.

# PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y DIGESTIBILIDAD EN CONEJOS ALIMENTADOS CON DIETAS CON DIFERENTE CONCENTRACIÓN DE VAINA DE *PROSOPIS LAEVIGATA*

Data de submissão: 22/01/2025

Data de aceite: 05/03/2025

**Ignacio Mejía Haro**

Tecnológico Nacional de México, El Llano,  
Ags.

**Andrea Alejandra García-Sánchez**

Tecnológico Nacional de México, El Llano,  
Ags.

**Tania Ramírez Navarrete**

**Mauricio Ramos Dávila**

**José de Jesús Campos Torres**

**José Manuel Martínez-Mireles**

Tecnológico Nacional de México, El Llano,  
Ags.

**Iván Mejía Devora**

**Carlos Fernando Arechiga Flores**

Unidad Académica de Medicina  
Veterinaria y Zootecnia de la Universidad  
Autónoma de Zacatecas, México.

animal utilizando un diseño completamente al azar con 36 conejos al destete, hembras asignadas a una de tres dietas-tratamiento con diferente concentración de vaina de mezquite molida (VMM): T1 (dieta sin VMM), T2 (dieta con 15% de VMM) y T3 (dieta con 30% de VMM). Se midió el consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia y rendimiento de la canal; además, se determinó la digestibilidad *in vivo* de las dietas. Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en la ganancia diaria de peso, consumo de alimento, rendimiento en canal y digestibilidad entre T1 y T3. La conversión alimenticia no mostró diferencias entre tratamientos ( $p > 0.05$ ). La vaina de mezquite aporta un contenido nutricional adecuado en dietas de conejos al 15% sin afectar las variables productivas y digestibilidad de la materia seca.

**PALABRAS CLAVE:** Mezquite; conejos; rendimiento de la canal.

**RESUMEN:** El objetivo del trabajo fue evaluar los efectos de la inclusión de vainas de *Prosopis laevigata* en la dieta sobre los parámetros productivos y la digestibilidad *in vivo* en conejos en crecimiento. Se llevó a cabo una prueba de comportamiento

## PERFORMANCE AND DIGESTIBILITY OF RABBITS FED DIETS CONTAINING DIFFERENT CONCENTRATION OF *PROSOPIS LAEVIGATA* PODS

**ABSTRACT:** The objective of the study was to evaluate the effects on productive parameters and *in vivo* digestibility of the inclusion of mesquite pods in diets for growing rabbits. A production trial was carried out using thirty-six weaned-female rabbits in a completely randomized design assigned to one of three treatment diets containing different concentrations of ground mesquite pods (VMM): T1 (Diet without VMM), T2 (Diet 15% VMM), and T3 (Diet 30% VMM). Feed intake, weight gain, feed conversion, carcass yield, and *in vivo* digestibility of the diets were measured. Significant differences ( $p < 0.05$ ) were found in daily weight gain, feed intake, carcass yield and dry matter digestibility between T1 and T3. Feed conversion ratio did not show significant differences among treatments ( $p < 0.05$ ). Mesquite pods provide an adequate nutritional content to rabbit diets, and when used at 15%, they do not affect the productive variables and digestibility.

**KEYWORDS:** Mesquite pods; rabbits; carcass yield.

### INTRODUCCIÓN

De los costos totales en la producción de conejos, la adquisición de alimentos balanceados comprende del 60% al 70%, por lo que es necesario buscar alternativas de alimentación y no depender totalmente de empresas fabricantes de alimentos balanceados, así como reducir los costos de alimentación. Entre opciones viables se encuentra el uso de recursos forrajeros regionales, subproductos agroindustriales y la formulación y elaboración de dietas, los que pueden reducir considerablemente los costos de producción sin demeritar la calidad de la carne (Cano & Valencia, 2018). Hoy en día, los costos de los granos se han elevado, por lo tanto, es necesario buscar alternativas de alimentación que permitan la rentabilidad de las explotaciones pecuarias, incluyendo la de conejos.

El mezquite (*Prosopis* spp.) es una de las especies arbóreas más abundantes en México, puede crecer incluso en condiciones desfavorables y su fruto es considerado un recurso de gran valor en la alimentación animal debido a su alto contenido proteico, de azúcares y fibra (Peña-Avelino *et al.*, 2016), por lo que tiene un uso potencial en la alimentación animal (Rodríguez *et al.*, 2014). Las vainas del mezquite han sido utilizadas en la alimentación de diversas especies: en ovinos (Mejía-Haro *et al.*, 2021), en bovinos (De Oliveira *et al.*, 2016), en conejos (Macías-Rodríguez & Usca-Méndez, 2017) y en humanos (Reséndiz *et al.*, 2020). *Prosopis* es un género que está constituido por varias especies, las cuales se distribuyen en diferentes regiones del país. En la mayoría de los casos, este producto es utilizado por pequeños productores del área rural, quienes lo recogen cuando está maduro y cae al suelo, posteriormente, lo secan al sol y lo muelen para su utilización en animales de granja. El objetivo del estudio fue evaluar las variables productivas de conejos en crecimiento (ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, rendimiento de la canal, peso de la grasa abdominal y peso de vísceras) alimentados con una dieta con diferente concentración de vaina de mezquite molida.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo durante los meses de enero a agosto del 2020 en el Instituto Tecnológico El Llano (ITEL), ubicado en el km 18 de la carretera Aguascalientes–San Luis Potosí, en El Llano, Aguascalientes, México, entre los paralelos 21° 55' 07" N y 101° 57' 55" O; con una altitud de 2031 m. s. n. m.; con un clima tipo BS<sub>1k</sub>, que se caracteriza por ser semiseco templado; con una precipitación pluvial media anual de 693 mm y una temperatura media anual de 14.3 °C (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2017).

Se evaluó el efecto de la inclusión de vaina de *Prosopis laevigata* molida (VMM) (Cuadro 1) sobre los parámetros productivos en conejos en crecimiento, para lo cual se utilizaron 36 conejos hembras destetados, cruzados de las razas Nueva Zelanda y California, de cinco semanas de edad y un peso promedio de 692 g, que fueron alojados en jaulas metálicas elevadas con piso de rejilla limpias, desinfectadas, provistas de bebedero y comedero y sometidos a un periodo de adaptación de 10 d a la dieta e instalaciones. La dieta se formuló utilizando los mismos ingredientes alimenticios utilizados en el periodo experimental. Transcurrido el periodo de adaptación, los conejos se pesaron en una báscula digital marca Vinson vins- 40 con capacidad para 40 kg. Los valores se registraron como Peso Inicial (día 1) y Peso Final. Con ambos pesos se calculó la ganancia de peso en el periodo (Ganancia de peso = Peso Final – Peso Inicial), y la ganancia diaria de peso se calculó dividiendo la ganancia de peso en el periodo entre los días que duró la prueba de comportamiento productivo. Se utilizó un diseño completamente al azar con tres tratamientos y doce repeticiones, considerando a cada conejo como una unidad experimental.

<i>Vaina de Mezquite Molida</i>		
	Base húmeda	Base seca
Humedad	7.03	-
MS		100
Cenizas	4.77	5.13
Proteína cruda	12.29	13.22
Grasa	1.88	2.02
Fibra cruda	24.64	26.50
ELN	49.39	53.12
FDA	32.25	34.69
FDN	38.56	41.48
CNE	35.47	38.15
TND	60.00	64.54
ENm (Mcal/kg)	1.36	1.46
ENg (Mcal/kg)	0.71	0.76

\*\* Análisis realizado por Forrajera de Ganaderos de Aguascalientes (Fogasa).

*Nota:* ELN, elementos libres de nitrógeno; TND, total de nutrientes digestibles; FDA, fibra detergente ácida; FDN, fibra detergente neutra; CNF, carbohidratos no estructurales; ENm, energía neta de mantenimiento; ENg, energía neta de ganancia; VMM, vaina de mezquite molida.

**Cuadro 1.** Composición bromatológica de la vaina del mezquite\*\* (%).

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el análisis proximal de los ingredientes de las dietas (AOAC International, 2012) y el análisis de fibras detergentes por la técnica de Van-Soest *et al.* (1991); asimismo, se formularon y elaboraron dietas integrales isotróficas para cada uno de los tratamientos donde: el tratamiento 1 (T1) constituía el grupo testigo y la dieta no contenía VMM, en el tratamiento 2 (T2) se incluyó 15% de VMM y en el tratamiento 3 (T3) se agregó 30% de VMM (Cuadro 2). Inicialmente, se proporcionaron 65 g de alimento por conejo por día y posteriormente se aumentó la cantidad de alimento hasta 100 g por conejo, procurando que no les faltara alimento. El alimento se suministró todos los días a las 11:00 a. m. y el alimento rechazado fue retirado y pesado diariamente antes de ofrecer alimento nuevo durante 46 d. De los datos de consumo de alimento y ganancia de peso en el periodo, se calculó la conversión alimenticia (Conversión alimenticia = kg alimento consumido / kg de ganancia de peso en el periodo).

Ingredientes*	T1	T2	T3
Heno de alfalfa	35	30	25.5
VMM	0	15	30
Pasta de soya	15.3	14.6	14.2
Pasta de canola	6	6	6
Maíz grano	27.1	18.3	8.2
Manteca de cerdo	15	15	15
Fosfato monocálcico	0.6	0.4	0.4
CaCO <sub>3</sub>	0.47	0.2	0.2
Sal	0.3	0.3	0.3
Vitaminas**	0.1	0.1	0.1
Minerales traza	0.1	0.1	0.1
TOTAL	100	100	100
M.S	87.79	87.16	86.52
Cenizas	6	6	6.1
Proteína	17	17	17.1
Grasa	17.1	16.9	16.2
FDA	12.8	15.8	19
FDN	18.8	21.6	24.5
CNE	43.3	39.3	35
EM	3.2	3.17	3.08

\*Ingredientes expresados en kg base 90.

\*\*Vitaminas Krecker (vitamina A, vitamina D<sub>3</sub>, vitamina E, vitamina K<sub>3</sub>, vitamina B<sub>1</sub>, vitamina B<sub>2</sub>, vitamina B<sub>12</sub>, piridoxal fosfato de ciproheptadina, niacina, pantoteinato de calcio, butil-hidroxi-tolueno, lactosa).

**Cuadro 2.** Ingredientes y composición nutricional de las dietas con diferentes concentraciones de VMM.

Dos semanas después de finalizar la prueba de comportamiento productivo, se sacrificaron 12 conejos (cuatro de cada tratamiento) para medir el rendimiento de la canal caliente (canal sin vísceras, órganos digestivos, cabeza, patas, piel y sangre), el peso de algunos órganos y la deposición de grasa abdominal. Las variables evaluadas fueron: peso corporal al momento del sacrificio, peso de la canal caliente, peso de los órganos digestivos (intestinos, estómago y ciego), hígado, grasa abdominal, piel y vísceras (riñones, corazón y pulmones).

Al término de la obtención de parámetros productivos, se determinó la digestibilidad *in vivo* de las dietas ofrecidas mediante la técnica de Pérez *et al.* (1995). Para esto, se utilizaron cuatro conejos al azar por cada tratamiento, los cuales fueron alimentados diariamente a la misma hora con 50 g de alimento (por conejo) durante 8 d, esto es, 3 d para ajustar el consumo y 5 d para registrar datos. El total de las heces fueron colectadas diariamente por separación física (cedazo) utilizando una charola de acero inoxidable montada debajo del piso de la jaula y, posteriormente, fueron pesadas diariamente en una báscula gramera digital de la marca YL TRD por un periodo de cinco días consecutivos. Se tomaron muestras de heces por conejo y se mantuvieron en refrigeración para finalmente realizar el secado de ellas en hornos con circulación de aire a una temperatura de 60 °C durante 2 d. Se registraron los datos de materia seca de las heces y se realizaron los cálculos para obtener la cantidad de heces excretadas en base seca y, finalmente, se obtuvo el porcentaje de digestibilidad total *in vivo* mediante las siguientes fórmulas:

Peso de las heces secas / Peso del alimento ingerido  $\times$  100 = Porción indigestible

100 - porción indigestible = Digestibilidad Parcial (DP)

Digestibilidad total = Suma de las DP de cada repetición / N° de repeticiones

Los datos se analizaron con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS, 2008). Se utilizó el modelo lineal generalizado y se realizaron análisis de varianza y la comparación múltiple de medias por la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) bajo el siguiente modelo estadístico:

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

donde  $Y_{ij}$  = respuesta de variable,  $\mu$  = media general,  $t_i$  = efecto del  $i^{\text{ésimo}}$  tratamiento, y  $e_{ij}$  = error experimental.

## RESULTADOS

Los valores promedio de los parámetros productivos de los conejos se muestran en la Cuadro 3. El consumo total de alimento durante el periodo fue mayor ( $p < 0.05$ ) en T1 que en T2 y T3, y no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre T2 y T3.

Se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el peso final, en la ganancia diaria de peso (GDP) y en la ganancia total de peso del periodo (GTP) entre T1 y T3, donde T1 fue superior ( $p < 0.05$ ) a T3, y T2 no presentó diferencias con T1 y T3. Los conejos del T1 consumieron mayor ( $p < 0.05$ ) cantidad de alimento que los del T2 y T3. En cuanto a la conversión alimenticia, no se observaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos; y con respecto a la digestibilidad de la materia seca, se observó que a medida que la concentración de VMM aumentaba en la dieta, la digestibilidad disminuía, siendo inferior T3 que T1 y T2 (Cuadro 3).



Variable de respuesta	T1	T2	T3	E. E.
Peso Inicial, (kg)	0.701 <sup>a</sup>	0.673 <sup>a</sup>	0.703 <sup>a</sup>	0.081
GTP (kg)	1.172 <sup>a</sup>	1.018 <sup>ab</sup>	0.975 <sup>b</sup>	0.081
Peso Final (kg)	1.873 <sup>a</sup>	1.691 <sup>ab</sup>	1.678 <sup>b</sup>	0.186
CA (kg/kg)	2.460 <sup>a</sup>	2.404 <sup>a</sup>	2.553 <sup>a</sup>	0.416
Consumo de alimento (kg)*	2.857 <sup>a</sup>	2.370 <sup>b</sup>	2.444 <sup>b</sup>	0.224
GDP (g)	26.0 <sup>a</sup>	22.6 <sup>ab</sup>	21.7 <sup>b</sup>	1.7
Digestibilidad de MS (%)	77.07 <sup>a</sup>	75.98 <sup>a</sup>	69.52 <sup>b</sup>	4.44

\*Consumo de alimento por conejo durante el periodo.

\*\*Literales diferentes en la misma hilera indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ).

*Nota:* GDP, ganancia diaria de peso; CA, conversión alimenticia (kg de alimento consumido por kg de peso vivo); GTP, ganancia total de peso en el periodo; VMM, vaina de mezquite molida; MS, materia seca; E. E., error estándar.

**Cuadro 3.** Parámetros productivos de conejos en crecimiento alimentados con dietas con diferente concentración de VMM.

Fuente: Elaboración propia.

El rendimiento de la canal fue superior en T1 que en T3, y T2 no fue diferente a T1 y T3 (Cuadro 4). La disminución en el rendimiento de la canal en T3 estuvo relacionada con un incremento ( $p < 0.05$ ) en el peso de los órganos digestivos y el peso de las vísceras (Cuadro 4). Con respecto al peso de la grasa abdominal y visceral, T3 tuvo un valor mayor que T1 y T2; sin embargo, el peso del hígado en T1 tuvo un valor menor con respecto a los tratamientos con VMM (Cuadro 4).

Variable de respuesta	T1	T2	T3	E. E.
Peso de la piel (g)	278 <sup>a</sup>	295 <sup>a</sup>	295 <sup>a</sup>	27.226
Peso de las vísceras (g)	23.5 <sup>b</sup>	34.0 <sup>b</sup>	49.0 <sup>a</sup>	6.1010
Peso del hígado (g)	60.5 <sup>b</sup>	82.5 <sup>a</sup>	78.9 <sup>a</sup>	6.2975
Peso de órganos digestivos (g)	303 <sup>b</sup>	348 <sup>a</sup>	366 <sup>a</sup>	16.3936
Peso de la grasa abdominal y visceral (g)	38.2 <sup>b</sup>	37.4 <sup>b</sup>	52.1 <sup>a</sup>	5.2106
Peso vivo al sacrificio (g)	1957 <sup>a</sup>	2167 <sup>a</sup>	2063 <sup>a</sup>	212.2
Peso de la canal (g)	1023 <sup>a</sup>	1103 <sup>a</sup>	999 <sup>a</sup>	150.5
Rendimiento de la canal caliente %	52.3 <sup>a</sup>	51.0 <sup>ab</sup>	48.4 <sup>b</sup>	0.0193

Literales diferentes en la misma hilera indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0.05$ ).

*Nota:* Vísceras, corazón, riñones, pulmones; Órganos digestivos, intestinos, estómago, ciego; E. E., error estándar de la media; VMM, vaina de mezquite molida.

**Cuadro 4.** Rendimiento y características de la canal de conejos consumiendo dietas con diferente concentración de VMM.

Fuente: Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

### Composición de la vaina de mezquite

La vaina de mezquite es un producto altamente nutritivo con un buen aporte de proteína, carbohidratos y fibra (Cuchillo *et al.*, 2013; Ríos-Saucedo *et al.*, 2012; Sawal *et al.*, 2004); además, es un alimento palatable y fuente de energía para los animales debido a los carbohidratos digestibles y azúcares no reductores que contiene (Ríos-Saucedo *et al.*, 2012; Sawal *et al.*, 2004).

Sciammaro *et al.* (2015) encontraron un mayor contenido de azúcares totales (sacarosa, glucosa y fructosa) en la pulpa (70.7% p/p, B.S.) en comparación con la vaina completa (62.7% p/p, B.S.). Baraza *et al.* (2008) reportaron que las vainas de *P. laevigata* maduras son apetecibles debido a su alto contenido energético (82% de TND). Igualmente, Cuchillo *et al.* (2013) encontraron valores altos de TND en vainas (64.2%) y hojas (65.2%) de *P. laevigata*. En el presente trabajo se encontraron valores similares de TND (60%) en las vainas utilizadas para la elaboración de las dietas (Cuadro 1). Con respecto al contenido de proteína cruda, en el presente estudio se obtuvo 13%, mientras que Armijo-Nájera *et al.* (2019) reportaron 12.1% de proteína cruda en vainas maduras de *Prosopis* spp. y García-López *et al.* (2019) reportaron 10.2% de proteína en vainas de *Prosopis laevigata* de la variante B, valores similares entre sí, lo que indica que este componente nutricional se comportó de manera estable entre los diferentes reportes de análisis de composición nutricional. De la misma manera, el contenido de fibra detergente neutra y detergente ácida obtenido en la VMM utilizada en las dietas del presente estudio no fue diferente a lo reportado por Armijo-Nájera *et al.* (2019), quienes obtuvieron 43.9% y 30.9% de fibra detergente neutra y detergente ácida, respectivamente. Por otra parte, García-López *et al.* (2019) reportaron valores inferiores de fibra detergente neutra (27%) y fibra detergente ácida (20%) para la variante B, lo que pudo deberse en parte a las variaciones del clima y a la especie del mezquite.

### Consumo de alimento

El menor consumo de los conejos del T2 y T3 con respecto a los del T1 pudo deberse en parte al mayor contenido de fibra (al incluir 15% y 30% de VMM en la dieta) y al tipo de esta, así como al mayor tamaño de la partícula de la vaina de mezquite completa (pulpa y semilla), lo que pudo ocasionar un aumento en la permanencia del alimento en el tracto gastrointestinal; ya que la Fibra ejerce efectos fisiológicos a lo largo del tracto gastrointestinal de especies monogástricas, dependiendo de sus componentes solubles e insolubles (Caro & Dihigo, 2012). La fibra insoluble (hemicelulosas, celulosa y lignina) influye en la velocidad de tránsito intestinal y regula el crecimiento de microorganismos y la salud digestiva de los conejos, lo que puede alterar la capacidad de ingestión del alimento (Gidenne, 2015). Al

mismo tiempo, el contenido de carbohidratos no estructurales fue mayor en el T1 que en el T2 y T3; consecuentemente, existe una mayor y más rápida digestibilidad reflejada en un más rápido tránsito de la ingesta por el tracto gastrointestinal y, como resultado, un mayor consumo. Adicionalmente, los conejos del T1 obtuvieron una mayor ganancia de peso que los de T2 y T3 (Cuadro 3), lo que les permitió también aumentar su consumo por día.

La falta de diferencias ( $p > 0.05$ ) entre T2 y T3 pudo deberse a la similitud en el contenido de fibra de ambas dietas; sin embargo, la ingesta diaria de alimento fue disminuyendo conforme aumentaba el contenido de VMM en la dieta.

## Ganancia de peso

La ganancia de peso más alta obtenida en los conejos del T1 con respecto a los del T3 pudo deberse en parte al mayor consumo de los conejos del T1 con respecto al T3, lo que pudo estar relacionado al menor contenido y componentes de la fibra de la dieta del T1, comparado con el T3. Los conejos del T3 alimentados con una dieta más alta en fibra insoluble que los del T1 posiblemente tuvieron una mayor permanencia del alimento en el aparato digestivo, provocando un menor consumo (Di Marco, 2006) y, por consecuencia, una disminución de la ganancia de peso. En el presente trabajo se obtuvieron ganancias de peso menores a 36.7 g/d reportadas para la craza Nueva Zelanda-California con una dieta en pastilla con el 16% de proteína cruda, 2.5 Mcal/kg MS y 16% de fibra detergente ácida (Herrera-Soto *et al.*, 2018). La mayor ganancia de peso pudo deberse, en parte, al procesamiento de la dieta en pastilla (Flórez-Delgado & Arteaga, 2019; Looor-Mendoza, 2016), es decir, por aumentar el consumo y su calidad. Por otro lado, Martínez *et al.* (2018) reportaron ganancias diarias de peso menores en conejos que las del presente estudio, con la inclusión de sustrato remanente de producción de setas a tres niveles (0%, 10% y 20%), donde no hubo diferencias significativas en la ganancia diaria de peso entre tratamientos, y las ganancias de peso menores obedecieron más al clima tropical que a la dieta.

De acuerdo a Rizzo *et al.* (2019), una ganancia diaria promedio de 17 g conejo<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> es típica en conejos en engorda en sistemas no tradicionales de alimentación en zonas tropicales. Mora-Valverde (2012) utilizó dietas con harina de morera (*Morus alba*) a cuatro concentraciones (45%, 55%, 65% y 75%) y reportó ganancias diarias de peso en condiciones tropicales menores a las obtenidas con las dietas con VMM en nuestro trabajo, esto se debe, principalmente, a que en su estudio alimentó con dietas más altas en fibra detergente ácida, aunado al clima cálido del trópico. Igualmente, Adamu *et al.* (2013) substituyeron maíz por 0%, 10%, 20%, 30% y 40% de pulpa de *Prosopis africana* (PAP) en dietas para conejos y encontraron las mayores ganancias de peso en los conejos alimentados con dietas conteniendo 0%, 10% y 20% de PAP, ya que a niveles superiores la concentración de fibra cruda aumentó y la energía disminuyó.

Tanto la composición de la dieta, principalmente la concentración y tipo de fibra, como la duración del periodo de engorda de los conejos son factores que influyen sobre la ganancia diaria de peso y el peso final de los conejos. Macías-Rodríguez & Usca-Méndez (2017), al incluir 7%, 14% y 21% de harina de algarrobo (*Prosopis pallida*) en la dieta de conejos, reportaron ganancias diarias de peso del orden de 25 g a 28 g, valores superiores a los del presente trabajo, con dietas que incluyen 15% y 30% de VMM, debiéndose principalmente a que se utilizaron dietas con una concentración baja de fibra cruda (6%-8%), lo que incrementó la digestibilidad y eficiencia de utilización y periodos de engorda largos, logrando pesos finales hasta de 2.775 kg.

## Conversión alimenticia

La falta de diferencias ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos en conversión alimenticia indica que las tres dietas-tratamiento fueron aprovechadas con la misma eficiencia por los conejos en crecimiento. Gidenne (2015) menciona que la eficiencia en la conversión alimenticia está determinada por la digestibilidad de la fibra, ya que esta generalmente depende del contenido de lignina, presentándose una mayor eficiencia cuando los alimentos son pobres en este elemento y poseen un contenido alto de celulosa y hemicelulosa. Los valores de conversión alimenticia obtenidos en el presente estudio (Cuadro 3) son similares a los reportados en otros trabajos donde utilizaron fuentes de alimentación no convencionales para conejos. Por ejemplo, Mora-Valverde (2012) evaluó la inclusión de cuatro niveles de morera (*Morus alba*), donde los conejos alimentados con 45% y 55% obtuvieron la menor conversión alimenticia (2.61 y 2.60 puntos, respectivamente), mientras que Macías-Rodríguez & Usca-Méndez (2017) sustituyeron parcialmente al maíz en la dieta de conejos en crecimiento y engorda en 7%, 14% y 21% por harina de algarrobo (*Prosopis pallida*). Esta similitud se debe, en parte, a que las dietas no contenían concentraciones altas de FDN y FDA, principalmente en el caso del uso del algarrobo. Por el contrario, Benítez *et al.* (2020) reportaron mayores conversiones alimenticias (3.4 a 3.6 puntos) en conejos alimentados con dietas conteniendo cáscara de plátano Tabasco al 50% (3.4 a 3.6). Conversiones alimenticias similares fueron reportadas por Caro *et al.* (2013) en conejos alimentados con dietas conteniendo 15% y 30% de harina de forraje de *Moringa oleífera*; sin embargo, estas conversiones fueron menos eficientes a las obtenidas en el presente estudio, lo que pudo deberse en parte a las diferencias en el contenido de energía y de proteína de las dietas.

Nieves *et al.* (2002b) alimentaron conejos neozelandeses con dietas conteniendo 0%, 10%, 20%, 30% y 40% de *Leucaena leucocephala* y obtuvieron conversiones alimenticias mayores (3.0, 3.1, 3.8, 4.0 y 5.3, respectivamente) a las nuestras. Lo anterior se debe, en parte, al clima cálido y al nivel alto de fibra, lo que repercutió en el consumo. Conversiones mayores fueron reportados por Adamu *et al.* (2013) con la inclusión del 10%, 20%, 30% y 40% de pulpa de *Prosopis africana* (6.45, 6.83, 6.30 y 6.31, respectivamente), estos valores altos de conversión alimenticia pudieron deberse al alto contenido de taninos de las dietas que repercuten en una disminución del consumo de alimento y a la mala utilización de la proteína y aminoácidos de las dietas, sumado a la temperatura ambiente alta en que se llevó a cabo el experimento.

## Digestibilidad de las dietas

Se observó que, a medida que se aumentaba el contenido de VMM, la digestibilidad de la materia seca fue disminuyendo (Cuadro 3), siendo mayor en T1 que en T3 ( $p < 0.05$ ); lo que pudo deberse en parte al contenido y calidad de la fibra de la dieta, dado que la dieta del T3 tenía el contenido mayor de fibra detergente ácida, además de que la proporción comprendida de la hemicelulosa respecto a la cantidad de FDA era menor que en T1 (debido a los componentes de la VMM) y este componente de la fibra es más digestible que la lignocelulosa (Gidenne, 2015). Resultados similares a los del presente estudio fueron obtenidos por Nieves *et al.* (2002a) alimentando a conejos en engorda con dietas conteniendo harina de *Leucaena leucocephala* (0% a 40%), coincidiendo en que la digestibilidad de la materia seca y de la fibra disminuía conforme se incrementaba el nivel del forraje y fibra en la dieta. Por otra parte, en un estudio realizado por Caro *et al.* (2018), se determinó la digestibilidad fecal aparente de nutrientes en dietas de conejos alimentados con una dieta conteniendo 15% de harina de moringa y se obtuvo una digestibilidad de la materia seca del 77.5%, valor superior a lo encontrado en el presente estudio. El aumento en la digestibilidad de las fracciones relativas a la fibra en las dietas que contenían moringa pudo estar determinado por la cantidad y calidad de la fibra de la moringa, ya que se utilizó la planta tierna, cortada a 30 cm del suelo y de un cultivar de primer corte después de la siembra y por un mayor tiempo de retención de la digesta en el ciego, lo cual generaría un incremento en la actividad fermentativa (García *et al.*, 1999). Un incremento en la cantidad de fibra de buena calidad en la dieta de conejos puede mejorar la digestibilidad de la dieta por aumentar la cantidad y calidad de la actividad microbiológica cecal (García *et al.*, 2002; Gidenne, 2015).

## Rendimiento y características de la canal

El que los conejos de T1 tuvieran un mayor rendimiento de la canal caliente ( $p < 0.05$ ) que los de T3 (Cuadro 4) pudo deberse en parte a que los conejos de T1 tuvieron un menor peso de las vísceras que los conejos del T3, lo que pudo verse en un mayor rendimiento de la canal (Hernández *et al.*, 2013). Se observó que conforme aumentaba el contenido de VMM en las dietas, del 0% a 30%, el rendimiento de la canal disminuyó 8%. Por otra parte, la falta de diferencia del T2 con T3 posiblemente se debió a que el contenido de VMM en la dieta era menos diferente e insuficiente para producir un cambio significativo. Rendimientos de la canal similares (51.3%) a los del presente trabajo fueron encontrados por Sarwatt *et al.* (2003) con la utilización de 18% de hojas de *Trichanthera gigantea* como fuente de nutrientes para conejos, esto posiblemente se debió a la similitud de las dietas en cuanto al contenido de grasa y fibra.

Macías-Rodríguez & Usca-Méndez (2017), utilizando harina de algarrobo (*Prosopis pallida*) al 14% en la alimentación de conejos en crecimiento y engorda, obtuvieron rendimientos mayores (64.5%) a los del presente trabajo, lo que pudo deberse a un mayor consumo, ganancia de peso y peso al sacrificio, principalmente porque el experimento tuvo una mayor duración, lo que llevó a un peso final mayor. Pilco *et al.* (2018) utilizaron harina de *Leucaena leucocephala* en conejos neozelandeses en crecimiento y engorda y reportaron 61% de rendimiento de la canal, lo que se debió al mayor peso de los conejos al momento del sacrificio y al mayor rendimiento que tienen los machos.

Ha sido reportado que a mayor peso del aparato digestivo menor rendimiento en canal (Hernández *et al.*, 2013; Hernández *et al.*, 2015; Smitzis *et al.*, 2014), y este está influenciado por el peso vivo al sacrificio de los conejos y factores ambientales como temperatura y humedad (Pilco *et al.*, 2018). Hernández *et al.* (2015) encontraron en la craza Nueva Zelanda-California un rendimiento de la canal de 47.3%, valor menor a los encontrados en el presente trabajo, posiblemente debido a diferencias en la genética. La variación en los diferentes reportes de rendimiento en canal se debe, en gran parte, a las condiciones en que se realiza cada uno de los experimentos; es decir, si los conejos fueron dietados o no antes del sacrificio y al peso logrado antes del sacrificio.

En el trabajo realizado por Hernández *et al.* (2015) se observó que el 10.3% del peso vivo correspondía a los órganos digestivos (vísceras verdes) en la craza de conejos Nueva Zelanda-California, valores inferiores a los encontrados en el presente trabajo, donde el mayor peso lo obtuvieron los conejos del T3 con 17.7%. Esto pudo deberse al mayor crecimiento y contenido de las vísceras, provocado por el mayor contenido de fibra en la dieta y debido a que el desarrollo del sistema digestivo del conejo aumenta conforme a la edad, peso y tipo de alimentación al momento del destete (Carabaño *et al.*, 2020).

Diferente a nuestro estudio, Vivas *et al.* (2018) obtuvieron un mayor rendimiento de la canal caliente (56%) cuando incluyeron 19.6% de harina de hojas de *Moringa oleífera* en la dieta de conejos para producción de carne. Esto pudo deberse a que el contenido gastrointestinal de los conejos era menor que el del presente trabajo y a que como forraje utilizaron solo las hojas de moringa con un contenido de fibra también menor.

El peso del hígado también se ha visto influenciado por el tipo de dieta. En nuestro trabajo, el peso de este órgano fue mayor en los conejos alimentados con VMM que los del grupo testigo, lo que pudiera deberse a que la VMM contenía más compuestos fenólicos que pudieran ser metabolizados por el hígado y le produzcan un aumento en su función y crecimiento. Por el contrario, Escorza-Montoya *et al.* (2019) no observaron diferencias en el peso del hígado de los conejos alimentados con desperdicio de galleta, siendo estos pesos menores a los del presente trabajo, esto pudo deberse en parte a que el peso del hígado también se ve afectado por el tipo de dieta, peso y edad del conejo (Carabaño *et al.*, 2020).

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que la vaina de mezquite molida puede ser utilizada en dietas integrales de conejos en crecimiento hasta en 15% sin que afecte la ganancia de peso, conversión alimenticia y rendimiento de la canal; y con una inclusión del 30%, los parámetros productivos y la digestibilidad de los conejos en desarrollo disminuyen, aunque no necesariamente es menos ventajoso económicamente.

La digestibilidad de las dietas se reduce a medida que se incrementa el nivel de harina de vaina de mezquite.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Tecnológico Nacional de México y al Instituto Tecnológico El Llano por las facilidades que brindaron para que este estudio se llevara a cabo, así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por otorgarle beca a la estudiante de maestría que realizó su tesis.

## CONFLICTOS DE INTERÉS

No existen conflictos de interés.

## REFERENCIAS

Adamu, L., Igwebuikwe, J. U., Kwari, I. D., & Aliyu, J. (2013). Utilization of *Prosopis africana* pulp for rabbit feeding: 1. Effects on growth and economic performance. *Global Journal of Pure and Applied Sciences*, 19(1), 1-7. doi: <https://doi.org/10.4314/gjpas.v19i1.1>

AOAC International. (2012). *Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL* (19th ed.). AOAC International.

Armijo-Nájera, M. G., Moreno, A., Blanco, E., Borroel-García, V. J., & Reyes-Carrillo, J. L. (2019). Vaina de mezquite (*Prosopis* spp.) alimento para el ganado caprino en el semidesierto. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1)113-122. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1728>

Baraza, E., Ángeles, S., García, Á., & Valiente-Banuet, A. (2008). Nuevos recursos naturales como complemento de la dieta de caprinos durante la época seca, en el valle de Tehuacán, México. *Interciencia*, 33(12), 891-896. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442008001200007](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008001200007)

Benítez, J. A., Borrayo, J. J. F., Hernández, J. A., & De La Cruz, C. O. (2020). Evaluación nutricional de la cáscara de plátano Tabasco y su efecto productivo en la alimentación de conejos Nueva Zelanda. *Educatconciencia*, 27(28), 56-66. <https://tecnocientifica.com.mx/educateconciencia/index.php/revistaeducate/article/view/256>

Cano, N. E., & Valencia, F. L. (2018). Matarratón (*Gliricidia sepium*), Botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y Morera (*Morus alba*) tres especies forrajeras usadas como alternativa en la alimentación de conejos: revisión sistémica y metaanálisis. *Documentos de Trabajo ECAPMA*, 2(1), 1-9. doi: <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.2779>

Carabaño, R., Piquer, J., Menoyo D., & Badiola, I. (2020). The digestive system of the rabbit. In C. De Blas & J. Wiseman (eds.), *Nutrition of the rabbit* (pp. 1-20). Departamento de Producción Agraria, Universidad Politécnica de Madrid. doi: <https://doi.org/10.1079/9781789241273.0001>

- Caro, Y., & Dihigo, L. E. (2012). Comportamiento productivo de conejos alimentados con dietas que incluían harina integral de dólco y mucuna. *Revista UNELLEZ de Ciencia y Tecnología*, 30(1), 29-35. <http://revistas.unellez.edu.ve/index.php/ruct/article/view/189>
- Caro, Y., Bustamante, D., Dihigo, L. E., & Ly, J. (2013). Harina de forraje de moringa (*Moringa oleifera*) como ingrediente en dietas para conejos de engorde. *Revista Computarizada de Producción Porcina*, 20(4), 218-222.
- Caro, Y., Bustamante, D., Dihigo, L.E., & Ly J. (2018). Digestibilidad aparente de nutrientes en dietas de forraje de *Moringa oleifera* para conejos en crecimiento. *Livestock Research for Rural Development*, 30(1). <http://www.lrrd.org/lrrd30/1/ycar30001.html>
- Cuchillo, H. M., Puga, D. C., Wrage-Mönnin, N., Espinoza, M. J. G., Montañó, B. S., Navarro-Ocaña, A., Ledesma, J. A., Díaz, M. M., & Pérez-Gil, R. F. (2013). Chemical Composition, antioxidant activity and bioactive compounds of vegetation species ingested by goats on semiarid rangelands. *Journal of Animal and Feed Science*, 22(2), 106-115. doi: <https://doi.org/10.22358/jafs/66000/2013>
- De Oliveira, G. S., Oliveira, E. J., Chaves, A. S., Almeida, M. P., Vieira, M., Rodrigues, T., Sousa, C., & Cavalcanti G. F. (2016). Total replacement of corn by mesquite pod meal considering nutritional value, performance, feeding behavior, nitrogen balance, and microbial protein synthesis of Holstein-Zebu crossbred dairy steers. *Tropical Animal Health and Production*, 48(7), 1415–1420. doi: <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1108-4>.
- Di Marco, O. N. (2006). Eficiencia de utilización de alimento en vacunos. *Revista Visión Rural*, 13(61), 1-4.
- Escorza-Montoya, M., Amador-Larios, G., García-Esquivel, J., Ayala-Martínez, M., Zepeda-Bastida, A., & Soto-Simental, S. (2019). Comportamiento productivo y calidad de la carne de conejos que consumieron desperdicio de galleta. *Abanico Veterinario*, 9, 1-7. doi: <https://doi.org/10.21929/abavet2019.910>
- Flórez-Delgado, D. F., & Arteaga, A. I. (2019). Evaluación de un alimento peletizado a base de forraje para conejos en fase de levante y ceba en la Granja Experimental Villa Marina. *Mundo FESC*, 9(17), 60-75. <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/403>
- García, J., Carabaño, R., & de Blas, J. C. (1999). Effect of fiber source on cell wall digestibility and rate of passage in rabbits. *Journal of Animal Science*, 77(4), 898-905. doi: <https://doi.org/10.2527/1999.774898x>
- García, J., Gidenne, T., Falcao-E-Cunha, L., & de Blas, C. (2002). Identification of the main factors that influence caecal fermentation traits in growing rabbits. *Animal Research*, 51(2), 165-173. doi: <https://doi.org/10.1051/animres:2002011>
- García-López, J. C., Durán-García, H. M., de-Nova, J. A., Álvarez-Fuentes, G., Pinos-Rodríguez, J. M., Lee-Rangel, H. A., López-Aguirre, S., Ruiz-Tavares, D., Rendón-Huerta, J. A., Vicente-Martínez, J. G., & Salinas-Rodríguez, M. (2019). Producción y contenido nutricional de vainas de tres variantes de mezquite (*Prosopis laevigata*) en el altiplano Potosino, México. *Agrociencia*, 53(6), 821-831. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1846>
- Gidenne, T. (2015). Dietary fibers in the nutrition of the growing rabbit and recommendations to preserve digestive health: a review. *Animal Research*, 9(2), 227–242. doi: <https://doi.org/10.1017/S1751731114002729>
- Hernández, J., Aquino, J. L., & Ríos, F. G. (2013). Efecto del manejo pre-mortem en la calidad de la carne. *Nacameh*, 7(2), 41-64. doi: <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/nacameh/2013v7n2/hernandez>
- Hernández, J., Aquino, J. L., & Palacios, A. (2015). Rendimiento de la canal, color de la carne y evolución del pH muscular en conejos. *Nacameh*, 9(2) 66-76. doi: <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/nacameh/2015v9n2/hernandez>



Herrera-Soto, I. A., Zepeda-Bastida, A., Ayala-Martínez, M., & Soto-Simental, S. (2018). Comparación de parámetros productivos y calidad de la canal de diferentes razas de conejos. En J. Herrera, A. J. Chay, F. Casanova, A. T. Piñeiro, T. Márquez, E. Santillán & J. Arce (eds.), *Avances de la investigación sobre producción animal y seguridad alimentaria en México* (pp. 497-501). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

[https://www.researchgate.net/publication/325807244\\_Avances\\_de\\_la\\_investigacion\\_sobre\\_produccion\\_animal\\_y\\_seguridad\\_alimentaria\\_en\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/325807244_Avances_de_la_investigacion_sobre_produccion_animal_y_seguridad_alimentaria_en_Mexico)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). *Anuario estadístico y geográfico de Aguascalientes 2017*. [https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/anuarios\\_2017/702825092078.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825092078.pdf)

Loor-Mendoza, N. E. (2016). Fundamentos de los alimentos peletizados en la nutrición animal. *Dominio de las Ciencias*, 2(4), 323-333. <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/257/307>

Macías-Rodríguez, E., & Usca-Méndez, J. (2017). Utilización de la harina de algarrobo (*Prosopis pallida*) en la alimentación de conejos en crecimiento, engorde. *Revista Ciencia UNEM*, 10(22), 105-110. <https://www.redalyc.org/journal/5826/582661263011/html/>

Martínez, O., Bermúdez, R. C., Rodríguez, R., & García, N. (2018). Comportamiento productivo de conejos alimentados con dietas que incluyen sustrato remanente de la producción de setas. *Revista de Producción Animal*, 30(2), 25-31. <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/2365>

Mejía-Haro, I., Soria-Rodríguez, L. I., Ortiz-De la Rosa, B., Marín-Perales, V. M., Ramón-Ugalde, J. P., Rivera, J., & Ramos-Dávila, M. (2021). Parámetros productivos de corderos alimentados con dietas de diferente concentración de vainas de *Prosopis laevigata*. *Acta Universitaria*, 31(1), 1-11. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2021.3149>

Mora-Valverde, D. (2012). Evaluación de cuatro niveles de morera (*Morus alba*) en engorda de conejo bajo normativa orgánica. *Agronomía Mesoamericana*, 23(2), 311-319. doi: <https://doi.org/10.15517/AM.V23I2.6495>

Nieves, D., Terán, O., Silva, L., & González, C. (2002a). Digestibilidad in vivo de nutrientes en dietas en forma de harina con niveles crecientes de *Leucaena leucocephala* para conejos de engorde. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia*, 12(2), 408-411. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/14884>

Nieves, D., Silva, B., Terán, O., & González, C. (2002b). Niveles crecientes de *Leucaena leucocephala* en dietas para conejos de engorde. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia*, 12(2), 419-421. <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/14887>

Peña-Avelino, L. Y., Pinos-Rodríguez, J. M., Juárez-Flores, B. I., & Yáñez-Estrada, L. (2016). Effects of *Prosopis laevigata* pods on growth performance, ruminal fermentation and blood metabolites in finishing lambs. *South African Journal of Animal Science*, 46(4), 360-365. doi: <https://doi.org/10.4314/sajas.v46i4.3>

Pérez, J. M., Lebas, F., Gidenne, T., Maertens, L., Xiccato, G., Poarigi-Bini, R., Dalle, A., Cossu, M. E., Carazzolo, A., Villamide, M. J., Carabaño, R., Fraga, M. J., Ramos, M. A., Cervera, C., Blas, E., Fernández, J., Falcao, L., & Bengala, J. (1995). European reference method for in vivo determination of diet digestibility in rabbits. *World Rabbit Science*, 3(1), 41-43. doi: <https://doi.org/10.4995/wrs.1995.239>

Pilco, J. L., Fiallos, M. B., Jiménez, S. F., Usca, J. E., & Zurita, M. E. (2018). Utilización de la harina de *Leucaena leucocephala* (Leucaena) en la alimentación de conejos neozelandés en la etapa de crecimiento-engorda. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 1-35. <https://www.eumed.net/rev/caribe/2018/03/alimentacion-conejos-crecimiento.html>

- Reséndiz, J., Ramírez-Moreno, E., Ariza-Ortega, J. A., & Ortíz-Polo, A. (2020). El mezquite como ayuda ergogénica para atletas de alto rendimiento en deportes intermitentes. Revisión sistemática. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 9(17), 116-124. doi: <https://doi.org/10.29057/licsa.v9i17.6511>
- Rizzo, L. G., Sabando, F. A., Espinosa, J. F., Pincay, J. L., Mieles, E. M., & Meza, G. A. (2019). Valoración nutricional de *Tithonia diversifolia* en la alimentación de conejos Neozelandés. *Ciencia y Tecnología*, 12, 1-7. doi: <https://doi.org/10.18779/cyt.v12i1.318>
- Ríos-Saucedo, J. C., Valenzuela-Núñez, L. M., Rivera-González, M., Trucíos-Casiano, R., & Sosa-Pérez, G. (2012). Diseño de un sistema silvopastoril en zonas degradadas con mezquite en Chihuahua, México. *Tecno Ciencia Chihuahua*, 6(3), 174-180. <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/675>
- Rodríguez, E. N., Martínez, G. E., Ramírez, B., Martínez, R., Cong, M. C., Medina, S. M., & Piña, H. H. (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Ra Ximhai*, 10(3), 173–193. doi: <https://doi.org/10.35197/rx.10.01.e.2014.13.er>
- Sarwatt, S. V., Laswai, G. H., & Ubwe, R. (2003). Evaluation of the potential of *Trichanthera gigantea* as a source of nutrients for rabbit diets under small-holder production system in Tanzania. *Livestock Research for Rural Development*, 15(11), 24-34. <http://www.lrrd.org/lrrd15/11/sarw1511.htm>
- Sawal, R. K., Ratan, R., & Yadav, S. B. S. (2004). Mesquite (*Prosopis Juliflora*) Pods as a Feed Resource for Livestock – A review. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 17(5), 719-725. doi: <https://doi.org/10.5713/ajas.2004.719>
- Sciammaro, L. P., Ferrero, C., & Puppo, M. C. (2015). Agregado de valor al fruto de *Prosopis alba*. Estudio de la composición química nutricional para su aplicación en bocaditos dulces saludables. *Revista de la Facultad de Agronomía, la Plata*, 114(1), 115-123. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/47318>
- Smitzis P. E., Babaliaris, C., Charismiadiou, M. A., Papadomichelakis, G., Goliomytis, M., Symeon, G. K., & Deligeorgis, S. G. (2014). Effect of hesperidin dietary supplementation on growth performance, carcass traits and meat quality of rabbits. *World Rabbit Science*, 22(2), 113-12. doi: <https://doi.org/10.4995/wrs.2014.1760>
- Statistical Analysis Systems (SAS). (2008). Statistical Analysis Systems Institute User's Guide (9.2 ed.). SAS Inst. Inc.
- Van-Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non- starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vivas, J., Reyes-Sánchez, N., Sáenz, A., & Benavidez, A. (2018). Comportamiento productivo y características de la canal de conejos alimentados con harina de *Moringa oleífera*. *Revista Científica La Calera*, 18(31), 81-88. doi: <https://doi.org/10.5377/calera.v18i31.7897>

# SECAGEM DE GRÃOS E A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: MÉTODOS, TECNOLOGIAS E TENDÊNCIAS

*Data de submissão: 30/01/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Leonardo França da Silva**

Universidade Federal da Grande  
Dourados  
Dourados – Mato Grosso do Sul (Brasil)  
<https://orcid.org/0000-0002-9710-8100>

### **José Rafael Franco**

Faculdade de Ciências Agrônômicas FCA  
Universidade Estadual Paulista (UNESP)  
<https://orcid.org/0000-0002-7129-4304>

### **Cássio Furtado Lima**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Pará - IFPA  
<https://orcid.org/0000-0001-5461-1809>

### **Marcos Antônio Pereira da Fonseca Maltez**

Universidade Federal Rio Grande do Sul  
Porto Alegre – Rio Grande do Sul  
<https://orcid.org/0000-0003-0941-8051>

### **Silvana Ferreira Bicalho**

Universidade Estadual do Sudoeste da  
Bahia  
Vitória da Conquista - Bahia (Brasil)  
<https://orcid.org/0000-0002-5502-6430>

### **Ariadna Faria Vieira**

Universidade Estadual do Piauí  
Uruçuí- Piauí (Brasil)  
<https://orcid.org/0000-0002-1185-4269>

### **Cristiano Márcio Alves de Souza**

Universidade Federal da Grande  
Dourados  
Dourados – Mato Grosso do Sul (Brasil)

### **Matheus Mendes Reis**

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais  
(IFNMG), Januária - Minas Gerais (Brasil)  
<https://orcid.org/0000-0003-2100-2438>

### **Luciano José Minette**

Universidade Federal de Viçosa, Campus  
Viçosa, Viçosa - MG (Brasil)  
<https://orcid.org/0000-0002-2038-334X>

### **Stanley Schettino**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS  
GERAIS

**RESUMO:** A secagem de grãos é um processo essencial para a conservação de alimentos, reduzindo sua umidade e prevenindo reações químicas e biológicas que afetam a qualidade e segurança dos produtos. O estudo explora diferentes métodos de secagem, destacando a secagem natural, que depende das condições ambientais, e a artificial, que utiliza ventilação forçada em temperaturas controladas. Além disso, são analisados secadores específicos, como os rotativos, de leito fixo e solares, com ênfase na

secagem do café, um produto altamente sensível às condições desse processo. Os resultados mostram que a escolha adequada do método de secagem é crucial para minimizar perdas e garantir a qualidade do produto final. A análise fluidodinâmica computacional (CFD) surge como uma ferramenta eficaz na otimização dos processos, permitindo avaliar a distribuição de temperatura, o fluxo de ar e a eficiência energética dos equipamentos. A utilização de CFD contribui para o aprimoramento dos sistemas de secagem, reduzindo custos operacionais e aumentando a produtividade. Conclui-se que a inovação tecnológica e a otimização dos equipamentos de secagem são fundamentais para melhorar a eficiência e sustentabilidade da agroindústria, garantindo alimentos de maior qualidade e durabilidade no armazenamento e comercialização.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conservação de alimentos, sistemas de secagem, fluidodinâmica computacional.

## GRAIN DRYING AND ENERGY EFFICIENCY: METHODS, TECHNOLOGIES AND TRENDS

**ABSTRACT:** Grain drying is an essential process for food preservation, reducing its moisture content and preventing chemical and biological reactions that affect product quality and safety. The study explores different drying methods, highlighting natural drying, which depends on environmental conditions, and artificial drying, which uses forced ventilation at controlled temperatures. Additionally, specific dryers such as rotary, fixed-bed, and solar dryers are analyzed, with an emphasis on coffee drying, a product highly sensitive to the conditions of this process. The results show that the proper selection of the drying method is crucial to minimizing losses and ensuring the quality of the final product. Computational Fluid Dynamics (CFD) analysis emerges as an effective tool for process optimization, allowing the evaluation of temperature distribution, airflow, and energy efficiency of the equipment. The use of CFD contributes to the improvement of drying systems, reducing operational costs and increasing productivity. It is concluded that technological innovation and the optimization of drying equipment are fundamental to improving efficiency and sustainability in the agro-industry, ensuring higher-quality food with greater durability during storage and commercialization.

**KEYWORDS:** food preservation, drying systems, computational fluid dynamics.

## 1 | CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

Todos os alimentos, sejam de origem vegetal ou animal, passam por um processo natural de deterioração no período entre a colheita ou abate e o consumo. Essa deterioração resulta de transformações físicas, químicas e biológicas que podem alterar as características nutricionais, sensoriais e microbiológicas dos alimentos, comprometendo sua qualidade. Os fatores que influenciam a vida útil dos alimentos podem ser classificados em intrínsecos e extrínsecos (Ordóñez, 2005).

Os fatores intrínsecos estão relacionados às características da própria matriz alimentar, como composição química (tipo e quantidade de nutrientes), atividade de água ( $a_w$ ), pH, potencial de oxirredução, presença de constituintes antimicrobianos naturais e estruturas biológicas, como cascas e películas. Já os fatores extrínsecos referem-se às condições ambientais de armazenamento, incluindo temperatura, umidade relativa (UR), incidência de luz e/ou outras radiações, concentração de gases atmosféricos e presença de micro-organismos deteriorantes e/ou patogênicos (Jay, 2005).

Entre os métodos convencionais mais utilizados, destacam-se a conservação pelo calor (pasteurização e esterilização), conservação pelo frio (refrigeração e congelamento), secagem ou desidratação, salga, defumação, fermentação, uso de atmosfera modificada e aditivos alimentares (Fellows, 2006).

Diante disso, este trabalho tem como objetivo analisar os principais métodos de conservação de alimentos, destacando suas aplicações e impactos na preservação da qualidade e segurança dos produtos. A conservação visa reduzir a velocidade das alterações indesejáveis, manter as características dos alimentos e prevenir a multiplicação de micro-organismos, prolongando sua vida útil (Fellows, 2006).

## 2 | PRINCÍPIOS DA SECAGEM DE GRÃOS

A partir da crescente demanda de oferta de produtos agrícolas em maior quantidade e qualidade, torna-se necessário o armazenamento destes (Martins, 2015), o que ocorre entre a produção (iniciada no campo) e comercialização (até o consumidor final). Neste sentido, no caso específico de grãos, realiza-se a secagem dos produtos colhidos a fim de reduzir as 17 atividades químicas e biológicas na matriz alimentar, para que se mantenha a qualidade e seguridade durante a estocagem (Bala, 2017).

A Figura 1, a seguir, indica o fluxograma convencional do beneficiamento de grãos em uma unidade armazenadora.

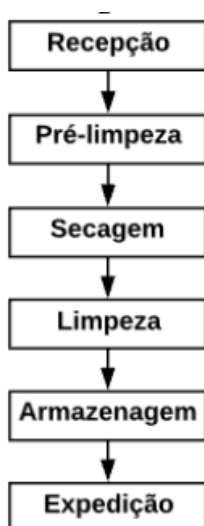


Figura 1 – Fluxograma do beneficiamento de grãos em uma unidade armazenadora.

Fonte: Autores (2025)

De forma geral, a secagem consiste no processo de remoção de água e outros líquidos orgânicos voláteis de um material sólido que, no caso dos grãos, é formado por uma matriz complexa, contendo carboidratos, lipídeos, proteínas, vitaminas e sais minerais em proporções variáveis, mais água e vapor d'água, que ocupa os espaços intercelulares vazios, gerando uma pressão de vapor na superfície do grão, formando o que se conhece por microclima. Além disso, o ar atmosférico também exerce uma pressão sobre o produto, denominada como pressão parcial de vapor do ar (Silva, 2005; Taborda, 2017).

Neste contexto, os grãos podem ser considerados como produtos higroscópicos, cuja superfície é formada por uma camada delgada de ar (microclima). Nesta camada de ar que circunvizinha o alimento, o comportamento termodinâmico é regulado pelas variáveis de teor de água do produto e temperatura (Silva, 2005).

Durante a operação de secagem, a água é removida na forma de vapor por meio da ação de um ar de secagem, normalmente previamente aquecido, por meio do mecanismo de vaporização térmica, em uma temperatura inferior à de ebulição d'água. Deste modo, a operação baseia-se nos fenômenos de transferência de calor e de massa que podem ocorrer de forma simultânea ou separadamente (Geankoplis; Hersel; Lepek, 2018).

Este processo ocorre em razão do gradiente de pressão de vapor d'água entre a superfície do grão e o ar. Para que a água seja evaporada, a pressão de vapor na superfície do produto (microclima) deve ser maior do que a pressão de vapor do ar de secagem, o qual deve ser insaturado. Nestas condições, ocorre a transferência de calor do ar quente para o grão, e a transferência de massa (vapor d'água) do grão para o ar quente, até que o produto atinja um teor de água desejado ou o equilíbrio higroscópico seja alcançado e a transferência de massa cesse (Silva, 2008; Tadini et al., 2019).

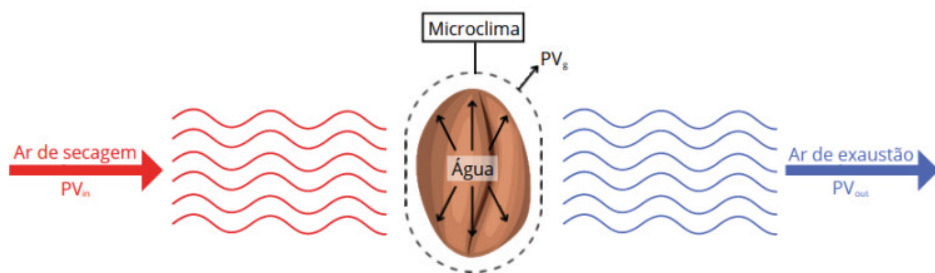


Figura 2 – Representação do movimento de ar e de água durante o processo de secagem.

Fonte: Adaptado de Silva (2005) e Taborda (2017).

em que,  $PV_{in}$  – Pressão de vapor do ar de secagem que entra;  $PV_g$  – Pressão de vapor do microclima do grão, e;  $PV_{out}$  – Pressão de vapor do ar de secagem que sai.

Em geral, o fluxo de transferência de massa pode ocorrer de três formas (Silva, 2005):

- Quando a pressão de vapor da massa de grãos é superior à pressão de vapor do ar circundante ( $PV_g > PV_{in}$ ), ocorre a secagem propriamente dita, conforme supracitado;

b) Quando a pressão de vapor do ar de secagem é maior do que a pressão de vapor do microclima ( $PV_g < PV_{in}$ ), ocorre o umedecimento do produto, isto é, um fenômeno contrário à secagem, e;

c) Quando as pressões de vapor relativas da massa de grãos e do ar de secagem são iguais ( $PV_g = PV_{in}$ ), observa-se o equilíbrio higroscópico.

O ar que entra em contato com a massa de grãos possui um teor de água que está relacionado com a sua quantidade de vapor, sendo que a umidade relativa correspondente pode variar de 0 a 100%. O ar que possui baixas porcentagens de umidade relativa está mais apto para receber água durante o processo de transferência de massa (alta capacidade higroscópica), ao passo que o ar com 100% de umidade relativa está saturado (Tadini et al., 2019).

A movimentação da água contida nos grãos durante a operação de secagem é descrita por três etapas. Na primeira, ocorre a transferência de calor do ar para o produto, o que promove evaporação e migração da água presente no interior dos grãos para o microclima, formando o gradiente de transferência de massa. Na segunda etapa, o vapor contido no microclima é transferido para o ar de secagem, em razão da diferença de concentrações e pressões entre os dois sistemas. A terceira etapa é caracterizada pela diminuição da temperatura do ar de secagem, o qual passa a ter sua capacidade de secagem reduzida até que esta seja esgotada, caracterizando o ar saturado (Silva, 2005; Silva, 2008; Bala, 2017).

De acordo com Taborda (2017), a movimentação da água presente no interior do grão até a superfície determina o grau de dificuldade da secagem do produto. O fenômeno de transporte da água do interior até a superfície do grão envolve a:

a) Difusão líquida, na qual o gradiente de concentração de água em uma região mais úmida para uma região mais seca favorece o mecanismo de transporte d'água.

b) Difusão de vapor, na qual o gradiente de pressão de vapor d'água no interior do grão causa a movimentação d'água, em razão da diferença de temperatura dentro do grão.

c) Escoamento de líquido e vapor, no qual o movimento d'água ocorre tanto pelo gradiente de pressão, concentração, temperatura, contração e capilaridade.

### 3 | SISTEMAS DE SECAGEM DE GRÃOS

Os sistemas de secagem podem ser classificados como secagem natural e artificial, sendo que os sistemas artificiais podem ser divididos em ventilação natural (por convecção) e forçada. Nos sistemas de ventilação forçada, há métodos que envolvem altas temperaturas, baixas temperaturas, sistemas combinados, e a seca-aeração.

Os sistemas de secagem de grãos são classificados conforme indicado no Quadro 1.

Sistemas de secagem	Natural			
	Artificial	Ventilação por convecção	Terreiros e paióis Secagem solar	
		Ventilação forçada	Altas temperaturas	Camada fixa
				Cruzados
				Concorrentes
				Contracorrente
				Rotativo
				Solar híbrido
		Baixas temperaturas		
		Sistemas combinados		
Seca-areação				

Quadro 1 – Classificação dos principais métodos de secagem de grãos

Fonte: Adaptado de Silva (2008).

### 3.1 Secagem natural

O processo de secagem natural ocorre na própria planta, logo após a maturação fisiológica do produto, de tal forma que, à medida que o produto entra em contato com o ar, ocorre a perda de água por evaporação, pela ação combinada do potencial de secagem do ar e do aumento da temperatura do grão decorrido do calor recebido do ambiente (Silva, 2008). Nestas circunstâncias, o processo de transferência de massa é altamente variável, pois depende das variações climáticas do ambiente no qual os grãos estão submetidos, uma vez que umidade do ar, temperatura ambiente, radiação solar e velocidade do vento sofrem frequentes alterações (Martins; Franco; Oliveira, 1999).

Este método de secagem geralmente é realizado em locais de clima favorável, onde não há disponibilidade de recursos tecnológicos e financeiros, e é menos custoso. Além disto, nesta categoria de secagem não há a interferência humana para modificar o processo. Contudo, a qualidade do produto pode sofrer perdas consideráveis, pois, por ser exigido um maior tempo de permanência da conexão do grão à planta mãe, as etapas posteriores de processamento são atrasadas, e o maior tempo de exposição dos grãos os torna suscetíveis aos ataques de pragas e intempéries, além de poder ocorrer o tombamento das plantas, dificultando o manejo da cultura em questão (Silva, 2005; Silva, 2008).

### 3.2 Secagem artificial

A secagem artificial utiliza de artifícios que modificam as condições naturais com o intuito de promover ou acelerar o processo de secagem, e pode ocorrer mediante ventilação natural (por convecção) ou forçada (Silva, 2008), conforme visto anteriormente.



### *3.2.1 Secagem com ventilação por convecção*

Neste primeiro caso, os grãos colhidos são espalhados em forma de camadas em terreiros de concreto, asfalto, chão batido ou de alvenaria, a fim de que se realize a secagem por meio da incidência solar e do potencial de higroscópico do ar, sendo necessário o revolvimento periódico dos grãos. Porém, este processo também está sujeito às variações climáticas, uma vez que não é totalmente passível de ser controlado, de forma que ainda é suscetível à ação de intempéries e de pragas (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL, 2018).

### *3.2.2 Secagem com ventilação forçada em baixas temperaturas*

Este sistema de secagem se baseia no escoamento forçado do ar ambiente promovido por um ventilador, o qual é direcionado à massa de grãos. O potencial de transferência de massa do ar de secagem é o fator determinante sobre o qual a eficiência do processo está relacionada. Tal método de secagem é realizado em silos de armazenamento, cujos pisos são construídos por chapas metálicas perfuradas, que permitem que o ar seja insuflado na cama de grãos (Schmidt; Lorencena; Teixeira, 2018).

Na secagem em leito fixo, seja por altas ou baixas temperaturas, a perda do teor de água ocorre de forma gradual, isto é, em camadas, conforme pode ser observado na Figura 3.

O processo de secagem inicia-se na camada inferior da massa de grãos e vai avançando até atingir a parte superior, com a formação de três faixas de umidade distintas: a primeira é formada pelos grãos secos que já se encontram em equilíbrio de umidade com o ar de secagem; a segunda camada (denominada frente de secagem) é composta pela faixa de grãos na qual ainda ocorre o processo de transferência de calor e massa entre o ar e o produto, e; a terceira faixa é composta pelos grãos que ainda não iniciaram a secagem. Torna-se importante ressaltar que o ar que entra na terceira faixa apresenta capacidade de secagem reduzida, pois o seu teor de umidade é elevado e a sua temperatura é diminuída durante o processo de transferência de massa e calor ocorrido nas faixas anteriores (Silva, 2008).

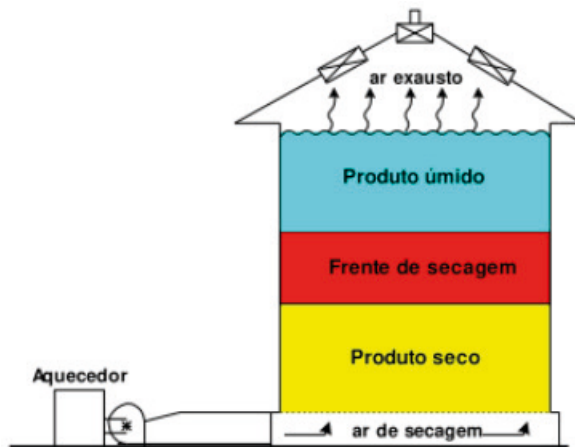


Figura 3 – Formação de camadas na secagem em leito fixo (baixas e altas temperaturas)

Fonte: Silva (2005).

Como o ar utilizado em baixas temperaturas possui menor capacidade de secagem, por vezes, é necessário utilizar fontes suplementares de energia (como resistência elétrica, energia solar e outros), para que o ar tenha o seu potencial de secagem elevado, de modo com que se torne apto para a realização do processo. Contudo, é necessário que o teor de umidade e a temperatura sejam monitorados por meio de um termostato e um umidóstato, para que a fonte de energia seja controlada com o objetivo de evitar a supersecagem (Silva, 2011). Em geral, o potencial de secagem do ar do ambiente de forma conjunta com o aquecimento de 2°C a 3°C fornecidos pelo ventilador são suficientes para que a massa de grãos atinja o teor de umidade desejável (Silva, 2008).

### 3.2.3 *Secagem com ventilação forçada em altas temperaturas*

Na secagem com ventilação forçada realizada em temperaturas elevadas é utilizado um ar aquecido em mais de 10°C acima da temperatura ambiente, o que promove a redução do teor de água presente no ar e potencializa sua capacidade higroscópica (Silva, 2008). Desta forma, ocorre a formação de um maior gradiente de transferência de massa entre o ar de secagem e a superfície da massa de grãos, permitindo que o produto seja retirado do secador antes de entrar em equilíbrio com o ar de secagem, pois a alta capacidade higroscópica do ar torna muito mais rápido o processo (Martins; Franco; Oliveira, 1999; Silva, 2005).

### 3.3 Secagem de café

A qualidade do café arábica (*Coffea arabica* L.) depende de vários fatores, tais como: do método de produção; do manejo na lavoura; do cultivo da região onde o café é produzido; das condições climáticas às quais o fruto é exposto no decorrer do processo de maturação, e; dos cuidados necessários durante o beneficiamento. Tais fatores influenciam diretamente nas características sensoriais do café, como cor, aroma e sabor (Gomes, 2014).

Na pós-colheita, a secagem do café apresenta grande importância por impactar significativamente a qualidade final do grão, uma vez que a utilização incorreta das variáveis envolvidas nesta operação unitária pode causar prejuízos às características químicas, físicas e sensoriais do produto (Isquierdo et al., 2011). Neste contexto, há diversos fatores envolvidos no processo capazes de afetar a qualidade do café, destacando-se a temperatura, a umidade relativa do ar, a metodologia e o tempo de secagem (Borém et al., 2008).

A operação de secagem deve ser realizada imediatamente após a colheita, já que o objetivo desta etapa consiste em reduzir de forma rápida o elevado teor de água da polpa, da casca e da mucilagem. A partir deste processo, o teor de água dos grãos é reduzido de 60% para 11,5% em base úmida (b.u.), e as taxas de respiração, oxidações e de fermentações são reduzidas, assim como o desenvolvimento de micro-organismos (Borém et al., 2008).

A velocidade do ar de secagem também é responsável pela qualidade dos grãos, pois maiores taxas podem provocar danos físicos, descoloração do fruto, manchas, trincamento, entre outros defeitos (Malta et al., 2013). Quando o processo de secagem é mal conduzido, ocorrem danos de natureza térmica que causam trincamentos e o efeito de degradação e desestruturação das membranas celulares dos grãos de café, permitindo o contato dos componentes químicos contidos nos grãos com enzimas hidrolíticas e oxidativas que atuam alterando as características sensoriais (Taveira, 2009; Isquierdo et al., 2011).

Além disso, torna-se indispensável que o processo de secagem seja uniforme, pois a presença de zonas com teor de água discrepantes na massa dos grãos favorece o desenvolvimento de micro-organismos capazes de realizar processos fermentativos que causam quedas consideráveis na qualidade de bebida (Silva; Batista; Schwan, 2008).

Neste sentido, os fatores acima citados influenciam na qualidade sensorial da bebida e, conseqüentemente, no preço de comercialização do café (Konopatzki et al., 2019).

### 3.4 Secadores utilizados na cafeicultura

#### 3.4.1 Secador rotativo

O sistema de secagem rotativo com operação em batelada consiste, de forma geral, em um cilindro tubular instalado de forma horizontal, o qual rotaciona em torno de seu eixo longitudinal em uma velocidade angular de até 15rpm. Neste equipamento, o ar quente é direcionado à câmara de secagem por meio de um sistema de distribuição de ar constituído por uma câmara central (carambola) – responsável por difundir o ar de forma radial – e por um dispositivo de transição entre o ventilador e a câmara – cuja função é promover o escoamento uniforme do ar aquecido (Silva et al., 2014). Neste modelo (Figura 4), o produto úmido é inserido pela parte mais elevada do secador e descarregado na parte mais baixa da lateral do cilindro. Durante a operação de secagem, os grãos são revolvidos à medida em que o ar é difundido de forma radial através da camada de grãos (SANTOS, 2002).



Figura 4 – Secador rotativo.

Fonte: Palinialves (2021b).

Entre as principais vantagens deste sistema, destacam-se a boa uniformidade de secagem e a função de pré-limpeza realizada pelo próprio secador. No entanto, tal modelo apresenta desvantagens tais como alto custo de investimento e baixa eficiência energética, além de provocar danos mecânicos aos grãos (Silva et al., 2014).

### 3.4.2 Secador de leito fixo

O secador de leito fixo consiste em um sistema de secagem dotado de ventilador, câmara de distribuição de ar (plenum) e câmara de secagem (Figura 5). Nesta última, há um piso de placa metálica perfurada para que o ar de secagem seja insuflado através da camada de grãos, sendo que a direção do ar pode ser alternada de acordo com as especificações do modelo. Nestes sistemas, forma-se um gradiente de umidade muito acentuado ao longo de toda a camada de grãos, em razão das zonas de secagem, de tal modo que por vezes é necessário modificar a direção do fluxo do ar em determinados períodos de tempo, para evitar a secagem excessiva dos grãos que entram em contato direto com o ar de maior temperatura (Laverde; Agudelo, 2013; Bitti, 2020). As variáveis que regulam o funcionamento de um sistema de secagem estacionário são o fluxo de ar, o teor de umidade inicial, a espessura da camada, além da temperatura do ar, que por sua vez, atua diretamente na taxa de secagem, influenciando na uniformidade do teor de água final do produto (Silva, 2008).



Figura 5 – Secador de leito fixo.

Fonte: Palinialves (2021a).

Entre as principais vantagens deste sistema de secagem, destacam-se a simplicidade da operação, o baixo índice de quebra de grãos, a alta eficiência energética e a menor probabilidade de secagem excessiva. Contudo, tal sistema apresenta a impossibilidade de trabalhar com grãos de alto teor de umidade e demanda um longo tempo de operação (BITTI, 2020).

### 3.4.3 Secador solar

Os secadores solares utilizam o mecanismo da secagem artificial por meio do aquecimento do ar mediante a energia proveniente da radiação solar. Os modelos mais utilizados são descritos no Quadro 2. Em geral, tais equipamentos são compostos por três módulos: coletor solar, câmara de secagem e exaustor (Bolaji, 2011; Kalogirou 2014; Mustayen; Mekhilef; Saidur, 2014; Andrade et al., 2019).

A Figura 6 ilustra um esquema representativo dos secadores direto, indireto e misto.

Classificação		Descrição
Incidência da radiação solar no alimento	Direto	O produto é disposto em bandejas perfuradas no interior de uma câmara de secagem e entra em contato direto com a radiação solar. A perfuração das bandejas permite uma melhor circulação de ar e, conseqüentemente, transferência de calor e massa.
	Indireto	O ar é aquecido em um coletor solar e, posteriormente, direcionado à câmara de secagem, onde entra em contato com o alimento. O produto não é exposto diretamente à radiação solar.
	Misto	Se assemelha com o método indireto, com a diferença de que, neste caso, o alimento contido na câmara de secagem também é exposto à radiação solar direta.
Convecção	Natural	O escoamento do ar ocorre de forma natural.
	Forçada	O escoamento do ar de secagem se dá, geralmente, por meio de um ventilador e um exaustor.
Fonte de energia	Única	Utiliza apenas energia solar.
	Híbrido	Combina a energia solar com outra fonte de energia, oriunda de energia elétrica, combustível fóssil ou biomassa. Em geral, cada fonte de energia é utilizada de forma alternada, em determinados períodos do dia (diurno ou noturno).

Quadro 2 – Classificação dos secadores solares mais utilizados

Fonte: Bolaji (2011); Kalogirou (2014); Mustayen, Mekhilef e Saidur (2014); Andrade et al. (2019).

O coletor solar é constituído por uma placa plana de vidro (instalada na parte superior do módulo), paredes e placa absorvedora (fundo), sendo estes últimos construídos por um material absorvedor de energia térmica, o qual tem a finalidade de aprimorar o processo de transferência de calor e isolamento térmico (Andrade et al., 2019; Firmo, 2020). Neste módulo, pode ser instalado um ventilador para promover a convecção forçada. Os coletores mais usuais, do tipo estacionário, são fixos e não seguem o movimento do sol (Firmo, 2020).

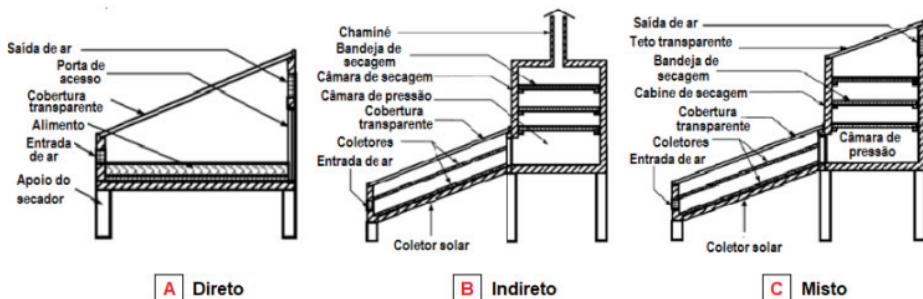


Figura 6 – Secador solar (A) direto (B) indireto e (C) misto, respectivamente.

Durante a secagem, a placa transparente de vidro capta a radiação solar incidente e é responsável por produzir um efeito estufa no interior do módulo, isto é, o vidro transmite e retém a radiação, ao passo que a placa absorvedora (fundo, geralmente revestido com tinta preta fosca) e as paredes laterais absorvem a radiação e transmitem o calor para o ar por meio da convecção (Gomes, 2015), o que promove o aumento da temperatura deste entre 10°C a 30°C (Matthew; Schwarz, 2001). Durante este processo, o ar é aquecido à medida em que se desloca em direção à saída do coletor solar (junção), em razão do diferencial de pressão gerado entre a entrada e a saída do módulo.

Na câmara de secagem, o ar quente e de baixa umidade passa através da massa de grãos contida em bandejas perfuradas (Andrade et al., 2019), enquanto o exaustor atua promovendo o escoamento do ar saturado e menos aquecido para fora da câmara, diminuindo o fenômeno de backflow (fluxo reverso do ar).

Entre as principais desvantagens deste tipo de secador, destacam-se a baixa capacidade de operação, uma vez que eles possuem um pequeno potencial de carga estática, e a dificuldade de controle operacional, pois as variações da intensidade da luz solar e temperatura ambiente influenciam significativamente na eficiência do processo de secagem (Khaldi, 2018). Já em relação às vantagens, destacam-se o baixo custo de construção e operação, a utilização de fonte de energia renovável e limpa, e a maior qualidade do produto final (Martins et al., 2002).

### **3.5 Simulação fluidodinâmica computacional**

A fluidodinâmica computacional é um campo de pesquisa que está relacionado à análise de comportamento de fluidos e sólidos, cujo estudo é realizado por meio da utilização de 28 algoritmos numéricos desenvolvidos para descreverem, com precisão, informações a respeito de fenômenos de transporte, como escoamento de fluidos, transferência de calor e massa, e interações entre sistemas multifásicos (Versteeg; Malalasekera, 2007).

No início da utilização do CFD, as aplicações desta ferramenta eram destinadas principalmente às áreas de engenharia aeroespacial, mas, com o decorrer do tempo, o seu desenvolvimento também foi direcionado para o aperfeiçoamento em outras áreas, como engenharia civil, química e ambiental (Tu; Yeoh; Liu, 2018). Atualmente, a análise fluidodinâmica também tem sido utilizada na indústria de alimentos para a estudo de perfis de temperatura e escoamento de fluidos em diversos equipamentos, a exemplo de fornos e secadores, e também para a determinação de gradientes de temperatura e fluxo de calor na matriz dos alimentos, como em frutos, cortes de carne e bebidas diversas (Sun, 2019).

Na área de secagem e armazenamento de grãos, a aplicação da análise fluidodinâmica computacional envolve a obtenção de informações como o escoamento de ar e de outros gases através de grãos, a distribuição da temperatura de secagem e armazenagem ao longo de silos e secadores, bem como a análise de outros dados, como perdas de pressão e linhas de corrente de ar (Bala, 2017; Visconcini; Andrade; Souza, 2019).

Há vários estudos a respeito da aplicação de CFD em secadores solares, assim como o realizado por Santos (2018), o qual utilizou o software COMSOL Multiphysics® para analisar o escoamento do ar por meio de linhas de corrente e a distribuição de velocidade de ar e de temperatura por meio de planos transversais, obtendo-se resultados satisfatórios a respeito da uniformidade dos gradientes de velocidade e de temperatura. Outro estudo relevante consistiu no de Khaldi (2018), o qual se utilizou o software ANSYS® Fluent para avaliar a distribuição de velocidade e de temperatura em um secador solar indireto utilizado para a secagem de figos. Além destes, Warikoda (2020) realizou um estudo sobre o desempenho de um secador solar indireto para alimentos utilizado análise por CFD e validação por dados experimentais.

Outra área na qual aplica-se a análise por CFD, consiste no estudo de eficiência de fornalhas destinadas à secagem de grãos, onde busca-se averiguar os mecanismos de transferência de calor e de escoamento de fluidos relacionados ao processo de combustão. Athanasios et al. (2015) e Goulart e Ricardo (2018) estudaram a otimização de fornalhas a lenha por meio da análise por CFD, averiguando o escoamento dos gases oriundos da combustão dentro do casco e o aquecimento do ar dentro dos tubos internos de uma fornalha indireta, seguido da validação experimental dos dados obtidos por simulações computacionais.

Neste contexto, a análise fluidodinâmica apresenta-se como uma ferramenta que auxilia no desenvolvimento e aprimoramento de equipamentos, seja reduzindo os custos, quando comparado a outros métodos experimentais de construção de protótipo, ou evitando a interrupção dos equipamentos quando uma análise teste necessita de ser realizada (Sun, 2019). Os softwares denominados de CFD atuam como calculadoras especiais na resolução das equações de transporte – momento, massa, energia, outras variáveis e equações de estado –, por meio de técnicas sofisticadas de resolução de equações diferenciais parciais, como o método de volumes finitos (Versteeg; Malalasekera, 2007; Tu; Yeoh; Liu, 2018).

Tal método consiste em uma técnica numérica que transforma as equações diferenciais parciais de transporte em equações algébricas discretizadas sobre volumes finitos ou células (malha computacional). A primeira etapa do processo de solução é a discretização do volume de controle que circunda os nós, conforme ilustrado na Figura 7 (Versteeg; Malalasekera, 2007; Khaldi, 2018).



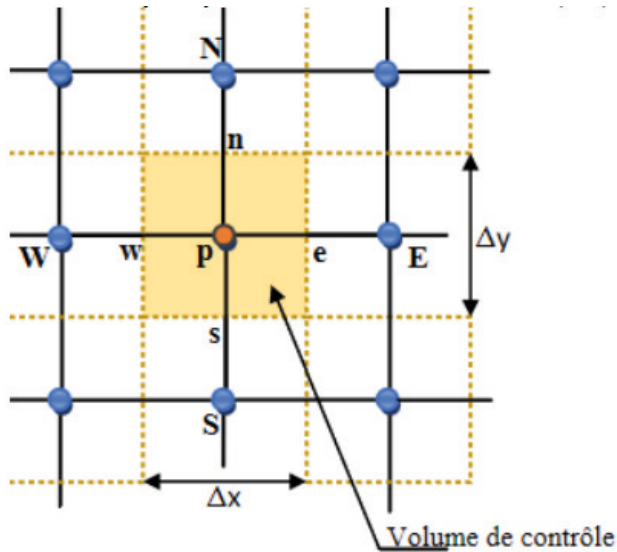


Figura 7 – Volume de controle típico para um caso bidimensional (2D).

Fonte: Khaldi (2018).

As equações diferenciais parciais são então transformadas em equações algébricas para cada volume de controle, sendo que os valores de temperatura e pressão são calculados para cada nó central, enquanto as variáveis de velocidade são calculadas para as faces de cada volume de controle, por um método denominado de acoplamento pressão-velocidade – SIMPLE, PISO ou SIMPLEC (VERSTEEG; MALALASEKERA, 2007). Para realizar a discretização, torna-se necessária a utilização de um esquema de discretização que seja capaz de determinar os valores das variáveis escalares como pressão e temperatura. O esquema *Upwind*, um dos mais utilizados, determina os valores das variáveis escalares sem recorrer aos métodos de interpolação, uma vez que tal esquema determina os valores destas variáveis por meio dos valores presentes nos nós da malha computacional. Desta forma, o esquema *Upwind* leva em consideração a direção do escoamento para determinar as grandezas convectivas nas faces dos volumes de controle, de modo que para determinar o valor das variáveis escalares nestas faces, são repetidos os valores já presentes nos nós precedentes a cada face (Moukalled; Mangani; Darwish, 2016).

Na etapa de solução por meio do método de acoplamento pressão-velocidade, utiliza-se de algoritmos como o SIMPLE, SIMPLEC ou PISO, sendo o SIMPLE um dos algoritmos mais utilizados na solução das equações discretizadas. Para resolver tais equações, é necessário conhecer o campo de pressão, já que este é desconhecido antes da solução, sendo então necessário a utilização de uma equação de pressão. No processo de solução, o algoritmo SIMPLE define valores iniciais de pressão, velocidade e temperatura (guessed values), aplicando-se os valores de pressão nas equações discretizadas de momento para se obter as variáveis de velocidade, as quais são então aplicadas na equação de correção de pressão, a fim de obter-se o campo de pressão corrigido (Tu; Yeoh; Liu, 2018).

O próximo passo consiste em aplicar as variáveis de velocidade e de pressão encontradas nas etapas anteriores nas equações de correção de velocidade e de pressão, com o objetivo de obter os novos valores dos campos de velocidade e pressão. Uma vez obtido tais valores, estes são aplicados em conjunto com as variáveis escalares iniciais (guessed values) nas demais equações discretizadas, com a finalidade de se obter os valores corrigidos das variáveis escalares de temperatura, umidade e outras. Desta forma, se houver a convergência dessas variáveis escalares, o processo de solução é finalizado, mas caso não ocorra a convergência, os últimos valores encontrados são utilizados para iniciar uma nova iteração (Moukalled; Mangani; Darwish, 2016).

No mercado, há várias opções de softwares disponíveis para análise por CFD, tais como ANSYS® CFX, ANSYS® Fluent, Autodesk® CFD, COMSOL MultPhysics®, além de versões livres e gratuitas como o OpenFOAM®.

## 4 | CONCLUSÃO

O estudo apresentado aborda de forma abrangente os princípios e métodos de conservação de alimentos, com ênfase na secagem de grãos e no uso de diferentes sistemas de secagem. A análise destaca a importância desse processo na manutenção da qualidade, segurança e durabilidade dos produtos agrícolas, especialmente no contexto do armazenamento e comercialização.

A secagem de grãos é um processo essencial para minimizar as reações químicas e biológicas que comprometem a qualidade dos alimentos. O estudo detalha os princípios da secagem, destacando os mecanismos de transferência de calor e massa, e as características higroscópicas dos grãos. Diferentes métodos de secagem são discutidos, incluindo a secagem natural, que depende das condições climáticas, e a secagem artificial, que envolve técnicas como ventilação forçada em baixas e altas temperaturas, bem como métodos específicos para a secagem de café.

Além disso, a pesquisa explora a utilização de secadores industriais, como os secadores rotativos, de leito fixo e solares, ressaltando suas vantagens e limitações. O estudo também destaca a aplicação da fluidodinâmica computacional (CFD) na otimização dos processos de secagem, permitindo análises detalhadas do escoamento de ar, distribuição de temperatura e eficiência energética dos sistemas.

Em conclusão, a pesquisa evidencia a relevância da escolha adequada do método de secagem para garantir a qualidade final dos grãos e do café, além de enfatizar a necessidade de inovação tecnológica e aprimoramento dos equipamentos para aumentar a eficiência e reduzir custos operacionais. A aplicação de ferramentas computacionais, como CFD, demonstra-se uma abordagem promissora para otimizar processos e desenvolver novas tecnologias no setor agroindustrial.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, V. C. V. et al. **Aplicações contemporâneas da energia solar com abordagens sociais no estado do Sergipe**. Aracaju: IFS, 2019. 176 p.
- ATHANASIOS, N. et al. Optimization of a log wood boiler through CFD simulation methods. **Fuel Processing Technology**, v. 137, p. 75-92, 2015.
- BALA, B. K. **Drying and storage of cereal grains**. 2. ed. Chichester, West Sussex (Reino Unido): John Wiley & Sons, Ltd., 2017. 352 p. E-book.
- BITTI, V. S. **Modelagem matemática da secagem de café cereja em leito fixo**. 2020. 42 f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020.
- BOLAJI, B. O. Exergetic analysis of solar energy drying systems. **Natural Resources**, v. 2, n. 2, p. 92-97, 2011.
- BORÉM, F. M. et al. Qualidade do café natural e despulpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1609-1615, set./out. 2008.
- BORÉM, F. M.; REINATO, C. H. R.; ANDRADE, E. T. Secagem do café. In: BORÉM, F. M. (Ed.) Pós-colheita do café. Lavras: UFLA, 2008. p. 205-240.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: café**. Brasília, DF, v. 8, n. 3, p. 1-58, set. 2021. Safra 2021, terceiro levantamento. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cafes>>. Acesso em: 02 out. 2021.
- FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e práticas**. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602 p.
- FIRMO, N. S. H. **Secador solar indireto**. 2020. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Programa de Dupla Titulação entre o Instituto Politécnico de Bragança e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Bragança (Portugal), 2020.
- GEANKOPLIS, C. J.; HERSEL, A. A.; LEPEK, D. H. **Processes and separation process principles**. 5. ed. Estados Unidos da América: Pearson Education, 2018. 1836 p. E-book.
- GOMES, I. A. **Desenvolvimento experimental de um secador solar de frutas com aproveitamento multienergético**. 2015. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.
- GOMES, L. M. **Efeito de diferentes técnicas de secagem na qualidade do café arábica (Coffea arabica L.) em Timor Leste**. 2014. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) - Universidade de Évora, Évora (Portugal), 2014.
- GOULART, W. C.; RICARDO, J. R. **Estudo numérico computacional para análise de escoamento de uma fornalha de pequeno porte**. 2018. 29 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade SATC, Criciúma, 2018.
- IBGE. **Instituto Nacional de Geografia e Estatística**. Geociências: download. 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: 01 nov. 2021.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Mapa de estações**. 2022. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br/>>. Acesso em 05 mai. 2022.

ISQUIERDO, E. P. et al. Qualidade do café cereja desmucilado submetido ao parcelamento da secagem. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-90, jan./abr. 2011.

JAY, J. M. **Microbiologia de alimentos**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 712 p.

KALOGIROU, S. A. **Solar energy engineering: processes and systems**. Estados Unidos da América: Academic Press, 2014. 819 p. E-book.

KHALDI, S. **Etude numérique du comportement thermique d'un séchoir solaire utilisant un lit thermique pour le stockage**. 2018. 119 f. Tese (Doutorado em Energia) – Programa de Dupla Titulação entre a Université Bourgogne Franche-Comté e a University Abu Bekr Belkaid, Tlemcen (Argélia), 2018.

KONOPATZKI, E. A. et al. Price and quality of coffee (*Coffea arabica* L.) Dried using air dehumidified by convection. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 39, p. 649-658, set./out. 2019.

LAVERDE, J. F. L.; AGUDELO, C. A. D. **Modelamiento y diseño de un secador estatico de café pergamino (silo de café)**. 2013. 250 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidad Tecnologica de Pereira, Pereira (Colômbia), 2013.

MALTA, M. R. et al. Alterações na qualidade do café submetido a diferentes formas de processamento e secagem. **Revista Engenharia na Agricultura-Revang**, Viçosa, v. 21, n. 5, p. 431-440, set./out. 2013.

MARTINS, E. A. S. **Dimensionamento e experimentação de um secador de leito fixo para a secagem de produtos agrícolas**. 2015. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2015.

MARTINS, R. R. et al. Secador de grãos com uso de energia solar. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 3, p. 29-35, jan./mar. 2002.

MARTINS, R. R.; FRANCO, J. B. R.; OLIVEIRA, P. A. V. **Tecnologia de secagem de grãos. Passo Fundo: Embrapa Trigo / EMATER-RS**, 1999. 90 p. E-book.

MATTHEW, G. G.; SCHWARZ, D. **Solar drying technology for food preservation**. Alemanha: GTZ-GATE Eschborn, 2001. 8 p.

MOUKALLED, F.; MANGANI, L.; DARWISH, M. The finite volume method in computational fluid: an advanced introduction with OpenFOAM® and Matlab. Suíça: Springer International Publishing, 2016. 791 p. E-book.

MUSTAYEN, A. G. M. B.; MEKHILEF, S.; SAIDUR, R. Performance study of different solar dryers: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 34, p. 463-470, 2014.

OLIVEIRA, L. C. T. G.; PAES, J. L.; GUIMARÃES, C. L. **Avaliação da eficiência do coletor solar plano acoplado em secador híbrido**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018. Anais eletrônicos... Gramado: Associação Brasileira de Energia Solar, 2018. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/449>>. Acesso em: 02 out. 2021.

ORDÓÑEZ, J. A. (Org.) Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre: Artmed, 294 p. 2 v. 2005.

PALINIALVES. **Secador estático**. 2021a. Disponível em: <[https://www.palinialves.com.br/produto.php?produto=191&secador\\_estatico](https://www.palinialves.com.br/produto.php?produto=191&secador_estatico)>. Acesso em: 04 out. 2021.

PALINIALVES. **Secador rotativo para café e outros grãos**. 2021b. Disponível em: <[https://www.palinialves.com.br/produto.php?produto=54&pa\\_sr\\_10](https://www.palinialves.com.br/produto.php?produto=54&pa_sr_10)>. Acesso em: 04 out. 2021.

SANTOS, R. R. **Modificação e avaliação de um secador rotativo horizontal, com distribuição radial do fluxo de ar, para secagem de café**. 2002. 62 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

SANTOS, V. L. V. **Análise numérica do escoamento e do comportamento térmico de um secador solar ativo misto utilizado COMSOL Multiphysics**. 83 f. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Associação Ampla entre o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais e a Universidade Federal de São João Del-Rei, Belo Horizonte, 2018.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Grãos: armazenamento de milho, soja, feijão e café**. Brasília: SENAR, 2018. 100 p.

SCHMIDT, L.; LORENCENA, M. C.; TEIXEIRA, M. Controle de operações em secadores de grãos com redução do consumo de recursos naturais. **Revista de Informática Aplicada**, v. 14, n. 1, 2018.

SILVA, C. F.; BATISTA, L. R.; SCHWAN, R. F. Incidence and distribution of filamentous fungi during fermentation, drying and storage of coffee (*Coffea arabica* L.) beans. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 39, p. 521-526, 2008.

SILVA, J. P. S. Utilização de energia solar para secagem de microalgas. 2017. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

SILVA, L. C. Aeração de grãos armazenados. *Grãos Brasil: Da Semente ao Consumo*, v. 3, n. 50, p. 7-10, set./out. 2011.

SILVA, L. C. Secagem de grãos. *Grãos Brasil: Da Semente ao Consumo*, v. 4, n. 14, p. 10- 14, mai. 2005.

SILVA, J. S. et al. Manual de construção e manejo de equipamentos: pós colheita do café. Viçosa: Os autores, 2018. 275 p. E-book.

SILVA, J. S. (Ed.) Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008. 560 p. E-book.

SILVA, J. S. et al. Forno a lenha para secagem de café e grãos. Brasília: Embrapa Café, 2014, 14 p. (Embrapa Café. Comunicado Técnico, n. 6).

SILVA, J. S.; VITOR, D. G.; LOPES, R. P. Construção de ventiladores centrífugos para uso agrícola. Brasília: Embrapa Café, 2013, 13 p. (Embrapa Café. Comunicado Técnico, n. 3).

SUN, D. W. Computational fluid dynamics in food processing. 2 ed. Boca Raton (Estados Unidos da América): CRC Press, Taylor & Francis Group, 2019. 632 p. E-book.

TABORDA, D. M. **Uso de energia solar para o aquecimento do ar em secadores de grãos**. 2017. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de São João del Rei, São João del Rei, 2017.

TADINI, C. C. et al. (Org.) Operações unitárias na indústria de alimentos. Rio de Janeiro: LTC, 2019. 509 p. 2 v. E-book.

TAVEIRA, J. H. S. **Aspectos fisiológicos e bioquímicos associados à qualidade da bebida de café submetido a diferentes métodos de processamento e secagem**. 2009. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

TU, J.; YEOH, G. H.; LIU, C. Computational fluid dynamics: a practical approach. 3 ed. Índia: Butterworth-Heinemann, 2018. 498 p. E-book.

VERSTEEG, H. K.; MALALASEKERA, W. An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method. 2 ed. Harlow (Reino Unido): Pearson Education, 2007. 503 p. E-book.

VISCONCINI, A. R.; ANDRADE, C. M. G.; SOUZA, A. M. Modelagem, simulação e análise dos contornos de velocidade do ar em um secador industrial do tipo torre de fluxo misto. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 11., 2019, Maringá. Anais eletrônicos... Maringá: UniCesumar, 2019. Disponível em: <<http://rdu.unicesumar.edu.br/handle/123456789/3346>>. Acesso em: 28 ago. 2021.

WARIKODA, L. T. Estudo do desempenho de um secador solar indireto para alimentos. 2020. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Programa de Dupla Titulação entre o Instituto Politécnico de Bragança e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Bragança (Portugal), 2020.

# ADEQUAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA ABASTECIMENTO DO LENÇOL FREÁTICO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

*Data de submissão: 31/12/2024*

*Data de aceite: 05/03/2025*

**Maria Iza de Arruda Sarmento**

**Sirlânda da Silva dos Santos**

**Mateus Santos Ribeiro**

**Dirlayne Sousa Melo**

**Avete Vieira Lima**

**Djalma Santana Neto**

**Sandra Regina da Silva Galvão**

**RESUMO:** Estudos sobre a utilização e ocupação do território explorado pelos diferentes setores da comunidade, sejam eles urbanos, rurais ou industriais, ligados às particularidades das bacias hidrográficas, são de suma importância para a administração e a durabilidade dos recursos hídricos na região semiárido do Brasil, pois podem ser agentes de modificações nos cursos fluviais. Dessa forma, essa revisão tem como objetivo examinar os trabalhos científicos que abordam a conservação de bacias hidrográficas, além de enfatizar a significância do manejo e ocupação das terras, e seu papel crucial na oferta e segurança das águas

subterrâneas nas regiões semiáridas do Nordeste brasileiro. Nessa vasta área do território é possível observar exemplos notáveis de progresso fundamentados em princípios que outrora eram inimagináveis. Dentre essas ilustrações, ressaltamos a adoção de abordagens distintas na agricultura, a aplicação de tecnologias para o armazenamento hídrico, como as reservas subterrâneas, e outras estratégias que promovem a adaptação ao clima semiárido. Esse fenômeno representa uma transformação de paradigma e ideias sobre a área, diminuindo um futuro no qual mais iniciativas, tecnologias e políticas públicas podem ser testadas e inovadoras na localidade, promovendo um progresso ainda maior na convivência com o semiárido.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bacias hidrográficas, manejo do solo, recursos naturais.

## ADEQUACY OF LAND USE AND OCCUPATION TO SUPPLY GROUNDWATER IN THE BRAZILIAN SEMI-ARID REGION

**ABSTRACT:** Studies on the use and occupation of the territory exploited by different sectors of the community, whether urban, rural, or industrial, linked to the

specificities of the watersheds, are of paramount importance for the management and sustainability of water resources in the semi-arid region of Brazil, as they can be agents of alterations in river courses. Therefore, this review aims to examine the scientific works that address watershed conservation, in addition to emphasizing the significance of land management and occupation, as well as their crucial role in the supply and security of groundwater in the semi-arid regions of the Brazilian Northeast. In this vast territory, notable examples of progress based on principles that were once inconceivable can be observed. Among these illustrations, we highlight the adoption of diverse agricultural approaches, the application of technologies for water storage, such as underground reservoirs, and other strategies that promote adaptation to the semi-arid climate. This phenomenon represents a shift in paradigms and ideas about the area, suggesting a future in which more initiatives, technologies, and public policies can be tested and innovated within the locality, further promoting progress in coexisting with the semi-arid region.

**KEYWORDS:** Hydrographic basins, soil management, natural resources.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Semiárido brasileiro é constituído por parte dos estados do Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe) e por parte de um estado da região Sudeste (norte de Minas Gerais), com uma extensão territorial de aproximadamente 1.128.697 km<sup>2</sup>, onde reside mais de 27 milhões de pessoas, distribuídas ao longo dos 1.262 municípios, que fazem o Semiárido brasileiro uma das regiões áridas e semiáridas mais extensas e populosas do planeta (Silva, 2022).

De acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (IMET, 2017), o índice de chuvas nessa região é inferior a 800 mm/ano, as temperaturas médias são em torno de 27° C, a amplitude térmica por volta de 5° C e evaporação média de 2000 mm/ano, tornando a região semiárida brasileira cada vez mais impactada pela escassez de água, e simultaneamente o crescimento econômico e social da região.

O Semiárido brasileiro está inserido no polígono das secas, apresentando elevada taxa de evaporação e amplos períodos de insolação, também está sobre estrutura geológica cristalina, que dificulta o reabastecimento do lençol freático, aumentando o risco de degradação das terras, podendo transformá-las em Núcleos de desertificação (Brasil, 2007; Perez-Marin *et al.*, 2012), contribuindo como um dos principais fatores, para o abandono das áreas rurais.

Atualmente, existe na área de recursos hídricos um grande desafio para os próximos anos, que é de garantir o fornecimento das demandas na quantidade necessária e com a qualidade apropriada para a população das regiões onde a precipitação pluviométrica é menor, além da preservação da qualidade das águas, que vem sofrendo grandes prejuízos em virtude da poluição decorrente das atividades antrópicas.



Algo em comum une mais da metade das áreas com risco ou em estado avançado de desertificação, trata-se da dinâmica de uso e ocupação dos solos dessa região. De acordo com Castro e Santos (2020), o uso das terras agrícolas e das matas secas, característica do bioma, sem planejamento e manejo adequado favorece a degradação dos solos e a redução da biodiversidade nesses ambientes. Outra consequência é o rebaixamento do lençol freático devido a exposição da superfície do solo, comprometendo assim a captação nos reservatórios mais rasos e contribuindo para o baixo potencial hidrogeológico, tornando necessária a construção de reservatórios para reter águas pluviais e, em determinados casos, perenizar rios (Novais *et al.*, 2022).

Outro fator que contribui negativamente para o abastecimento do lençol freático é o crescimento urbano desordenado e desigual nas cidades brasileiras. A ocupação e utilização de grandes áreas para a expansão urbana, para a agropecuária ou para a industrialização multiplicam seus efeitos negativos e deixam seus impactos sobre o ambiente (Magalhães & Barbosa Júnior, 2019). Diante dessa compreensão dos recursos naturais, Santos *et al.* (2020) aponta para urgência de gerenciamento dos recursos hídricos e para acompanhamento no uso e na utilização do solo, principalmente as margens dos rios, a fim de proteger e restaurar as características naturais da terra.

Considerando-se o uso e ocupação do solo na região semiárida brasileira que levam a diferentes alterações no canal fluvial, o objetivo do presente trabalho é analisar as produções científicas sobre a temática de preservação de bacias hidrográficas, bem como destacar a importância do uso e ocupação dos solos e sua importância no abastecimento e preservação das águas subterrâneas em regiões do Semiárido no nordeste do Brasil.

## 2 | METODOLOGIA

O presente estudo trata-se de uma pesquisa bibliográfica exploratória, com abordagem qualitativa, utilizando o método dedutivo, em que o levantamento de dados foi realizado através de buscas nas principais plataformas de armazenamento de trabalhos científicos, tais como o Portal de periódicos Capes, Google Acadêmico, SciELO e Science.gov, abordando acerca do uso e ocupação dos solos do Semiárido brasileiro. As seguintes palavras-chaves foram utilizadas: 1) lençol freático no Semiárido; 2) uso do solo; 3) ocupação do solo. A pesquisa englobou um acervo de artigos, teses, dissertações, cartilhas e circulares técnicas publicados por pesquisadores ou órgãos empenhados em realizar pesquisas na região semiárida brasileira nos últimos cinco anos.

## 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Semiárido Brasileiro

Historicamente, a delimitação da região semiárida se deu a partir da estiagem da década de 1930-32, onde o Governo Federal tomou uma série de decisões no sentido de fortalecer a IFOCS – Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas e o MVOP – Ministério de Viação e Obras Públicas incluindo em 1932, um crédito de dez mil contos de réis para atenuar os problemas da estiagem que ocorria em boa parte do Norte Seco já que a Região Nordeste como hoje se conhece ainda não existia. Em 07 de janeiro de 1936 publica a Lei Federal 175, delimitando os municípios pertencentes ao SAB, sendo considerado a Certidão de Nascimento da atual Região Semiárida Brasileira, delimitando o que durante muitos anos foi denominado como Polígono das Secas. Além disso, outros marcos legais auxiliaram nas tomadas de decisão e novas demarcações do então Polígono das Secas que, muitas vezes, seguiam critérios mais políticos do que técnicos, em que pese o uso da isoieta de 800 mm de precipitação como critério de decisão (Costa *et al.*, 2020).

Atualmente, segundo a Sudene (1998) a região semiárida é conceituada como o conjunto de lugares contíguos, caracterizados pelo balanço hídrico negativo, resultante de precipitações médias anuais iguais ou inferiores a 800 mm, insolação média de 2.800h/ano, temperaturas médias anuais de 23° a 27° C, evaporação de 2.000 mm/ano e umidade relativa do ar média em torno de 50%. Caracteriza-se essa região por forte insolação, temperaturas relativamente altas e pelo regime de chuvas marcadas pela escassez, irregularidade e concentração das precipitações num curto período de apenas três meses.

Em 2005, o Ministério da Integração Nacional atualizou a área de abrangência do Semiárido, conforme a portaria ministerial nº 89, de março de 2005 (Brasil, 2005). Para a nova determinação de região semiárida, foram atendidos três critérios técnicos: a precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm, um índice de aridez de até 0,5, no período entre 1961 e 1990, calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e evapotranspiração potencial; e o risco de seca maior que 60% no período entre 1970 e 1990.

Considerando os critérios mencionados anteriormente e conforme publicado na Resolução Nº 115/2017 do Conselho Deliberativo da SUDENE, o Semiárido brasileiro atualmente é composto por 1.262 municípios dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e o norte de Minas Gerais (Figura 1). No total, ocupa 12% do território nacional e abriga cerca de 28 milhões de habitantes divididos entre zonas urbanas (62%) e rurais (38%), sendo, portanto, um dos Semiáridos mais povoados do mundo (INSA, 2023).

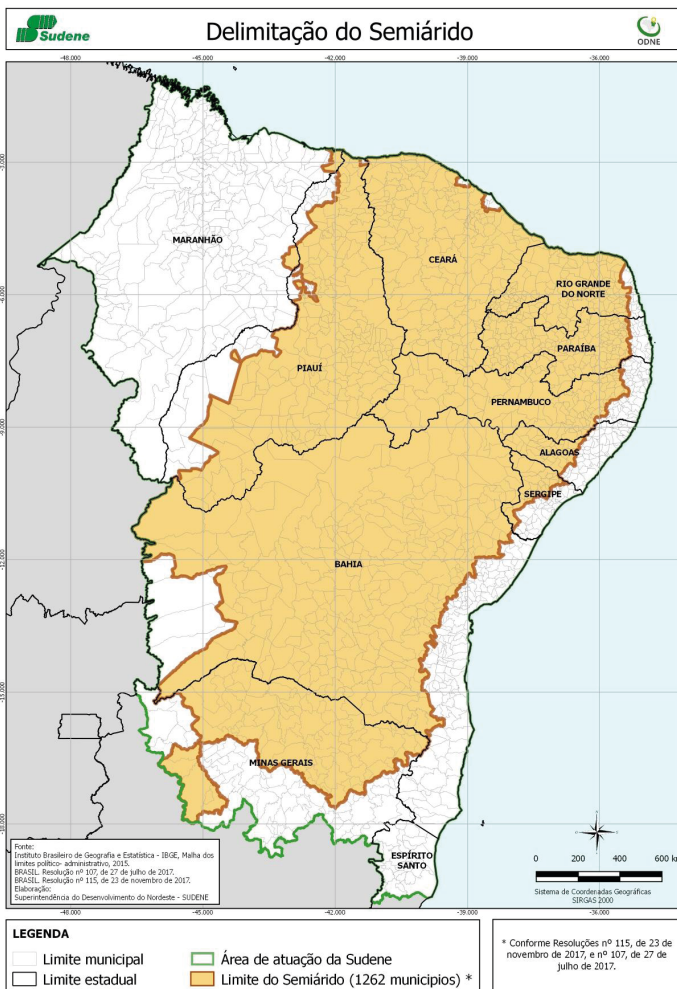


Figura 1 - Delimitação do Semiárido Brasileiro

Fonte: SUDENE, 2017.

A natureza no Semiárido brasileiro é rica e diversa, onde a vegetação é caracterizada pela rusticidade, tolerância e adaptação às condições climáticas da região. A vegetação predominante no Semiárido é de Caatinga e ocupa maior parte do Semiárido, trata-se do único bioma exclusivamente brasileiro e apresenta enorme variedade de paisagens, relativa riqueza biológica e endemismo. De acordo com Silva (2006), é um bioma com alta biodiversidade, onde se destaca a formação vegetal xerófila com folhas pequenas que reduzem a transpiração, caules suculentos para armazenar água e raízes espalhadas para capturar o máximo de água. Além das cactáceas, destacam-se espécies arbóreas, herbáceas e arbustivas.

A agricultura e a pecuária são as principais atividades econômicas de fixação da população nordestina nas condições do Semiárido (Leite *et al.*, 2018). Cerca de 80% dos estabelecimentos agrícolas nordestinos se enquadram na categoria de agricultura familiar, onde os agricultores e suas famílias dependem majoritariamente das atividades agrícolas para seu sustento (INCRA/FAO, 2000).

Quanto a renda, a comparação do PIB (Produto Interno Bruto) Per Capita dos municípios do SAB com o dos seus respectivos Estados, revela que em todas as parcelas estaduais de semiárido o PIB Per Capita é menor que o PIB Per Capita da UF, mesmo nos estados em que quase a totalidade dos municípios faz parte do Semiárido.

Sendo assim, os dados reforçam assim a observação de que os números dos municípios do Semiárido impactam “negativamente” nas médias estaduais, evidenciando que uma maior atenção à região tem potencial de melhorar indicadores locais e outros mais amplos, com especial atenção a políticas que permitam um desenvolvimento socialmente equilibrado, minorando as desigualdades (Caiçara *et al.*, 2022). Por outro lado, a cadeia produtiva da agricultura familiar é responsável por cerca de 10% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, apresentando relevância econômica nacional, (Guilhoto, 2007).

Por apresentar insuficiência hídrica e chuvas mal distribuídas, a população do Semiárido foi levada a desenvolver e adotar tecnologias sociais de convivência com o Semiárido relacionado ao manejo da água e do solo dentro da unidade de produção, destacando-se os cultivos agroecológicos geradores de novos referenciais de convivência, que de acordo com Brasileiro (2009) é o tipo de agricultura base da adaptação do sertanejo.

Outros métodos de convivência com o Semiárido foram amparados através de políticas de reforçadas pelo Governo Federal, como o programa para captação e armazenamento de água das chuvas, representado pela introdução das cisternas para consumo humano e fornecimento de água para produção de alimentos, por meio do programa Água para Todos, instituído pelo Decreto nº 7.535, de 26 de julho de 2011 que apresenta consonância com as diretrizes e objetivos do Plano Brasil sem Miséria (BSM, criado pelo Decreto nº 7.492, de 2 de junho de 2011) (BRASIL, 2011), que o precedeu.

Outro exemplo são as cisternas de placa, que consistem em uma tecnologia social de captação de água de chuva, por seu baixo custo e alto valor técnico, cultural e ambiental, o que representa uma solução destinada a garantir água de qualidade para a população rural (Ventura *et al.*, 2013). Assim, tanto as políticas criadas pelos programas governamentais como as metodologias criadas e adotadas pelos próprios habitantes da região consistem em buscar e assegurar o direito à água e à soberania alimentar para as comunidades rurais das regiões semiáridas do Brasil.

## 3.2 Classes de Solos do Semiárido brasileiro

A diversidade de composições e morfologias dos solos do Semiárido brasileiro é imensa, são solos rasos e pouco profundos (de 50 cm a 100 cm), geralmente pedregosos que contrastam com solos mais profundos e desenvolvidos, geralmente argilosos e com elevada reserva de nutrientes, ou ainda, solos arenosos e com baixa fertilidade, além de solos endurecidos em profundidades maiores e com baixa capacidade de drenagem (INSA, 2023).

Para Pereira & Neto (2014), com raras exceções, os solos do Semiárido brasileiro são pouco desenvolvidos, rasos, de textura média a arenosa, com média a alta fertilidade natural, apresentando limitações ao uso como a deficiência de água e a suscetibilidade à erosão, pedregosidade, rochosidade, salinidade, alcalinidade e drenagem e por muito tempo, foram considerados inviáveis para agricultura, o que impossibilitou a exploração econômica dessas áreas.

A geologia no ambiente Semiárido é bastante variável, porém com predomínio de rochas cristalinas, seguidas de áreas sedimentares. Em menor proporção, encontram-se áreas de cristalino com cobertura pouco espessa de sedimentos arenosos ou arenoargilosos (Cunha *et al.*, 2010), sendo esse um dos fatores de formação dão origem a grande diversidade de solos na região semiárida brasileira.

Além da diversidade de material de origem, os diferentes tipos de relevo que variam de plano a forte ondulado e a intensidade de aridez do clima e a atuação dos microrganismos ao passar do tempo deram origem a ocorrência de diversas classes de solo, os quais se apresentam em grandes extensões de solos jovens e, também, solos evoluídos e profundos. Para Salcedo & Sampaio (2008), embora estejam espacialmente fracionadas, quatro ordens de solo (Latossolos - 19%; Neossolos Litólicos - 19%, Argissolos - 15% e Luvisolos – 13%) (Figura 2), de um total de 15 tipos de solo, ocupam 66% das áreas do Semiárido brasileiro sob vegetação de caatinga, as quais apresentam diferentes feições morfológicas e posições na paisagem.

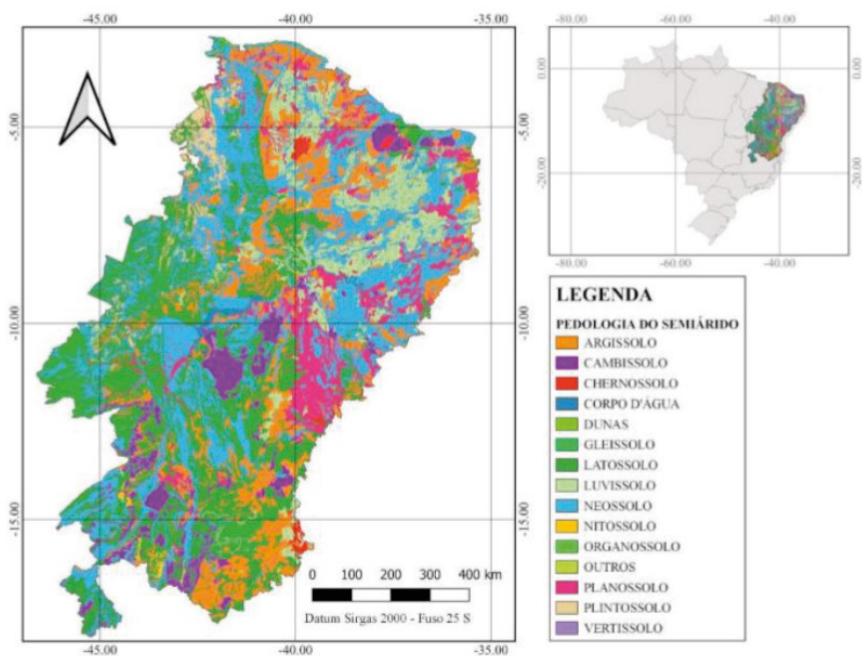


Figura 2 – Mapa pedológico do Semiárido brasileiro

Fonte: Holanda, 2021.

Quanto aos Latossolos (Figura 3-A), tratam-se de solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo, apresentam-se visualmente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo e variam de fortemente a bem drenados, embora ocorram solos que têm cores pálidas, de drenagem moderada ou até mesmo imperfeitamente drenada, o que é indicativo de formação em condições atuais ou pretéritas com um certo grau de gleização, de modo geral, são normalmente muito profundos, sendo a espessura do solum raramente inferior a 1 m (Santos, 2018).

A segunda classe de solo mais abundante na região semiárida brasileira são os Neossolos, especialmente os denominados na subordem litólicos. Tratam de solos minerais ou por material orgânico pouco espesso que não apresenta alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem (como maior resistência ao intemperismo ou composição químico-mineralógica), seja em razão da influência dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos (Santos, 2018).

Na Figura 3-B, observa-se o solo formado sob a rocha devido a lixiviação de partículas das partes mais altas, que em associação com a vegetação presente deu origem a uma camada escura, porém, pobre em matéria orgânica.

Em sua descrição no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, Santos (2018), descreve que os Argissolos (Figura 3-C) são solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico e, uma das suas principais características é um evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, com ou sem decréscimo nos horizontes subjacentes, com transição entre os horizontes A e Bt usualmente clara, abrupta ou gradual.

Os Argissolos são de profundidade variável, apresentam alta susceptibilidade a erosão, dessa forma, faz-se necessário a manutenção de cobertura do solo para controle dos agentes erosivos. Além disso, apresentam alta fertilidade, serosidade e porosidade, o que contribui para o desenvolvimento de culturas agrícolas.

Quanto aos Luvisolos (Figura 3-D), compreendem os solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural com argila de atividade alta e saturação por bases alta, imediatamente abaixo de horizonte A ou horizonte E. Estes solos variam de bem a imperfeitamente drenados, sendo normalmente pouco profundos, com sequência de horizontes A, Bt e C e nítida diferenciação entre os horizontes A e Bt devido ao contraste de textura, cor e/ou estrutura entre eles (Santos, 2018).

A = LATOSSOLO VERMELHO AMARELO; B = NEOSSOLO LITÓLICO; C = ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO; D = LUVISSOLO BRUNO NÃO CÁLCICO.

Figura 3 – Principais classes de solos encontrados no Semiárido brasileiro.

Fonte: Autor, 2018.

Os Luvisolos também apresentam transição para o horizonte B textural de forma nítida ou abrupta, embora grande parte dos solos desta classe possui mudança textural abrupta, podendo ou não apresentar pedregosidade na parte superficial e caráter solódico ou sódico na parte subsuperficial (Santos, 2018), além de ser um solo susceptível a compactação e com alta susceptibilidade a compactação, sendo assim, recomenda-se o uso de pastagens e a rotação de pastos para evitar compactação e perdas de solo por erosão e posterior assoreamento dos corpos hídricos.

Conjuntamente, cabe destacar que, além dos solos descritos anteriormente, outras ordens de solos ocorrem na região semiárida brasileira mas de forma muito localizada, de modo que não podem ser representados cartograficamente em escala muito pequena.

### 3.3 Uso e Manejo do Solo no Semiárido brasileiro

A exploração desordenada dos recursos naturais no semiárido brasileiro tem causado problemas ambientais cada vez maiores, frequentes e irreversíveis, a exemplo, o manejo incorreto do solo que pode agravar os processos de erosão e conseqüentemente a formação de áreas em processos de desertificação. Esse tipo de situação leva a perda da capacidade produtiva dos solos, a contaminação dos recursos hídricos, o assoreamento dos mananciais, ocasionando à perda tanto da qualidade da água como a sua indisponibilidade e a diminuição da produção agropecuária, de forma a comprometer a economia global e a qualidade de vida da população (Torres *et al.*, 2007).

Segundo alguns autores, a degradação dos recursos naturais nessas regiões é considerada resultantes da combinação entre o manejo da agricultura e as características do ambiente (Corrêa *et al.*, 2010; Ursulino & Moreno, 2014), que acarretam e aceleram, em conjunto, o desenvolvimento de processos de degradação física e química. Para Arcoverde *et al.* (2018), esses processos são resultantes, principalmente, do emprego de sistemas de irrigação (sulcos e inundação) de baixa eficiência, da utilização demasiada de fertilizantes químicos, e, em muitos casos, condições de drenagem natural desfavorável. Esses fatores, somados à elevada demanda evapotranspirativa e o baixo índice pluviométrico (Corrêa *et al.*, 2010), tornam o processo de salinização dessas áreas mais rápido, o que reflete de forma negativa os atributos físicos e químicos do solo dessas áreas.

Os usos e manejo do solo, sobretudo, os sistemas tradicionais de preparo intensivo, alteram os atributos físicos, e também os teores de matéria orgânica, os quais são os mais sensíveis às modificações (Queiroz *et al.*, 2019). Quando aplicado um questionário no Assentamento Rural de Reforma Agrária Irapuá de Cima, localizado a 38 km do município de Crateús, Ceará, Carvalho *et al.* (2017) verificaram que analisando a aptidão agrícola das terras do assentamento, foi dado destaque às possibilidades de uso da terra com lavouras, pastagem (plantada ou nativa) e silvicultura.

Em pesquisa realizada por Queiroz *et al.* (2019), no Projeto de Assentamento Terra da Esperança, situado no município de Governador Dix-Sept Rosado, no estado do Rio Grande do Norte, inserido na mesorregião Oeste Potiguar, microrregião da Chapada do Apodi e na região semiárida do Brasil, ao observarem áreas sob produção agroecológica, sistema de produção convencional e áreas de mata nativa, verificaram que as áreas de mata nativa e sob uso agroecológicos tenderam a apresentar melhor qualidade estrutural, em função dos maiores teores de carbono orgânico total que atuam na formação dos agregados e conseqüente armazenamento de água no interior dos mesmos, como também, a ausência de preparo intensivo do solo.

Outra alternativa utilizada nas regiões semiáridas pelos agricultores é a implantação de sistemas agroflorestais, também conhecidos como SAFs, que são caracterizados principalmente pela combinação de espécies florestais com cultivos agrícolas e adicionados ou não às atividades pecuárias (Lima *et al.*, 2010), e podem funcionar como reguladores da manutenção da qualidade ambiental dos agroecossistemas.



Segundo Iwata *et al.* (2020), na região semiárida os SAFs podem ser considerados uma excelente alternativa, visto que ainda há nessa região fragilidade dos solos quanto ao uso e manejo, historicamente intensivos e baseados no uso do fogo e marcados pela perda de nutrientes do solo, podendo ser potencializados pela combinação de práticas já adotadas na região, como o uso de resíduos orgânicos.

No geral, a manutenção e/ou aumento da matéria orgânica do solo em áreas sob cultivo constitui um grande desafio para a sustentabilidade e qualidade dos solos devido ao efeito positivo da matéria orgânica na melhoria física (Silva *et al.*, 2015), química (Bilibio *et al.*, 2010) e biológica dos mesmos. Neste caso, a matéria orgânica atua como fonte de armazenamento de água no solo e fonte de energia para o crescimento microbiano, favorecendo com isso, a recuperação do equilíbrio biológico do solo e de sua qualidade (Silva *et al.*, 2015).

Nesse contexto, o aumento de matéria orgânica proporcionado por diferentes sistemas de manejo e uso do solo, tais como as espécies florestais ou gramíneas podem contribuir para implementação de matéria orgânica ao longo do perfil do solo e, conseqüentemente, aumento do armazenamento de água no solo, contribuindo com o aumento da qualidade dos mesmos. Além disso, Iwata *et al.* (2020), relatam que fontes de matéria orgânica como o esterco animal pode ser usado visando fornecimento de nutrientes, bem como a bagana de carnaúba que visa a cobertura do solo e contribui para retenção de água, fundamental para a região, considerando principalmente os períodos longos de déficit hídrico da região em estudo.

### 3.4 Ciclo hidrológico

A água é um recurso natural mais abundante no planeta terra, sendo um recurso essencial para todas as formas de vida, sendo fornecido pela própria natureza através do ciclo hidrológico, ou seja, é um recurso natural de valor inestimável. Mais que um insumo indispensável à produção, ela é vital para a manutenção dos ciclos biológicos, geológicos e químicos, que mantêm em equilíbrio os ecossistemas (Bezerra *et al.*, 2019).

Uma das principais características desse recurso natural é a sua instabilidade e mobilidade, podendo ser encontrada nas formas sólida, nas regiões glaciais do planeta, na forma gasosa presente na atmosfera e transportado por correntes de ar, e por último, na forma líquida, localizada em oceanos, rios, lagos, tanques, represas artificiais e águas subterrâneas. Todos os componentes sólidos, líquidos e gasosos são parte do ciclo dinâmico da água, ciclo este, perpétuo. A fase mais importante deste ciclo para o homem é justamente a fase líquida, em que ela está disponível para pronta utilização (Tundisi, 2003).

No processo hidrológico, a precipitação é a principal forma de entrada, enquanto a evapotranspiração, o escoamento superficial, o escoamento subsuperficial e percolação estão como as principais formas de saída de água do ciclo (Anache, 2017), podendo afetar o armazenamento de água no solo ao longo do tempo, reduzindo seriamente a produção de culturas irrigadas e dos ecossistemas dependentes das águas subterrâneas.

A evapotranspiração é compreendida como a conversão da água do estado líquido para o estado gasoso, mediante o consumo da energia retida como calor latente, que é liberada durante o processo de condensação. Assim, a energia internada é empregada para a movimentação do ar, permanecendo como um dos componentes energéticos responsáveis pelo alimentador e fortalecimento dos sistemas convectivos.

Segundo Cavalcanti & Mariano (2016), o ciclo hidrológico começa com a evaporação da água da superfície dos oceanos e continentes, juntamente a transpiração da flora e fauna. O vapor resultante é movido pela circulação atmosférica e, sob certas condições, é condensado, formando nuvens que, posteriormente, originaram precipitação. A chuva que ocorre sobre a Terra é distribuída de várias maneiras. Grande parte fica retida temporariamente no solo próximo à queda e eventualmente retorna à atmosfera na forma de vapor através da evapotranspiração. Outra porção da água escoar sobre a superfície do solo, ou através do solo para os rios, enquanto outra parte, penetrando profundamente no solo, suprindo o lençol d'água subterrâneo (Figura 4).

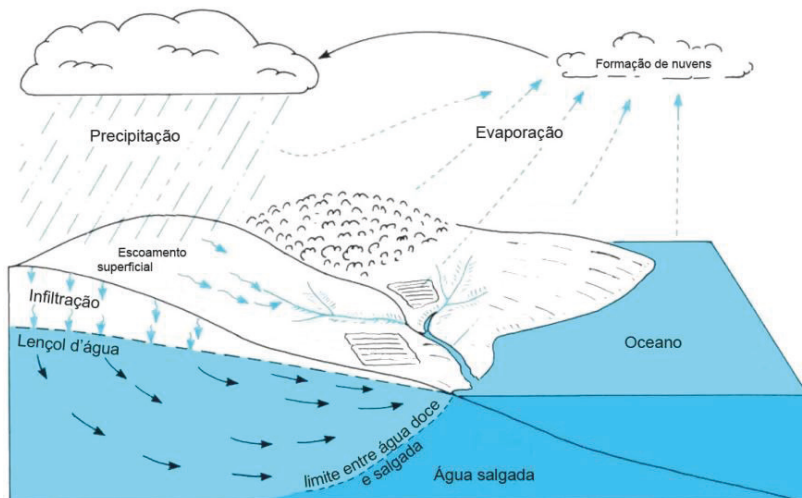


Figura 4 – Ciclo Hidrológico

Fonte: Adaptado de Heath, 2016.

O deslocamento de água na atmosfera é um elemento crucial do ciclo hidrológico, visto que é por meio deste processo que uma grande quantidade de água é transportada, na forma de vapor, de uma localidade para outra. Os oceanos e grandes reservatórios d'água, principais fontes de vapor d'água na superfície da Terra, suprem a atmosfera mediante o processo de evaporação. Os continentes também são afetados por este processo, reduzindo a umidade do solo, até que a precipitação venha repô-la (Cavalcanti & Mariano, 2016), contribuindo para reduzir seriamente a produção de culturas irrigadas e afetar adversamente os ecossistemas dependentes das águas subterrâneas (HU *et al.*, 2019).

### 3.5 Abastecimento do lençol freático

No semiárido brasileiro, grande parte da população enfrenta dificuldades associadas ao fornecimento de água potável, fato que está diretamente associado as altas temperaturas e os baixos níveis de chuvas, afetando de forma evidente o abastecimento humano e a produção agropecuária da região. Porém, sabe-se que o desenvolvimento das atividades humanas numa região, normalmente reduz a cobertura vegetal nativa, substituindo-a por áreas impermeáveis ou sem proteção, provocando alterações diretas no ciclo hidrológico.

A ação antrópica, como o desmatamento desordenado para a implantação de áreas agricultáveis associada a falta de uso de tecnologias adequadas à conservação do solo, ocasiona sua compactação, assim diminuindo as taxas de infiltração de água, acelerando o escoamento superficial, ocasionando problemas como a erosão, assoreamentos, enchentes, diminuição da disponibilidade das águas superficiais e o rebaixamento do nível do lençol freático (Igam, 2014; Machado *et al.*, 2022).

Segundo Vendruscolo *et al.* (2020), adotar práticas de manejo conservacionistas do solo nas áreas ocupadas com atividades agropecuárias, é uma alternativa para mitigar possíveis problemas com escoamento superficial em períodos de chuva, além de contaminação da água e diminuição do abastecimento do lençol freático. Uma vez que, as modificações na vegetação impactam as características do solo, o que se reflete nas propriedades da água dos rios. Em outras palavras, a existência ou falta de vegetação pode afetar o ciclo hidrológico e as propriedades da água, compreendendo um papel crucial na sustentabilidade ambiental.

As vantagens de se ter uma vegetação preservada são inúmeras, pois reduzem a erosão e o assoreamento e amenizam as enchentes. Ao colher a água da chuva, elas proporcionam condições para que a água nelas represada se infiltre no solo, atingindo o lençol freático. Depois que a água se infiltra por completo, o lençol freático tem seu volume aumentado, favorecendo inclusive o solo ao seu redor, aumentando a produtividade e melhorando a sua fertilidade umedecendo as baixadas, proporcionando uma agropecuária segura e saudável com alimentos de qualidade, além de gerar emprego e renda (Barros & Ribeiro, 2009).

Algumas alternativas de convivência com o semiárido são fundamentais para manutenção do lençol freático nessas áreas, como por exemplo os plantios agroecológicos ou plantio direto, onde garantem revolvimento mínimo do solo; o sistema de integração lavoura pecuária – ILP, onde ocorre a ciclagem de nutrientes através da decomposição do material orgânico depositado; bem como as barragens subterrâneas, que atuam diretamente na manutenção do lençol freático. De acordo com Ximenes *et al.*, (2019) essas tecnologias visam ao maior aproveitamento da água de chuva, de forma a promover o uso eficiente e a manutenção da quantidade e qualidade dos recursos hídricos, além de possibilitar o acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente para nutrir e manter a saúde das famílias da região.

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A discussão sobre a adequação do uso e ocupação do solo para abastecimento do lençol freático na região semiárida brasileira engloba diversas outras análises que não foram completamente abordadas nessa revisão. Entretanto, com base no que foi apresentado, é evidente que o semiárido brasileiro não deve ser considerado simplesmente uma região problemática do Brasil ou limitada a uma área visivelmente seca.

Além disso, diante deste extenso território da região semiárida brasileira, é possível observar exemplos notáveis de desenvolvimento que estão baseados em princípios que antes eram impensáveis, dentre esses exemplos, destacam-se a adoção de diferentes tipos de manejo da agricultura, tecnologia de armazenamento de água, como as barragens subterrâneas, e outros botões que favorecem a convivência com o semiárido. Esse fato representa uma mudança de paradigma e de ideologias acerca da região, sugerindo um futuro onde mais ações, tecnologia e políticas públicas possam ser experimentados e implementados na região para que se avance ainda mais para a convivência com o semiárido.

## REFERÊNCIAS

Anache, J. A. A. **Alterações no ciclo hidrológico devido aos diferentes usos do solo e variações climáticas em áreas de Cerrado**. Tese – Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2017.

Arcoverde, S. N. S.; Cortez, J. W.; Pereira, J. de S. Atributos físicos de solos em áreas sob diferentes usos no semiárido baiano. **Holos**, 5, 65–77, 2018.

Assis, P. C.; Faria, K. M. S.; Bayer, M. Conservation Units and their effectiveness in protecting water resources in the Araguaia River Drainage Basin. **Soc nat**, 2022.

BRASIL. **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil**. MMA/Universidade federal da Paraíba. Brasília: MMA, 2007.

Bezerra, V. R.; Lima, C. A. P.; Melo, V.; Albuquerque, M. V.; Montero, L. R. R. Reutilização de rejeito de dessalinizadores na Paraíba. **Mix Sustentável**, 5(1),105- 116, 2019.

Bilibio, W. D.; Corrêa, G. F.; Borges, E. N. Atributos físicos e químicos de um Latossolo, sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras,v. 34, p. 817-822, 2010.

Carvalho, A. E. M.; Lima, L. A.; Oliveira, L. S.; Costa, M. C. G. Diagnóstico do uso e conservação do solo em região de reforma agrária no semiárido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.12, n. 3, p. 568-573, 2017.

Castro, F. C.; Santos, A. M. Salinidade do solo e risco de desertificação na região semiárida. **Mercator**, Fortaleza, 2020.

Cavalcanti, E. P.; Mariano, E. B. Tendência do Vapor D'Água na Atmosfera Mediante Dados do NCEP/NCAR. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 564–569, 2016.

Corrêa, R. M.; Freire, M. B. G.; Ferreira, R. L. C.; Silva, J. A. A.; Pessoa, L. G. M.; Miranda, M. A.; Melo, D. V. M. Atributos físicos de solos sob diferentes usos com irrigação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 358-365, 2010.

Heath, Ralph C., Public domain, via Wikimedia Commons, 2016.

Hu, B.; Teng, Y.; Zhang, Y.; Zhu, C. Revisão: O ciclo hidrológico projetado sob o cenário de 936 ppm CO<sub>2</sub> em 2100. **Hydrogeol J**, v. 27, p. 31–53, 2019.

Iwata, B. de F.; Costa, M. C. G.; Leite, L. F. C.; Nascimento, B. L. M.; Almeida, K. S.; Barbosa, D. L. S.; Júnior, E. L. S.; Brandão, M. L. S. M. Manejo de resíduos em argissolo sob agrofloreza no semiárido cearense. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 20702–20716, 2020.

Machado, P. P.; Contarini, L. C.; Rocha, L. S.; Junior, J. L. L. F.; Milaneze, L. A.; Silva, M. A. P.; Martins, L. D. Métodos teórico-práticos de conservação de solo e regulação do escoamento superficial em regiões de transição de altitude. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 8, n. 3, p. 21712–21730, 2022.

Magalhães, R. J. F.; Barbosa, A. R. O valor do serviço de proteção de mananciais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, n. 5, 2019.

Novais, R. P.; Carvalho Júnior, A. P.; Oliveira, M. A. The perennialization of rivers through the construction of dams in the Brazilian northeastern semiarid region. **Geopauta**, v. 6, e. 9401, 2022.

Pérez-Marin, A. D.; Cavalcante, A. M. B.; Medeiros, S. S.; Tinoco, L. B. M.; Salcedo, I. H. Núcleos de desertificação no Semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? **Parceria estratégica**, v.17, n.34, p. 87-106, 2012.

Queiroz, G. C. M.; Silva, F. W. A.; Portela, J. C.; Oliveira, V. N. S.; Santos, M. V. Densidade e resistência do solo à penetração de raízes em agroecossistemas no semiárido brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 4, p. 497-505, 2019.

Silva, G. F.; Santos, D.; Silva, A. P.; Souza, J. M. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 25 – 35, 2015.

Silva, J. L.; Ribeiro, E. M.; Lima, V. M. P.; Heller, L. As secas no Jequitinhonha: demandas, técnicas e custos do abastecimento no semiárido de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 22, 2020.

Silva, T. S. Estrada das águas: a circulação rodoviária de recursos hídricos no Semiárido paraibano. 1<sup>a</sup> ed. Curitiba: **Appis**, 2022.

Souza, M. N. **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Volume II (Org.) Mérida Publishers CC-BY 4.0, 2021.

Torres, J. L. R.; Barreto, A. C.; Paula, J. C. Capacidade de uso das terras como subsídio para o planejamento da microbacia do córrego lanhoso, em Uberaba (MG). *Revista Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 8, n. 24, p. 22-32, dez. 2007

Tundisi, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 55, n. 4, pág. 31-33, 2003.

Ursulino, D. M. A.; Moreno, M. M. T. Avaliação da qualidade de solos através de indicadores físicos e mineralógicos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 2, p. 179-186, 2014.

Vendruscolo, J.; Pacheco, F. M. P.; Ramos, H. F.; Cavalheiro, W. C. S.; Rodrigues, A. A. M.; Rosa, D. M.; Hara, F. A. S.; Nascimento, J. M. S. Hidrogeomorfometria da microbacia alto rio escondido: informações para auxiliar o manejo dos recursos naturais na Amazônia ocidental. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 9709–9730, 2020.

Ximenes, L. F.; Silva, M. S. L.; Brito, L. T. L. **Tecnologias de convivência com o semiárido brasileiro**. Fortaleza, CE: Banco do Nordeste do Brasil, 2019.

# CONTRIBUIÇÕES DA FEIRA DE AGRICULTURA FAMILIAR DO MUNICÍPIO DE INCONFIDENTES, MINAS GERAIS, PARA O OBJETIVO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS) 2 (FOME ZERO E AGRICULTURA SUSTENTÁVEL)

*Data de submissão: 17/02/2025*

*Data de aceite: 05/03/2025*

### **Cássia Roberta Teixeira de Lima**

Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal do Sul de Minas Gerais, Campus Inconfidentes | Inconfidentes, MG, Brasil

### **Juliana Santos Alves de Souza**

Doutoranda em Ciências Ambientais e Conservação da Universidade Federal do Rio de Janeiro | Macaé, RJ, Brasil

**RESUMO:** As feiras se apresentam como um importante local para o escoamento dos produtos produzidos através da agricultura familiar. A Feira da Agricultura Familiar do município de Inconfidentes, Minas Gerais, é objeto de estudo do trabalho, que busca verificar a contribuição desta para o alcance da Agenda 2030, especificamente o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável). O trabalho traz um panorama histórico das Políticas voltadas para a Segurança Alimentar e Nutricional (SAN) já implementadas no Brasil, uma abordagem da agricultura familiar no país, e a correlação das feiras de agricultura familiar já existentes com as metas contidas no ODS 2. Para a realização do estudo de caso da FEIRIN (Feira da Agricultura Familiar

de Inconfidentes), foram realizadas visitas semanais, participação em reuniões com os agricultores e obtenção de informações através da Prefeitura Municipal, que permitiram a constatação da contribuição da FEIRIN para a renda e autonomia dos agricultores. A contribuição direta para a SAN dos moradores do município é notória, visto que a feira dispõe de produtos saudáveis e seguros. A elaboração de um projeto que trate da aquisição facilitada de produtos por famílias em situação de vulnerabilidade social pode contribuir para a meta 2.1 do ODS, sendo um campo a ser aprimorado para a FEIRIN. Logo, as feiras da agricultura familiar são imprescindíveis para o alcance da Agenda 2030.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura familiar, Feiras, ODS 2.

## CONTRIBUTIONS OF THE FAMILY AGRICULTURE FAIR OF THE MUNICIPALITY OF INCONFIDENTES, MINAS GERAIS, TO THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOAL (SDG) 2 (ZERO HUNGER AND SUSTAINABLE AGRICULTURE)

**ABSTRACT:** Fairs are an important place for the sale of products produced through family agriculture. The Family Agriculture Fair in the municipality of Inconfidentes, Minas Gerais, is the object of study, which seeks to verify its contribution to achieving the 2030 Agenda, specifically SDG 2 (the fight against hunger and sustainable agriculture). The work provides a historical overview of Policies aimed at Food Security and Nutritional already implemented in Brazil, an approach to family agriculture in the country, and the correlation of existing family agriculture fairs with the goals contained in SDG 2. For carrying out the FEIRIN (Feira da Agricultura Familiar de Inconfidentes) case study, weekly visits were carried out, participation in meetings with farmers, and information was obtained from the Municipal Government, which allowed the verification of FEIRIN's contribution to farmers' income and autonomy. The direct contribution to Food Security and Nutritiona from the city's residents is notable, as the fair offers healthy and safe products. The development of a project that deals with the facilitated acquisition of products by families in situations of social vulnerability can contribute to goal 2.1 of the SDG, being an area to be improved for FEIRIN. Therefore, family agriculture fairs are essential for achieving the 2030 Agenda.

**KEYWORDS:** Family agriculture, Fairs, SDG 2.

### INTRODUÇÃO

Após a Segunda Guerra Mundial, a agricultura passou por mudanças significativas conhecidas como “Revolução Verde”, que buscavam modernizar as práticas agrícolas para aumentar a produção de alimentos e erradicar a fome mundial. Isso incluiu a introdução de tecnologias de mecanização, o uso de insumos químicos e Organismos Geneticamente Modificados (OGMs) (Albergoni; Pelaez, 2007).

Entre 1961 a 1999, a produção agrícola global alcançou um aumento de 106%, acompanhado de altas taxas de superfície irrigada (97%), uso de fertilizantes nitrogenados (638%) e fosfatados (203%) e, fabricação de agrotóxicos (854%) (Green *et al.*, 2005).

Além disso, o crescimento obtido na agricultura não ocasionou a resolução efetiva da fome mundial, destacando o viés ideológico da Revolução Verde (aumento da produtividade por meio da mecanização) e a influência geopolítica dos Estados Unidos (Andrades; Ganimi, 2007).

Dados apresentados pela organização não governamental *Welhungerlife*, através do estudo denominado Índice Global da Fome, constataram um crescimento de 17 milhões de indivíduos em situação de fome em apenas um ano (Von Grebmer, 2022).

Segundo a Classificação Integrada de Fases de Segurança Alimentar (IPC, 2021), a fome é oficialmente declarada quando mais de 20% dos habitantes de uma região enfrentam extrema escassez de alimentos, resultando em mais de dois óbitos por dia a cada 10.000 pessoas, e quando a desnutrição aguda afeta mais de 30% da população.

Os dados do II Inquérito Nacional sobre Insegurança Alimentar no Contexto da Pandemia da Covid-19 no Brasil, revelaram um acréscimo de 14 milhões de pessoas em condição de insegurança alimentar em um intervalo de 12 meses (REDE PENSSAN, 2022).

A propagação da Covid-19 interrompeu cadeias produtivas e de comercialização de pequenos agricultores, agravando a situação de grupos vulneráveis, segundo Ribeiro *et al.* (2020). Isso comprometeu o acesso aos alimentos e a renda disponível para adquiri-los.

Em 2021, aproximadamente 2,3 bilhões de pessoas sofreram de insegurança alimentar moderada ou grave, representando quase 30% da população global (FAO *et al.*, 2022). Como principais causas para a ocorrência dessa lastimável realidade, podem ser mencionadas as crises econômicas, temperaturas extremas no clima, distribuição desigual e os conflitos (*ibid.*).

Quando se pondera acerca da carência de alimentos à população, existe uma correlação com sua indisponibilidade, entretanto, ao se aprofundar na temática, torna-se evidente que a fome global resulta da falta de possibilidades de acesso (através da compra ou cultivo), e não da escassez propriamente dita (Helene; Marcondes; Nunes, 1994).

Para mitigar os impactos decorrentes da disparidade de produtividade e da oferta dos alimentos, as feiras se apresentam como um canal crucial de comercialização para a agricultura familiar. Para mais, constituem uma complexa rede de relações que possibilita trocas, tanto materiais, quanto imateriais (sociais, históricas e culturais) em espaços públicos (Pereira; Brito; Pereira, 2017).

Segundo a epistemologia global, as feiras são eventos econômicos, educacionais e socioculturais antigos, presentes na cultura asteca e reconhecidos pelos gregos e romanos, ganhando destaque com a ocorrência da revolução comercial do século XI, onde se tornaram importantes locais de encontros das classes populares (Japiassu, 1992).

No Brasil, há registros da existência de feiras desde os tempos de colonização e, apesar do avanço da modernidade, esses espaços persistiram por muito tempo, sendo, em muitas cidades do interior do país, o único ponto de comércio para os habitantes (Forman, 2009).

A Segurança Alimentar é uma preocupação global que mobiliza campanhas, programas e políticas públicas. A Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas estabelece 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODSs), cada um com metas que visam a erradicação da pobreza e promoção de uma vida digna até o ano 2030.

Por meio da pesquisa, espera-se esclarecer a contribuição das feiras da agricultura familiar no alcance da Agenda 2030. Logo, o objetivo do trabalho é elaborar um panorama das políticas e programas de segurança alimentar no país e verificar a contribuição das feiras de agricultura familiar para o ODS 2, no que concerne à segurança alimentar e à renda dos pequenos produtores.



Além disso, por meio de um estudo de caso, o trabalho ilustra essa contribuição a partir da realidade da Feira de Agricultura Familiar do município de Inconfidentes, localizado no Sul de Minas Gerais.

O artigo é motivado pela experiência acadêmica e profissional com a temática, através da atuação na Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Inconfidentes, que permitiu maior proximidade com o projeto, incluindo a contribuição para o planejamento da feira. Além disso, a Feira de Agricultura Familiar no município, por ser um projeto recente, ainda não foi objeto de estudo detalhado.

## PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Como processo metodológico, adotou-se a pesquisa bibliográfica de modo a obter dados sobre as principais políticas brasileiras referentes à segurança alimentar, ao ODS 2 e às feiras de agricultura familiar, bem como o estudo de caso da Feira de Agricultura Familiar do município de Inconfidentes (FEIRIN), Minas Gerais.

O estudo de caso foi constituído por dados obtidos através de visitas à Feira, realizadas semanalmente, presença em reuniões com os agricultores e a obtenção de informações pela Prefeitura Municipal, de forma a verificar a contribuição da FEIRIN para a segurança alimentar e a renda dos agricultores.

Durante o período de seis semanas consecutivas, compreendidas entre os meses de fevereiro e março de 2024, foram realizadas visitas à feira para identificação dos produtos comercializados pelos produtores, realizando uma observação participante do evento.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Políticas e programas de segurança alimentar no Brasil

O desequilíbrio humano relacionado ao meio ambiente, a hostilidade do ambiente e a exploração massiva dos recursos naturais pelos colonizadores são os principais fatores da fome no país, intensificando esses conflitos através do ciclo de atividades econômicas destrutivas, como a exploração do pau-brasil e da cana-de-açúcar (Castro, 1984).

O surgimento da fome no Brasil durante a era colonial foi impulsionado pelo domínio do mercado exportador de matérias-primas e pela concentração de riqueza, em que a população mais pobre, privada da diversidade alimentar trazida pelos colonos portugueses, foi forçada a cultivar apenas cana-de-açúcar em detrimento da policultura (Castro, 1984; Sá; Silva, 2006 *apud* Prazeres, 2005).

Emitido em 1917, o Decreto nº 13.069 representou uma das primeiras iniciativas de abastecimento alimentar adotadas durante a República Velha. Apesar de sua redação, o objetivo não era suprir as carências alimentares da população, mas sim garantir o funcionamento eficaz do sistema produtivo diante das greves e saques frequentes aos armazéns ocorridos naquele período (Castells, 1977).

Segundo Silva (2014) no final de 1930, a assistência alimentar às comunidades mais carentes emergiu como um componente significativo das políticas públicas brasileiras, integrando-se estrategicamente ao poder do Estado Novo, liderado pelo presidente Getúlio Vargas.

O Serviço de Alimentação da Previdência Social (SAPS) foi criado, estabelecendo restaurantes populares com projetos culturais, como bibliotecas e discotecas populares. Adicionalmente, foram implementados cursos de nutrólogos e visitadoras alimentares para educar nutricionalmente as camadas menos favorecidas (Evangelista, 2010).

Em 1942, foi estabelecida a Coordenação da Mobilização Econômica (CME), a qual incorporava um Serviço Técnico de Alimentação Nacional (STAN). Essa iniciativa tinha como finalidade a orientação da produção agrícola e industrial de alimentos, promovendo a racionalização produtiva da agropecuária e da comercialização. Além disso, o serviço prestava suporte técnico à indústria através de um laboratório especializado em tecnologia de alimentos (Silva, 1995).

No ano de 1945, a Comissão Nacional de Alimentação (CNA) foi criada objetivando a definição da política nacional de alimentação, com funções que incluíam estudar a situação de nutrição e os hábitos alimentares da população, acompanhar e incentivar pesquisas relacionadas às questões alimentares, entre outras (*ibid.*).

Em 1954, foi iniciado o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), após a criação da Campanha de Merenda Escolar, ocasionando a descentralização das compras e permitindo a aquisição de produtos adequados, reduzindo tempo de entrega, melhorando a qualidade e promovendo o comércio local, incluindo produtos provenientes da agricultura familiar (Campos *et al.*, 2013).

Já em 1972, a CNA foi extinta e surge o Instituto Nacional de Nutrição (INAN) com a finalidade de elaborar e implementar a Política Nacional de Alimentação e Nutrição (PRONAN), visando garantir a qualidade dos alimentos consumidos no país. Além disso, essa Política visava disseminar práticas saudáveis para prevenir e controlar distúrbios nutricionais, promovendo o acesso universal aos alimentos (Arruda; Arruda, 2007).

Haack *et al.* (2018) destaca que, mesmo com prejuízos associados à questões administrativas em sua primeira fase, o PRONAN proporcionou um modelo de “suplementação alimentar, amparo ao pequeno produtor rural, combate às carências específicas, alimentação do trabalhador e apoio à realização de pesquisas e capacitação de recursos humanos” (Silva, 1995, p. 90).

O PRONAN II, em sua segunda fase (1976-1979), representou uma mudança política e administrativa inovadora ao caracterizar a desnutrição como uma doença social (Arruda; Arruda, 2007).

Outro programa importante foi o Programa de Alimentação do Trabalhador (PAT), instituído pela Lei nº 6.321/1976, que buscava melhores condições nutricionais para trabalhadores de baixa renda, para proporcionar aumento na qualidade de vida, redução de acidentes ocupacionais, aumento da capacidade produtiva e prevenção doenças profissionais (Savio *et al.*, 2005).

Em 1990, foi estabelecido o Sistema Nacional de Vigilância Alimentar e Nutricional (SISVAN) com o objetivo de coletar, descrever e analisar informações sobre problemas relacionados à alimentação e nutrição. Esse sistema foi desenvolvido para identificar a distribuição geográfica e tendências de grupos sociais em curto e longo prazo. O objetivo principal era subsidiar políticas e medidas preventivas e corretivas relacionadas às questões alimentares e nutricionais, conforme indicado por Pessanha (2002).

No ano de 1995, ao iniciar seu mandato, o presidente Fernando Henrique Cardoso implementou o Programa Comunidade Solidária, objetivando a introdução de políticas emergenciais para combater a fome e a miséria, além da redução de disparidades regionais e sociais (Peres, 2006).

Leão e Castro (2007) destacam que, em 1998, em um contexto de estabilidade econômica, os técnicos do Ministério da Saúde deram início a um processo democrático de consulta e discussão para formular uma nova política alimentar e nutricional. O envolvimento ativo da sociedade civil, organizações, instituições acadêmicas, setor produtivo de alimentos, órgãos governamentais e comunidade internacional resultou na aprovação da Política Nacional de Alimentação e Nutrição (PNAN), em 1999, marcando o início de um novo ciclo de gestão governamental na área, com um discurso mais coerente e relevante para a problemática da transição nutricional.

Já em 2000, o governo implementou programas que transferiram renda de maneira direta para apoio à população carente. Inspirada na experiência do Programa Bolsa Escola, a área técnica alimentar e nutricional propõe o Programa Bolsa Alimentação, destinado a atender crianças com idade inferior a seis anos, gestantes e nutrízes de baixa renda. Assim, em 2001, a questão passa a ocupar espaço na agenda do Brasil, através da recomendação de uma política de SAN, conhecida como Projeto Fome Zero (Maluf; Menezes; Valente, 1996).

Macedo *et al.* (2009) afirma que, no ano de 2003, Lula assumiu a presidência do Brasil com o compromisso de dar prioridade à SAN, lançando o Projeto Fome Zero. Essa iniciativa visava garantir o acesso à alimentação para indivíduos com dificuldades de acesso a alimentos, promovendo a inclusão social e a cidadania. O projeto atuava em quatro frentes principais: tornar os alimentos acessíveis, fortalecer a agricultura familiar, gerar renda e promover a articulação, mobilização e controle social.

Em 2004, após a estabilização macroeconômica de 1994, a Lei nº 10.836 instituiu o Programa Bolsa Família, unificando programas sociais desenvolvidos nos anos 1990. Com três eixos e objetivos correspondentes, o programa visa transferir renda para famílias com vulnerabilidade social. Essa iniciativa foi uma dinâmica de unificação de programas sociais desde 2001, incluindo o Bolsa Escola, PNAA, Bolsa Alimentação, Auxílio Gás e Cadastro Único (Pier, 2015).

Como aponta Burlandy (2009), desde então, fortalecer o debate acerca da SAN tornou-se uma prioridade na agenda política. Isso se manifestou inicialmente com a reabertura do Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional, seguida pela instituição da Lei Orgânica de Segurança Alimentar e Nutricional (LOSAN) em 2006, que estabeleceu o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (SISAN).

A promulgação da LOSAN viabilizou a instauração do SISAN, abrindo caminho para uma extensa discussão desta temática. A partir daí, o desafio apresentado ao governo e à sociedade é a elaboração efetiva do SISAN, buscando estabelecer uma rede capaz de assegurar o seu objetivo (Macedo *et al.* 2009).

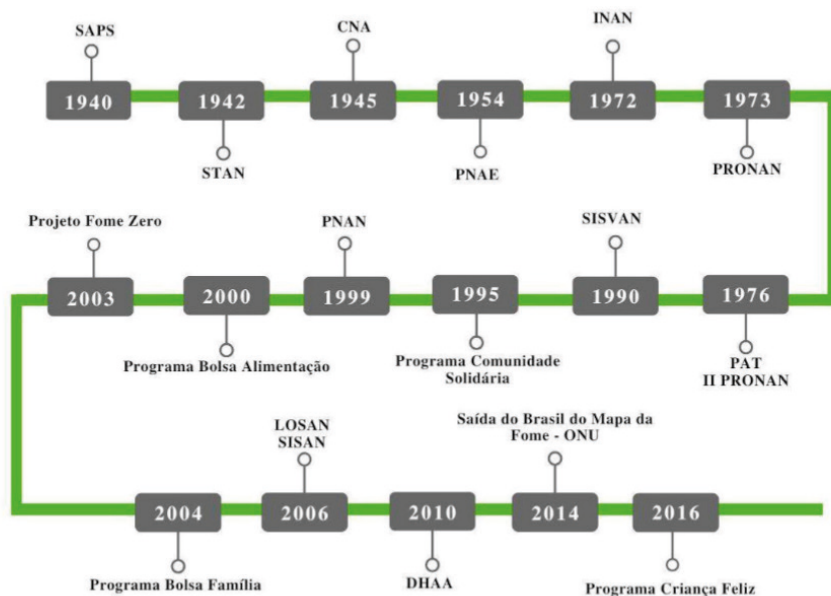
Em 2010, o Direito Humano à Alimentação Adequada (DHAA) deu-se como assegurado em meio aos direitos sociais da Constituição através da Emenda Constitucional nº 64 de 2010. Essa expressão teve sua origem no Pacto Internacional dos Direitos Econômicos, Sociais e Culturais (PIDESC), e pode ser descrito da seguinte forma:

O direito à alimentação adequada é um direito humano inerente a todas as pessoas de ter acesso regular, permanente e irrestrito, quer diretamente ou por meio de aquisições financeiras, a alimentos seguros e saudáveis, em quantidade e qualidade adequadas e suficientes, correspondentes às tradições culturais do seu povo e que garantam uma vida livre do medo, digna e plena nas dimensões física e mental, individual e coletiva (Leão, 2013, p. 27).

De acordo com Cruz (2021), em 2014, o Brasil saiu do Mapa da Fome da ONU devido à significativa redução no número de cidadãos em situação de fome, representando menos de 5% da população com baixo consumo calórico. Pela primeira vez, o país deixou o grupo de nações em grave situação de fome e extrema pobreza, sendo reconhecido por suas práticas avançadas em Segurança Alimentar.

No mês de outubro de 2016, foi instituído o Programa Criança Feliz através do Decreto nº 8.869, visando o desenvolvimento integral de crianças na primeira infância, considerando suas famílias e contexto de vida. Sob a coordenação do Ministério do Desenvolvimento Social e Agrário, o programa agrega medidas de várias políticas para erradicar a pobreza, diminuir a vulnerabilidade e combinar acesso à renda com serviços e programas (MDS, 2017).

As políticas de segurança alimentar têm um histórico extenso ao longo dos anos, visando reduzir a fome no país. No entanto, os resultados efetivos só foram observados a partir de 2014, quando o Brasil deixou de fazer parte do grupo de nações com grave situação de fome e pobreza extrema (Figura 1).



**Figura 1-** Linha do tempo com as principais Políticas de Segurança Alimentar e Nutricional no Brasil.

**Fonte:** Autoria própria (2024).

Durante a implementação das políticas mencionadas, a agricultura familiar revelou-se de suma importância na redução do número de pessoas em situação de fome. No entanto, apesar de seu papel crucial, havia uma falta significativa de políticas específicas destinadas a reconhecer e promover os agricultores familiares. Portanto, o próximo tópico discutirá os aspectos da agricultura familiar no país.

## A agricultura familiar no Brasil

Recentemente, o debate sobre a importância da agricultura familiar tem crescido no Brasil, impulsionado por questões como o desenvolvimento sustentável, a criação de empregos, a segurança alimentar e o estímulo ao crescimento local. O aumento de agricultores assentados pela reforma agrária e a implementação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) refletem e promovem essa discussão na sociedade (Guanziroli; Sabato; Buainain, 2020).

A concepção de Agricultura Familiar possui uma grande heterogeneidade, dificultando a constatação de apenas uma definição que seja permanente ao decorrer dos anos. Sua utilização apresenta uma frequência cada vez maior em políticas governamentais, movimentos sociais e na academia, fazendo com que haja novas compreensões (Altafin, 2007).

Para Castro (2023), no meio acadêmico essa unanimidade é mais perceptível, pois existe a discussão das definições conceituais, tratando a temática de forma mais analítica. No âmbito governamental, o conceito de agricultor familiar assume uma dimensão operacional, considerando a necessidade de diferentes regulamentações.

Netto (2008) traz a definição de agricultura familiar associada à produção através do eixo familiar para atendimento às necessidades básicas e troca do excedente, considerando as pluralidades presentes na concepção da estrutura familiar.

O reconhecimento dos “agricultores familiares” como detentores de direitos na sociedade rural brasileira tem raízes na legislação trabalhista da década de 1930 e evoluiu com a ascensão de novos atores sociais no campo durante a redemocratização (Picolotto, 2011).

A valorização da agricultura familiar no Brasil é uma tendência recente, impulsionada pelo ressurgimento do movimento sindical, contribuições de mediadores e intelectuais nos anos 90, e reconhecimento oficial pelo Estado por meio de políticas públicas como o PRONAF. Antes dos anos 1990, referências à agricultura familiar eram escassas, utilizando-se termos como “pequenos produtores” ou “produtores de subsistência” (Schneider; Cassol, 2013).

Outro aspecto a se considerar é que, há aproximadamente duas décadas, os denominados “pequenos agricultores” eram negligenciados pelas políticas estatais, o que evidenciava a vulnerabilidade diante das diretrizes adotadas pelo Brasil em busca do desenvolvimento (Grisa; Schneider, 2014).

Tendo a agricultura familiar palco nas discussões políticas e intelectuais, Schneider e Cassol (2013) apontam que as duas últimas décadas podem ser divididas em três fases.

Na primeira fase (1990-1995), houve o (re)descobrimto da agricultura familiar, marcado pela sua afirmação política e acadêmica, com o surgimento e reconhecimento da categoria “agricultura familiar” nos movimentos sociais e sindicais e na academia. A crise de legitimidade sindical da Confederação Nacional dos Trabalhadores na Agricultura (CONTAG) durante o começo da década de 1990 levou à sua aliança inédita com o Departamento dos Trabalhadores Rurais da Central Única dos Trabalhadores (CUT) em 1995, motivada pela concorrência com outros movimentos sociais emergentes, desafios da abertura comercial neoliberal e mudanças na noção de “trabalhador rural” (Favareto, 2010; Picolotto, 2011; Santos 2001).

A segunda fase, de 1996 a 2006, foi marcada pela criação do PRONAF e pela institucionalização da agricultura familiar pela Lei nº 11.326. Durante esse período, a agricultura familiar consolidou-se como a categoria social predominante nos programas e políticas de desenvolvimento rural, com o PRONAF sendo sua principal política. A partir do PRONAF, eram oferecidos financiamentos aos agricultores familiares e havia outras iniciativas no intuito de suprir as necessidades desses agricultores (Aquino; Schneider, 2011; Mattei, 2011; Schneider; Cazella; Mattei, 2021).

A terceira fase do debate sobre a agricultura familiar no Brasil iniciou-se em setembro de 2009, após o Caderno Especial do Censo Agropecuário de 2006. Intensos debates surgiram sobre o papel da agricultura familiar no desenvolvimento rural do país, impulsionados por estudos que questionaram a viabilidade do crédito para muitos agricultores familiares e pela concentração do valor da produção em pequenos grupos de estabelecimentos agropecuários. Paralelamente, defensores das políticas para a agricultura familiar e a reforma agrária também se mobilizaram (França; Grossi; Marques, 2009; Mattei, 2011; Schneider, Shiki; Belik, 2010).

Para ser considerado agricultor familiar, é necessário estar enquadrado nos seguintes parâmetros apresentados pela Lei nº 11.326, de julho de 2006:

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, considera-se agricultor familiar e empreendedor familiar rural aquele que pratica atividades no meio rural, atendendo, simultaneamente, aos seguintes requisitos:

I - não detenha, a qualquer título, área maior do que 4 (quatro) módulos fiscais;

II - utilize predominantemente mão-de-obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento;

III - tenha percentual mínimo da renda familiar originada de atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento, na forma definida pelo Poder Executivo; (Redação dada pela Lei nº 12.512, de 2011)

IV - dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família (BRASIL, 2006).

Em 2006, o Censo Agropecuário, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), diferenciou pela primeira vez estabelecimentos agropecuários e não agropecuários. Essa distinção foi crucial, permitindo uma análise mais detalhada da agricultura familiar, que desempenha um papel social e econômico significativo no Brasil (Tabela 1).

Tamanho da propriedade (ha)	2006				2017			
	Propriedades		Área total		Propriedades		Área total	
	Número	%	Hectares	%	Número	%	Hectares	%
< 10	2.477.071	47,9	7.798.607	2,4	2.543.681	50,1	7.993.969	2,3
10 a 99,9	1.971.577	38,1	62.893.091	19,1	1.980.684	39	63.810.646	18,2
100 a 999,9	424.906	8,2	112.696.478	34,2	420.719	8,3	112.257.692	31,9
> 1000	46.911	0,9	146.553.218	44,4	51.203	1	167.227.511	47,6
Produtor sem área	255.024	4,9	0	0	77.037	1,5	0	0
<b>Total</b>	<b>5.175.489</b>	<b>100</b>	<b>329.941.394</b>	<b>100</b>	<b>5.073.324</b>	<b>100</b>	<b>351.289.818</b>	<b>100</b>

**Quadro 1** - Propriedades rurais identificadas no ano de 2006 e 2017, agrupadas por quantidade e área ocupada.

**Fonte:** Adaptado de Bueno, Stipp e Rodrigues (2022).

Os dados obtidos através do estudo expressos no quadro acima destacam o acúmulo de terras, em que, no ano de 2006 cerca de 44,4% se tratavam de propriedades com 1000 ou mais hectares (ha). Já em 2017, esse percentual passou a ser 47,6%, aumento de 20,6 milhões de hectares, aproximadamente.

Em 2006, as propriedades pequenas (com menos de 100 ha) representavam 19,1% do total, enquanto em 2017 esse número diminuiu para 18,2%. Isso indica que a concentração considerável de terras nas mãos de poucos não é apenas uma consequência geográfica sem história, mas sim o resultado de um conjunto de decisões político-econômicas moldadas pelo capitalismo dependente, que evolui ao longo do processo histórico (Amaral; Cipollone, 2021).

Outro dado que merece destaque é o número de produtores sem área, apresentando uma diminuição entre o ano de 2006 e 2017. De acordo com Valadares e Alves (2020), isso se deu como resultado da mudança metodológica na coleta de dados e não de uma alteração no panorama da realidade agrária.

De acordo com Bueno, Stipp e Rodrigues (2022), as últimas décadas têm sido marcadas por discussões relevantes sobre a importância e a necessidade de manter a agricultura familiar por meio de políticas públicas, dado que ela carece desse apoio. Além disso, a pequena participação financeira dos pequenos agricultores em comparação com a agricultura patronal nacional destaca a urgência de mudanças.

Segundo Netto (2008), a agricultura familiar no Brasil evoluiu de um método tradicional de subsistência para uma fonte de alimento e apoio econômico, mas a sustentabilidade e as preocupações ambientais exigem discussões contínuas. De acordo com Bittencourt (2018), cerca de 70% dos alimentos consumidos são provenientes da agricultura familiar, o que contribui para a garantia da segurança alimentar, favorece a economia local e contribui para o desenvolvimento sustentável.

São necessários cada vez mais quadros metodológicos para orientar a análise e o desenvolvimento de políticas agrícolas sustentáveis, ao mesmo tempo que abordam a demanda de uma definição operacional de agricultura sustentável (Sanchez; Matos, 2012).

A agricultura familiar no Brasil lidera a produção de alimentos e contribui para a economia de muitos municípios, mas enfrenta desafios competitivos tanto internamente quanto globalmente. Estes desafios incluem o aumento da produção de alimentos, a geração de empregos e renda para os agricultores, além da reintegração dos migrantes urbanos ou aqueles em risco de exclusão social. Essas questões foram abordadas no Projeto BRA/98/012 - "Agricultura Familiar no Contexto do Desenvolvimento Local Sustentável", lançado em 1999 através do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) (Abramovay, 2022).

Por meio do desenvolvimento do presente tópico foi possível verificar o potencial da agricultura familiar para a geração de renda e empregos e para a garantia de alimentos mais saudáveis, impulsionando a economia local e preservando tradições. As feiras são essenciais para o reconhecimento do trabalho dos agricultores familiares, além de outros pontos que serão discutidos nos próximos tópicos.



## Objetivo do desenvolvimento sustentável 2 - Fome zero e agricultura sustentável

O desenvolvimento sustentável é definido como aquele que satisfaz as demandas do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de suprir suas próprias necessidades, e está fundamentado em dois princípios-chave:

O conceito de “necessidades”, sobretudo as necessidades essenciais dos pobres do mundo, que devem receber a máxima prioridade; A noção das limitações que o estágio da tecnologia e da organização social impõe ao meio ambiente, impedindo-o de atender às necessidades presentes e futuras (Brundtland, 1991, p. 46).

Em setembro de 2015, durante a 70ª Assembleia Geral das Nações Unidas (ONU), representantes dos 193 Estados-membros adotaram a Resolução “Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável” (ONU, 2015).

Considerando o contexto global marcado pela pobreza difundida, crescentes disparidades, conflitos extremistas, ameaças à saúde em escala mundial e desastres naturais exacerbados pelas mudanças climáticas, foram delineados os 17 ODSs, abrangendo 169 metas interconectadas, cuja análise integrada e indivisível se mostra essencial (*ibid.*).

Embora tenha um alcance global, a Agenda 2030 é uma responsabilidade nacional, cabendo à União determinar as prioridades, estruturas de governança, monitoramento de resultados e formas de financiamento de acordo com a situação específica do país (Alves, 2015).

Nesse contexto, o ODS 2 pautado na “Fome Zero e Agricultura Sustentável” visa erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável. Como o objetivo do trabalho é de pensar na contribuição da feira da agricultura familiar para a segurança alimentar e a renda dos pequenos produtores, das oito metas existentes presentes neste ODS, a que mais se relaciona ao que visa o trabalho é:

**2.3** Até 2030, dobrar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores de alimentos, particularmente das mulheres, povos indígenas, agricultores familiares, pastores e pescadores, inclusive por meio de acesso seguro e igual à terra, outros recursos produtivos e insumos, conhecimento, serviços financeiros, mercados e oportunidades de agregação de valor e de emprego não agrícola (ONU, 2015, p. 22).

Para compreender a realidade de contribuição da Feira de Agricultura Familiar de Inconfidentes para o ODS 2, primeiramente, é necessário analisar as evidências da literatura de outras experiências nesse sentido. Dessa forma, no próximo tópico, será listada a contribuição de feiras da agricultura familiar para o ODS 2.

## As feiras de agricultura familiar e as contribuições para o ODS 2

As feiras representam locais distintos para a comercialização da agricultura familiar, carregando consigo simbolismos que enriquecem e promovem a troca de saberes. São espaços onde produtos, pessoas, informações e cultura se entrelaçam, integrando-se à paisagem local de forma peculiar (Lima; Fontana, 2019; Pereira, Brito; Pereira, 2017).

Estudos e pesquisas em todo o país evidenciam as contribuições das feiras da agricultura familiar (Balem; Alves; 2019; Lima; Fontana, 2019; Oliveira, 2022; Pereira; Brito; Pereira, 2017; Vargas *et al.*, 2022; Verano; Medina, 2019). Conforme apontado por Cruz *et al.* (2020), após análise de cinco feiras no Alto do Jequitinhonha, Minas Gerais, ficou claro que esses espaços proporcionam emprego e renda para muitos agricultores familiares, promovendo a conexão entre áreas rurais e urbanas. Além disso, essas feiras fortalecem os canais de venda de pequena escala e incentivam o consumo de alimentos locais.

Na feira da agricultura familiar em Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais, Pereira, Brito e Pereira (2017) constataram que não se resume à simples comercialização de produtos. Nesse ambiente, outras dinâmicas econômicas estão em jogo, incluindo abordagens sobre a qualidade do produto, preços e tratamento do excedente não vendido, contribuindo para a construção da renda dos agricultores.

Lima e Fontana (2019) destacam que as feiras oferecem produtos com baixo ou nenhum uso de agrotóxicos, uma vez que a produção é realizada para consumo próprio, ocorrendo a venda dos excedentes:

A preocupação com a saúde da família e a proximidade com a produção alimentar garantem alimentos de melhor qualidade nutricional. Muitos agricultores feirantes participam de cursos para aprimorar suas práticas agrícolas, promovendo uma relação mais sustentável entre produção e consumo, além de favorecer interações sociais no ambiente das feiras (Lima; Fontana, 2019, p. 93).

Na cidade de Novo Repartimento, Pará, a feira de agricultura familiar emergiu como uma medida crucial durante a pandemia de Covid-19, fornecendo acesso a uma ampla gama de produtos frescos e processados, contribuindo para a SAN tanto dos consumidores quanto dos produtores. Além disso, a feira desempenhou um papel importante na geração de renda, especialmente durante um período em que muitos produtores viram uma redução ou estagnação em suas produções (Oliveira, 2022).

Vargas *et al.* (2020) salientam a dificuldade dos pequenos agricultores em terem o seu trabalho reconhecido e destacam que as feiras são uma forma de valorização, uma vez que os produtores têm a oportunidade de expor as suas produções e obter um retorno financeiro.

Verano e Medina (2019) apontam que, apesar da mudança dinâmica na produção e no comércio da agricultura familiar desde a década de 1980, os modos de vida dos municípios pequenos persistiram. O protagonismo dos agricultores familiares nas feiras reflete essa realidade, com quase 20% de todas as feiras do Estado de Goiás localizadas em municípios com menos de 10 mil habitantes e predominantemente compostas por bancas de agricultores familiares.

Nas feiras dos agricultores familiares dos municípios de Júlio de Castilhos e Tupanciretã, Rio Grande do Sul, podem ser destacados:

(...) a função essencial desses espaços como locais de consumo distintos; a percepção das feiras como fontes de alimentos de alta qualidade; a busca dos consumidores por produtos com valor cultural; a importância das feiras na geração de renda para os agricultores; e, sobretudo, a consolidação de um ambiente único com uma identidade agrícola diferenciada em relação à predominante nos municípios (Balem; Alves, 2019, p. 9).

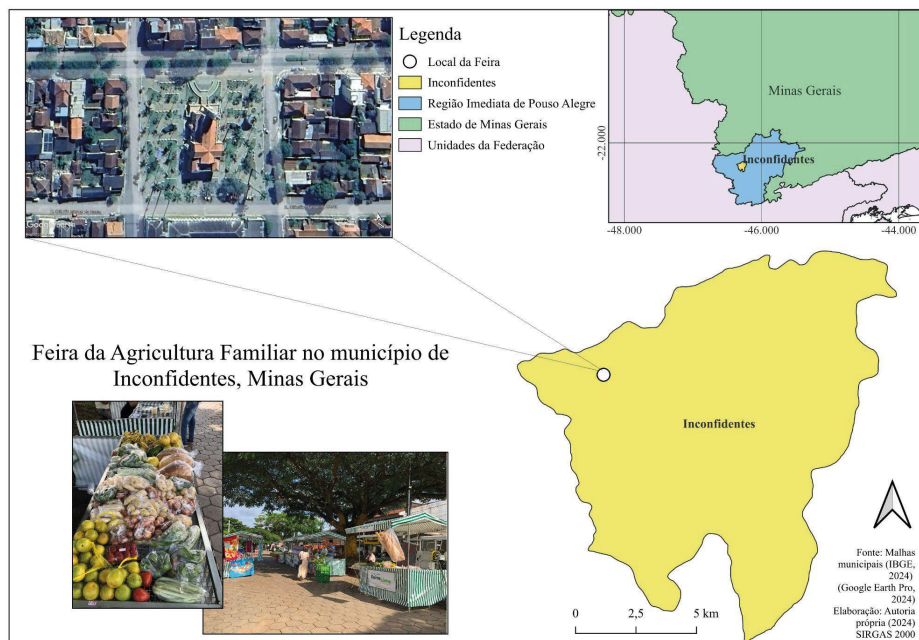
Dessa forma, torna-se claro que as feiras da agricultura familiar espalhadas pelo território nacional, surgem como espaços diretos no cumprimento dos ODSs, especialmente o ODS 2.

A agricultura familiar está relacionada à sustentabilidade ao empregar modos de cultivos contrários ao modelo convencional de produção agrícola, em que é possível constatar melhor conservação do solo, dos recursos hídricos e da biodiversidade (Andrades; Ganimi, 2007).

Assim, as feiras de agricultura familiar se mostram como espaços que viabilizam a SAN, a soberania e a sustentabilidade, ao mesmo tempo, em que promovem a geração de renda dos pequenos produtores.

## **A feira de agricultura familiar do município de Inconfidentes, Minas Gerais**

O estudo aborda a feira que ocorre semanalmente na Avenida Alvarenga Peixoto, área central do município de Inconfidentes, Minas Gerais. Situado na região imediata de Pouso Alegre, Inconfidentes é caracterizado predominantemente pelo bioma da Mata Atlântica, e faz divisa com os municípios de Bueno Brandão, Ouro Fino, Borda da Mata e Bom Repouso (Figura 2).



**Figura 2** - Mapa do município de Inconfidentes, local onde ocorre a Feira da Agricultura Familiar de Inconfidentes (FEIRIN).

**Fonte:** Autoria própria (2024).

Através do Decreto nº 2.026 de 19 de maio de 2023, a Feira da Agricultura Familiar de Inconfidentes (FEIRIN) teve seu início em 21 de maio do mesmo ano. Realizada aos sábados, das 7h às 12h, a feira pode ser prolongada até às 13h, dependendo do movimento de consumidores, sendo a decisão de continuar ou encerrar a participação a critério dos feirantes.

Com exceção de duas feirantes que se juntaram à FEIRIN no começo de 2024, o restante dos feirantes fazem parte da feira comercializando seus produtos pelo mesmo período de existência do evento, totalizando nove barracas.

A organização da FEIRIN é de responsabilidade da Prefeitura, em parceria com a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER). Para obter um ponto de venda na feira, os produtores interessados devem realizar a inscrição no escritório da EMATER ou no Departamento de Agricultura e Meio Ambiente (DAMA), onde fornecem seus dados pessoais e uma descrição dos produtos que desejam comercializar.

Em seguida, essas informações são compartilhadas com os feirantes durante uma reunião, em que são discutidas aprovações ou reprovações dentre os interessados. Uma vez aprovado, o novo membro recebe o termo de responsabilidade da FEIRIN, assumindo o compromisso de manter sua barraca do Programa Feira Livre em condições adequadas de uso.

É importante ressaltar que, para se tornarem participantes da feira, os interessados devem ser produtores de seus próprios itens, evitando a comercialização de produtos provenientes de terceiros. Isso se deve ao fato de que o principal objetivo da feira é fortalecer a agricultura familiar no município.

A Prefeitura é responsável por organizar, autorizar, fiscalizar e garantir todas as condições estruturais para a realização das feiras, desde a interdição do tráfego nas vias públicas até a limpeza das ruas após o término do evento.

A disposição das barracas é decidida através de sorteio, realizado perante a presença dos agricultores e com registro em ata. Dado que a feira consiste em apenas nove barracas, não há prejuízo no fluxo de clientes, independentemente de estarem localizadas no início, meio ou fim da extensão da feira.

A avenida onde é realizada a FEIRIN conta com canteiros centrais onde existem árvores da espécie *Delonix regia*, conhecida pelo nome popular “Flamboyant”, que fornecem sombra para que os feirantes vendam seus produtos sem ficarem expostos diretamente à luz solar (Figura 3).



**Figura 3** - Vista do local onde a feira ocorre e de alguns dos produtos comercializados pelos agricultores.

**Fonte:** Autoria própria (2024)

Durante as visitas à feira, foi notável a diversidade de frutas, legumes e hortaliças disponíveis nas barracas. Também foram identificados grãos, como milho e feijão (Quadro 2, Figura 4).

Produtos alimentícios	
Frutas	Abacate, laranja, banana, pitaya, tomate, limão, maracujá e mamão
Grãos	Feijão e milho
Hortaliças	Alface, agrião, escarola e couve
Legumes	Quiabo, berinjela, cebola, alho, mandioquinha, jiló, vagem, abobrinha e batata
Processados	Conservas, doces, pães, queijos, bolos, pastéis, caldo de cana e salgados
Tubérculos	Mandioca
Produtos não alimentícios	
Artesanatos, roupas, acessórios, bolsas, panos de prato e lenços	

**Quadro 2** - Produtos encontrados na FEIRIN durante as visitas realizadas.

**Fonte:** Autoria própria (2024).



**Figura 4** - Variedades de produtos encontrados na FEIRIN.

**Fonte:** Autoria própria (2024).

Os produtos oferecidos na feira variam de acordo com as safras e estão sujeitos a alterações devido à sazonalidade. Esta característica contrasta com a dinâmica das feiras-livres, onde são vendidos produtos provenientes das Centrais de Abastecimento (CEASA), resultando em uma maior diversidade de opções. No entanto, essa variedade muitas vezes inclui produtos cultivados em sistemas convencionais, com aplicação de insumos químicos.

Os produtos condicionados às normas de Vigilância Sanitária Municipal e Serviço de Inspeção Municipal (SIM) para comercialização são os enquadrados nas seguintes categorias: hortifrutigranjeiros (aves, ovos, mel, linguiça); produtos derivados do leite e de industrialização caseira de alimentos (queijos, manteiga, coalhada, requeijão, nata) e pescado (peixes frescos de água doce que foram comprovadamente criados na propriedade do feirante).

A feira também disponibiliza produtos que não se limitam apenas a alimentos, muitos dos quais são confeccionados e comercializados por mulheres. Esse aspecto é digno de atenção, pois representa uma forma de inclusão das mulheres no mercado de trabalho, algo que não era comum devido à forte influência do patriarcado na sociedade (Figura 5).



**Figura 5** - Produtos não alimentícios confeccionados e vendidos por mulheres na FEIRIN.

**Fonte:** Autoria própria (2024).

Devido aos Caminhos das Capelas, que atraem ciclistas e peregrinos, o município de Inconfidentes recebe um grande fluxo de turistas. A localização da FEIRIN é um fator que contribui para que esse público visite a feira, fazendo suas compras que vão desde produtos alimentícios até *souvenirs*.

A determinação dos preços dos produtos é feita com base nos custos de produção, permanecendo inalterados durante todo o período da feira no dia. É de obrigação do feirante a disposição de cartazes ou etiquetas com valores visivelmente explícitos nas mercadorias expostas. No caso de negociações, cabe ao produtor decidir se aceita ou não a proposta do consumidor em relação aos valores.

O agricultor deve manter o compromisso de comparecer à feira semanalmente para a comercialização de seus produtos, tendo sua inscrição cancelada caso não haja a instalação de sua barraca durante 45 dias, sem que haja a comprovação da justificativa de ausência à Prefeitura Municipal de Inconfidentes.

A renovação da inscrição dos feirantes participantes da feira será realizada anualmente, sendo fornecida pela Prefeitura Municipal uma carteira que deve ser exibida quando solicitado em casos de fiscalização.

Assim, a Feira da Agricultura Familiar de Inconfidentes (FEIRIN) possibilita aos agricultores familiares participantes o escoamento de seus produtos e, conseqüentemente, a geração de renda. Os produtos escoados, adquiridos pelos consumidores da feira, são produtos frescos e diversificados conforme a sazonalidade. Essa sazonalidade pode estar relacionada ao uso reduzido ou a não utilização de insumos químicos, visto que a disponibilidade destes alimentos corresponde com a época própria de cultivo e colheita.

Além disso, esses produtos são comercializados por preços justos, contribuindo para a SAN e para a soberania alimentar. Atualmente, não há nenhum projeto relacionado à FEIRIN que seja voltado para famílias que se encontram em situação de vulnerabilidade social e assistidas pelo Programa Integral às Famílias (PAIF) de âmbito municipal, sendo esse um aspecto a ser aprimorado na FEIRIN.

A realização da FEIRIN aborda aspectos diretamente ligados ao ODS 2, destacando a importância do fortalecimento e implementação de feiras de agricultura familiar em todo o país por meio de políticas públicas e incentivos, contribuindo para tornar a segurança alimentar e a agricultura sustentável uma realidade ampla e efetiva.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Após desenvolvimento do artigo, fica evidente que a temática da SAN teve seu destaque a partir de 1930, ocupando um lugar central nas discussões do país a partir desta data. Com o estabelecimento do Programa Nacional de Alimentação Escolar, a participação da agricultura familiar se tornou fundamental para suprir as necessidades alimentares, agora, de forma direta.

A existência de feiras específicas para agricultores familiares se trata de um ato de resistência contra o modelo do agronegócio, visto que a problemática direta entre esse modelo e questões ambientais e sociais é notável. O esforço em favor da agricultura familiar não deve visar apenas garantir a subsistência desses agentes, mas também a autonomia dessas comunidades e a preservação dos hábitos alimentares regionais.



Para alcançar o ODS 2, é essencial promover mudanças significativas, sendo a adoção da prática da agricultura sustentável a mais crucial entre elas. A agricultura familiar se destaca como o principal alicerce para a realização desse objetivo, por estar relacionada à sustentabilidade.

As feiras, ao possibilitarem a venda dos produtos familiares, contribuem para a geração de renda dos produtores, impulsionando e consolidando a economia local, além de diminuir a dependência de grandes redes de distribuição, ao fomentar relações mais estreitas entre produtores e consumidores.

Adicionalmente, as feiras exercem impacto significativo nos hábitos alimentares, favorecendo a saúde da população ao enaltecer a variedade de alimentos locais e conservar as tradições culinárias. Essa influência resulta em refeições mais nutritivas e equilibradas, estreitamente ligadas à SAN.

A Feira da Agricultura Familiar de Inconfidentes proporciona aos moradores do município acesso a alimentos seguros e em quantidades adequadas, ao mesmo tempo em que valoriza a cultura local e garante a qualidade nutricional dos produtos disponíveis.

Para que a FEIRIN possa contribuir diretamente no alcance da meta 2.1 do ODS 2, a elaboração de um projeto que abordasse o apoio às famílias em situação de vulnerabilidade social do município seria de suma importância, garantindo a compra e o acesso à alimentos nutritivos e suficientes durante o ano todo.

Portanto, a elaboração e implementação de políticas públicas que fomentem o fortalecimento da agricultura familiar no país através das feiras, são fundamentais para o alcance do ODS 2 e, de forma indireta, outros objetivos da Agenda 2030. Isso impulsiona o desenvolvimento sustentável, a justiça social e a preservação das tradições, com o objetivo de construir um futuro mais equitativo e proporcionar condições adequadas para o desenvolvimento das gerações futuras.

## REFERÊNCIAS

ABRAMOVAY, Ricardo. Relatório Institucional da Secretaria da Agricultura Familiar. Brasília: PNUD, Projeto BRA-98/012, junho/2002, Relatório de Pesquisa.

ALBERGONI, Leide.; PELAEZ, Victor. Da Revolução Verde à agrobiotecnologia: ruptura ou continuidade de paradigmas? Revista de Economia, v. 33, n. 1, ago. 2007.

ALTAFIN, Iara. Reflexões sobre o conceito de agricultura familiar. Brasília: CDS/UnB, 2007.

ALVES, José Eustáquio Diniz. Os 70 anos da ONU e a agenda global para o segundo quinquênio (2015-2030) do século XXI. Revista Brasileira de Estudos de População, v. 32, n. 3, p. 587–598, set. 2015.

AMARAL, Lucas; CIPOLLONE, Murilo. Luta por terras e concentração fundiária no Brasil: a forma estatal e a repressão dos movimentos de trabalhadores rurais. Revista da Faculdade de Direito, Universidade de São Paulo, v. 116, n. 2, p. 427–452, 2021.

- ANDRADES, Thiago Oliveira de; GANIMI, Rosângela Nasser. Revolução verde e a Apropriação Capitalista. In: CES Revista, v. 21. Juiz de Fora, 2007. p. 43-56.
- ARRUDA, Bertoldo Kruse Grande de; ARRUDA, Ilma Kruse Grande de. Marcos referenciais da trajetória das políticas de alimentação e nutrição no Brasil. Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil, v. 7, n. 3, p. 319–326, jul. 2007.
- AQUINO, Joacir Rufino de; SCHNEIDER, Sérgio. 12 Anos da política de crédito do PRONAF no Brasil (1996-2008): Uma reflexão crítica. Revista de Extensão e Estudos Rurais, v. 1, n. 2, 2011.
- BALEM, Tatiana Aparecida; ALVES Ethyene de Oliveira. A persistência das feiras de agricultores familiares em um cenário de “sojificação da sociedade”: elementos da realidade de Júlio de Castilhos e Tupanciretã/RS. Revista Economia e Desenvolvimento. Santa Maria: Ed.UFSM. v. 32, ed. esp., e2, p. 1-12, 2020
- BITTENCOURT, Daniela. Artigo - Agricultura familiar, desafios e oportunidades rumo à inovação. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/31505030/artigo---agricultura-familiar-desafios-e-oportunidades-rumo-a-inovacao>. Acesso: 18 mar. 2024.
- BRASIL. Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Brasília, 2006.
- BRUNDTLAND, Gro Harlem. Nosso futuro comum: Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. 2 ed. Rio de Janeiro: FGV, 1991.
- BUAINAIN, Antônio Márcio. Evolução da agricultura familiar no brasil (1996-2017). Em: Uma jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário. Ipea, 2020. p. 191–203.
- BUENO, Victória Jandira; STIPP, Carla Maria Feres; RODRIGUES, Leonardo. Agricultura familiar: Uma proposta viável considerando o contexto da estrutura fundiária brasileira. Geographia Opportuno Tempore, v. 8, n. 1, p. 76–92, 2022.
- BURLANDY, Luciene. A construção da política de segurança alimentar e nutricional no Brasil: estratégias e desafios para a promoção da intersectorialidade no âmbito federal de governo. Ciência & Saúde Coletiva, v. 14, n. 3, p. 851–860, maio 2009.
- CAMPOS, Washington Pereira; MACHADO, Kennia Barbosa; SILVEIRA, Marina Aparecida da; WANDER, Alcido Elenor. A segurança alimentar e o diálogo com as políticas públicas. In: VI Congresso Internacional Sistemas Agroalimentares, 2013, Florianópolis. Anais... Florianópolis, 21-25 maio 2013. p. 1-22.
- CASTELLS, Manuel. Movimientos Sociales Urbanos. Madrid: Siglo Veinteuno. 1977. 131 p.
- CASTRO, César Nunes de. Conceitos e legislação sobre a agricultura familiar na América Latina e no Caribe. Brasília, DF: Ipea, ago. 2023. 48 p.
- CASTRO, Josué de. Geografia da fome (o dilema brasileiro: pão ou aço). 10 ed. Rio de Janeiro: Antares Achiamé, 1984.
- CRUZ, Maria Sirlene da; RIBEIRO, Eduardo Magalhães; PERONDI, Miguel Angelo; OLIVEIRA, Daniel Coelho de; COSTA, Heloísa de Moura. Agricultura familiar, feiras livres e feirantes do Alto Jequitinhonha. Revista Campo-Território, Uberlândia, v. 15, n. 35, abr., p. 90-120, 2020.

CRUZ, Samyra Rodrigues da. Uma análise sobre o cenário da fome no Brasil em tempos de pandemia do covid-19. *Pensata*, v. 9, n. 2, 2021.

EVANGELISTA, Ana Maria da Costa. O Serviço de Alimentação da Previdência Social (SAPS): trabalhadores e políticas públicas de alimentação (1940-1967). *In: XIV Encontro Regional de História da ANPUH-Rio*, 2010, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: NUMEM, 2010, p. 2-12.

FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2022. The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable. Rome, FAO.

FAVARETO, Arilson. A abordagem territorial do desenvolvimento rural-mudança institucional ou “inovação por adição”? *Estudos Avançados*, v. 24, n. 68, p. 299–319, 2010.

FORMAN, Shepard. *Camponeses: sua participação no Brasil*. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2009.

FRANÇA, Caio Galvão de; DEL GROSSI, Mauro Eduardo; MARQUES, Vicente. O censo agropecuário 2006 e a Agricultura familiar no Brasil. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2009. 96 p.

GREEN, Rhys; *et al.* Farming and the Fate of Wild Nature. *Science*, v. 307, n. 5709, p. 550–555, 2005.

GRISA, Catia; SCHNEIDER, Sérgio. Três gerações de políticas públicas para a agricultura familiar e formas de interação entre sociedade e estado no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 52, p. 125–146, 2014.

GUANZIROLI, Carlos Enrique; SABBATO, Alberto Di; BUAINAIN, Antônio Márcio. Evolução da agricultura familiar no Brasil (1996-2017). *In: Uma jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário*. Ipea, 2020. p. 191–203.

HAACK, Adriana; FORTES, Renata; ALI, Beatriz Abu; ALVARENGA, Ana Paula de. Políticas e Programas de Nutrição no Brasil da Década de 30 até 2018: Uma Revisão da Literatura. *Rev. Com. em Ciências da Saúde*. 2018; 2(29): 126-138.

HELENE, Maria Elisa Marcondes; MARCONDES, Beatriz; NUNES, Edelci. *A fome na atualidade: cenário mundial* livro do professor. São Paulo: Scipione, 1994. 55p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Agropecuário 2006*. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

\_\_\_\_. *Censo Agropecuário 2017*. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

IPC Global Partners. 2021. *Integrated Food Security Phase Classification Technical Manual Version 3.1. Evidence and Standards for Better Food Security and Nutrition Decisions*. Rome.

JAPIASSU, Hilton. *Introdução ao pensamento epistemológico*. 7. ed. Rio de Janeiro: F. Alves, 1992.

LEÃO, Marília Mendonça; CASTRO, Inês Rugani Ribeiro de. Políticas públicas de alimentação e nutrição. *In: KAC, G.; SICHIERI, R.; GIGANTE, D.P. (org.). Epidemiologia nutricional*. Rio de Janeiro: Fiocruz/Atheneu, 2007. 580 p.

LEÃO, Marília. *O direito humano à alimentação adequada e o sistema nacional de segurança alimentar e nutricional*. Brasília: ABRANDH, 2013. 263 p.

LIMA, Romilda De Souza; FONTANA, Ana Paula Cavali. As feiras da agricultura familiar como território de práticas alimentares e sociabilidades. *Redes*, v. 24, n. 3, p. 75-100, set. 2019.

MACEDO, Dione Chaves de; TEIXEIRA, Estelmar Maria Borges; JERÔNIMO, Marlene; BARBOSA, Ozeni Amorim; OLIVEIRA, Maria Rita Marques de. A construção da política de segurança alimentar e nutricional no Brasil. *Revista Simbiologias*, v.2, n.1, p. 31-46, 2009.

MALUF, Renato; MENEZES, Francisco; VALENTE, Flávio. Contribuição ao tema da segurança alimentar no Brasil. *Revista cadernos de debate*, v. 4, 1996.

MATTEI, Lauro. *Pronaf 10 anos: mapa da produção acadêmica*. Brasília (DF), SAF/MDA, 2011.

MDS - Ministério do Desenvolvimento Social. Programa Criança Feliz: A intersectorialidade na visita domiciliar. 2017 Disponível em: [https://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/crianca\\_feliz/A\\_intersectorialidade\\_na\\_visita\\_domiciliar\\_2.pdf](https://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/crianca_feliz/A_intersectorialidade_na_visita_domiciliar_2.pdf). Acesso: 18 mar. 2024

NETTO, Marcos Mergarejo. Agricultura familiar e sua organização. *Revista Acta Geográfica*, v. 2, n. 4, p. 17-30, 2008.

OLIVEIRA, Milena Thays Cavalcante de. Feira da Agricultura Familiar de Novo Repartimento (PA): perfil do feirante e a importância da feira para o desenvolvimento sustentável durante a pandemia de Covid-19. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. Transformando nosso mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjcgclcfindmkaj/https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso: 23 mar. 2024.

PEREIRA, Viviane; BRITO, Tayrine.; PEREIRA, Samanta. A FEIRA-LIVRE COMO IMPORTANTE MERCADO PARA A AGRICULTURA FAMILIAR EM CONCEIÇÃO DO MATO DENTRO (MG). *Revista Ciências Humanas*, v. 10, n. 2, 2017.

PERES, Thais Helena de Alcântara. Comunidade Solidária: a proposta de um outro modelo para as políticas sociais. *Civitas: Revista de Ciências Sociais*, v. 5, n. 1, p. 109–126, 2006.

PESSANHA, Lavinia. A Experiência Brasileira em Políticas Públicas para a Garantia do Direito ao Alimento. *Cadernos de Debate: Revista do Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação da UNICAMP*, Campinas, v. 11, n. 1, p. 1-37, 2004.

PIER, Francesco de Maria. O plano “Brasil Sem Miséria” sob o enfoque da análise de políticas públicas. *In: XVI ENANPUR: Espaço, Planejamento e Insurgências, Sessões Temáticas*, 2015. Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, 2015, p. 1-31.

PICOLOTTO, Everton Lazzaretti. As mãos que alimentam a nação: agricultura familiar, sindicalismo e política Tese (Doutorado em Ciências Sociais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (CPDA/UFRRJ), Rio de Janeiro, 2011.

REDE BRASILEIRA DE PESQUISA EM SOBERANIA E SEGURANÇA ALIMENTAR E NUTRICIONAL - REDE PENSSAN. II Inquérito Nacional sobre Insegurança Alimentar no contexto da pandemia da Covid-19 no Brasil. II VIGISAN: relatório final. São Paulo (SP): Fundação Friedrich Ebert: Rede PENSSAN; 2022.

RIBEIRO-SILVA, Rita de Cássia; PEREIRA, Marcos; CAMPELLO, Tereza; ARAGÃO, Érica; GUIMARÃES, Jane Mary de Medeiros; FERREIRA, Andrêa Jacqueline Fortes; BARRETO, Maurício Lima; SANTOS, Sandra Maria Chaves dos. Implicações da pandemia COVID-19 para a segurança alimentar e nutricional no Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 25, n. 9, p. 3421–3430, set. 2020.

SANCHEZ, Gabriela Fernandez; MATOS, Márcia Monteiro. Marcos Metodológicos para Sistematização de Indicadores de Sustentabilidade da Agricultura. (SYN)THESIS, v. 5, n. 2, p. 255–266, 2012.

SANTOS, Manoel José dos. Projeto alternativo de desenvolvimento rural sustentável. *Estudos Avançados*, v. 15, n. 43, p. 225–238, 2001.

SAVIO, Karin Eleonora Oliveira; COSTA, Teresa Helena Macedo da; MIAZAKI, Édina; SCHMITZ, Bethsáida de Abreu Soares. Avaliação do almoço servido a participantes do programa de alimentação do trabalhador. *Revista de Saúde Pública*, v. 39, n. 2, p. 148–155, abr. 2005.

SCHNEIDER, Sérgio; CASSOL, Abel. Agricultura familiar no Brasil. In: PEREIRA, Mariana; SOLOAGA, Isidoro. 2013. *Trampas de pobreza y desigualdad en México 1990-2000-2010*. Santiago: RIMISP, 2013.

SCHNEIDER, Sergio; CAZELLA, Ademir Antonio; MATTEI, Lauro. Histórico, caracterização e dinâmica recente do Pronaf – Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar. *Revista Grifos*, v. 30, n. 51, p. 12-41, 2021.

SHIKI, Shigeo; BELIK, Walter. Rural development in Brazil: overcoming inequalities and building new markets. *Rivista di Economia Agraria*, Roma, v. 65, n.2, p.225-260, 2010.

SILVA, Alberto Carvalho da. De Vargas a Itamar: políticas e programas de alimentação e nutrição. *Estudos Avançados*. v. 9, n. 23, p. 87-107, 1995.

SILVA, João Luiz da; SÁ, Alcindo José de. A FOME NO BRASIL: DO PERÍODO COLONIAL ATÉ 1940. *Revista de Geografia*, v. 23, n. 3, p. 43–53, 2009.

SILVA, Sandro Pereira. A trajetória histórica da segurança alimentar e nutricional na agenda política nacional: projetos, descontinuidades e consolidação. Rio de Janeiro: Ipea, 2014.

VALADARES, Alexandre; ALVES, Fábio. A REDUÇÃO DO NÚMERO DE ESTABELECIMENTOS FAMILIARES E DO PESSOAL OCUPADO NA AGRICULTURA FAMILIAR: hipóteses à luz da análise dos censos agropecuários 2006 e 2017. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA. *Boletim Mercado de Trabalho - Conjuntura e Análise*, n. 70, p. 31-48, nov. 2020.

VARGAS, Letícia Paludo.; DEQUECH, Patrícia; FUCHS, Thiago; PEDRASSANI, Daniela. A feira da agricultura familiar em Mafra - SC na pandemia da covid-19. *Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos*, Goiânia, Brasil, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2022.

VERANO, Thiago de Carvalho; MEDINA, Gabriel da Silva. Comercialização por agricultores familiares em feiras municipais: quantificação, participação, e localização no estado de Goiás. *Interações (Campo Grande)*, v. 20, n. 4, p. 1045–1056, out. 2019.

VON GREBMER, K. J. *et al.* Global Hunger Index: The Power of Youth in Shaping Food Systems. Bonn: Welthungerlife (WHH). 2022.

**VICTOR CRESPO DE OLIVEIRA** - Engenheiro Agrícola pela Universidade Federal de Lavras, especialista em Análise de Dados e mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Atualmente é docente do Centro Universitário Eduvale (UnEduvale) e pesquisador a nível de doutorado em Engenharia Agrícola na Universidade Estadual Paulista (UNESP), atuando na integração de novas tecnologias para resolução de problemas do campo. Trabalha com processamento de imagem e áudio, estatística multivariada e modelos de inteligência artificial. Possui experiência internacional no desenvolvimento de projetos científicos e atua diretamente em pesquisas na área de Construções Rurais e Ambiente e Uso de Inteligência Artificial na Agricultura.

**LEONARDO FRANÇA DA SILVA** - Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal De Minas Gerais (UFMG). Engenheiro Segurança do Trabalho, especialista em Engenharia de Produção. Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista -UNESP. Doutor em Engenharia Agrícola (Construções Rurais e Ambiente) pela Universidade Federal de Viçosa. Pós Doutorando em Engenharia Agrícola pela Universidade da Grande Dourados. Atua como membro como membro colaborador dos grupos de pesquisa vinculado ao CNPq: Núcleo em Ambiente e Engenharia de Sistemas Agroindustriais - AMBIAGRO-UFV, Ergonomia e segurança industrial, Ergonomia e Segurança do Trabalho, Segurança e Saúde do Trabalho, Ergonomia Florestal - LABOERGO - UFV. Atuou como Professor de Magistério Superior na Universidade Federal de Viçosa, campus Florestal, lecionando as disciplinas de Desenho Técnico e Construções Rurais. Possui experiência nas áreas de Engenharia agrícola, com ênfase em Engenharia de Construções Rurais, Desenho técnico e Assistido por computador, Sustentabilidade em sistemas de produção (Agrícola / Animal), Segurança do trabalho e Ergonomia, Desenvolvimento rural, Energia renováveis na agricultura.

**ARIADNA FARIA VIEIRA** - Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Produção Vegetal pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Doutora em Genética e Melhoramento de Plantas pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Atualmente é docente do curso de Engenharia Agrônoma da Universidade Estadual do Piauí (UESPI). Possui experiência em Genética e Melhoramento de plantas e atua no desenvolvimento de pesquisas na área de melhoramento e fitotecnia.

**A**

Activos de conocimiento 28, 50, 51

Adopción de innovaciones 133, 136, 142

Adsorção 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78

Agricultura 4.0 133

Agricultura familiar 143, 153, 198, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 227, 228, 229, 230, 231, 232

Agrometeorologia 88

Alimentos alternativos 53, 54, 57

Azevém anual 12, 13, 15

**B**

Bacias hidrográficas 193, 195

Biomassa microbiana 120, 124, 125, 126, 127, 129, 131, 132

**C**

Calibración 97, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 113

Cascas das sementes de Moringa oleifera Lam. 69

Conejos 157, 158, 159, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172

Confinamento 53, 58, 59, 61, 64, 66, 67

Conservação de alimentos 173, 174, 175, 188

**E**

Extensión rural 133

**F**

Fármacos 69, 70, 71

Fauna do solo 120

Feiras 209, 211, 212, 219, 220, 221, 222, 224, 225, 227, 228, 229, 230, 231, 233

Fluidodinâmica computacional 174, 185, 188

**G**

Gestión del conocimiento 28, 29, 48, 50, 51, 152

**I**

Infecção natural 12, 13

Innovación agrícola 52, 133, 151

Inovação colaborativa 28, 40

Inovação rural 133

Instituições de educação superior 28

## M

Machine learning 80, 81, 82, 83, 86, 87

Manejo do solo 122, 127, 128, 129, 193, 202

Mezquite 157, 158, 159, 162, 163, 164, 168, 169, 170, 171

Modelación 42, 97, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 108, 109, 110, 111, 112, 116, 117

Modelagem climática 88

## N

Nanopartículas 69, 70, 71, 74, 77

Nephelium lappaceum 17, 18, 27

Nutrição animal 2

## O

ODS 2 209, 211, 212, 220, 221, 222, 227, 228

Organismos do solo 120, 122

## P

Plântula 17, 23

Precision agriculture 80, 82, 84, 87

Previsão Sazonal 88

Propriedades da carne 2

*Pyricularia grisea* 12, 13, 15

## Q

Qualidade 2, 14, 17, 24, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 63, 65, 66, 71, 91, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 129, 130, 131, 132, 173, 174, 175, 178, 180, 181, 185, 188, 189, 190, 192, 194, 198, 202, 203, 205, 206, 207, 208, 213, 215, 221, 222, 228

Qualidade de carne 53

## R

Recursos naturais 120, 191, 193, 195, 202, 208, 212

Redes de colaboración 28

Rendimento de carcaça 53, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 63



Rendimento de la canal 157, 158, 161, 162, 163, 167, 168, 170

## **S**

SARIMA 88, 89, 90, 91, 93, 94, 95, 96

Séries temporais 88, 89, 91, 96

SIG 97

Sistemas de secagem 174, 177, 188

Smart farming 87

## **T**

Tempo médio 17, 26

## **V**

Validación 51, 97, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 137, 151, 152, 153

Vigor de sementes 17

Sustentabilidade e inovação nas

# Ciências Agrárias



- 🌐 [www.arenaeditora.com.br](http://www.arenaeditora.com.br)
- ✉ [contato@arenaeditora.com.br](mailto:contato@arenaeditora.com.br)
- 📷 [@arenaeditora](https://www.instagram.com/arenaeditora)
- 📘 [www.facebook.com/arenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/arenaeditora.com.br)

Sustentabilidade e inovação nas

# Ciências Agrárias



-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)