

Estudios teórico-metodológicos en  
**CIENCIAS EXACTAS,  
TECNOLÓGICAS**

**Y DE LA TIERRA 4**

DENIS MEDINA GUEDES  
LEONARDO FRANÇA DA SILVA  
VICTOR CRESPO DE OLIVEIRA  
(Organizadores)



**Atena**  
Editora  
Ano 2024



Estudios teórico-metodológicos en  
**CIENCIAS EXACTAS,  
TECNOLÓGICAS**

**Y DE LA TIERRA 4**

DENIS MEDINA GUEDES  
LEONARDO FRANÇA DA SILVA  
VICTOR CRESPO DE OLIVEIRA  
(Organizadores)



**Atena**  
Editora  
Ano 2024

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2024 Os autores

Copyright da edição © 2024 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

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

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a 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 Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Régina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

# Estudios teórico-metodológicos en ciencias exactas, tecnológicas y de la tierra 4

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Yaiddy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** Denis Medina Guedes  
Leonardo França da Silva  
Víctor Crespo de Oliveira

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E82 Estudios teórico-metodológicos en ciencias exactas, tecnológicas y de la tierra 4 / Organizadores Denis Medina Guedes, Leonardo França da Silva, Víctor Crespo de Oliveira. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-2272-3

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.723243001>

1. Ciencias exactas. 2. Ciencias de la tierra. 3. Tecnología. I. Guedes, Denis Medina (Organizador). II. Silva, Leonardo França da (Organizador). III. Oliveira, Víctor Crespo de (Organizador). IV. Título.

CDD 509

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, 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 do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam 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 dos manuscritos publicados, 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. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 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. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



La colección “Estudios Teórica-Metodológicas en Ciencias Exactas, Tecnológicas y de la Tierra 4” representa un trabajo centrado en la discusión científica, abarcando una variedad de trabajos en sus capítulos. Este eBook propone la presentación de diversos contenidos relacionados con la biotecnología y la ingeniería, distribuidos a lo largo de sus 6 capítulos.

El volumen aborda, de manera categorizada e interdisciplinaria, trabajos, investigaciones, relatos de casos y reseñas en las diversas áreas del medio ambiente, la sostenibilidad y otros segmentos vinculados a las ciencias agrícolas.

El libro organiza estudios interdisciplinarios, que integran diferentes ramas de la ingeniería, la ciencia y las tecnologías innovadoras.

El objetivo fundamental es clasificar y presentar de manera clara las investigaciones teórico-metodológicas realizadas en instituciones de enseñanza e investigación de diferentes países. La mejora de los procesos organizativos o materiales, utilizando los avances tecnológicos y la modelización matemática y/o biológica, pretende hacer estos estudios más rápidos y eficaces.

La aplicación de nuevos conocimientos relacionados con la tecnología en metodologías conocidas es fundamental para obtener resultados prácticos con mayor rapidez, que pueden resultar en nuevos productos, servicios o procesos que busquen avances significativos.

El trabajo aborda varios temas relevantes para apoyar el conocimiento de la comunidad académica y de todos los interesados en las ciencias exactas, tecnológicas y de la tierra en sus diversas áreas de aplicación. Es crucial brindar material que demuestre avances y mejoras en los procesos organizacionales o materiales, con información relevante sobre temas actuales y significativos para la sociedad.






Así, “Estudios Teórica-Metodológicos en Ciencias Exactas, Tecnológicas y de la Tierra 4” presenta una teoría sólida basada en los resultados alcanzados por docentes, académicos e investigadores dedicados. Atena Editora juega un papel fundamental al proporcionar una plataforma establecida y confiable para que estos investigadores presenten y difundan los resultados de sus investigaciones.

Desde esta perspectiva, Atena Editora trabaja incansablemente para estimular e incentivar a investigadores de Brasil y de otros países a publicar sus trabajos, asegurando calidad y excelencia, ya sea en forma de libros, capítulos o artículos científicos.

¡Buena lectura!

Denis Medina Guedes  
Leonardo França da Silva  
Víctor Crespo de Oliveira



<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
EFFECT OF BIOCHAR ON THE AGRONOMIC AND ENVIRONMENTAL PROPERTIES OF BOKASHI AND COMPOST	
Cristina Muñoz	
Alberto Loncomilla	
Nicolás Valenzuela Basy-Galup	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.7232430011">https://doi.org/10.22533/at.ed.7232430011</a>	
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>18</b>
ANÁLISE DO ÍNDICE DE PREÇOS AO CONSUMIDOR AMPLO (IPCA) POR MEIO DE COMBINAÇÕES DE PREVISÕES	
Glaucio Jorge Ferreira Rosa	
Diego Brenner Dos Reis	
Cleber Bisognin	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.7232430012">https://doi.org/10.22533/at.ed.7232430012</a>	
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>33</b>
HIGH-END DISRUPTIVE INNOVATION AS EXEMPLIFIED BY BALMUDA CASE	
Shin'ya Nagasawa	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.7232430013">https://doi.org/10.22533/at.ed.7232430013</a>	
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>50</b>
SPATIOTEMPORAL FEATURES OF DROUGHT CONDITIONS: A CASE STUDY IN AN EQUATORIAL ANDEAN BASIN USING THE SPEI INDEX (1982-2015)	
Darío Zhiña	
Alex Avilés	
Jheimy Pacheco	
Daniel Mendoza	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.7232430014">https://doi.org/10.22533/at.ed.7232430014</a>	
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>64</b>
ACCIONES INNOVADORAS DE LA CADENA NOPAL ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ) EN EL PROGRAMA EXTENSIONISMO DE LA CIUDAD DE MÉXICO (CDMX)	
Georgel Moctezuma López	
Antonio González Hernández	
Ramiro Pérez Miranda	
Francisco Moreno Sánchez	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.7232430015">https://doi.org/10.22533/at.ed.7232430015</a>	
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>83</b>
ANÁLISE DO SOLO E DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ENTORNO DE UM CEMITÉRIO LOCALIZADO NUMA PEQUENA CIDADE DO INTERIOR DE MINAS GERAIS	
Jéssica Juliana Braz Bicalho	
Samila Silva Guimarães Santos	
Leonardo França da Silva	

Victor Crespo de Oliveira  
Evandro Carrusca de Oliveira  
Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7232430016>

<b>SOBRE OS ORGANIZADORES .....</b>	<b>104</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>105</b>

## EFFECT OF BIOCHAR ON THE AGRONOMIC AND ENVIRONMENTAL PROPERTIES OF BOKASHI AND COMPOST

*Data de aceite: 26/01/2024*

### **Cristina Muñoz**

Universidad de Concepción, Department of Soils and Natural Resources, Laboratory of Materials Carbonaceous and Agriculture, Chillán, Chile.

### **Alberto Loncomilla**

Universidad de Concepción, Department of Soils and Natural Resources, Laboratory of Materials Carbonaceous and Agriculture, Chillán, Chile.

### **Nicolás Valenzuela Basy-Galup**

Agrícola Los Avellanos, Tanilvoro, Ñuble región, Chile.

**ABSTRACT:** It is essential to incorporate organic amendments such as compost and bokashi in sustainable agricultural systems at the farm level. However, the potential benefits of using biochar as an additive in bokashi have not been previously studied. Therefore, this research aimed to explore the effects of biochar on the agronomic and environmental aspects of bokashi and compost production. To achieve this, a field experiment was conducted, comparing bokashi and compost piles with and without biochar. During the maturation process, various parameters including temperature,

chemical composition, and biological changes were monitored. The findings demonstrated that the inclusion of biochar in both types of amendments helped regulate the maximum temperatures reached during the process. Moreover, bokashi and compost piles with biochar exhibited higher pH levels and lower CO<sub>2</sub> emissions during maturation; and bokashi with biochar showed increased forage productivity. In conclusion, the use of biochar had a positive impact on the maturation process and overall quality of bokashi and compost. This has significant advantages for agriculture and organic waste management, as it enhances performance for crops and offers practical applications.

**KEYWORDS:** nutrients, CO<sub>2</sub> emissions, N cycle, organic waste, organic amendments.

### **INTRODUCTION**

In today's agriculture, there is a need to increase productivity to meet the global demand for food. In response to these challenges, various initiatives have been proposed to promote sustainable agricultural systems. Implementing good practices is crucial for achieving sustainable

agricultural systems. For instance, effective management of soil fertility is essential to improve its physical, chemical, and biological properties. Currently, the application of different residues stabilized by biological or other methods help to increase the quality of soil (Medina et al., 2015).

An alternative use of agricultural waste is the production of Bokashi, a stabilized product with high organic matter and nutrient content, porosity, and water retention capacity, has gained attention as a promising alternative to compost due to its ability to introduce beneficial microorganisms that improve soil health and properties (Quiroz y Céspedes 2019). The compost, on the other hand, is an organic material produced through the recycling of organic waste. It serves as a natural fertilizer due to microbial activity and offers benefits such as improving soil structure and enhancing crop development. Compost is a cost-effective option that utilizes organic waste and different additives (Chen et al., 2023). Additionally, the biochar production is another alternative to re-utilize the residues, that involves thermally stabilizing organic materials rich in carbon. Biochar has favorable physical, chemical, and biological properties, including high porosity and surface area, cation exchange capacity, water retention capacity, and improved nutrient availability, leading to increased crop production (Muñoz et al., 2019; Ginebra et al., 2022).

Considering the limited scientific research available on the maturation process and characterization of Bokashi, this research aims to provide scientific information on the maturation process of stabilized materials such as compost and Bokashi, with the addition of biochar as a technological innovation. The objective is to evaluate the impact of biochar on agronomic and environmental parameters in the production of Bokashi and compost.

## MATERIALS AND METHODS

**Experimental field.** This research was carried out in a rural area in Los Avellanos farm (36°42'38.2"S latitude and 71°50'19.5"W longitude), located at Central-South of Chile, with Mediterranean climate.

**Collection of raw materials.** Sheep manure was collected in the farm's barn and stored in solid form. The biochar was previously produced in a pyrolysis oven type Kon-Tiki (Schmidt and Taylor, 2014) using cherry pruning wastes. Pyrolysis was carried out reaching a maximum temperature of approximately 500°C and a material with the following chemical characterization was obtained: pH 10.34, electrical conductivity 2.73 dS m<sup>-1</sup>, organic C 81.1%, total N 1.48 %, P available 0.1% and K available 0.79%.

**Preparation of bokashi.** In the preparation of bokashi, the inputs indicated in Table 1 were incorporated. The inoculum solution was prepared in a 200 L container that contained: 20 L of microorganism inoculum with phosphorus-solubilizing bacteria (obtained from ponds with anaerobic fermentation), 10 L of cow's milk whey, 4 L of molasses, 250 g of yeast and water to complete 200 L. All the previously mentioned inputs were acquired

through purchase except the microorganism inoculum that was prepared on the anaerobic ponds enabled for this purpose.

Supplies	Amount (Kg)
Sheep manure	300 (38.7%)
Substrate*	300 (38.7%)
Biochar**	50 (6.5%)
Wheat bran	125 (16.1%)
Yeast	0,25 kg (0.03%)
Microbial inoculum***	20 L
Serum	10 L
Molasses	4 L
Water	170 L

\* Mature bokashi; \*\* Used only in treatments B+BC; \*\*\* phosphorus-solubilizing bacteria.

Table 1. Supplies for the production of bokashi.

In the field, two bokashi piles were set up with identical elements and proportions as specified for their implementation. The only distinction between the two piles was the presence or absence of biochar during preparation. The solid materials (refer to Table 1) were thoroughly mixed using a tractor with a shovel, while the liquid supplies were first mixed in a jar before being applied and mixed with the solid materials. Subsequently, a generous amount of water was added to initiate microbiological activity.

Temperature was observed over a period of 18 consecutive days. Whenever the temperature reached 50 °C, the bokashi piles were rotated using a tractor to lower their temperature. Throughout this time, samples were collected every other day in order to conduct chemical and biological analysis in the laboratory.

**Compost production.** The production of compost involved the implementation of two compost piles in the field. Both piles consisted of the same elements and proportions as indicated in Table 2, with one pile containing biochar and the other without. The materials were layered vertically in the compost piles. After evenly applying water to initiate microbial activity, the temperature was monitored. Once the temperature of the piles dropped below 50 °C, mechanical action was used to turn each pile and facilitate microbial processes.

Supplies	Amounts (Kg)
Sheep manure	90 (32.7%)
Fresh residues (leaves and stems of vegetables)	90 (32.7%)
Cereal straw	75 (27.2%)
Biochar*	16.5 (6.0%)

\* Only was used in the treatment C + BC

Table 2. Supplies for the production of compost.

To replicate the variations in substrate maturation due to climatic differences, two sets of experiments were conducted for both assays. The first set took place in the spring season (November 2021), while the second set was carried out in the autumn season (March 2022). Each set consisted of two repetitions.

The treatments included Bokashi (B), Bokashi with biochar (B+BC), Compost (C), and Compost with biochar (C+BC).

**Temperature.** Temperature measurements were taken during the maturation period of 18 days for both the bokashi and compost piles in both the spring and autumn stages. A thermometer (Generic brand, model 5AC402539, 40 cm long) was used to periodically record temperatures. The measurements were taken from the four cardinal points (north, south, east, and west exposures) of each pile to ensure a representative sample. It is important to note that the temperatures were taken simultaneously to ensure similar environmental conditions throughout the duration of the experiment.

**Chemical characterization.** Samples were extracted from each pile of bokashi on days 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 and 18 and in the case of compost, sampling was carried out at the end of four months of maturation for subsequent chemical analysis at the Soil Analysis Laboratory of the University of Concepción.

The pH, electrical conductivity, nitrates and ammonium, available phosphorus, available calcium and magnesium were evaluated, according to the standardized methodology for compost (Sadzawka et al., 2005). The carbon and total nitrogen content was determined by dry combustion in a CN elemental analyzer (LECO, TruSpec CN, USA) with which the carbon/nitrogen ratio of the residue was obtained.

**CO<sub>2</sub> emission analysis.** To assess environmental conditions, a respirometry test was conducted in a controlled laboratory setting, where temperature and humidity were regulated. The samples were incubated in a chamber at a consistent temperature of 22 °C and humidity levels. The CO<sub>2</sub> emissions were then analyzed using infrared spectroscopy, specifically the Licor model 820. To determine the CO<sub>2</sub> emissions resulting from the use of bokashi, samples were incubated every other day for 18 days. As for the compost, the sample was evaluated at the end of the maturation period, which lasted for 4 months.

**Productivity determination.** The perennial forage species *Lolium perenne* L. of the Nui cultivar was used for this essay. A substrate of 600 grams of a pre-washed sand mixture was used, along with perlite (amorphous aluminum sodium potassium silicate) to enhance moisture retention capacity. The sand and perlite were mixed in a ratio of 2:1 v/v, respectively. The amendments (B, B+BC, C, and C+BC) were added to the sand-perlite mixture at a rate of 2% (w/w) or 12 g per pot, and the mixture was homogenized. A seed weight of 1 g per pot (equivalent to 25 kg ha<sup>-1</sup>) was sown, with a germination rate of 94%. The pots were placed in a growth chamber (Biobase TCL, model BJPX-L450) with a constant temperature of 18-22°C and a day-night light variation of 14 h day and 10 h night. The pots were randomly rotated every 3 days within the chamber. Periodic watering of 20

mL of distilled water (pH 6) was done every 3 days.

**Statistical analysis.** Two independent assays were considered. The normality was evaluated with the Shapiro-Wilks test, and the results were subjected to parametric tests of comparison of means for independent data, using T-Student and LSD Fisher tests with the statistical software INFOSTAT, version 2018.

## RESULTS AND DISCUSSION

**Temperature analysis.** In the bokashi prepared during the spring season (Figure 1A), there was an initial increase in temperature in the first 13 days. The temperature fluctuated between 25°C and 59°C for treatment B, while treatment B + BC had a slightly lower temperature ranging from 2 to 5°C. After day 13, both treatments experienced a significant decrease in temperature and stabilized at 42-44°C without any significant differences. In various ecosystems, the maximum temperature suitable for heterotrophic microorganisms plays a crucial role. According to a study conducted by Simbolon et al. (2023), the highest cellulolytic activity was observed at 40°C for both actinobacteria and heterotrophic bacteria isolates. This suggests that temperatures exceeding this level may not be favorable for their activity. Additionally, Strom (1985) found that a temperature threshold of approximately 60°C leads to a significant reduction in bacterial species diversity during thermophilic solid-waste composting. To ensure microbial activity, we consider 50°C as the maximum temperature. Notably, in treatment B, temperatures above 50°C were more frequent (8 times) compared to treatment B+BC (6 times).

Throughout the autumn season (Figure 1B), there was a consistent rise in temperatures from the start of establishment to the 13th day of maturation. In the control group (B), temperatures ranged between 24 °C and 58 °C, while in the treatment group with biochar (B + BC), temperatures ranged between 23 °C and 53 °C. However, the temperatures in the control group (B) were slightly higher, with a difference of 2 – 7 °C compared to the treatment group (B + BC). It is worth noting that the control group had eight instances where the temperature reached or exceeded 50°C, whereas the treatment group (B + BC) only had four instances. This observation is significant as excessively high temperatures can have a detrimental effect on microbial activity.

During the spring compost maturation process (Figure 2A), the compost piles experienced a significant temperature increase in the initial four days after being prepared, with both treatments starting at 26 °C. In this initial phase, treatment C+BC reached its peak temperature at 63 °C, while treatment C reached a maximum of 65 °C.

Between day 5 and day 10, the temperature gradually decreased in both treatments, reaching 43 °C in treatment C+BC and 48 °C in treatment C. However, there was a slight increase in temperature between day 10 and day 12, with treatment C+BC reaching 53 °C and treatment C reaching 57 °C.



Finally, from day 13 to day 18, the temperature declined to 43 °C in treatment C+BC and 47 °C in treatment C.

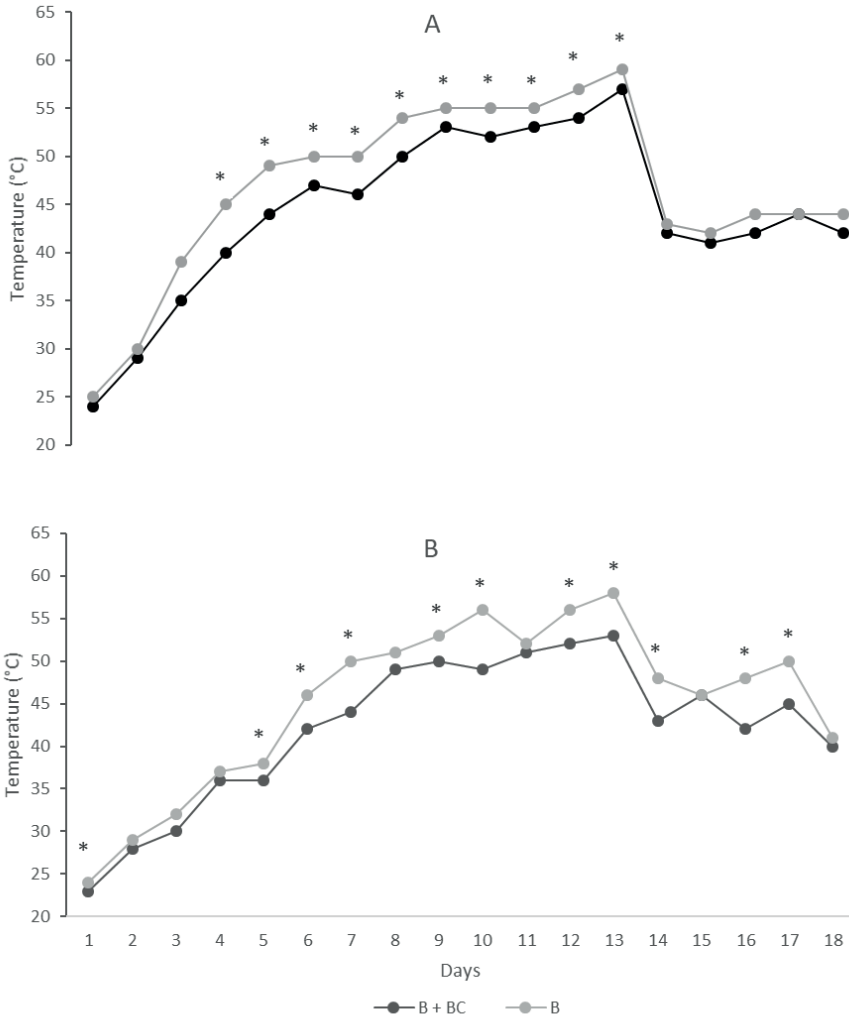


Figure 1. Recorded temperatures during the bokashi maturation process. A) spring, B) autumn. Statistical differences were observed between the treatments on each day of evaluation, as indicated by the asterisk (\*).

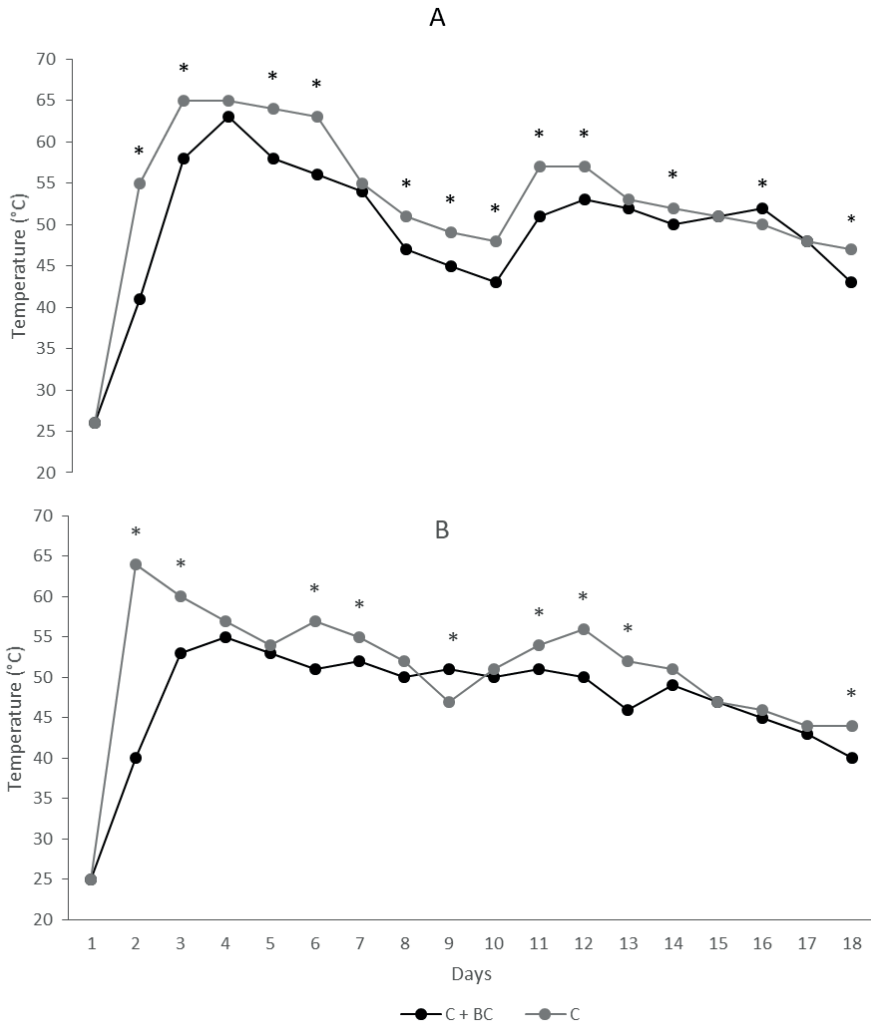


Figure 2. Recorded temperatures during the composting maturation process. A) spring, B) autumn. Statistical differences were observed between the treatments on each day of evaluation, as indicated by the asterisk (\*).

Significant differences in temperature variations of the compost piles were observed on days 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, and 18. The statistical analysis revealed that treatment C had higher temperatures compared to treatment C+BC, with a temperature difference ranging from 1 to 7 °C.

Furthermore, when considering a maximum limit of 50 °C, it was found that treatment C had a higher frequency of temperatures exceeding this threshold compared to treatment C+BC. On the other hand, treatment C+BC was able to maintain the temperature of the pile at more moderate levels.

In the case of the compost piles prepared during the autumn stage (Figure 2B), the control treatment reached its peak temperature of 64 °C on day 2. However, treatment C + BC did not reach its maximum temperature until day 4 of maturation, with a peak temperature of 55 °C. Following its peak temperature, treatment C experienced fluctuations in temperature until day 12, ranging between 64 °C and 56 °C, before gradually decreasing to 44 °C by day 18. On the other hand, treatment C + BC showed a gradual decrease in temperature, with a lower temperature of 41 °C reached by day 18. The temperature variations between the compost piles in treatments were statistically different on days 2, 3, 6, 7, 9, 11, 12, 13, and 18. Specifically, treatment C recorded higher temperatures, showing a difference of 1 – 24 °C compared to treatment C+BC.

When considering an upper limit of 50 °C, it was observed that treatment C had a frequency of temperatures exceeding this threshold 12 times higher than treatment C+BC. In contrast, treatment C+BC managed to maintain the temperature of the compost pile at more moderate levels.

**Nutrition parameters.** Regarding the different chemical parameters obtained from the assay in different seasons, no differences were obtained in pH, electric conductivity, P, Ca and Mg available. For pH and electric conductivity were obtained difference between treatments (Figure 2). At the end of the evaluated period, the pH of the bokashi was 7.7 to B and 8.1 to B+BC. The electric conductivity was higher in treatment with BC (2.5 DS cm<sup>-1</sup>) compared without biochar (B=1.5 DS cm<sup>-1</sup>), but is necessary to consider that in NCh2880 for compost or similar materials the maximum allowed is 3 DS cm<sup>-1</sup>. No significant differences were observed in the pH, electric conductivity, available P, Ca, and Mg levels between the different seasons. However, there were variations in pH and electric conductivity among the different treatments (Figure 2). The pH of the bokashi was found to be 7.7 for treatment B and 8.1 for treatment B+BC at the end of the evaluation period. The electric conductivity was higher in the treatment with biochar (2.5 DS cm<sup>-1</sup>) compared to the treatment without biochar (B=1.5 DS cm<sup>-1</sup>). It should be noted that the maximum allowed electric conductivity for compost or similar materials, according to NCh2880 (INN, 2015), is 3 DS cm<sup>-1</sup>. There were no significant differences in the availability of nutrients such as P, Ca, and Mg between the treatments, with average levels of 0.3%, 0.5%, and 0.3% respectively at the end of the evaluation period (Tables 3 and 4).

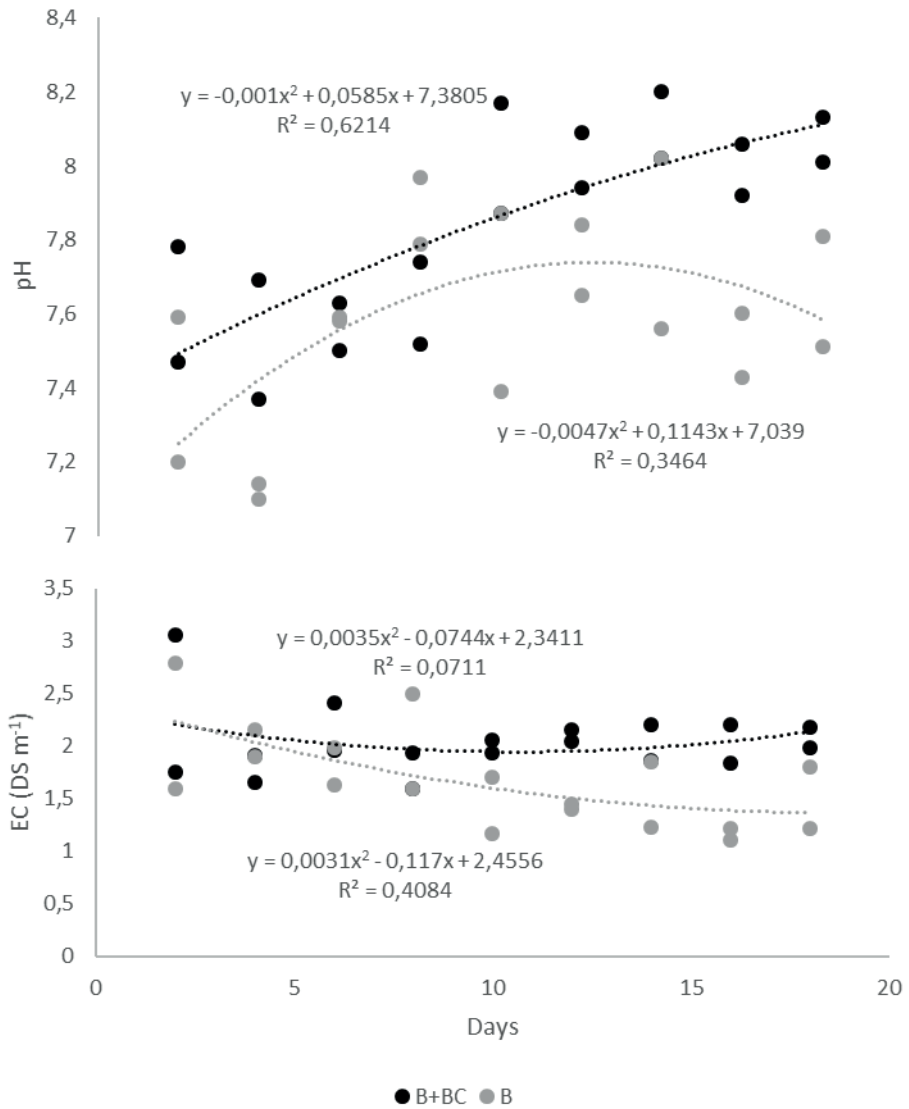


Figure 2. Variation in pH and electric conductivity during the bokashi maturation process.

Days	Total N (%)	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	P av. (%)	Ca av. (%)	Mg av. (%)	Humidity (%)
2	0.96	272.3	0.35	0.48	0.24	52.4
4	0.93	447.1	0.37	0.47	0.25	47.5
6	1.00	638.0	0.31	0.44	0.26	42.7
8	1.01	814.6	0.33	0.45	0.24	43.6
10	0.95	730.9	0.33	0.44	0.23	38.2
12	0.89	917.4	0.35	0.45	0.24	34.3
14	0.90	940.8	0.35	0.47	0.23	35.3
16	0.91	671.7	0.31	0.44	0.26	35.2
18	0.92	859.3	0.33	0.47	0.26	35.6

Av. = available

Table 3. Chemical composition in bokashi (B) during the maturation process.

Days	Total N (%)	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	P av. (%)	Ca av. (%)	Mg av. (%)	Humidity (%)
2	0.91	375.9	0.41	0.60	0.29	47.6
4	0.88	555.8	0.35	0.50	0.24	44.7
6	1.12	453.7	0.35	0.44	0.24	43.1
8	0.99	667.0	0.33	0.41	0.25	45.2
10	0.96	800.7	0.35	0.54	0.27	41.1
12	0.94	828.6	0.37	0.54	0.28	38.2
14	1.00	856.2	0.37	0.54	0.28	39.4
16	0.97	809.5	0.37	0.53	0.28	40.1
18	1.01	802.6	0.37	0.55	0.29	38.3

Av. = available

Table 4. Chemical composition in bokashi with biochar (B+BC) during the maturation process.

In our research, biochar has not been shown to have a significant effect on nutritional parameters (Tables 3 and 4) of bokashi and compost produced (Table 5); not allowing demonstration of the ability of biochar to retain nutrients produced during the maturation process. The pH in all cases was higher than the level allowed by NCh2880 for compost. This probable is due pH initial of the mixture of feedstock used.

Parameters	Units	Reference Range NCh2880*	C	C + BC
pH	--	5.0 - 7.5	8.04	8.01
Cond. Eléctrica	dS m <sup>-1</sup>	< 3	1.45	1.73
M O	%	> 20	31.19	33.63
Nitrógeno Total	%	≥ 0.5	1.03	1.18
Ratio C/N	--	≤ 30	17.57	16.53
N-NO <sub>3</sub>	mg kg <sup>-1</sup>	--	163.6	368.8
N-NH <sub>4</sub>	mg kg <sup>-1</sup>	< 500	85.4	62.4
P available	%	≤ 0.1	0.87	0.52
K available	%	--	1.30	1.05
Ca available	%	--	2.35	1.8
Mg available	%	--	0.55	0.50
Humidity	%	30 - 45	44.5	41.3

Table 5. Chemical characterization of compost after 4 months of maturation.

\* Source: INN (2015)

However, several studies have provided scientific evidence of biochar's ability to retain nutrients on its surface during composting. For instance, Joseph et al. (2018) demonstrated that during composting, dissolved nutrients are absorbed into the pores of biochar, leading to the formation of a nutrient-rich organo-mineral layer. This process results in the retention and release of nutrients, which contributes to improving the nutrient content in the compost. Additionally, Jílková (2023) conducted a microcosm experiment and observed that biochar affected nutrient availability and retention in agricultural soil, demonstrating the potential of biochar to retain nutrients during composting. Furthermore, Sánchez-Monedero et al. (2019) reported that the application of a mixture of biochar and compost benefited crops, indicating the nutrient retention capacity of biochar during composting.

**Total C.** For the total C concentration in bokashi produced in autumn (Figure 3) and compost (Table 5), no differences were found with the addition of biochar in 6% in a pile of compost. Probably, the applicate doses might be higher to produce relevant differences. However, in the case of bokashi produced in the spring season, it was possible to observe the difference between treatments; with a difference of 0.95% of total C in the organic substrate. This is related to the contribution from the structural C contained in the biochar, having 81.1% total C highly stable and recalcitrant, which reduces its decomposition compared to the decomposition of organic components present in fresh organic matter or stabilized as a microbial process as hummus. This increase benefits the quality of the amendment when is used in soils with low organic matter content.

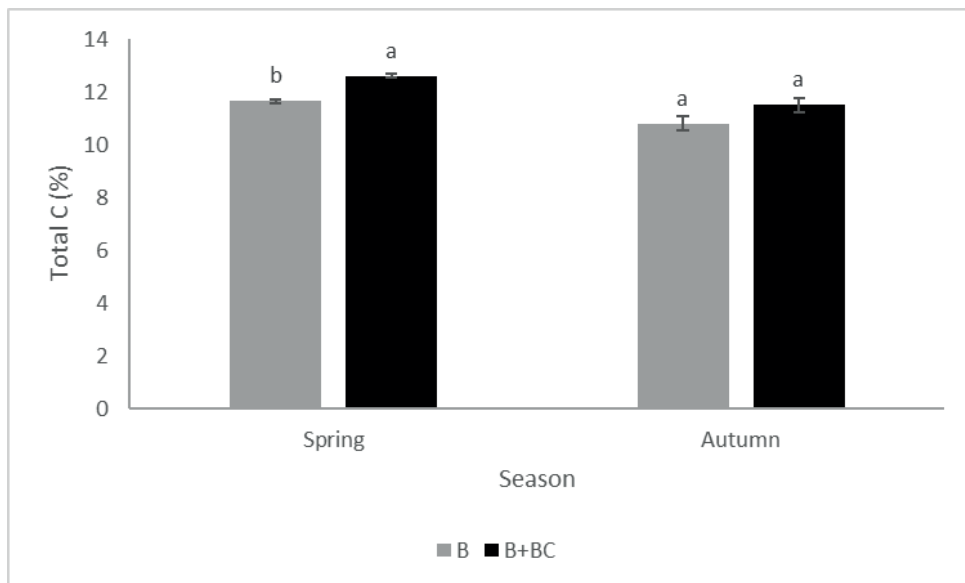


Figure 3. Total carbon (%) in bokashi at the end of the maturation period. Bars showed standard error. LSD Fisher Test ( $p \leq 0.05$ ).

**Microbial respiration.** During the period (Figure 4), variations in microbial respiration were observed, with no notable differences between treatments in the spring season. However, in the fall season, the respiration rate was higher in bokashi without biochar (B) at  $274.7 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , while the addition of biochar reduced this value by 15%. This contrast is depicted in Figure 5, which illustrates that bokashi with biochar (B + BC) initially produces less  $\text{CO}_2$  compared to bokashi alone. Interestingly, a peak in  $\text{CO}_2$  production is observed at day 10 of the maturation process, after which it gradually decreases. In contrast, bokashi without biochar exhibits a high  $\text{CO}_2$  production from days 4 to 14 of incubation, displaying a different pattern of behavior.

In the case of compost microbial respiration (Figure 6), there were no significant differences in the  $\text{CO}_2$  emission rate among the treatments. However, it is important to note that the sample was only taken once at the end of the 4-month maturation process when the material had stabilized in terms of chemical properties (Table 3).

In terms of the  $\text{CO}_2$  emission rate in the compost trials, treatment C+BC showed a lower rate of  $23 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , while treatment C had a higher rate of  $35 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . The presence of biochar in treatment C+BC is believed to contribute to the decrease in the  $\text{CO}_2$  emission rate compared to treatment C. This could be due to biochar's ability to retain carbon and reduce microbial decomposition. Aboagye et al. (2022) found that the addition of rice husk biochar to compost helped stabilize carbon by forming organic complexes. Similarly, Barthod et al. (2016) suggest that the adsorption of organic components onto the biochar's surface could be responsible. On the other hand, a different study by Jia et al.



(2016) showed that the addition of biochar accelerated the composting process, leading to increased CO<sub>2</sub> emissions.

For instance, Gao et al. (2023) demonstrated that biochar co-compost improved nitrogen retention and reduced carbon emissions in a winter wheat cropping system, indicating the potential of biochar to influence the carbon dynamics of the substrate. However, Biederman and Harpole (2012) conducted a meta-analysis on the effects of biochar on plant productivity and nutrient cycling, highlighting the variable effects of biochar and the need for further research to justify its widespread application. Additionally, Dařenová et al. (2022) investigated the response of soil CO<sub>2</sub> efflux to the combined application of adaptation technologies, nitrogen fertilization, and external carbon amendment in wheat and barley fields, emphasizing the potential negative environmental impact of agricultural practices and the need for sustainable soil management strategies.

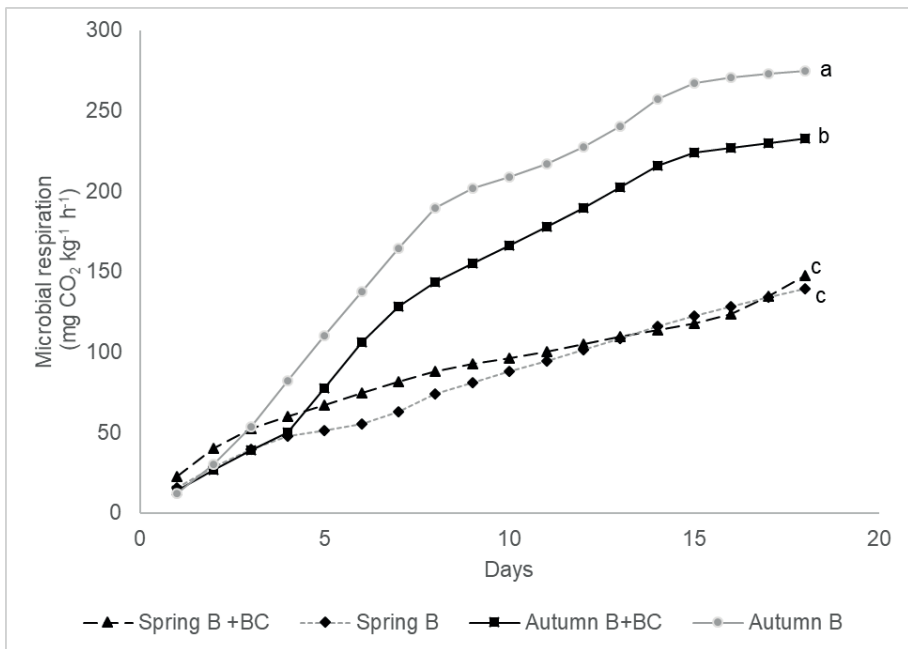


Figure 4. Microbial respiration accumulated from bokashi during the period evaluated. Different letters indicate statistical differences between treatments at the end of the period. LSD Fisher Test ( $p \leq 0.05$ ).

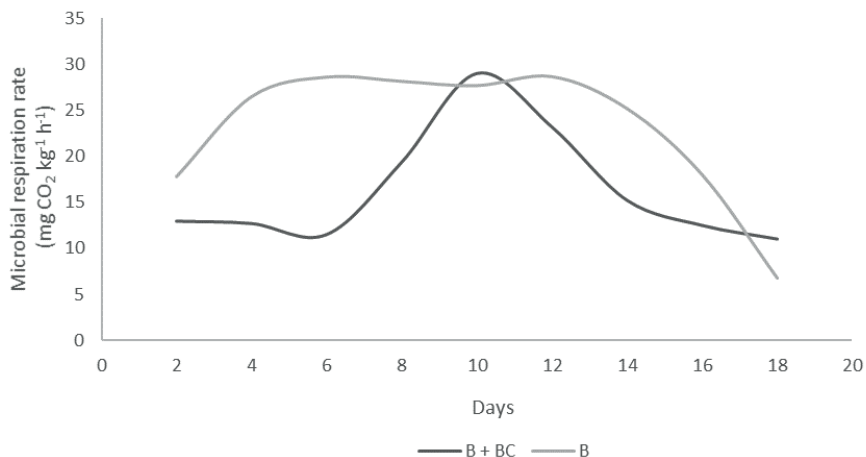


Figure 5. Microbial respiration rate of bokashi produced in the autumn season.

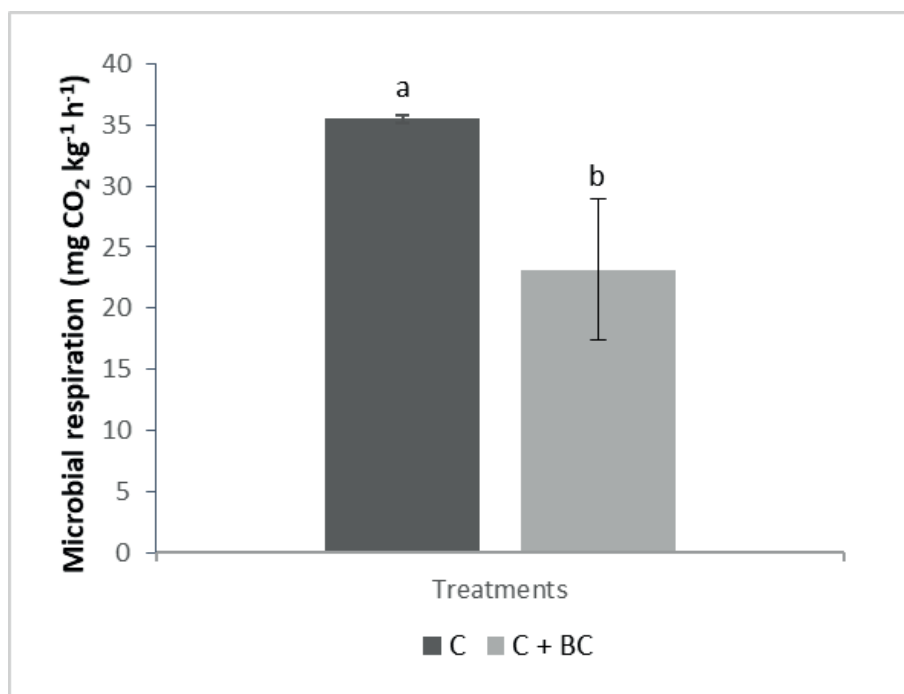


Figure 6. Microbial respiration in compost without (C) and with biochar (C + BC). Bars show standard deviation.

**Productivity using the organic amendments.** The different treatments (Figure 7) showed notable variations in forage productivity. In comparison to the other treatments (B, C, and C+BC), the treatment B + BC resulted in a 37% higher yield. All treatments performed better than the control, which only used an inert substrate. This suggests that the

addition of a 2% p/p dose enhances the nutrient content of the substrate. Despite the similar nutritional content of the amendments, the combination of bokashi with biochar increased forage production. This could be due to the release of nutrients from the biochar surface facilitated by organic substances from the roots. Similarly, Gao et al., (2023) indicate that the addition of biochar to compost led to an increase in the overall biomass of winter wheat, ultimately resulting in a reduction in nutrient leaching.

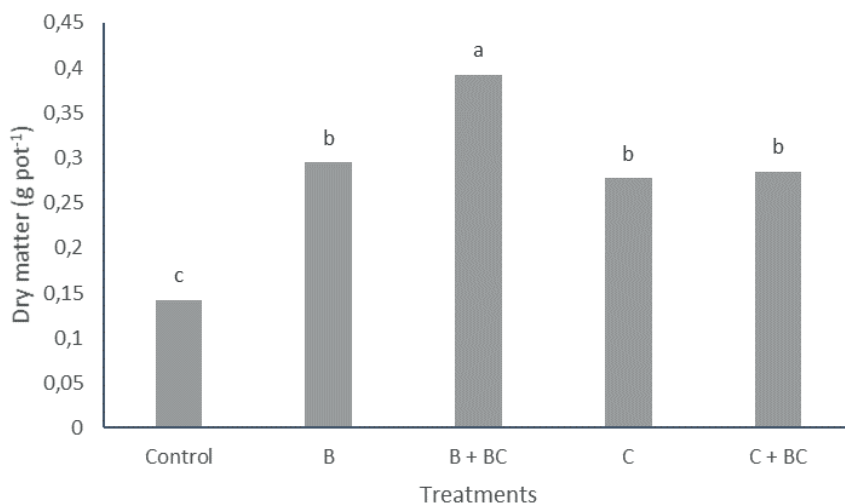


Figure 7. Productivity of *Lolium perenne* cv Nui using different organic amendments.

## CONCLUSIONS

Introducing biochar into the production of bokashi and compost has a positive impact on both agronomic and environmental aspects. This can be seen in the lower temperatures observed during the maturation phase of the piles. Furthermore, the inclusion of biochar results in significant alterations in pH levels and electric conductivity. Moreover, the addition of biochar aids in reducing the release of CO<sub>2</sub> during the maturation and stabilization of compost and bokashi. A controlled study demonstrated that bokashi containing biochar increased forage productivity.

Based on these discoveries, integrating biochar into the production process of bokashi and compost offers multiple advantages for agriculture, the environment, and waste management. This approach is practical and enhances the agronomic performance for cultivating forage.

## ACKNOWLEDGMENTS

We thank Project Fondecyt 1210503 “Biochar activated for bio-remediation and bio-

recovery of soils to promote a climate-smart agriculture” for providing the funding.

## REFERENCES

- Aboagye, D.A., Adjadeh, W.T., Nartey, E.K., & S. Asuming-Brempong (2022). Co-application of biochar compost and inorganic nitrogen fertilizer affects the growth and nitrogen uptake by lowland rice in northern Ghana. *Nitrogen*, 3(3), 414-425. <https://doi.org/10.3390/nitrogen3030027>
- Barthod, J., Rumpel, C., Paradelo, R. & M. Dignac 2016. Can worms be used to produce amendments with reduced CO<sub>2</sub> emissions during co-composting with clay and biochar and after their addition to soil? *Soil Discuss.* 35: 1-31
- Biederman, L.A. & W.S. Harpole (2012). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy*, 5(2), 202-214. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12037>
- Chen L., Y. Chen, Y. Li, Y. Liu, H. Jiang, H. Li, Y. Yuan, Y. Chen, & B. Zou. 2023. Improving the humification by additives during composting: A review. *Waste Management*, 158, 93-106, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.12.040>.
- Dařenová, E., Findurova, H., Holub, P., & K. Klem (2022). Soil CO<sub>2</sub> efflux response to combined application of adaptation technologies, nitrogen fertilization, and external carbon amendment in wheat and barley field. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.920247>
- Gao, S., Harrison, B.P., Thao, T., Gonzales, M.L., An, D., Ghezzehei, T.A., Diaz, G. & R.A. Ryals (2023). Biochar co-compost improves nitrogen retention and reduces carbon emissions in a winter wheat cropping system. *GCB Bioenergy*, 15(4), 462-477. <https://doi.org/10.1111/gcbb.13028>
- Ginebra, M., C. Muñoz, R. Calvelo-Pereira, M. Doussoulin, & E. Zagal. 2022. Biochar impacts on soil chemical properties, greenhouse gas emissions and forage productivity: A field experiment. *Sci. Total Environ.* 806 (2): 150465.
- INN. 2015. Norma Chilena Oficial Nch 2880. Of2004. Compost - Clasificación y requisitos. Instituto Nacional de Normalización (INN), Santiago, Chile.
- Jia, X., Wang, M., Yuan, W., Ju, X. & B. Yang. 2016. The influence of biochar addition on chicken manure composting and associated methane and carbon dioxide emissions. *Bioresources.* 11(2).
- Jílková, V. (2023). Biochar-application rate and method affect nutrient availability and retention in a coarse-textured, temperate agricultural cambisol in a microcosm experiment. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 186(2), 209-216. <https://doi.org/10.1002/jpln.202200331>
- Joseph, S., Kammann, C.I., Shepherd, J.G., Conte, P., Schmidt, H.-P., Hagemann, N., Rich, A.M., Marjo, C.E., Allen, J., Munroe, P., Mitchell, D.R.G., Donne, S., Spokas, K. & E.R. Graber (2018) Microstructural and associated chemical changes during the composting of a high temperature biochar: Mechanisms for nitrate, phosphate and other nutrient retention and release. *Science of The Total Environment*, 618, 1210-1223, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.200>.
- Medina J., Monreal, C., Barea, J.M., Arriagada, C., Borie, F. & P. Cornejo. 2015. Crop residue stabilization and application to agricultural and degraded soils: A review. *Waste Management*, 42, 41-54, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.002>

Muñoz, C., Ginebra, M. & E. Zagal. 2019. Variation of greenhouse gases fluxes and soil properties with addition of biochar from farm-wastes in volcanic and non-volcanic soils. *Sustainability*, 11: 1831.

Quiroz, M. & C. Céspedes, (2019). Bokashi as an amendment and source of nitrogen in sustainable agricultural systems: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19 (1), 237-248. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-0009-9>

Sadzawka, R., M.A. Carrasco, R. Grez, & M.L. Mora. 2005. Métodos de análisis de compost. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas N° 30, Santiago, Chile, 142 p.

Sánchez-Monedero, M., Cayuela, M., Sánchez-García, M., Vandecasteele, B., D'Hose, T., López, G., Martínez-Gaitán, C. Kuikman, P.-J., Sinicco, T. & C. Mondini, (2019). Agronomic evaluation of biochar, compost and biochar-blended compost across different cropping systems: perspective from the european project FERTIPLUS. *Agronomy*, 9(5), 225. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050225>

Schmidt, H.-P. & P. Taylor, 2014. Kon-Tiki flame curtain pyrolysis for the democratization of biochar production. *The Biochar Journal*, Arbaz, Switzerland, ISSN 1663-0521, pp. 14 -24.

Simbolon, L.M., Ismet, M.S., Ismiati, P., Ilham, A.F. & E.S. Srimariana (2023). Cellulolytic activity at the low temperature of associative bacteria from a seagrass ecosystem. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1137(1), 012039. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1137/1/012039>

Strom, P.F. (1985). Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid-waste composting. *Applied and Environmental Microbiology*, 50(4), 899-905. <https://doi.org/10.1128/aem.50.4.899-905.1985>

# ANÁLISE DO ÍNDICE DE PREÇOS AO CONSUMIDOR AMPLO (IPCA) POR MEIO DE COMBINAÇÕES DE PREVISÕES

*Data de aceite: 26/01/2024*

**Glaucio Jorge Ferreira Rosa**

Universidade Federal de Santa Maria

**Diego Brenner Dos Reis**

Universidade Federal de Santa Maria

**Cleber Bisognin**

Universidade Federal de Santa Maria

**RESUMO:** O Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) possui o objetivo de medir a taxa de inflação com base em uma cesta de produtos e serviços comercializados no varejo, que representam o consumo pessoal das famílias. Permanecer atualizado acerca dos índices econômicos é de suma importância para compreender as tendências e a situação da economia brasileira. Esses índices oferecem dados relevantes sobre a inflação, o desempenho do setor produtivo, a variação dos preços e a renda das famílias, entre outros aspectos essenciais. Estar informado sobre tais métricas possibilita uma visão abrangente do cenário econômico do país. Dada a importância do IPCA, o objetivo deste trabalho é prever os futuros valores desse índice utilizando combinações de previsões. Os modelos

base utilizados são o SARIMA, os Modelos de Suavização Exponencial e Holt-Winters, totalizando seis modelos ajustados. Para a obtenção de previsões mais precisas, foram aplicados métodos de combinações de previsões, incluindo a média aritmética simples, a variância mínima e a regressões linear (OLS) e robusta (LAD). Para avaliar a acurácia das previsões e alcançar o objetivo proposto, foram utilizadas as seguintes medidas de desempenho: RSME, MAPE e MAE. Com base nas medidas de acurácia três combinações foram selecionadas, para as quais foram calculadas as previsões para o ano de 2023: combinação por mínimos quadrados e robusta utilizando seis modelos e a regressão robusta utilizando os modelos SARIMA, Holt-Winters Aditivo e Holt-Winters Multiplicativo com fator de amortecimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Índice de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA; Combinação de Previsões; Modelagem.

**ABSTRACT:** The Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) aims to measure the inflation rate based on a basket of goods and services traded at retail, representing the personal consumption of households. Staying updated on economic indicators is

of utmost importance to understand the trends and the situation of the Brazilian economy. These indicators provide relevant data on inflation, the performance of the productive sector, price variations, and household income, among other essential aspects. Being informed about such metrics enables a comprehensive view of the country's economic landscape. Given the importance of this index, the objective of this study is to forecast future values of the CPI using forecast combinations. The base models used are SARIMA, Exponential Smoothing Models, and Holt-Winters, totaling six adjusted models. To obtain more accurate forecasts, forecast combination methods were applied, including simple arithmetic mean, minimum variance, and linear regressions (OLS) and robust regressions (LAD). To evaluate the accuracy of the forecasts and achieve the proposed objective, the following performance measures were used: RMSE, MAPE, and MAE. Based on the accuracy measures, three combinations were selected, for which forecasts were calculated for the year 2023: the combination using least squares and robust regression with six models, and the robust regression using the SARIMA, Additive Holt-Winters, and Multiplicative Holt-Winters models with damping factor.

**KEYWORDS:** Índice de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA; Forecast *Combination*; *Modeling*.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) desempenha um papel crucial como um dos principais indicadores empregados pelo Banco Central do Brasil para mensurar a inflação no país. Mensalmente. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é responsável pelo cálculo do IPCA, que reflete a variação dos preços de um conjunto de bens e serviços consumidos pelas famílias brasileiras. O índice ganha destaque ao servir como referência para o sistema de metas de inflação implementado pelo Banco Central do Brasil. O objetivo primordial é manter a inflação dentro de uma faixa estabelecida pelo governo, atualmente fixada em 3,75% ao ano, com uma margem de tolerância de 1,5 pontos percentuais, seja para mais ou para menos. O IPCA é composto por nove grupos distintos, que são: alimentação e bebidas, artigos de residência, comunicação, despesas pessoais, educação, habitação, saúde e cuidados pessoais, transportes e vestuário. Cada um desses grupos possui um peso específico no cálculo do índice, levando em consideração sua relevância no orçamento das famílias brasileiras.

O impacto do IPCA na vida dos brasileiros é abrangente. Quando a inflação está em alta, os preços dos produtos e serviços tendem a aumentar, resultando em uma redução do poder de compra das pessoas e afetando a economia como um todo. Por essa razão, torna-se fundamental que o governo e os agentes econômicos acompanhem de perto a evolução do IPCA. De fato, os índices econômicos desempenham um papel significativo na economia de um país, pois fornecem informações valiosas sobre as condições e tendências do mercado. Esses indicadores abrangem diversas áreas e setores, oferecendo uma visão abrangente do desempenho econômico em diferentes aspectos. Como resultado, eles exercem uma influência relevante nas decisões dos agentes econômicos, incluindo



consumidores, empresas e governos.

Portanto, os índices econômicos desempenham um papel vital na análise e no funcionamento da economia, sendo ferramentas essenciais para entender a conjuntura econômica atual. Desta forma, a busca por melhorias é essencial para garantir o sucesso e a eficiência das atividades em diversas áreas. Nesse contexto, as técnicas de previsão desempenham um papel fundamental ao auxiliar a tomada de decisões em atividades que requerem planejamento e avaliação constantes. As previsões permitem antecipar tendências futuras e possíveis cenários, possibilitando que gestores e tomadores de decisão se preparem para enfrentar os desafios que surgirão. Através do uso de métodos de previsão, é possível identificar oportunidades e ameaças, o que é especialmente valioso em um ambiente de negócios altamente competitivo. Além disso, as técnicas de previsão ajudam a reduzir a incerteza presente em diversas áreas de interesse, proporcionando uma base sólida para o planejamento estratégico.

Neste sentido, Carvalho et al. (2016) indicam as previsões têm o poder de fornecer informações cruciais que apoiam o desenvolvimento de estratégias eficientes e ajudam a direcionar recursos de forma mais efetiva. Isso se traduz em vantagens competitivas para empresas, instituições e organizações, ao permitir que se adaptem melhor às mudanças do mercado e às demandas do ambiente globalizado.

De fato, a utilização de diversas técnicas de previsão pode aumentar a abrangência das informações disponíveis, contribuindo para prognósticos mais precisos e acurados. Uma abordagem frequentemente bem-sucedida é a combinação de previsões, que consiste em unir diferentes técnicas de previsão individuais para gerar uma previsão combinada. Segundo Costantini e Pappalardo (2010), esse método busca capturar os diversos fatores que influenciam cada técnica de previsão individual utilizada como base para a obtenção da previsão combinada. Ao combinar várias previsões, é possível aproveitar os pontos fortes de cada método, compensando eventuais limitações de um único modelo. Estudos, como os de Clemem (1989), Costantini e Pappalardo (2010) e Muniroh et al. (2017), relatam resultados positivos para a aplicação de combinações de previsões. Muitas vezes, as combinações avaliadas demonstram maior acurácia em comparação com as previsões individuais. Esse aumento na precisão pode ser atribuído à capacidade de incorporar diferentes perspectivas e fontes de informação, tornando o processo de previsão mais robusto e confiável. Assim, a combinação de previsões é uma estratégia valiosa que tem se mostrado eficiente em melhorar a qualidade das previsões, proporcionando uma visão mais completa e aprimorada do comportamento futuro das séries temporais ou variáveis estudadas. Isso é especialmente relevante em cenários em que a precisão das previsões é crucial para tomadas de decisão estratégicas e planejamento.

Pelo apresentado, o objetivo deste trabalho é calcular previsões acuradas para o IPCA utilizando combinações de previsões. Para o cálculo das previsões a serem combinadas por diversos métodos serão utilizados os modelos SARIMA, Holt-Winters e Suavização

Exponencial (ETS). Tais modelos são amplamente utilizados nas mais diversas áreas para realizar previsões de séries temporais com as características de tendência (determinística e/ou estocástica) e/ou sazonalidade. As técnicas de combinação de previsões utilizadas são média aritmética simples (MAS), variância mínima, regressão por mínimos quadrados ordinários (MQO) e regressão robusta (LAD).

## 2 | TÉCNICAS DE PREVISÃO

Nesta seção são apresentados os modelos usados para realizar a análise e previsão dos dados mensais do IPCA de 1995 a 2022, a saber: modelos Holt Winters, SARIMA( $p, d, q$ ) $\times$ ( $P, D, Q$ ) $_s$  e Suavização Exponencial, além de quatro métodos para realizar combinações de previsões: variância mínima, por regressão linear e robusta e média aritmética. A seguir são definidos os processos SARIMA( $p, d, q$ ) $\times$ ( $P, D, Q$ ) $_s$  propostos por Box; Jenkins (1976).

**Definição 1:** Considere o processo estocástico  $\{X_t\}_{t \in \mathbb{Z}}$  satisfazendo a Equação (1)

$$\Phi(B^s)\phi(B)(1 - B^s)^D(1 - B)^d(X_t - \mu) = \theta(B)\theta(B^s)\varepsilon_t, \quad (1)$$

em que  $\mu$  é a média do processo,  $\{\varepsilon_t\}_{t \in \mathbb{Z}}$  é o processo ruído branco,  $s \in \mathbb{N}$  é a sazonalidade,  $B$  é o operador defasagem ou de retardo, isto é,  $B^l(X_t) = X_{t-l}$  e  $B^{sl}(X_t) = X_{t-sl}$ , para  $j \in \mathbb{N}$ ,  $\phi(\cdot)$ ,  $\theta(\cdot)$ ,  $\Phi(\cdot)$  e  $\Theta(\cdot)$  são os polinômios de ordem  $p$ ,  $q$ ,  $P$  e  $Q$ , respectivamente, definidos pelas Equações (2) e (3).

$$\phi(z) = \sum_{l=1}^p (-\phi_l)z^l, \quad \theta(z) = \sum_{m=1}^q (-\theta_m)z^m, \quad (2)$$

$$\Phi(z) = \sum_{r=1}^P (-\Phi_r)z^r, \quad \Theta(z) = \sum_{l=1}^Q (-\Theta_l)z^l, \quad (3)$$

com  $\phi_l$ ,  $1 \leq l \leq p$ ,  $\theta_m$ ,  $1 \leq m \leq q$ ,  $\Phi_r$ ,  $1 \leq r \leq P$  e  $\Theta_l$ ,  $1 \leq l \leq Q$ , constantes reais e  $\phi_0 = \Phi_0 = -1 = \theta_0 = \Theta_0$ . Então  $\{X_t\}_{t \in \mathbb{Z}}$  é um processo sazonal autorregressivo integrado de média móvel de ordem  $(p, d, q) \times (P, D, Q)_s$  com sazonalidade  $s$ , denotado por SARIMA( $p, d, q$ ) $\times$ ( $P, D, Q$ ) $_s$ , onde  $d$  e  $D$  são, respectivamente, o grau de diferenciação e o grau de diferenciação sazonal.

A equação (4) seguir apresenta a previsão de um processo SARIMA ( $p, d, q$ ) $\times$ ( $P, D, Q$ ) $_s$  invertível,

$$\hat{X}_t(h) = \sum_{j \geq 1} \pi_j \hat{X}_t(j - h), \quad (4)$$

onde  $h \geq 1$  e  $\{\pi_j\}_{j \geq 0}$ , são os coeficientes da representação autoregressiva infinita do processo. Pode-se perceber que  $\hat{X}_t(h)$  pode ser expressa com uma soma ponderada das observações presentes e passadas  $(X_t)_{t \leq n}$ , com  $n$  é o tamanho da série temporal.

Os modelos de suavização exponencial destacam-se entre outras técnicas de

previsão devido à sua simplicidade, facilidade de ajuste e boa acurácia (PELLEGRINI, 2000). Abaixo estão descritos os modelos de Holt-Winters para efeitos sazonais aditivos e multiplicativos. Para mais informações detalhadas, consultar Makridakis et al. (1998) e Morettin; Toloi (2006).

**Definição 2:** Para os Modelos de Holt-Winters para efeitos sazonais aditivos com fator de amortecimento para a tendência, considera-se que tal série é formada pela soma do nível, tendência, um fator sazonal e um erro aleatório. As estimativas do nível da série no tempo  $t$ , denotado por  $L_t$ , da tendência, denotada por  $T_t$  e do fator sazonal, denotado por  $S_t$ , são dadas, respectivamente, pelas Equações de (5) a (7).

$$L_t = \alpha(X_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + \phi T_{t-1}) \quad (5)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)\phi T_{t-1} \quad (6)$$

$$S_t = \gamma(X_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s}, \quad (7)$$

em que  $\alpha$  é o coeficiente de ponderação exponencial do nível ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ),  $\beta$  é o coeficiente de ponderação exponencial da tendência ( $0 \leq \beta \leq 1$ ) e  $\gamma$  é o coeficiente de ponderação exponencial do fator sazonal ( $0 \leq \gamma \leq 1$ ) e  $0 \leq \phi \leq 1$  fator de amortecimento.

As previsões  $h$  passos à frente, são dadas pela expressão dada pela Equação (8)

$$\hat{X}_t(h) = L_t + (\phi + \phi^2 + \dots + \phi^h)T_t + S_{t+h-s(k+1)}, \quad (8)$$

em que  $k$  é a parte inteira de  $\frac{(h-1)}{s}$  o que garante que as estimativas dos índices sazonais utilizados para a previsão venham do último ano da amostra. A notação  $\hat{X}_t(h)$  indica a previsão de origem  $t$  e horizonte  $h \geq 1$ .

**Observação 1:** Para os Modelos de Holt-Winters para efeitos sazonais aditivos sem fator de amortecimento para a tendência, considere  $\phi=1$  na Definição 2.

Na definição a seguir apresentamos os modelos de Holt-Winters para efeito sazonal multiplicativos com amortecimento.

**Definição 3:** Para os Modelos de Holt-Winters para efeitos sazonais multiplicativos com fator de amortecimento para a tendência, considera-se que tal série é formada por uma tendência aditiva, por um fator sazonal multiplicativo e um erro aleatório. As estimativas do nível da série no tempo  $t$ , denotado por  $L_t$ , da tendência, denotada por  $T_t$  e do fator sazonal, denotado por  $S_t$ , são dadas, respectivamente, pelas Equações de (9) a (11).

$$L_t = \alpha \frac{X_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + \phi T_{t-1}) \quad (9)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)\phi T_{t-1} \quad (10)$$

$$S_t = \gamma \frac{X_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s}, \quad (11)$$

em que  $\alpha$  é o coeficiente de ponderação exponencial do nível ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ),  $\beta$  é o coeficiente de ponderação exponencial da tendência ( $0 \leq \beta \leq 1$ ) e  $\gamma$  é o coeficiente de ponderação exponencial do fator sazonal ( $0 \leq \gamma \leq 1$ ) e  $0 \leq \phi \leq 1$  fator de amortecimento.

As previsões  $h$  passos à frente, são dadas conforme a Equação (12)

$$\hat{X}_t(h) = (L_t + (\phi + \phi^2 + \dots + \phi^h)T_t)S_{t+h-s(k+1)}. \quad (12)$$

A notação  $\hat{X}_t(h)$  indica a previsão de origem  $t$  e horizonte  $h \geq 1$ .

**Observação 2:** Para os Modelos de Holt-Winters para efeitos sazonais multiplicativos sem fator de amortecimento para a tendência, considere  $\phi=1$  na Definição 3.

Neste trabalho, também empregamos os Modelos de Suavização Exponencial - ETS ( $M, A_d, N$ ), ou seja, com ruído multiplicativo, tendência aditiva amortecida. As definições desses modelos são apresentadas a seguir.

**Definição 4:** Nos Modelos de Suavização Exponencial – ETS ( $M, A_d, N$ ), (considere-se que tal série é formada por erros multiplicativos e tendência aditiva amortecida, os quais são definidos a seguir, como apresentado pela Equação (13).

$$\hat{X}_t(t) = (l_{t-1} + \phi b_{t-1}) \quad (13)$$

As estimativas do nível da série no tempo  $t$ , denotado por  $l_t$  e da tendência, denotada por  $b_t$ , são dadas, respectivamente, pelas Equações de (14) e (15).

$$l_t = (l_{t-1} + \phi b_{t-1})(1 + \alpha \varepsilon_t) \quad (14)$$

$$b_t = \beta(l_{t-1} + \phi b_{t-1})\varepsilon_t + \phi b_{t-1} \quad (15)$$

em que  $\{\varepsilon_t\}_t=1$  é considerado um erro independente e identicamente distribuído com média zero e variância constante,  $\alpha$ , ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ), é o coeficiente de ponderação exponencial do nível,  $\beta$  é o coeficiente de ponderação exponencial da tendência ( $0 \leq \beta \leq 1$ ) e  $\phi$  é o parâmetro de amortecimento.

As previsões  $h$  passos à frente, são definidas conforme a Equação (17).

$$\hat{X}_t(h) = (l_{t+h-1} + \phi b_{t+h-1}). \quad (17)$$

A notação  $\hat{X}_t(h)$  indica a previsão de origem  $t$  e horizonte  $h \geq 1$ . Maiores detalhes sobre a Taxonomia dos Modelos de Modelos de Suavização Exponencial – ETS ver Hyndman et al. (2020).

A proposta metodológica de Bates e Granger (1969) para realizar previsões por meio da combinação de modelos envolve a formulação de uma combinação linear de previsões não viciadas. Em outras palavras, diferentes modelos geram previsões que são combinadas de forma ponderada, com os pesos sendo selecionados de maneira a garantir que as previsões não apresentem viés ou tendenciosidade.

O objetivo dessa abordagem é aproveitar as vantagens de cada modelo individual e criar uma previsão mais robusta e precisa, por meio da combinação ponderada de suas previsões. Ao fazer isso, busca-se reduzir a variabilidade e melhorar a acurácia geral das previsões.

A combinação de modelos pode ser uma estratégia útil para aumentar a confiabilidade das previsões, uma vez que diferentes modelos podem capturar diferentes aspectos dos

dados e podem ter desempenhos variados em diferentes cenários. Ao combinar suas previsões, é possível mitigar as fraquezas de cada modelo individual e obter uma previsão mais confiável e geralmente mais precisa.

A representação matemática da combinação de previsões é expressa por:

$$f_c = w_1 f_1 + w_2 f_2 + \dots + w_k f_k, \quad (18)$$

onde  $w_i$  denota o peso da previsão  $i$ ,  $w_i \geq 0$ ,  $i = 1, \dots, k$ , com  $\sum_{i=1}^k w_i = 1$  para  $k = 2, \dots, 6$ .

O primeiro método de combinação de previsões e também o mais usual entre os métodos é o de média aritmética simples.

A combinação de previsão pelo método da média aritmética simples (MAS) é o método cuja soma das combinações divididas por suas respectivas quantidades  $K$ , a expressão da média é dada por:

$$f_{MS} = \frac{f_1 + \dots + f_k}{k}. \quad (19)$$

em que  $f_i$  e  $f_k$  são as previsões individuais da variável de interesse e  $k=2, \dots, 6$  são as combinações dos modelos possíveis.

O segundo método descrito trata da combinação pela variância mínima. Com a proposta de minimizar a variância da previsão combinada  $\sigma_c^2$ . Esse procedimento de redução da variância é então denominado de método da Variância Mínima.

Considerando  $k$  previsões de uma variável de interesse  $Z_t$ ,  $w$  o vetor de pesos, deve ser determinado por:

$$w = \frac{\sum^{-1} \mathbf{1}}{\mathbf{1}' \sum^{-1} \mathbf{1}}. \quad (20)$$

onde,  $\sum$  representa a matriz de covariância amostral dos erros e  $\mathbf{1}$  é o vetor coluna de dimensão  $k$ .

A ideia de utilizar modelos de regressão para combinar previsões foi proposta por Crane e Crotty (1967) e amplamente divulgada por Granger e Ramanathan (1984).

A previsão combinada é uma função linear do previsões individuais onde os pesos são determinados utilizando um modelo de regressão das previsões individuais sobre os dados reais, como dado pela Equação (21).

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 f_1 + \dots + \beta_k f_k + \varepsilon_t. \quad (21)$$

onde,  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$  representam os coeficientes de regressão,  $f_1, \dots, f_k$  representam o  $k$ -ésimo nível da variável independente e  $k=2, \dots, 6$  são as combinações das previsões dos modelos.

A combinação de Previsão pelo método de Regressão de Mínimos Quadrados (MQO) é dada por

$$f_R = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 f_1 + \dots + \hat{\beta}_k f_k. \quad (22)$$

A estimação de  $\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k)'$  realizada pelo procedimento de mínimos quadrados ordinários (MQO), resulta em um valor estimado  $\hat{\beta} = (\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k)' \in \mathbb{R}^{n+1}$ , que possibilita a redução da função perda,

$$L_1(\beta) = \sum_{t=1}^n r_t^2. \quad (22)$$

sendo os resíduos  $r_t$  escritos pela expressão a seguir:

$$r_t = y_t - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 f_{t1} - \dots - \hat{\beta}_k f_{tk}. \quad (23)$$

A combinação de previsões pelo método de Regressão Robusta, é uma generalização da regressão linear e normalmente é aplicada em casos que as observações apresentam *outliers*, alta assimetria e heteroscedasticidade.

Um caso particular da Regressão Robusta é quando minimizamos os desvios absolutos. A estimação dos coeficientes do modelo da Equação (21) pelo método de regressão pelo desvio absoluto mínimo (LAD) é realizado minimizando a norma  $L_1$  dos resíduos, expressa por:

$$L_2(\beta) = \sum_{t=1}^n |r_t|. \quad (24)$$

em que os resíduos  $r_t$  são dados pela equação (23).

Segundo Makridakis et al. (1998), o termo acurácia diz respeito à capacidade do modelo (ou da combinação) em reproduzir os dados já conhecidos, ou seja, a qualidade do ajuste. No entanto, para determinar qual técnica de previsão - seja individual ou combinada - é a mais adequada, é crucial obter medidas de acurácia. Dentre as existentes, as mais utilizadas são: o (MAE) Erro Médio Absoluto de Previsão o MAPE (percentual médio absoluto de erro) e o RMSE (a raiz quadrada da média dos erros quadráticos).

### 3 I PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa em questão é de natureza aplicada, pois tem como objetivo resolver problemas específicos e foi conduzida para gerar conhecimentos sobre os dados do mensais do IPCA de 1995 a 2022. Os dados históricos do IPCA foram obtidos do Banco de Dados do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (<http://www.ibge.gov.br>), cujo objetivo principal é medir a variação média dos preços de uma cesta de produtos e serviços. O índice IPCA também é chamado de taxa de inflação do Brasil, ainda que este seja apenas um dos indicadores para sua mensuração. Foram utilizadas 348 observações mensais disponíveis, de janeiro de 1995 a dezembro de 2022. Os dados foram encontrados pelos autores e acessados em 13/01/2023. O uso deste período se deve ao fato de marcar

o início do Real como moeda oficial brasileira e os índices registrados passaram a ser mensurados com a atual moeda como referência.

Após a etapa de análise preliminar, foram ajustados os modelos SARIMA, Holt-Winters e ETS. Para a estimação dos parâmetros dos processos SARIMA  $(p,d,q) \times (P,D,Q)_s$ , a função *auto.arima* foi utilizada. Para os modelos de Holt-Winters foi utilizado a função *hw*. Para a estimação dos parâmetros dos modelos ETS, utilizou-se a função *ets*.

Após definir os modelos e estimar seus parâmetros, foram aplicadas as técnicas de combinação de variância mínima, média aritmética e por regressão no software R. Essas combinações foram obtidas através da junção de dois modelos individuais, seguida de três, quatro, cinco e, por fim, seis modelos.

A avaliação da precisão das técnicas para realizar as previsões no período de Jan/1995 a Dez/2022 foi realizada utilizando três medidas: MAE (erro médio absoluto de previsão), RMSE (raiz quadrada da média dos erros quadráticos) e MAPE (média dos erros percentuais absolutos). Essas métricas foram calculadas utilizando a rotina *accuracy*. Todas as funções utilizadas neste trabalho são do software R.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estamos interessados em encontrar uma combinação de previsões mais acurada para prever a série temporal do IPCA mensal para 2023, baseando-se no período de janeiro de 1995 a dezembro de 2022. A Figura 1 apresenta o gráfico dos números índices mensais do IPCA no período de 1995 a 2022 e sua respectiva função de autocorrelação amostral. Analisando o gráfico da série temporal e da função de autocorrelação amostral (ver Figura 1) nos leva a concluir que a série temporal é não estacionária.

Para testar a estacionariedade da série, foram aplicados os seguintes testes de raiz unitária: Dickey-Fuller (ADF) e Phillips-Perron (PP), cujas hipóteses são:  $H_0$ : Há raiz unitária, a série não é estacionária versus  $H_1$ : Não há raiz unitária, a série é estacionária. Ambos os testes resultaram em um valor-p = 0,99, indicando que a série temporal possui raiz unitária, sendo, portanto, não estacionária. Realizou-se a análise de tendência determinística nos dados, por meio do teste de Cox-Stuart, cujas hipóteses são:  $H_0$ : Sem tendência determinística e  $H_1$ : Com tendência determinística. O resultado do teste teve um valor-p < 0.001, rejeitando, dessa forma a hipótese nula e indicando haver tendência determinística.

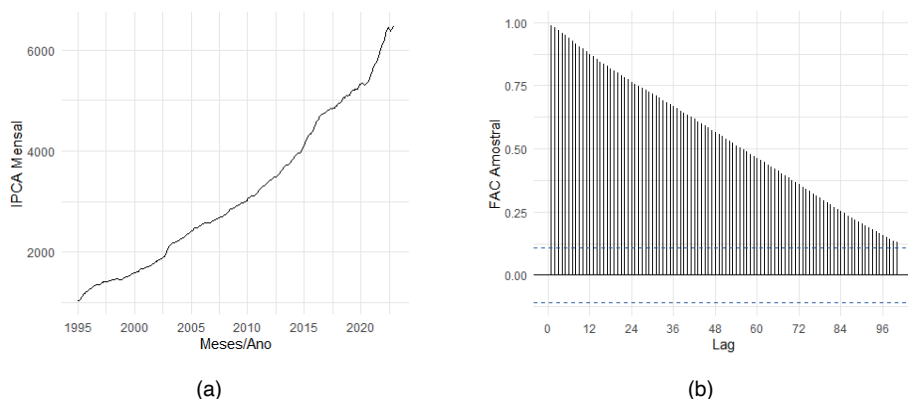


FIGURA 1 – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), de jan. de 1995 a dez. de 2022: (a) gráfico da série temporal; (b) função de autocorrelação amostral.

Para análise da sazonalidade da série temporal, foram aplicados os testes de Kruskal Wallis e Friedman, de modo a testar:  $H_0$ : Não há sazonalidade versus  $H_1$ : há sazonalidade. Ambos os testes apresentaram valor-p  $< 0.001$ , ou seja, menores que o índice de significância ( $\alpha = 0,05$ ). Com isso rejeita-se a hipótese de ausência de sazonalidade.

Dado que a série temporal em questão é não estacionária, apresentando sazonalidade, e considerando que o objetivo deste estudo é encontrar a combinação de previsões mais acurada para prever os futuros valores do IPCA, adotaremos diferentes modelos que levam em consideração sazonalidade, tendência estocástica e determinística. Tais modelos foram definidos na Seção 2. A seguir são apresentados os modelos que foram ajustadas à Série Temporal do IPCA.

**Modelo 1** - Modelo de Suavização Exponencial Holt-Winters (Aditivo): as estimativas para os parâmetros do modelo encontram-se na Tabela 1. Vale ressaltar que no modelo aditivo, as variâncias sazonais são aproximadamente constantes ao longo da série. Para este modelo, a soma do quadrado dos erros (SSE) foi igual à 13,8015.

Parâmetro	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Estimativa	0,9999	0,1338	0,0001

TABELA 1 - Resultado do ajuste do Modelo de Suavização Exponencial Holt-Winters (Aditivo).

**Modelo 2** - Modelo de Suavização Exponencial Holt-Winters Multiplicativo: as estimativas para os parâmetros do modelo encontram-se na Tabela 2. Vale ressaltar que no modelo multiplicativo, a amplitude da variação sazonal aumenta com o acréscimo no nível médio da série. Para este modelo, obteve-se a  $SSE = 0,0108$ .



Parâmetro	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Estimativa	0,2321	0,0974	0,0234

TABELA 2 - Resultado do ajuste do Modelo de Suavização Exponencial Holt-Winters (Multiplicativo).

**Modelo 3** - Modelo de Suavização Exponencial Holt-Winters Aditivo com fator de amortecimento: as estimativas para os parâmetros do modelo encontram-se na Tabela 3. Para este modelo, obteve-se a SSE= 13,8173.

Parâmetro	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\phi$
Estimativa	0,9897	0,1326	0,0103	0,9800

TABELA 3 - Resultado do ajuste do Modelo de Suavização Exponencial Holt-Winters (Aditivo com fator de amortecimento).

**Modelo 4** - Modelo de Suavização Exponencial Holt-Winters Multiplicativo com fator de amortecimento: as estimativas para os parâmetros do modelo encontram-se na Tabela 4. Neste modelo, obteve-se a SSE= 0,0045.

Parâmetro	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\phi$
Estimativa	0,9608	0,1312	0,0388	0,9775

TABELA 4 - Resultado do ajuste do Modelo de Suavização Exponencial Holt-Winters (Multiplicativo com fator de amortecimento).

**Modelo 5** - Modelo SARIMA  $(1,1,0) \times (0,0,1)_{12}$  com drift: as estimativas dos coeficientes encontram-se na Tabela 5. Este modelo leva em consideração a tendência determinística (drift). Pelo Teste de Ljung-Box [valor-p=0,3512], os resíduos do modelo são não correlacionados, sendo assim, o modelo proposto é adequado aos dados.

Parâmetros	Estimativa	Erro Padrão	Estat. Z	P(> z )
$\phi_1$	0,641613	0,042398	15,1330	<0,0001
$\phi_2$	0,128108	0,060300	2,1245	0,0336
drift	16,388111	2,018999	8,1169	< 0,0001

Log Verossimilhança: -1303,91; AIC = 2615,82  
 Teste Resíduos (Box-Pierce): df=10 – valor-p=0,3512

TABELA 5 - Resultado do ajuste do Modelo SARIMA  $(1,1,0) \times (0,0,1)_{12}$ .

**Modelo 6** - Modelo ETS(M,A<sub>d</sub>,N): as estimativas dos coeficientes encontram-se na Tabela 6. Para este modelo, obteve-se uma variância dos resíduos estimada igual a  $\hat{\sigma}^2=0,0035$ , e Critério de Informação de Akaike AIC= 3505,656.

Parâmetro	$\alpha$	$\beta$	$\phi$
Estimativa	0,9999	0,8151	0,9142

TABELA 6 - Resultado do ajuste do Modelo ETS(M,A<sub>d</sub>,N).

Após o ajuste dos modelos e cálculo das previsões, passou-se ao cálculo das combinações de previsão e medidas de acurácia (ver Tabela 7).

Combinação	Modelos	RMSE	MAE	MAPE
Média	1 5	11,9144	7,7213	0,2504
	1 5 6	11,7190	7,5038	0,2411
	1 2 5 6	11,8493	7,6037	0,2481
	1 2 4 5 6	12,0270	7,7729	0,2562
	1 2 3 4 5 6	18,8072	12,7653	0,4568
MQO	1 5	11,5861	7,3662	0,2346
	1 2 5	11,5615	7,4076	0,2372
	1 2 5 6	11,5457	7,4136	0,2376
	1 2 3 5 6	11,5113	7,4123	0,2377
	1 2 3 4 5 6	<b>11,5106</b>	7,4105	0,2375
VM	3 6	11,8124	7,5439	0,2425
	1 3 6	11,6500	7,3702	0,2328
	1 3 5 6	11,7161	7,4932	0,2409
	1 2 3 5 6	11,8868	7,6069	0,2486
	1 2 3 4 5 6	12,0510	7,7494	0,2553
LAD	1 5	11,6127	7,3255	0,2307
	1 4 5	11,6213	7,3246	<b>0,2305</b>
	1 3 5 6	11,5968	7,3088	0,2309
	1 3 4 5 6	11,5873	7,3081	0,2310
	1 2 3 4 5 6	11,6044	<b>7,3074</b>	0,2311

TABELA 7 - Medidas de acurácia das combinações de previsão para a série temporal do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA).

A combinação de previsão por regressão MQO com todos os modelos apresentou menor RMSE, a combinação de previsão por regressão Robusta utilizando todos os modelos apresentou menor MAE e utilizando os modelos 1, 4 e 5 apresentou menor MAPE. Na Tabela 8 encontra-se os coeficientes das combinações pelos métodos de regressão, utilizando o método dos Mínimos Quadrados Ordinários e Robusta LAD selecionados pelas menores medidas de acurácia após a análise da Tabela 7. A Tabela 9 apresenta os valores previsto da série temporal do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), para o período de janeiro a dezembro de 2023, utilizando as combinações de previsão selecionadas pelas medidas de acurácia. A Figura 2 apresenta a predição e previsão série temporal do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) utilizado os métodos de combinações com menores medidas de acurácia conforme a Tabela 7.

Medida de Acurácia	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_5$	$\hat{\beta}_6$
RMSE	0,0093	0,4893	-0,2372	0,0622	-0,0426	0,3841	0,3447
MAE	-1,5709	0,7108	0,0438	0,0496	-0,0364	0,1077	0,1251
MAPE	-1,8587	0,8319	0,0324	0,1364			

TABELA 8 - Modelos de combinação de previsão: parâmetros das combinações de previsão selecionadas pelas menores medidas de acurácia conforme a Tabela 7.

Mês/ Ano	Dados Reais	Combinação de Previsões		
		Regressão MQO com Seis Modelos	Regressão LAD com Seis Modelos	Regressão LAD com Três Modelos
Jan/23	6508,4	6510,32	6509,81	6510,21
Fev/23	6563,07	6544,83	6543,54	6545,18
Mar/23	6609,67	6578,48	6577,90	6581,75
Abr/23	6649,99	6604,69	6607,49	6612,74
Mai/23	6665,28	6624,91	6631,71	6638,77
Jun/23	6659,95	6643,51	6656,12	6664,80
Jul/23		6655,04	6673,33	6682,02
Ago/23		6666,36	6690,77	6700,99
Set/23		6680,65	6709,71	6721,53
Out/23		6700,68	6734,88	6748,09
Nov/23		6718,38	6758,32	6773,74
Dez/23		6741,22	6784,98	6802,43

TABELA 9 – Previsão da série temporal do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), para o período de janeiro a dezembro de 2023.

## 51 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo prever o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA). Para isto foi utilizado uma série temporal mensal no período entre janeiro de 1995 a dezembro de 2022.

Inicialmente foi analisado a estacionariedade e a componente sazonal da série temporal. A seguir, foram ajustados seis modelos individuais com base no período citado. Os modelos ajustados foram Holt-Winters (aditivo e multiplicativo / com e sem fator de amortecimento), Suavização exponencial (ETS) e SARIMA. Com base nos seis modelos ajustados foram obtidas as combinações das previsões para as quatro técnicas em estudo: média aritmética simples; regressão via MQO; regressão LAD e por variância mínima.

Foram analisadas as medidas de acurácia das combinações de previsões. O método por regressão linear utilizando as previsões de todos os modelos apresentou menor RMSE. A técnica de combinação por regressão robusta utilizando as previsões de todos os modelos apresentou menor MAE. Já as previsões dos modelos 1, 4 e 5 apresentaram o menor MAPE.

Todas as previsões calculadas para o período de janeiro a junho 2023 ficaram pouco abaixo dos valores reais do IPCA (ver Tabela 9). Além disso, a taxa de crescimento apresenta uma leve desaceleração como pode ser percebido na Figura 2. Este resultado é corroborado pela Carta de Conjuntura (2023): “a projeção do Grupo de Conjuntura para o Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC) em 2023 também foi revista, recuando de 5,5% para 4,9%.”

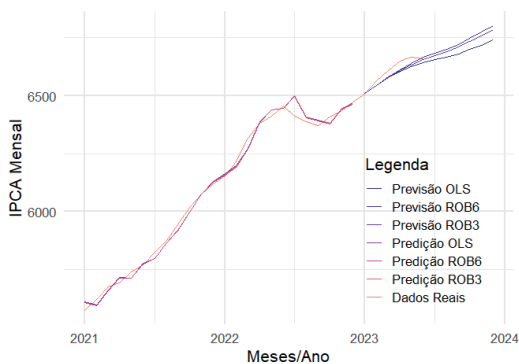


FIGURA 2 - Predição e previsão da série temporal do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), para o período de janeiro a dezembro de 2023. **Notação:** Predição/Previsão OLS: Predição/Previsão utilizando combinação de previsões através do método dos mínimos quadrados. Predição/Previsão ROB3: Predição/Previsão utilizando combinação de previsões através do método robusto LAD com três modelos ajustados. Predição/Previsão ROB6: Predição/Previsão utilizando combinação de previsões através do método robusto LAD com os seis modelos ajustados.

## REFERÊNCIAS

BATES, J. M.; GRANGER, C. W. J. The Combining of Forecasts. **Operational Research Quarterly**, v.20, n.4, 1969, p. 451-468.

BOX, G. E.; JENKINS, G. M. **Time series analysis, control, and forecasting**. San Francisco, CA: Holden Day, 1976.

COSTANTINI, M.; PAPPALARDO, C. A hierarchical procedure for the combination of forecasts. **International Journal of Forecasting**, v. 26 n.4, p.725–743, 2010.

CARVALHO, R. L. S.; NASCIMENTO, B. I. S.; QUERINO, C. A. S.; SILVA, M. J. G.; DELGADO, A. R. S. Comportamento das séries temporais de temperatura do ar, umidade e precipitação pluviométrica no município de Ariquemes (Rondônia-Brasil). **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 12 v.18, p.123-1442, jan-jun 2016.

CLEMEN, R.T. Combining Forecasts: A review and annotated bibliography. **International Journal of Forecasting**, v.5, n.4, p.559-583, 1989.

CRANE, D. B.; J. R. CROTTY. A two-stage forecasting model: Exponential smoothing and multiple regression. **Management Science**, v.13 n.8, p. 501–507, 1967.

GRANGER, C. W.; R, RAMANATHAN. Improved methods of combining forecasts. **Journal of Forecasting**, v.3, n.2, p.97–204, 1984.

IPEA, **Carta de Conjuntura**. n. 59, Nota de Conjuntura 33, Brasília, 2023. Disponível em: <http://tiny.cc/y2b9vz>. Acessado em: 24 de julho de 2023.

MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S. C.; HYNDMAN, R. J. **Forecasting**: methods and applications. John Wiley & Sons, 3<sup>rd</sup> edition, 1998.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. **Análise de séries temporais**. Ed. Blücher. 2006.

MUNIROH, M. F.; ISMAIL, N.; LAZIM, M. A Combination of Forecasts with an Application to Unemployment Rate. **Pertanika Journal Science & Technology**. v.25, n.3, p. 787 – 796, 2017.

PELLEGRINI, F. R. **Metodologia para implementação de sistemas de previsão de demanda**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

# HIGH-END DISRUPTIVE INNOVATION AS EXEMPLIFIED BY BALMUDA CASE

*Data de aceite: 26/01/2024*

### **Shin'ya Nagasawa**

Professor of Graduate School of Business and Finance in Waseda University, and was a visiting Professor at ESSEC Business School and Sciences Po. Paris. Professor NAGASAWA holds a Bachelor of Science degree from Department of Industrial Engineering, School of Science and Engineering Waseda University, and a Master degree and a Doctor degree from Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Science and Engineering Waseda University. He is the President of Association of Product Development and Management, and the President of The Association of Decoration Technologies, and the Editorial Board Member of Luxury Research Journal, Journal of Global Fashion Marketing, Journal of Marketing Trends. He has been recognized as an expert with over 40 years of experience in working with Design and Brand innovation management with 117 books of publications.

**ABSTRACT:** For a brand to avoid commoditization and survive, innovation that exudes outstanding originality and creates a new category is crucial. Although multifaceted research into various aspects

of innovation theory has flourished in recent years, relevant empirical studies have all focused on brands with a history and, in many cases, already substantial management resources. However, as exemplified by Silicon Valley ventures, the multitude of emerging brands that suddenly sprout and prosper are faced with a pressing need to grow. Deficient in management resources and low in market recognition, these emerging brands must achieve outstanding product differentiation by competitively altering value dimensions in order to become brands that sell well despite their high prices.

**KEYWORDS:** high-end disruptive innovation, emerging brand, BALMUDA

## **1 | INTRODUCTION**

### **1.1 Background**

The information technology revolution dating back to the early 1990s has spurred the internet's astounding development. At the same time, e-commerce (hereinafter, EC) markets have expanded exponentially. Nowadays, we live in an age where retail shopping can

be done from anywhere by searching for products via PCs and smartphones. In the Japanese market as well, since the Great East Japan Earthquake, surrounded by burgeoning market data and the prodigious proliferation of SNS, consumers are becoming smarter, and the previous data asymmetry that placed sellers in an advantageous position has drastically diminished. Further, simultaneously with EC expansion, large shopping malls have also been expanding. Consequently, the power balance with distribution, where brands used to have the upper hand, has shifted toward distribution and retail, due to economies of scale. Further, how to exploit retail big data in order to offer products tailored to customer desires, prevent product failures, and accelerate the PDCA (Plan-Do-Check-Act) cycle looms as the central issue of the moment. It has truly become a world where the consumer reigns supreme.

Meanwhile, from the brand perspective, market changes have also wreaked havoc. If stores are devoid of inventory, EC inventories can be searched, and the product can be purchased from anywhere in Japan, and sometimes anywhere in the world. No longer are all prices based on the wholesale distribution paradigm; in many cases, products can be purchased at lower than store prices. In addition, with free shipping, loyalty points/rewards, bonus gifts, and referrals to related products heaped upon the consumer, there seems nothing left to be desired. Brands suffer fatigue in an invisible distribution network, and control over prices has become difficult. Moreover, at mega shopping mall-type EC sales events, sellers are subjected to semi-compulsory pressure to discount prices. In today's brand business, particularly in wholesale distribution, brand management has truly reached a critical stage. In this recent environment, brands have been turning their attention to retail strategy.

Although brand business faces challenging market conditions as described above, luxury brands, deemed the pinnacle of all brands, continue to prosper in defiance of market pressures, unlike other brands beset by fatigue due to consumer pressures. Further, aside from luxury brands, there are other brands that succeed in carving out a presence and keep growing in a market inundated with goods and information. Many of these are newly launched emerging brands. Lacking management resources, many of them start out as wholesale distributors. Furthermore, their products are more expensive than the established market. As explained above, although wholesale distribution bristles with brand damage risks and discount pressures, there are superior brands that are able to achieve consistent and solid growth. From the vantage point of this study, this phenomenon cannot be adequately explained, and in many cases, not surprisingly, traditional theories are unable to provide an answer.

## 1.2 Necessity of Brand Business

A quick look at the Top 100 in the 2020 edition of the annually published "Interbrand's

Best Global Brands” gives us an inkling of the massive scale of the brand market, where these top brands jumped in value by 107.7% to US\$2,015,311,000,000, relative to 2019. Among these brands, whether one owns them or not, the segments most intimately connected with daily living (wearables) and the ratios of their value to the total were: luxury goods, 5.2%; sports goods, 2.0%; and apparel 1.7% demonstrating that luxury goods wield a very substantial influence in the brand market (Interbrand 2020). While these items are not daily necessities, their importance may be ascribed to consumer demand for luxury items and recreation. However, the fact that they are still on the upswing signifies an intensification of consumer insights desirous of consuming such products. The data speaks volumes of the necessity of brand business.

### **1.3 Necessity of Innovation**

A long time has elapsed since the global necessity of innovation was propounded. Not only are many large companies born of innovation, but also numerous medium and small-sized enterprises and ventures. Fostering and reinforcing innovation have also become imperative for the Japanese economy’s long-term growth (Brown 2009). Various types of innovation exist, ranging widely from the improvement of existing technology and processes to the reduction of an existing product’s functionality to the minimum level required to attract a cohort of previous non-consumers, thereby creating a new category. At any rate, in order to increase a brand’s value by reshaping the business cycle so an existing product continues to be consumed, innovation is indispensable. Further, should an innovation go so far as to create an entirely new category, the innovator will gain not only a monopolistic competitive advantage, but also the huge potential for tremendous profits, provided the innovation comprehensively captures consumer insights. This type of innovation abounds in Silicon Valley’s high-tech and IT ventures, and brand business can learn something from this.

### **1.4 Necessity of Sustained Growth in Emerging Brands Innovation**

From the perspective of employment that will buttress economic development, it is problematic to anticipate increased hiring from large corporations and small and medium-size enterprises. In reality, only venture enterprises and new industries can be expected to expand employment throughout the entire economy (Itoh 2013). However, despite numerous emerging industries, it is difficult to predict if they will continue to enjoy sustainable growth. The formation of business clusters, not only by venture enterprises from whom explosive growth is expected, but also small businesses that thrive and grow sustainably, may provide opportunities for greater employment (Christensen 1997; Nagasawa and Bando 2019).



## 1.5 Objectives

In view of the environment described above, this study aims to propose a concept of “high-end disruptive innovation” that alters existing value dimensions to create products that sell well despite their high prices and do not end up becoming commoditized. Further, it seeks to provide empirical evidence of this concept’s effectiveness in the sustainable growth of emerging brands by analysing one example.

Today, brands able to secure a unique market position and keep growing avoid commoditization by offering dramatically different values than other brands. Even in pricing, other brands cannot compare with them. Consequently, in many cases, by avoiding discount pressures and securing a high price range, they garner huge revenues. Among existing brands, the standard bearers of brand business, i.e. luxury brands, epitomize this model, and among emerging brands, there are also similar success stories. The commonality among these brands is the attainment of sustainable growth, and not image branding to boost short-term profits via promotions, etc. Speaking of the factors of 4Ps: Product, Price, Place, and Promotion in the marketing mix, if PRICE means high prices and Promotion induces short-term image enhancements, Product and Place remain as the differentiating factors. Simply put, product and distribution are key. Louis Vuitton, the front runner among numerous luxury brands infuses tradition and history, craftsmanship and absolute quality/value, art and culture into its Product. It achieves sustainable growth by forging distribution networks and partnering with department stores, or opening proprietary shops in developed countries, starting with Japan. Today, as it expands its footprint in the emerging countries (rapidly developing countries) of APAC (Asia Pacific) and VISTA (Vietnam, Indonesia, South Africa, Turkey, and Argentina), there seems to be no end to its growth. Japan’s share in the global consumption of major luxury brands used to be 50%. Today, it has declined to approximately 10%. Thus, high-end disruptive innovation by luxury brands is advancing into developing countries on the trajectory of economic growth and changing the consumption patterns of their affluent classes, who had previously been unable to consume such goods in their own countries. In a nutshell, one can say that high-end disruptive innovation of distribution has occurred. On the other hand, the emerging brands coming to the fore do not possess sufficient management resources to build worldwide distribution networks. The key to their success lies in the Product component of the marketing mix.

## 2 | LITERATURE REVIEW

### 2.1 High-end disruptive innovation

Given this study’s objectives, an analysis of the product itself as a success factor behind emerging brands would be useful. If the product itself contains overwhelming differentiating features, the presence of innovation still needs to be verified.

There are 3 major issues in Christensen's innovation theory (Christensen 1997; 2003; 2004) that need to be resolved. Firstly, the vertical axis only denotes performance. Brand architecture is shaped not only by functionality. For instance, according to Aaker (2004), emotional and self-expressive values must also be considered. Secondly, designating performance as the index swiftly invites imitations (counterfeits) and breeds competition. Evidently, differentiation then becomes impossible. Innovation solely focusing on performance delays the inevitable, and is difficult to sustain. Although sustainable innovation conforms to this model, after repeated enhancements, the product will at some time eventually exceed consumer demand levels and create a feeling of excess. The market then matures, and commoditization sets in. As shown in Figure 1, Low-end disruptive innovation that attracts customers unimpressed by excessive performance features frequently occurs in this situation, where the product is loaded with the minimum required performance capabilities and rendered more compact and lower in price. Thirdly, disruptive innovation is not sufficiently extrapolated. In new-market disruptive innovation, which alters the evaluation axis, the attributes may change depending on the level on vertical axis. In other words, despite the fact that both sustainable innovation and low-end disruptive innovation have to do with price, new-market disruptive innovation is not adequately accounted for. In actuality, the previously mentioned luxury and emerging brands selling well at high prices cannot be explained by Christensen's theory. Below, this study identifies such products as "high-end disruptive innovations". In other words, innovation theory is unable to fully account for this phenomenon solely by product performance. One can say that Christensen's innovation theory is confined within the competitive and management strategy frameworks.

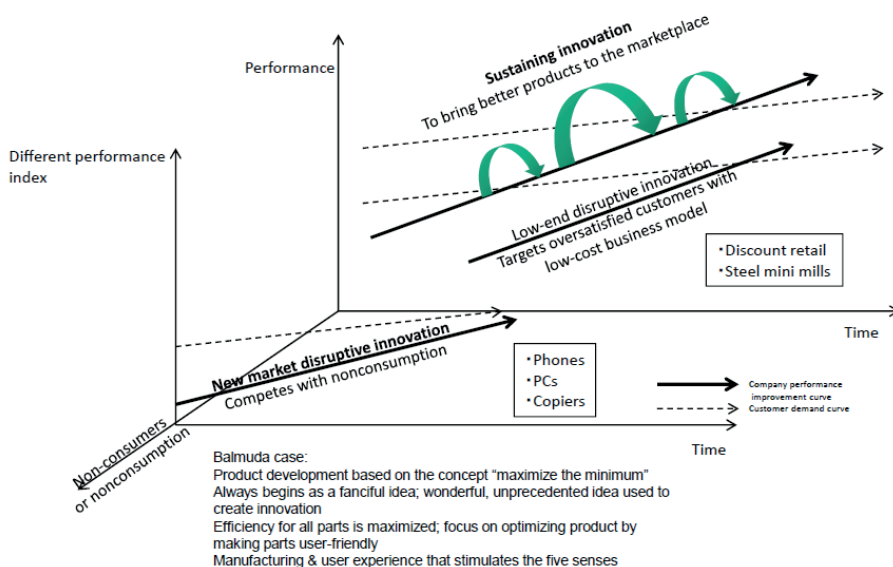


Figure 1: Disruptive Innovation (Christensen, C. M. 2003)

## 2.2 Category innovation

As a method of preventing decommmodification, in order to free a brand from the most visible dimension of price, the category innovation (Kusunoki and Akutsu ) proposes introducing a perspective of “value dimension visibility” and intentionally decreasing its visibility to make it more difficult for competitors to copy a brand. Therefore, in order to make it impossible to compare the attributes of existing products and services along the same axis, it is necessary to switch to “usage context.” If the aforementioned disruptive innovation proposed by Christensen is applied as the theory of innovation regarding the properties of the products and services themselves, then category innovation can be interpreted as a theory of innovation dealing with products and services that feature a core of usage contexts with extremely low visibility.

After new products and services are created and become the dominant models, competitors enter the market one after another, and value dimensions proliferate. Maintaining low visibility can increase barriers to entry and delay commodification. Category innovation suits the marketing context of recent years away from the physical and toward the intangible; the usage context of the products and services under discussion must be applied to product development concepts. In other words, the creation of new provided value is the starting point for category innovation and could be called the answer to the question: “Who are the customers for this product, and what is its purpose?” Also, when the created concept is realized as an actual product, an important condition is that the value envisioned by the product concept must be communicated to, reach, and be understood by customers through the product’s usage context via accompanying marketing activities. “Category innovation” indicates that the unprecedented value envisioned by the concept has been accepted by a wide base of customers and established [8]. This interpretation can be treated as a concept based on Christensen’s “performance” attribute but also encompasses a theory of innovation; it could even refer to the strategies of concept creation and the development of usage context. It could be called an extremely effective concept. However, the feasibility of this strategy has not yet been discussed. The concept of brand relevance, discussed in the next section, compensates for this shortcoming.

## 3 | METHODS

### 3.1 Deriving the Hypothesis

The existence of the high-end disruptive innovation concept proposed by this study can be discerned from the discourse in the prospective research. The performance referred to in Christensen’s innovation theory, or functional value in other words, cannot be sole arbiter in the model, implying the existence of new values. Aside from functional values, we can include Aaker’s emotional and self-expressive values, the former representing emotions

that are palpable via the 5 sensory functions, and the latter, dramatic lifestyle improvement and closer proximity to the realization of one's ideals as shown in Figure 2.

**Hypothesis:** To avoid commoditization, brands that undertake outstanding differentiation and continue to grow must incorporate new value dimensions, not just performance (functional value), and achieve high-end disruptive innovation.

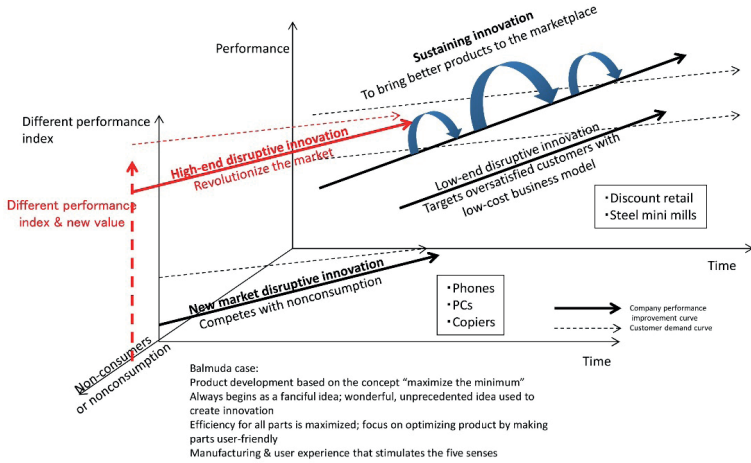


Figure 2: High-end Disruptive Innovation (Nagasawa and Bando 2019)

### 3.2 Validation Methods

This study investigates the existence of the high-end disruptive innovation concept it is newly proposing, by focusing on the example of an emerging brand that has captured market attention in recent years. The reason we have selected an emerging brand is that in a developed country where many product segments are maturing, it has established a market presence despite insufficient management resources, and clearly demonstrated through its spectacular sales results that it has achieved differentiation. At the same time, since the brand was previously non-existent, it can be said that it has continued to grow by transforming non-consumers into consumers. In this study, emerging brands are defined as those established since 2000. Our selection criteria excluded venture capital (hereinafter, "VC") and listed companies.

After a brief description of the brand, our investigation analyses its marketing mix (PRODUCT, PRICE, PLACE, PROMOTION). Brand strategies deploying high-end disruptive innovation achieve superb differentiation. Whether definitive positioning has been accomplished can be verified by analysing the brand's marketing mix. In addition, for a precise investigation of high-end disruptive innovation, the following 3 points must be proven. Firstly, a high price range is essential. Its purpose is not to facilitate continuous

technological upgrades and maintain the current product's high prices until the next new product is developed, which would only be a temporary strategy, but to constantly position the current product in a high price range. This view differs completely from the high-price approach in Christensen's sustainable innovation theory. Secondly, as a revolutionary concept entailing outstanding differentiation, the product must be unprecedented. Consumers and non-consumers alike will be attracted not by its functionality, but rather the lure of dramatic lifestyle change. This concept must permeate the product in a way that makes it easily perceptible. Thirdly, non-consumption must be transformed into consumption.

## **4 | HIGH-END DISRUPTIVE INNOVATION AS EXEMPLIFIED BY BALMUDA**

### **4.1 Brand History and Trajectory**

BALMUDA (hereinafter, "Balmuda") is a home appliance manufacturer established in Tokyo in 2003. Professing a management philosophy of "Less is More", it has succeeded in turning this concept into reality. It would not be an exaggeration to say that Balmuda's current success hinges on the relentless pursuit of its management philosophy, embracing a tenacious R&D mindset that absolutely brooks no compromise. Offering user benefits accruing from its technological innovations, Balmuda points the way to the future it envisions for its consumers. This is the essence of Balmuda's brand.

Founder and president/managing director Gen Terao dropped out of high school at the age of 17 and embarked on a trip to the Mediterranean, wandering through Spain, Italy, Morocco, etc. Upon returning to Japan, he turned to music. After being picked up and dropped by a major record label, his band was dissolved in 2001. Inspired by the Apple Mac laptop he had been using as a musician and Herman Miller's Aeron chair, he completely changed direction and tried his hand at manufacturing. Although he had relinquished music, he arrived at the realization that creating products as wonderful as the Mac and the Aeron chair was just as expressive as creating music. The design, manufacturing technology and know-how he learned under these circumstances all come into full play in the manufacturing his company undertakes today. In 2003, he founded Balmuda Design Ltd. (The name was changed to Balmuda K.K. in April 2011.), and it survives to this day.

Balmuda's first product was a laptop cooling stand <X-Base> (Figure 3 (a) (Balmuda's website). Originally fashioned by company president Terao for his own personal use, it was assembled from pared-down aluminium components with surfaces finished to match the feel of the Mac he always used. In contrast to the inaugural lot of 10 stands, 100 stands were sold in the first year, despite a staggering price of JPY 35,000 each. Even Mr. Terao himself was surprised. Heeding this cue and guided by the decision-making criterion of "I will create things that I want", he then centred development on desk lighting and PC peripheral devices. However, in the aftermath of the Lehman Brothers shock, sales came to an abrupt halt. This setback turned into an opportunity to reorient the company's manufacturing. A subsequent shift to "manufacturing

things many people find necessary and would be happy to receive” remains the driving force behind the company’s air-conditioning, heating, and humidifying devices in recent years. The impetus for this narrowed focus on such devices was an analysis of today’s growth opportunities for large companies. To always race to the forefront of global megatrends with impeccable timing and grasp consumer needs in one fell swoop is what Balmuda stands for.

Subsequently, Balmuda began marketing its entirely new-concept GreenFan (Figure 3(b)) in April 2010, which became an instant hit. By employing a DC motor and dual blade systems, natural ventilation eliminating swirling air currents is created. This innovation disclosed an “air pocket” in a market that had been considered fully mature (WIRED 2012; T-SITE 2015). It was the first step in Balmuda’s comeback. Figure 4 below shows the subsequent trajectory and year-over-year sales comparisons.

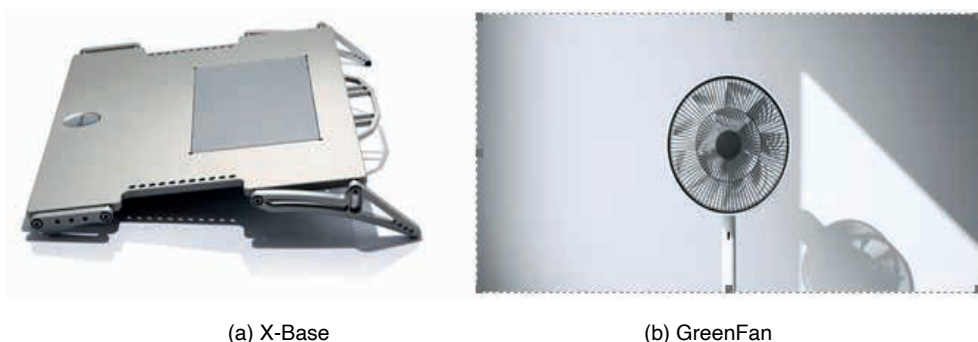


Figure 3: Balmuda’s Products. Source: Balmuda’s website <https://www.balmuda.com/jp/>

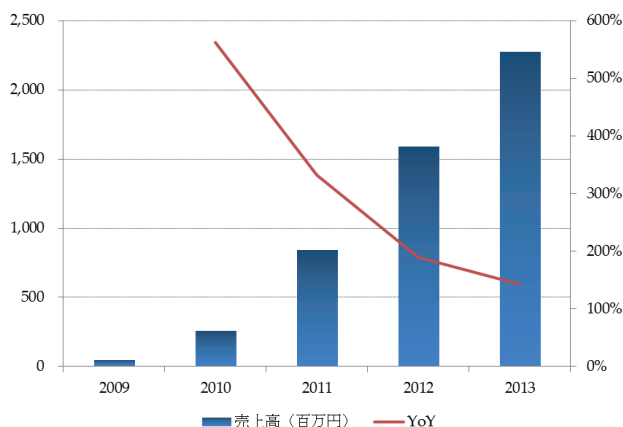


Figure 4: Balmuda’s Sales Trajectory (left axis: Million Yen) & Year-Over-Year Comparison (right axis). Source: Graph plotted by the author based on Hisako Moriguchi’s “Balmuda - Miraculous Design Management”

## 4.2 Marketing Mix

Next, we proceed to organize Balmuda’s circumstances from the perspective of

marketing mix. When we think of the previously existing home appliance industry, the image of entrenched price wars among major mass-market retailers in an oligopolistic setting is powerful. This can also be seen from the fact that a typical major home appliance manufacturer's prices are almost always discretionary. With the growth in EC, a comparison of selling prices all over Japan is now only a click away, and lower retail prices are putting pressure on manufacturers to adjust wholesale terms and supplement sales. Sluggish consumption spawns price wars, and eventually the sourcing framework (budget) collapses. When manufacturers are too fixated on pursuing selling points, they rely heavily on retail feedback. As a result, redundant product development proliferates. While the home appliance industry as a whole has fallen into this negative loop, how does Balmuda, despite being an emerging brand, sustain growth?

## **(1) Product**

Balmuda's products conjure up the Apple Mac, iPod and iPhone. Apple's success is rooted in lifestyle renewal attendant to the absolute elimination of non-essentials; refined design and ease of use; branding; and the fusion of hardware and software, especially the integration of iTunes. The same can be said of Balmuda. For instance, speaking of its latest product, BALMUDA the Toaster, released in 2015 (Figure 5(a), the only value dimension remaining in the toaster market, universally acknowledged as declining, had been making toast. As toasting requires only a simple mechanism, compact sizes and low prices are only common sense. Consequently, for the longest time, it has lingered as a low-priced category. BALMUDA the Toaster's value dimensions are redefined, not in terms of toaster functions, but sensory values, as expressed in its description as "the ultimate toaster creating the best aroma and taste sensations". This is made possible not entirely because of technological breakthroughs. Steam and precise temperature modulation are the key elements. When it rained upon a company barbecue, the bread toasted over charcoal fire was incredibly delicious. The toaster's development began with taste experiments. Further, an idea was born during a visit to a nearby bakery, where it was observed that the kiln used to bake bread was equipped with a steaming function. Since steam conduction is swift, a film of steam is formed on the bread's surface before toasting. The optimal toasting conditions for the steamed surface are engineered by a precisely programmed internal temperature sensor. The purpose is not to permeate the entirety with steam, but to perfectly toast the bread's surface. This process ensures that moisture inside the bread stays "locked in". The result is absolutely perfect toast, crispy on the outside and moist/springy inside. Of course, there had never been a toaster with a steaming function in the market before (Balmuda website).



(a) Product

(b) Advertising image

Figure 5: BALMUDA the Toaster. Source: Balmuda's website <https://www.balmuda.com/jp/>

The fastidiousness extends to the toaster's design as well. At the outset of development, similarly with other Balmuda products, the product design's basic colour tone was white. However, somehow, white did not seem all that fitting for a kitchen appliance. The question was asked: "What kind of place do delicious things come from?" For a while, the answer could not be found. The inspiration for the solution came from the design staff. In one scene of Hayao Miyazaki's animated film entitled *Kiki's Delivery Service*, the main character, Kiki, uses the kiln in an old woman's house to bake a pie. The kiln and the toaster do not exactly resemble each other, but the point was to come up with a design that replicated the delicious atmosphere of that scene. Further, the toaster window was to be made as small as possible. Previous toasters all had large windows so the toasting could be observed. However, by daring to reduce the window's size, this novel design prompts the user to peer inside, arousing feelings of suspense, excitement, and anticipation as to whether the toast is faring beautifully, and intensifying the satisfaction when the delicious toast is finally ready.

## (2) Price

Relative to ordinary home appliances (for example, products of domestic full-line electric appliance manufacturers), Balmuda's prices are extraordinarily high. BALMUDA the Toaster is priced at JPY22,900 (pre-tax). Toasters available at amazon.com's Marketplace are priced as low as JPY1,900. Despite its simple toasting function, Balmuda's version costs at least 10 times more than low-priced toasters. Nonetheless, BALMUDA the Toaster's production can barely keep up with demand, and they keep on selling like hotcakes. The eye-catching prices of Balmuda's products in the home appliance market are replicated in its *rain* humidifier; *GreenFan* with dual blade systems, domestically produced by Greenfan Japan; and *SmartHeater 2*. In any case, despite high prices, they have managed to capture the hearts of consumers and sustain sales.



### **(3) Place**

Aside from direct sales from its EC store, Balmuda's distribution is entirely channelled through wholesale distributors. According to GreenFan Japan's website (browsed on September 27, 2015), it currently has 1,092 wholesale distribution stores (brick-and-mortar stores only) throughout Japan. Classified by distributor category, 95.8% (1,046 stores) were home appliance mass-market retailers; 2.7% (30 stores) were interiors shops; and the remaining 1.5% (16 stores) were department stores. K's Denki stands out as its largest distributor, accounting for 43.0% (450 stores), followed by Kojima x Bic Camera Group at 16.7% (122 stores), Joshin at 14.1% (147 stores), Edion at 12.7% (133 stores), Nojima at 11.7% (122 stores), and Yodobashi at 1.8% (19 stores). Not even one Yamada Denki store is on the list. Just by examining the composition ratio of the wholesalers deployed, one can tell that aside from distribution channels, absolute attention is focused on selling prices. In other words, counterparties who apply pressure through bargaining power or reject transactions on an equal footing can be expected to push for discounts and become unwieldy; hence, the decision to bypass them. Hence, stable selling price and planned profitability are expected for the existing distribution outlets, and the relations between the company and the outlets become solidified.

A distinctive mark of Balmuda's marketing is the appreciation, even by well-known interiors shops, of its design features, stable prices, and high recognition value in interior design, rather than as a run-of-the-mill home appliance manufacturer. Being selected by Actus, BALS Tokyo, and The Conran Shop is a great honour for any brand, proving that the home appliances themselves are not Balmuda's only source of value and propelling the brand's value even higher. Despite their small number, department store distributors illustrate the same point. Led by the Isetan Mitsukoshi Group and Takashimaya Department Store, major department stores now carry their products, providing evidence that even the affluent set who are sensitive to the newest offerings, revolutionary products, and gift-worthy items find Balmuda's brand attractive.

### **(4) Promotion**

Balmuda does not spend on excessive advertising reeking of obsequiousness. Their rationale is: If the product is truly good, the media will pick it up. Rather than advertising, funds are channelled toward R&D, single-mindedly maximizing the product's selling power. While performance is a given, meticulous attention is paid to projecting the product's sensory aura, the sense of solidity and quality absent in low-priced products. Taking GreenFan as an example, to adjust the indicator's LED brightness, the resin's thickness was calibrated in the scale of 0.1 mm. Also, regarding the thickness of the entire casing's resin, attention is usually paid to the finish of external surfaces and reducing thickness to save on

raw material and processing costs. However, this approach fails to convey a visual sense of solidity or a feeling of sturdiness whenever the fan is touched or lifted. Consequently, the resin on the casings of Balmuda's products is designed to be thicker than usual. Not only does this impart an impression of superior quality; it also enhances the authenticity of product development and the sense of consistency throughout the entire product line. In the conventional marketing mix, this approach would fall under the "Product" category. However, in Balmuda's case, it constitutes "Promotion" that outshines the rest.

Instead of aggressive advertising, Balmuda focuses its resources on product development. However, this is not to say that it totally eschews advertising. Promotional content can be found on its website, although large-scale sales promotions are not attempted. Instead, the appeal is from the "technology" angle. Content is posted based on a thoughtful consideration of what users visiting the company's website or first-time customers would want to know. Emulating Dyson's and Apple's sites, the text is sparse, and as much as possible, the content is conveyed visually.

Unlike the conventional approach, rather than advertising BALMUDA the Toaster's performance, the company introduces a series of ways (recipes) to make delicious toast (Figure 5(b)). The overriding theme is not the product itself, but how to use it to create wonderful things. Conventionally, manufacturers describe product performance on its website or in POP (point of purchase) advertising. Alternatively, although the product is new, the market has matured, so they forgo any special promotions, and immediately ship it to home appliance stores or the EC market for discounted sales. BALMUDA the Toaster refuted this conventional wisdom. In the first place, it had proudly proclaimed itself as "the ultimate toaster creating the best aroma and taste sensations". BALMUDA the Toaster fixated on stimulating the 5 senses (seeing, hearing, touching, tasting, smelling), and can be singled out as the product most representative of what the Balmuda brand stands for.

A distinctive mark of Balmuda's marketing is the appreciation, even by well-known interiors shops, of its design features, stable prices, and high recognition value in interior design, rather than as a run-of-the-mill home appliance manufacturer. Being selected by Actus, BALS Tokyo, and The Conran Shop is a great honour for any brand, proving that the home appliances themselves are not Balmuda's only source of value and propelling the brand's value even higher. Despite their small number, department store distributors illustrate the same point. Led by the Isetan Mitsukoshi Group and Takashimaya Department Store, major department stores now carry their products, providing evidence that even the affluent set who are sensitive to the newest offerings, revolutionary products, and gift-worthy items find Balmuda's brand attractive.

### 4.3 High-end Disruptive Innovation

An analysis of Balmuda's marketing mix as shown in Table 1 reveals that its products

are replete with elements that turn conventional thinking on its head in the home appliance market, totally differentiating them from existing products. As summarized as shown in Table 2, Balmuda’s products have clearly achieved high-end disruptive innovation. Almost all consumers had perceived the home appliance market, including kitchen appliances, as mature, relegating it to the status of standard bearer of industry price wars. Balmuda has truly transformed the market through high-end disruptive innovation.

<i>4Ps</i>	<i>Components</i>
Product	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Achieve pro-level performance in your home (example: Balmuda’s “The Toaster”)</li> <li>• Includes both “soft” and “hard” features (toaster recipes)</li> <li>• Simple, streamlined design evoking Apple</li> </ul>
Price	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extraordinarily expensive compared to standard consumer electronics &amp; appliances</li> <li>• 10 times more expensive than standard toasters (commodities), yet continues to sell so well production can’t keep up</li> </ul>
Place	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mainly wholesale distribution</li> <li>• Details: 1046 big-box electronics stores, 30 interior-decorating shops, 16 department stores</li> <li>• Highly regarded in interior decorating for its design sense and stable sales prices; proves it’s not just value as an appliance</li> <li>• Also distributed through department stores; considered appropriate to give as a gift</li> </ul>
Promotion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No aggressive advertising; instead, resources invested in product development</li> <li>• Balmuda site used as starting point for promotion; appeals to “engineer” crowd</li> <li>• Promotes using publicity; media advertising used to communicate brand worldview</li> <li>• Balmuda’s “The Toaster” promotion focuses on utility value; releases a great number of recipes that focus on utility value rather than product in preparation, gathers attention</li> </ul>

Table 1. Essential Elements of Balmuda’s High-End Disruptive Innovation. Source: Authors’ original

<i>Elements of High-End Disruptive Innovation</i>	<i>Balmuda</i>
Is the product in the high-price range and can it sustain high prices?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prices are extraordinarily high relative to ordinary home appliances (for example, products of domestic full-line home appliance manufacturers).</li> <li>• Despite costing 10 times or more than an inexpensive toaster, BALMUDA the Toaster is selling so briskly, production cannot keep up with demand.</li> </ul>
Does it incorporate a concept that can bring about outstanding differentiation?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Product development is based on its “Less is more” philosophy.</li> <li>• Always originating from an idea that initially seems futile, an innovation is created from a wonderful idea that no one has ever thought of before.</li> <li>• The company is fixated on making the best product, maximizing the efficiency of all components and ensuring ease-of-use.</li> <li>• The company makes a product that stimulates the 5 senses.</li> </ul>
Can it transform non-consumption into consumption?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• In the home appliance market deemed to have fully matured, the company developed high-priced products based entirely on new concepts, e.g. fans, heaters, humidifiers, toasters, etc., in a category hitherto known only for F&amp;B and low prices.</li> </ul>

Table 2: Essential Elements of Balmuda’s High-End Disruptive Innovation. Source: Authors’ original

## 5 | CONCLUSIONS AND ISSUES

This study has proposed the concept of “high-end disruptive innovation”, which creates products that avoid commoditization by altering previous value dimensions and

consequently sell well despite their high prices, and examined the case of Balmuda.

We established the existence of high-end disruptive innovation, which cannot be explained by Christensen's innovation theory in the prospective research. We then introduced the following hypothesis: "To avoid commoditization, brands that undertake outstanding differentiation and continue to grow must incorporate new value dimensions, not just performance (functional value), and achieve high-end disruptive innovation.". This study's methodology derived the elements of high-end disruptive innovation by analysing marketing mix and focused on the example of the emerging brand "Balmuda", which has garnered enormous attention in recent years.

Our results indicated that Balmuda offered a value concept unprecedented in the existing market, which radically improved consumer lifestyle and transformed non-consumers into consumers with a product selling at a price multiple times higher than commoditized products. Balmuda's example constitutes empirical evidence that the new concept of "high-end disruptive innovation" proposed by this study has been translated into practice.

As demonstrated by this study's results, high-end disruptive innovation is highly effective and brings sustainable growth to emerging brands lacking in management resources. Further, this proposition is effective not only for emerging brands, but also small and family brands, or regional/local industries that have not yet seen the full light of day. Moreover, in a society overflowing with material goods, an increase in the number of creative brands deploying high-end disruptive innovation will engender brisker market activity, boost employment, and foster economic growth. Therein lies this study's significance.

Going forward, more industries and brands other than those highlighted by this study can be empirically investigated to corroborate our conclusions. However, the reality is that emerging brands able to achieve outstanding differentiation and sustain growth are few in number.

Finally, this study was completely premised on a commoditized market. In other words, it presumes a market in developed countries or developing countries at a similar level, where consumer goods are abundantly available. Luxury brands have been continuously expanding distribution in countries exhibiting spectacular growth, thereby extending high-end disruptive innovation via distribution networks, not only in their country of origin, but also any country where consumers can afford to pay their prices. It goes without saying that parallel efforts to promote globalization should not be neglected.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

This paper is financially supported by Grant-in-Aid (B) No. 18H00908 of Japan Society for the Promotion of Science (JSPS).

## REFERENCES

Aaker, D. A. (2004) *Brand Portfolio Strategy: Creating Relevance, Differentiation, Energy, Leverage, and Clarity*, MA, The Free Press.

Balmuda's website: <http://www.balmuda.com/jp/> [accessed on 2 Jan 2019]

Brown, T. (2009) *Change by design (1st ed.)*. New York: Harper and Collins.

Christensen, C. M. (1997). *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*, Brighton: Harvard Business School Press.

Christensen, C. M. and Raynor, M. E. (2003). *The Innovator's Solution*, Brighton: Harvard Business School Press.

Christensen, C. M., Anthony, S. D., and Roth, E. A. (2004). *Seeing What's Next: Using the Theories of Innovation to Predict Industry Change*, Brighton: Harvard Business School Press.

GreenFan.jp website [http://www.greenfan.jp/satoshi\\_wada\\_vs\\_gen\\_terao/](http://www.greenfan.jp/satoshi_wada_vs_gen_terao/) [accessed on 24 Sep 2015]

Glen, R., Suci, C., & Baughn, C. (2014). The need for design thinking in business schools. *Academy of Management Learning & Education*, vol. 13, pp. 653-667.

Interbrand (2020). *Best Global Brands 2020*. Retrieved from <https://www.interbrand.com/best-brands/best-global-brands/2020/ranking/> [accessed on 12 Nov 2020]

Itoh, M. (2013). *Activating the economy by expanding small businesses and new industries*, Tokyo: Nikkei BP.

Kusunoki, K., and Akutsu, S. (2006). Category Innovation, *Organization Science*, vol.39, No.3, 4-18.

Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (2002). *2002 White Paper on Science and Technology: Towards building a knowledge-based social economy in the new age*, Tokyo: Bureau of Engraving and Printing, Ministry of Finance.

Moriguchi, H. (2015). "Balmuda – Miraculous Design Management", Nikkei Design.

Nagasawa, S. and Bando, Y. (2019). *High-End Disruptive Innovation Theory and its Empirical Validation - Brand Strategies of Richard Mille, Tokyo Bike, White Mountaineering, and Balmuda -*, Koyo: Shobo Publisher.

Small and Medium Enterprise Agency (2008). *2008 White Paper on Small and Medium-Size Industries*, Tokyo: Gyosei.

Small and Medium Enterprise Agency (2014). *2014 White Paper on Small and Medium-Size Industries*, Tokyo: Gyosei.

Schumpeter, J. A. (1912). *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*, 1912 (Japanese translation from the German original by Yuichi Shionoya, Seiichi Tobata, and Ichiro Nakayama ("Theory of Economic Development - Research on entrepreneurial profit/capital/credit/interest/business cycles, Volumes 1 and 2), Tokyo: Iwanami Shoten Publishers, 1977)

T-SITE (2015). 5,000 slices of bread eaten! Shocking behind-the-scene events when the toaster creating “the ultimate toast” was born, T-SITE article published on September 15, 2015. Retrieved from <http://top.tsite.jp/news/table/i/25407232/> [accessed on 2 Jan 2019].

WIRED (2012). BALMUDA - The Man Who Reinvented Wind, *WIRED*, October 23, 2012 article. Retrieved from <http://wired.jp/2012/10/23/balmuda/> [accessed on 24 Sep 2015].

## SPATIOTEMPORAL FEATURES OF DROUGHT CONDITIONS: A CASE STUDY IN AN EQUATORIAL ANDEAN BASIN USING THE SPEI INDEX (1982-2015)

*Data de aceite: 26/01/2024*

### **Darío Zhiña**

Grupo de Evaluación de Riesgos Ambientales en Sistemas de Producción y Servicios (RISKEN), Departamento de Química Aplicada y Sistemas de Producción, Eco Campus Balzay, Universidad de Cuenca, Cuenca 010207  
<https://orcid.org/0000-0001-9556-4025>

### **Alex Avilés**

Grupo de Evaluación de Riesgos Ambientales en Sistemas de Producción y Servicios (RISKEN), Departamento de Química Aplicada y Sistemas de Producción, Eco Campus Balzay, Universidad de Cuenca, Cuenca 010207  
<https://orcid.org/0000-0001-9278-5738>

### **Jheimy Pacheco**

Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE), Universidad del Azuay, Av. 24 de mayo 7-77 y Hernán Malo, Cuenca 010204, Ecuador  
<https://orcid.org/0000-0001-7708-0094>

### **Daniel Mendoza**

Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería. Universidad de Cuenca, Campus Central, Av. 12 de Abril s/n y Loja, 010203 Cuenca, Ecuador  
<https://orcid.org/0000-0002-2117-2587>

**ABSTRACT:** Drought is one of the extreme phenomena facing the world, which can harm the socioeconomic activities of the population and ecological balance. This study aims to perform a spatiotemporal analysis of droughts within the Machángara sub-basin (Ecuadorian Southern Andes) by the drought index SPEI, using meteorological records in the period 1982-2015. Results indicate that the sub-basin has experienced moderate and severe droughts and less frequent extreme droughts, being the month of August the most frequent period of this phenomenon. The spatial and temporal analysis determined that the study area experiences a more significant number of droughts while increasing the decades, with an extension in the whole territory of the sub-basin. These results could be a source of information for the decision-making of water managers regarding the formulation of measures of preparation and mitigation to fewer impacts of droughts on the population.

**KEYWORDS:** Drought, spatiotemporal climatic extreme, Equatorial Andean Basin.

## 1 | INTRODUCTION

Droughts are extreme hydrologic events that we can find naturally. These are

caused mainly by precipitation below normal (LENG; TANG; RAYBURG, 2015). Moreover, in the context of climate change, droughts have become a global problem (LABUDOVA; LABUDA; TAKÁČ, 2017) because they occur in almost all regions of the world, varying their frequency, severity, and duration (SHATANAWI; RAHBEH; SHATANAWI, 2013).

There are different types of droughts depending on which part of the hydrologic cycle is the most affected. In this way, the lack of prolonged precipitation can manifest as a meteorological drought. When meteorological drought is extended, it can cause a hydrological drought characterized by the reduction of river flows. An additional consequence of prolonged meteorological drought is the occurrence of agricultural droughts, described when soil moisture decreases over time due to the constant lack of precipitation. Finally, when there are not enough resources to satisfy water demand, a socioeconomic drought occurs that relates drought to the supply and demand of an economic resource. (MISHRA; SINGH, 2010; SHATANAWI; RAHBEH; SHATANAWI, 2013; WILHITE; GLANTZ, 1985).

Droughts are characterized by indices, which are indicators of environmental and hydrometeorological variables related to the phenomenon (rainfall, flow, frost, among others) (BRITO et al., 2018). Several drought indices have originated in the last decades to quantify droughts (MISHRA; SINGH, 2010), among these we have: Palmer Drought Index (PDSI) (PALMER, 1965), Crop Moisture Index (CMI) (PALMER, 1968), Rainfall Anomaly Index (RAI) (VAN ROOY, 1965), Standardized Precipitation Index (SPI), Standardized Streamflow Index (SSI) (SERRANO et al., 2012), Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI) (VICENTE-SERRANO; BEGUERÍA; LÓPEZ-MORENO, 2010), DI index developed for the Andean region (AVILÉS et al., 2015), each one with its strengths and weaknesses.

These indices have been used in different parts of the world to characterize historical droughts, as well as to predict and project droughts in the future at different spatial and temporal scales. For example, SPI (MERESA; OSUCH; ROMANOWICZ, 2016; STAGGE et al., 2015), SSI (BARKER et al., 2016; TURCO et al., 2017), SPEI (GAO et al., 2017; ZHANG; ZHANG, 2016), CMI (PABLOS et al., 2017), PDSI (GE et al., 2016; GONG; ZHAO; GU, 2017). In the Andean region, performed studies that use SPI, SSI, and SPEI appear more frequently (IVITS et al., 2014; PENALBA; RIVERA, 2016; VICENTE-SERRANO et al., 2015).

The reduction of precipitation in the Andes causes droughts that result in an alteration of ecosystem services (including the natural regulation of water, which is very important in these zones) (BUYTAERT et al., 2006; BUYTAERT; CUESTA-CAMACHO; TOBÓN, 2011). Therefore, it is relevant to understand this phenomenon to establish future policies in the face of climate change.

In this research, the SPEI index was used for the spatial-temporal characterization of droughts within of Machángara River sub-basin. It is a more robust index than the previous ones described and takes into account the changes in atmospheric water evaporated by using the monthly water balance (Precipitation [P] - Evapotranspiration reference [ET<sub>o</sub>]). The



study area is of great importance due to the Machángara Hydroelectric complex that uses the water stored in the reservoirs of El Labrado (Chulco river) and Chanlud (Machángara Alto river). These reservoirs also supply half of the demand for human consumption in the city of Cuenca and to meet agricultural and industrial needs. Also, this basin has biological importance since it has a high biodiversity of flora and fauna in the middle and upper watershed (ETAPA EP, 2014). Therefore, the present study intends to provide new knowledge in the region regarding the understanding of droughts and their temporal and spatial characterization that could help water managers to formulate timely and equitable prevention and mitigation measures and, in this way, to reduce the impacts of droughts on the population.

## 2 I MATERIALS AND METHODS

### 2.1 STUDY AREA

The Machángara River sub-basin (Figure 1) belongs to the Paute basin, it is located in the southern Ecuadorian Andes (with an altitude between 2440 - 4300 m.a.s.l), and it has an area of 355 km<sup>2</sup> divided by three micro-basins (Chulco, Machángara Alto and Machángara Bajo). According to its altitudinal location, the basin corresponds to the low montane dry forest classification (bs-MB) with patches of Polylepis forests; besides, it presents a typical tropical high mountain climate (BUYTAERT et al., 2006).

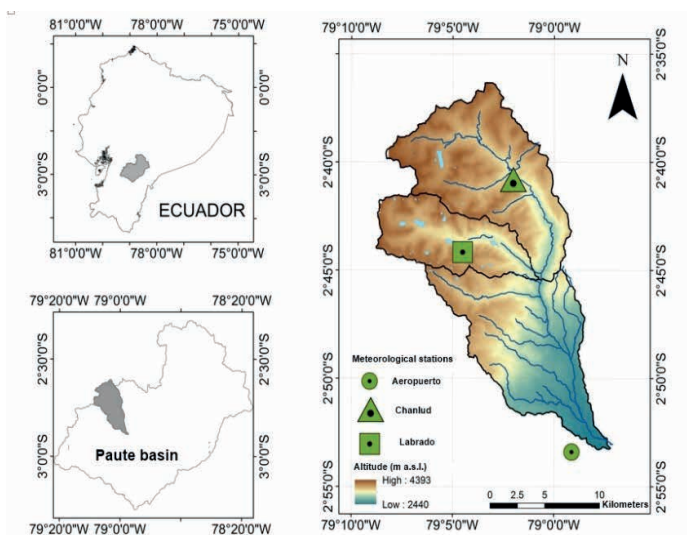


Figure 1. Location of Machángara sub-basin

## 2.2 METEOROLOGICAL DATA

Monthly time series of precipitation, temperature, relative humidity, and wind velocity (1982-2015) were used in this study to calculate the SPEI index. This information was provided by the National Institute of Hydrology and Meteorology (INAMHI); it corresponds to the meteorological stations of Labrado, Chanlud, and Aeropuerto (Table 1).

Code	Name	Latitude	Longitude	Altitude (msnm)
M141	Labrado	-2.732	-79.073	3335
MA41	Chanlud	-2.676	-79.031	3336
M067	Aeropuerto	-2.886	-78.983	2516

Table 1. Meteorological stations in the Machángara sub-basin

## 2.3 Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI)

The calculation of SPEI is based on three steps: a) calculation of reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>), b) calculation of the water balance (Precipitation - ET<sub>o</sub>), and c) adjustment of the water balance to Log-logistic probabilistic function, and normalization of it.

**a.** Calculation of reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>). According to (CHATTOPADHYAY; HULME, 1997), the reference evapotranspiration under a specific climate is the maximum amount of water that can be lost as water vapor in an extensive vegetative cover. There are different methods to estimate the reference evapotranspiration; these vary according to the available data. In this study, the Penman-Monteith method was used to calculate the ET<sub>o</sub>.

**b.** Calculation of water balance. The next step is obtaining the water balance for a month *i*, which was obtained using Equation 1.

$$D_i = precipitation_i - ET_{oi} \quad (1)$$

**c.** Calculation of SPEI. The times series of monthly water balance is adjusted to Log-Logistic probability distribution due to the distribution adapts very well to the different climatic regions independent of the time scale used (VICENTE-SERRANO; BEGUERÍA; LÓPEZ-MORENO, 2010), which is given by Equation 2.

$$F(D) = \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{D - \gamma} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (2)$$

Where,  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$  are the scale, shape and location parameters, respectively, and  $D$  is the sample (Water balance). The value of  $F(D)$  is normalized following the approximation of (ABRAMOWITZ; STEGUN, 1965). The SPEI can be calculated for different time scales (1, 3, 6, 12 or more months) (BEGUERÍA et al., 2014; POTOP; MOŽNÝ, 2011). In this study, a quarterly analysis (SPEI3) was performed, i.e., we worked with the sum of the water

balance for three consecutive months. The classification of the drought categories based on the SPEI index is shown in Table 2.

SPEI values	Type of drought
> 2	Extremely moist
1.99 – 1.50	Very moist
1.49 – 1.00	Moderately moist
0.99 – -0.99	Normal
-1.00 – -1.49	Moderate drought
-1.50 – -1.99	Severe drought
< -2.00	Extreme drought

## 2.4 STANDARDIZED PRECIPITATION-EVAPOTRANSPIRATION INDEX (SPEI)

Three aspects were considered to characterize droughts: duration, magnitude and severity. The approach used in this study was the threshold level method presented by (YEVJEVICH, 1969); it defines droughts as periods in which the variable under investigation is below a certain threshold level. The method is based on the statistical theory of runs to analyze a sequential time series. This theory indicates that the duration of the drought is expressed in years, months, and weeks or in any other period of time during which a drought parameter is maintained below a critical level (LEE et al., 2017). The duration of the drought is considered as the period between the beginning and end of a drought. The magnitude is defined as the cumulative deficiency of the drought variable below the threshold level, and the severity of the drought is obtained by the ratio between the volume of the drought deficit (magnitude) and the duration (Figure 2). Besides, the frequency of occurrence of the different types of droughts was calculated by adjusting an empirical probability distribution.

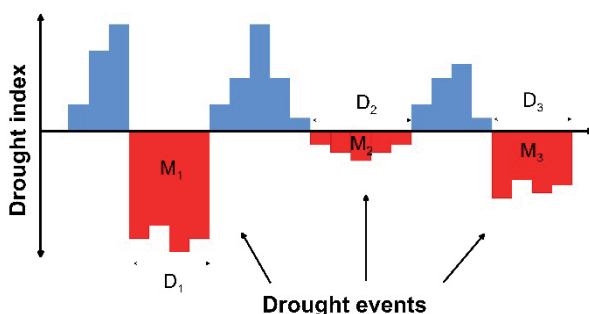


Figure 2. Characterization of droughts. D = Duration, M = Magnitude, S = Severity ( $M / D$ )

## 2.5 STANDARDIZED PRECIPITATION-EVAPOTRANSPIRATION INDEX (SPEI) SPATIAL-TEMPORAL ANALYSIS OF DROUGHTS

The results obtained were analyzed temporarily (full period and by decades), showing

both the frequency of each drought event and the months with a higher incidence of each drought type. Also, drought events were analyzed spatially through performed analysis of monthly average drought maps for each decade.

### 3 | RESULTS AND DISCUSSION

Figure 3 shows the SPEI3 of Labrado, Chanlud, and Aeropuerto meteorological stations. A frequency analysis of the three-time series of SPEI3 indicates that moderate droughts are those that occur most often, followed by severe droughts, and finally extreme droughts are those that happen to a lesser extent (Table 3). Also, it can be observed that since 2000, droughts have occurred with greater regularity and higher intensity.

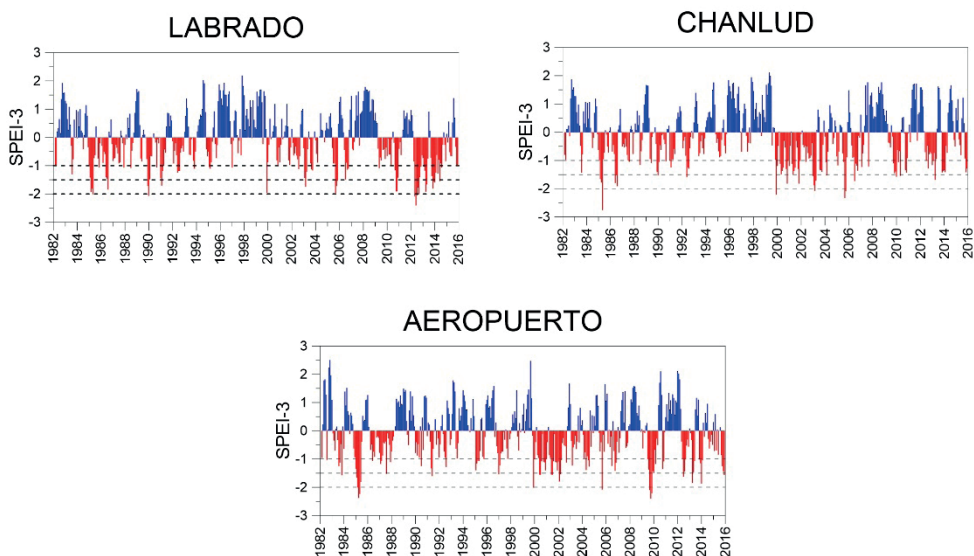


Figure 3. Time series of SPEI3 for the stations located within the Machángara River sub-basin.

Station	Moderate Drought	Severe Drought	Extreme Drought	Total
Labrado	39	20	6	65
Chanlud	54	16	5	75
Aeropuerto	52	18	7	77

Table 3. Monthly frequency of droughts in the Machángara sub-basin (1982-2015)

#### 3.1 TEMPORAL ANALYSIS

The meteorological stations time series show that the months in which moderate droughts occur most frequently are July, August and October (Labrado); February, July, August and October (Chanlud); and August, October, November and December (Aeropuerto). In the case of severe droughts are November (Labrado); January and April (Chanlud); and

June and July (Aeropuerto). While for extreme droughts are May (Labrado); March, May, September, October and December (Chanlud); and September (Aeropuerto) (Figure 4).

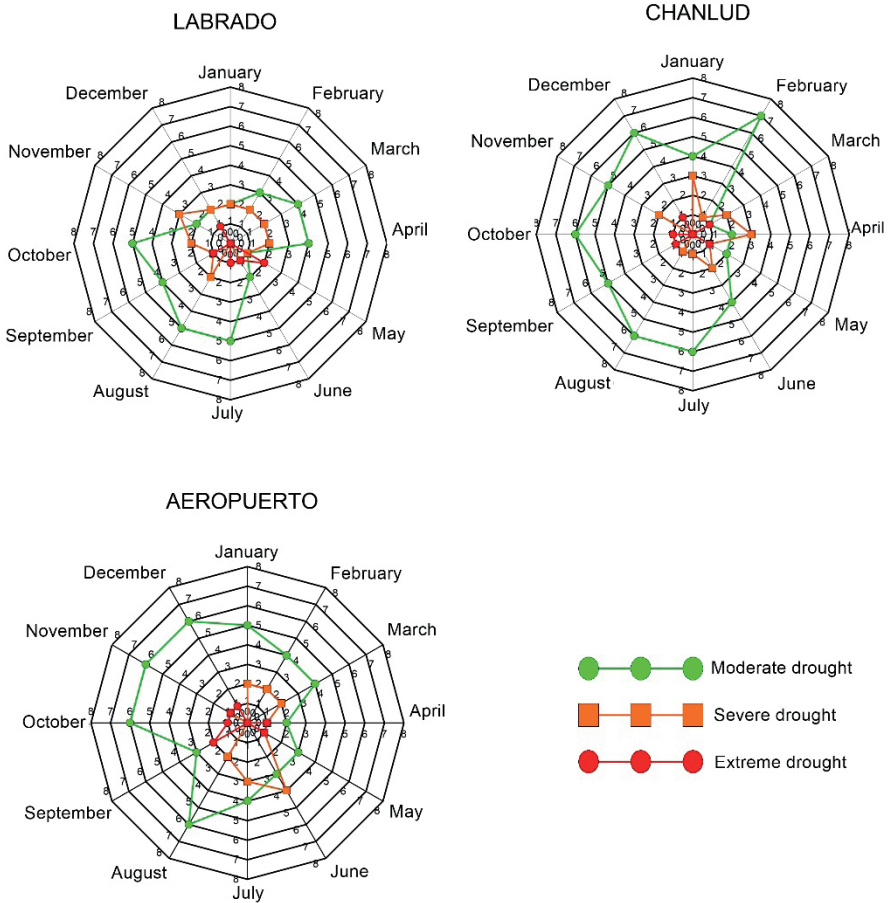


Figure 4. Number of droughts registered in each of the month's stations.

Based on the total period (1982-2015) of SPEI3, the monthly average for each decade was analyzed (the 1980s, 1990s, 2000s, and 2010s), which is shown in Figure 5. For the 1980s, it can be seen that for the three stations, all monthly values of SPEI3 are in a normal range (-1 to 1). July and August for Labrado and Chanlud stations have the lowest values, but even so, these are within the normal range.

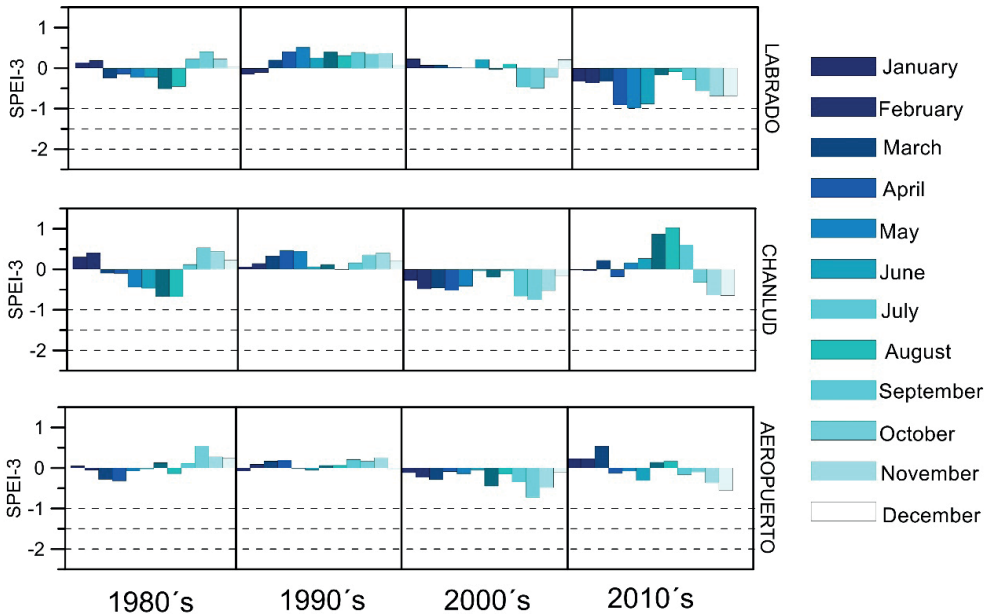


Figure 5. Monthly average for each decade.

For the 1990s, in the three stations, the values of the SPEI3 are almost entirely higher than zero; however, they are still in the normal category. For the 2000s, the values are less than zero, but they are still within a normal range. For the 2010s, there are values less than zero in the Labrado station, and in some months, the values reach a moderate drought. In this same decade, specific values of the Chanlud station are higher than zero, and in certain months the quantities are within a moderately humid range. Instead, at the Aeropuerto station, the values are still within a normal range. Figure 5 shows that in the first decade, most of the values are less than zero. In the second decade, most of the values are greater than zero. In the third decade, most values are less than zero, which would suggest that a wet decade follows a dry decade and vice versa. However, the last decade does not follow this pattern; it could be due to that we do not have full years of the decade.

### 3.2 SPATIAL ANALYSIS

The monthly average drought maps for each decade were obtained using the SPEI3 distributed throughout the study area. For the 1980s (Figure 6a), it is observed that the values of SPEI3 are within a normal range (-1 to 1); however, it is observed that during July and August, the upper part of the sub-basin experiences moderate droughts. In the 1990s (Figure 6b), it is observed that throughout the year, the SPEI3 of the sub-basin is in a normal category; however, in the month of April in the upper part of the sub-basin, it is very close to a moderate drought category.

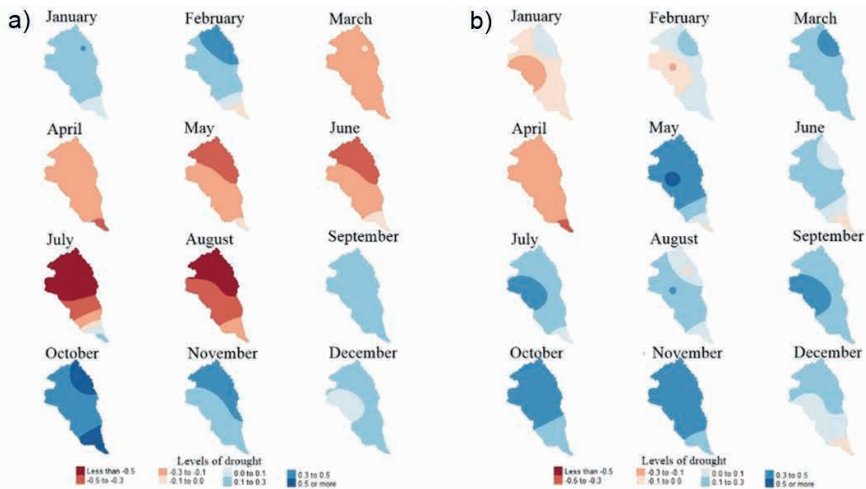


Figure 6. Map of average monthly droughts for the a) 1980s and b)1990s.

In the 2000s (Figure 7a), for nine months, the basin experienced a normal range according to the SPEI3; however, in the remaining three months (July, September, and October), the upper and lower parts of the sub-basin experienced moderate droughts. In the decade of 2010 (Figure 7b), the situation was entirely different from the previous three decades; the upper part of the sub-basin experienced a moderately humid category during the months of July and August, moderate drought in the months of April, May and June (middle part of the sub-basin), and the same category in the months October, November and December (upper and central part of the sub-basin and a portion of the lower part). In the remaining months, there were normal conditions.

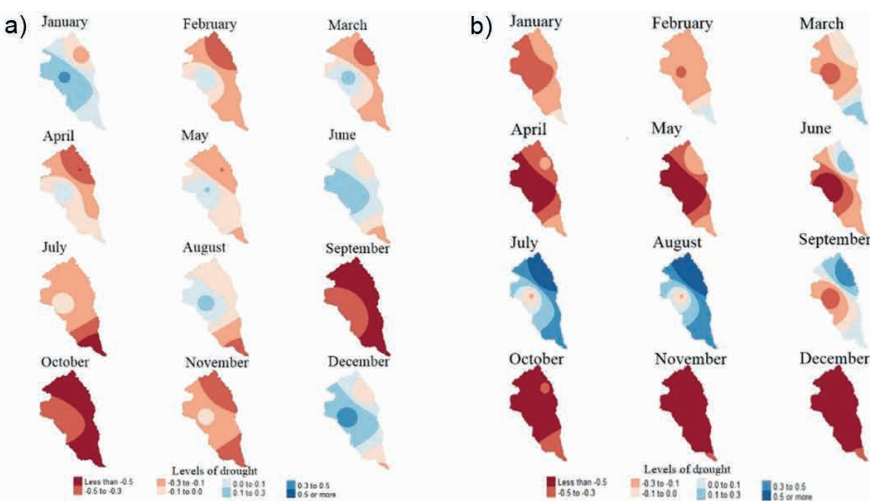


Figure 7. Map of average monthly droughts for the a) 2000s and b)2010s.

When comparing the four decades, it is observed that as time progresses, the number of months and the extension of moderate droughts increase. However, in the decade of 2010, it is possible that this trend changes because the available data used in this study were obtained until 2015.

### 3.3 MAGNITUDE, DURATION, SEVERITY AND FREQUENCY

For the magnitude, duration and severity, two aspects were taken into account: the first related to the maximum magnitude, its duration and severity of the maximum drought event and the second associated with the total magnitude, its total duration and severity during the entire period of study (Table 4-5).

Station	Maximum magnitude	Duration (months)	Severity	Type of drought
Labrado	-11.42	6	-1.90	Severe
Chanlud	-7.21	4	-1.80	Severe
Aeropuerto	-12.41	7	-1.77	Severe

Table 4. Maximum magnitude, duration and severity of the maximum drought event.

Station	Maximum magnitude	Duration (months)	Severity	Type of drought
Labrado	-94.52	65	-1.45	Moderate
Chanlud	-105.7	75	-1.41	Moderate
Aeropuerto	-107.1	77	-1.39	Moderate

Table 5. Total magnitude, duration and severity during the entire period of study.

As can be seen in Table 3, the Aeropuerto station presents the maximum magnitude of drought with seven months of duration. It is followed by Labrado with six months and Chanlud with four months. In the three stations, it was found that the category corresponds to a severe drought. Table 3 shows that the total duration (in months) of the droughts in the three stations are 65, 75 and 77 months respectively, and the category reveals that all stations have experienced moderate droughts. The probability of empirical occurrence (Figure 8) shows that extreme droughts have a very low probability of occurrence in Labrado, Chanlud and Aeropuerto stations (1.47%, 1.23% and 2% respectively), severe droughts (4.43%, 3.69% and 3.69% respectively) and moderate droughts (9.35%, 12.8% and 12.56% respectively), this last type of drought being the most likely to happen within the study area.



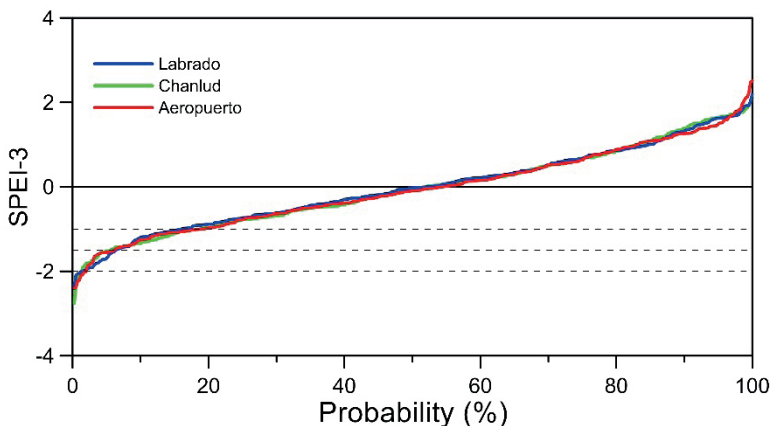


Figure 8. Probability of occurrence of droughts.

## 4 | CONCLUSIONS

The study focused on characterizing droughts employing the SPEI index in the Machángara River sub-basin. Three stations distributed in the sub-basin (Labrado, Chanlud, and Aeropuerto) were analyzed, and by using time series (1982-2015), it was determined that the study area had been affected by moderate, severe, and to a lesser extent, extreme droughts. It was found that August is when droughts occur most frequently for the three study stations.

A spatial-temporal analysis of droughts was carried out for four decades (the 1980s, 1990s, 2000s, and 2010s). When the decades increase, the number of months in the year in which moderate droughts develop increases as well. This also increases its extension; at the beginning, moderate droughts developed only in the upper sub-basin; however, in the last decade, these have developed in almost the entire extension of the sub-basin. In addition, in most stations, there are changes between wet and dry periods that are repeated every decade.

Through a probabilistic analysis, it was found that the probability of occurrence of extreme droughts is low (around 2%), while severe and moderate droughts are more likely to occur, around 4% and 12%, respectively. It should be noted that the results of the present study could be a source of information for the decision-making of water managers in the basin regarding the formulation of measures to diminish the impacts of droughts on the population of the sub-basins of the Machángara River.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the INAMHI for the information provided. This work was founded for Corporación Ecuatoriana para el Desarrollo de la Investigación y la Academia (CEDIA) within the research project “Análisis Nexus agua-alimentos-energía-

servicios ecosistémicos ante cambios del clima, uso del suelo y población. Un enfoque novedoso para el desarrollo sostenible local a escala de una cuenca hidrográfica” and Vicerrectorado de Investigaciones de la Universidad de Cuenca (VIUC).

## REFERENCES

ABRAMOWITZ, M.; STEGUN, I. **Handbook of Mathematical Functions With Formulas, Graphs and Mathematical Tables** (National Bureau of Standards Applied Mathematics Series No. 55). Journal of Applied Mechanics, 1965.

AVILÉS, A. et al. **Evaluation of Markov Chain Based Drought Forecasts in an Andean Regulated River Basin Using the Skill Scores RPS and GMSS**. Water Resources Management, p. 1949–1963, 2015.

BARKER, L. J. et al. **From meteorological to hydrological drought using standardised indicators**. p. 2483–2505, 2016.

BEGUERÍA, S. et al. **Standardized precipitation evapotranspiration index ( SPEI ) revisited : parameter fitting , evapotranspiration models , tools , datasets and drought monitoring**. v. 3023, n. December 2013, p. 3001–3023, 2014.

BRITO, S. S. B. et al. **Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region**. International Journal of Climatology, v. 38, n. 2, p. 517–529, 2018.

BUYTAERT, W. et al. **Human impact on the hydrology of the Andean páramos**. Earth-Science Reviews, v. 79, n. 1–2, p. 53–72, 2006.

BUYTAERT, W.; CUESTA-CAMACHO, F.; TOBÓN, C. **Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions**. Global Ecology and Biogeography, v. 20, n. 1, p. 19–33, 2011.

CHATTOPADHYAY, N.; HULME, M. **Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change**. Agricultural and Forest Meteorology, v. 87, n. 1, p. 55–73, 1997.

ETAPA EP. **COMITÉ DE GESTIÓN DE LA CUENCA DEL MACHÁNGARA**.

GAO, X. et al. **Temporal and spatial evolution of the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in the Loess Plateau under climate change from 2001 to 2050**. Science of the Total Environment, v. 595, p. 191–200, 2017.

GE, Y. et al. **Drought frequency change: An assessment in northern India plains**. Agricultural Water Management, v. 176, p. 111–121, 2016.

GONG, Z.; ZHAO, S.; GU, J. **Correlation analysis between vegetation coverage and climate drought conditions in North China during 2001–2013**. Journal of Geographical Sciences, v. 27, n. 2, p. 143–160, 2017.

IVITS, E. et al. **Global ecosystem response types derived from the standardized precipitation evapotranspiration index and FPAR3g series**. Remote Sensing, v. 6, n. 5, p. 4266–4288, 2014.

LABUDOVÁ, L.; LABUDA, M.; TAKÁČ, J. **Comparison of SPI and SPEI applicability for drought impact assessment on crop production in the Danubian Lowland and the East Slovakian Lowland**. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 128, n. 1–2, p. 491–506, 2017.

LEE, S. H. et al. **Assessment of the impact of climate change on drought characteristics in the Hwanghae Plain, North Korea using time series SPI and SPEI: 1981–2100**. *Water (Switzerland)*, v. 9, n. 8, 2017.

LENG, G.; TANG, Q.; RAYBURG, S. **Climate change impacts on meteorological, agricultural and hydrological droughts in China**. *Global and Planetary Change*, v. 126, p. 23–34, 2015.

MERESA, H. K.; OSUCH, M.; ROMANOWICZ, R. **Hydro-meteorological drought projections into the 21-st century for selected polish catchments**. *Water (Switzerland)*, v. 8, n. 5, 2016.

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. **A review of drought concepts**. *Journal of Hydrology*, v. 391, n. 1–2, p. 202–216, 2010.

PABLOS, M. et al. **Temporal and spatial comparison of agricultural drought indices from moderate resolution satellite soil moisture data over northwest Spain**. *Remote Sensing*, v. 9, n. 11, 2017.

PALMER, W. C. **Keeping Track of Crop Moisture Conditions, Nationwide: The New Crop Moisture Index**. *Weatherwise*, v. 21, n. 4, p. 156–161, 1968.

PALMER, W. C. W. *Meteorological Drought*. . 1965, p. 58.

PENALBA, O. C.; RIVERA, J. A. **Regional aspects of future precipitation and meteorological drought characteristics over Southern South America projected by a CMIP5 multi-model ensemble**. *International Journal of Climatology*, v. 36, n. 2, p. 974–986, 2016.

POTOP, V.; MOŽNÝ, M. **The Application a New Drought Index -Standardized Precipitation Evapotranspiration Index in the Czech Republic**. 2011.

SERRANO, S. V. et al. **Accurate Computation of a Streamflow Drought Index**. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 17, n. February, p. 318–332, 2012.

SHATANAWI, K.; RAHBEH, M.; SHATANAWI, M. **Characterizing , Monitoring and Forecasting of Drought in Jordan River Basin**. *Journal of Water Resource and Protection*, v. 5, n. December, p. 1192–1202, 2013.

STAGGE, J. H. et al. **Candidate Distributions for Climatological Drought Indices (SPI and SPEI)**. *International Journal of Climatology*, v. 35, n. 13, p. 4027–4040, 2015.

TURCO, M. et al. **Recent changes and relations among drought, vegetation and wildfires in the Eastern Mediterranean: The case of Israel**. *Global and Planetary Change*, v. 151, p. 28–35, 2017.

VAN ROOY, M. P. **A rainfall anomaly index independent of time and space**. p. 14, 43, 1965.

VICENTE-SERRANO, S. M. et al. **Spatio-temporal variability of droughts in Bolivia: 1955-2012**. *International Journal of Climatology*, v. 35, n. 10, p. 3024–3040, 2015.

VICENTE-SERRANO, S. M.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J. I. **A multiscale drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index.** *Journal of Climate*, v. 23, n. 7, p. 1696–1718, 2010.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H. **Understanding: The drought phenomenon: The role of definitions.** *Water International*, v. 10, n. 3, p. 111–120, 1985.

YEVJEVICH, V. **An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts.** *Journal of Hydrology*, v. 7, n. 3, p. 353, 1969.

ZHANG, Q.; ZHANG, J. **Drought hazard assessment in typical corn cultivated areas of China at present and potential climate change.** *Natural Hazards*, v. 81, n. 2, p. 1323–1331, 2016.

# ACCIONES INNOVADORAS DE LA CADENA NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) EN EL PROGRAMA EXTENSIONISMO DE LA CIUDAD DE MÉXICO (CDMX)

*Data de aceite: 26/01/2024*

### **Georgel Moctezuma López**

MC. Investigador Titular. INIFAP. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. Programa de Socioeconomía.  
ORCID. 0000-0002-5605-7263

### **Antonio González Hernández**

MC. Investigador Titular. INIFAP. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. Programa de Geomática.  
ORCID. 0000-0002-4329-4622

### **Ramiro Pérez Miranda**

Dr. Investigador Titular. INIFAP. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. Programa de Geomática.  
ORCID: 0000-0001-8449-8894

### **Francisco Moreno Sánchez**

MC. Investigador Titular. INIFAP. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. Programa de Geomática.  
ORCID. 0000-0002-8213-9609

**RESUMEN:** Estudio que tuvo como finalidad la de evaluar el desempeño de los extensionistas encargados de proporcionar asistencia técnica a productores de nopal dentro del programa de extensionismo agrícola en la Ciudad de México (CDMX). Las entidades responsables del programa fueron la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) y la Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Rural (SEMADER) del Gobierno de la CDMX. Además, se contó con el acompañamiento de dos instituciones; una dedicada a la capacitación de productores rurales y una de investigación, la primera en la parte metodológica que recayó en el INCA Rural y la segunda, en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) que acompañó a los extensionistas en la parte de investigación e innovación. Se contó con la participación de seis asesores técnicos (extensionistas) y de una coordinadora que desarrollaron sus actividades en las alcaldías de Milpa Alta y Xochimilco en las cuales se atendieron a una población de 245 productores de manera directa, mismos que implementaron 24 innovaciones en los eslabones primario, transformación, comercialización y organización de productores.

**PALABRAS CLAVE:** Nopal, transferencia de tecnología, innovaciones, extensionistas, Ciudad de México.

## INNOVATIVES ACTIONS OF THE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) CHAIN IN THE EXTENSIONISM PROGRAM OF MEXICO CITY

**ABSTRACT:** A study whose purpose was to evaluate the performance of the extension workers in charge of providing technical assistance to cactus producers within the agricultural extension program at Mexico City (CDMX). The entities responsible for the program were the Ministry of Agriculture and Rural Development (SADER) and the Ministry of Environment and Rural Development (SEMADER) of the Government of CDMX. In addition, it was supported by two institutions; one dedicated to the training of rural producers and one of research, the first in the methodological part that fell to INCA Rural and the second, in the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock Research (INIFAP) that accompanied the extension workers in the part of research and innovation. Six technical advisers (extension agents) and a coordinator participated in the development of their activities in the town hall of Milpa Alta and Xochimilco, where a population of 245 producers were directly assisted, which implemented 24 innovations in the primary links, transformation, commercialization and organization of producers.

**KEYWORDS:** Nopal, technology transfer, innovations, extension agent, Mexico City.

## INTRODUCCIÓN

La transferencia de tecnología es una de las herramientas que tiene su soporte en la asistencia técnica y en la investigación, generalmente la asistencia técnica se otorga por medio de programas asistenciales y para el caso del sector agrícola los extensionistas juegan un papel determinante como enlaces entre la generación de conocimiento y el desarrollo tecnológico y las innovaciones.

La Asociación Española para la Calidad (AEC, 2019) define a la transferencia de tecnología como un “proceso de transmisión científica, tecnológica, del conocimiento, de los medios y de los derechos de explotación, hacia terceras partes para la fabricación de un producto, el desarrollo de un proceso o la prestación de un servicio, contribuyendo al desarrollo de sus capacidades.”

Un esquema de tipo lineal que permite visualizar la transferencia de tecnología agrícola desde su generación hasta la adopción por parte de los campesinos, se observa en la Figura 1 (Díaz 2003).



Figura 1. Modelo de creación-difusión de tecnología apropiada. Adaptado de Díaz.

Por otro lado, las cadenas agroproductivas permiten establecer prioridades de investigación y atención agrícola y determinan el tipo de estudio que deben realizar las instituciones de investigación agropecuaria y forestal y las organizaciones que atienden el desarrollo tecnológico e implementación de innovaciones con los productores del sector primario (Valle 2001). Sobre la base de éste principio una cadena agroproductiva puede ser conceptualizada de acuerdo a Gomes de C., *et al.*, (1998a, 1998b y 1998.c) como un subsistema del negocio agrícola, la cual está conformada por *un conjunto de componentes interactivos, incluyendo los sistemas productivos, proveedores de insumos y servicios, industrias procesadoras y transformadoras, agentes de distribución, almacenamiento y comercialización y los consumidores finales*. Bajo este contexto es que las autoridades de la SADER seleccionan a la cadena nopal como una de las prioritarias de la CDMX, (SAGARPA, 2017) ya que éste producto es representativo de las actividades rurales de la capital mexicana.

El nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) es una cactácea con características que le permiten adaptarse a zonas con poca disponibilidad de agua y con temperaturas extremas (SAGARPA, 2015), asimismo el nopal forma parte de la identidad mexicana ya que aparece en el escudo nacional.

La Ciudad de México a lo largo de los siglos tuvo varios nombres, su nombre original es Tenochtitlán el cual lo cambiaron los españoles por Nueva España y con la independencia tomó el nombre de Distrito Federal como capital de la república y recientemente CDMX, ésta se localiza en el centro-sur del país, territorialmente es el estado más pequeño, ya que ocupa una superficie de 1,495 Km<sup>2</sup>, lo que significa el 0.08% de la superficie total del país, con una población es de 9.04 millones de habitantes (INEGI, 2016 y CONAPO, 2018) y de igual manera, la participación de las actividades agrícolas (en las cuales se encuentra la producción del nopal) dentro del PIB de la CDMX es irrelevante ya que solo alcanzan niveles que van del 0.04% al 0.08% (INEGI,2015).

Las alcaldías (antes delegaciones) de la CDMX en donde se realizan la mayor cantidad de actividades agrícolas en materia de producción de nopal son: Milpa Alta, Xochimilco y Tláhuac, sin embargo, en la primera de ellas es donde se concentra la producción de nopales, en donde las sumas de la superficie de las tres alcaldías mencionadas alcanzan

el 29.3% (Moctezuma, 2017 y 2018) de la superficie total de la CDMX. Con base a datos del SIAP (2018), la entidad cuenta con 2,682 hectáreas de superficie sembrada ocupada por nopal, lo cual coloca a la entidad en el segundo lugar a nivel nacional, después del estado de Morelos y en tercer lugar se sitúa el Estado de México.

El programa de apoyo al extensionismo rural de la CDMX durante el año de 2018 se dirigió principalmente hacia cinco cadenas productivas agrícolas, entre ellas la de nopal. La alcaldía de Milpa Alta es la predominante en superficie que se destina a la producción de nopal y siguieron en orden de importancia las de Xochimilco y Tláhuac, las cuales no tienen significancia dentro de la superficie sembrada. La tendencia de la producción de nopal se observa en la Figura 2.

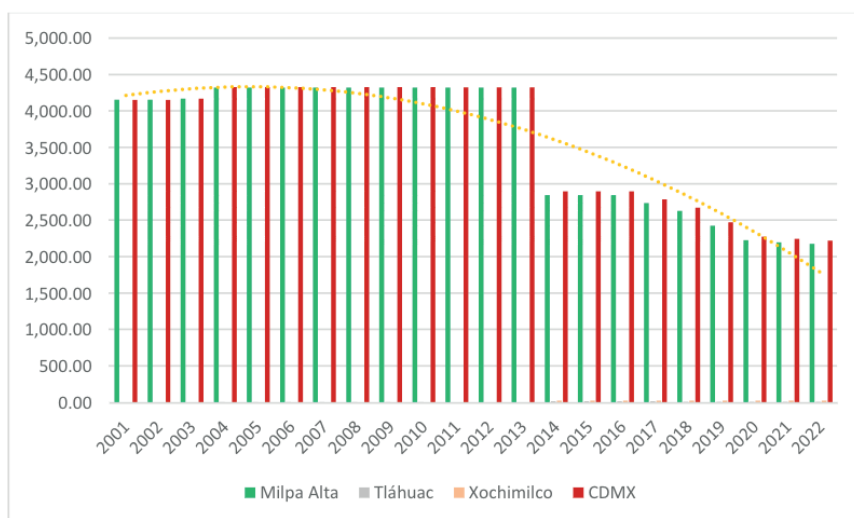


Figura 2. Superficie sembrada (hectáreas) de nopal en la CDMX durante el periodo 2003 – 2018.  
Fuente SIAP – SIACOM, 2019.

La tendencia de 22 años en la superficie sembrada de nopal en la CDMX muestra una pendiente de tipo negativa, ya que muestra dos caídas severas tanto en 2013 como en 2018/19/20 y prácticamente la totalidad de la superficie (97.9 %) se da en la alcaldía Milpa Alta. La curva de tendencia que mejor se ajustó fue una de tipo polinómica con fórmula:  $y = -8.5891x^2 + 81.615x + 4146.7$

Con relación a la producción de nopal y con datos de la misma fuente, en la CDMX se obtuvieron durante el año de 2022 la cantidad de 198,363 toneladas de nopal prácticamente de temporal en su totalidad, la tendencia durante los últimos 22 años de análisis se muestra en la Figura 3.



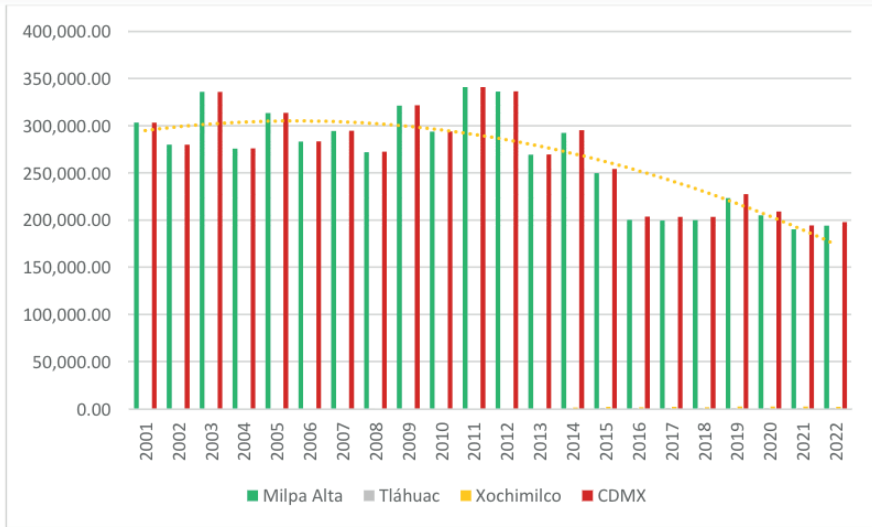


Figura 3. Producción (toneladas) de nopal en la CDMX durante el periodo 2003 – 2018.

Fuente SIAP – SIACOM, 2019.

La tendencia en la producción de nopal en la CDMX durante el periodo 2001–2022 muestra una tendencia negativa y con una tasa media de crecimiento anual del -1.92 % ya que presentó disminuciones en los años 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2013, 2015 2020 y 2021. La alcaldía más representativa durante todo el periodo es Milpa Alta y muestra una tendencia parecida a la de la CDMX, aunque sus disminuciones son un poco más pronunciadas. La curva de tendencia que mejor se ajustó fue una polinómica con fórmula:

$$y = -485.56x^2 + 5414x + 290607$$

La anterior producción de nopal tipo verdura en la CDMX generó un valor \$ 882.14 millones de \$ en 2010 bajo el enfoque de precios corrientes y su tendencia se muestra en la Figura 4.

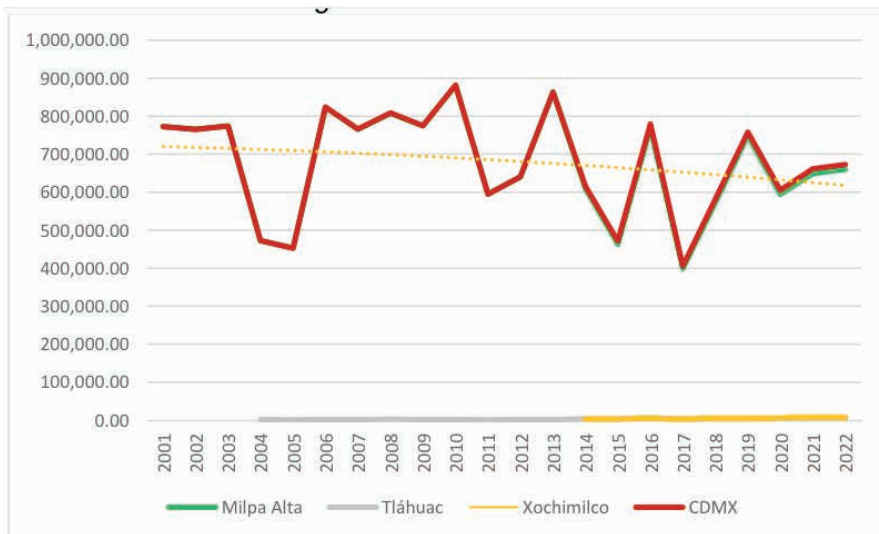


Figura 4. Valor de la producción (pesos de 2010) de nopal en la CDMX durante el periodo 2006 – 2016.

Fuente SIAP – SIACOM, 2019.

El valor de la producción bajo el enfoque de precios corrientes muestra una tendencia con pendiente negativa, alcanza una tasa de media de crecimiento anual de  $-0.63\%$ , la alcaldía de Milpa Alta es la que mayor aporte económico genera con una tendencia muy similar a la de la CDMX y en el último año, ésta alcaldía alcanzó el  $98.1\%$  del valor de la producción.

En el proceso de PS&E (planeación, seguimiento y evaluación), el último elemento de él, permite valorar de forma cuantitativa y cualitativa su importancia y es una herramienta básica para los directivos y tomadores de decisión que les permite continuar, modificar, redimensionar, posponer o bien cancelar los programas de desarrollo o de apoyos gubernamentales. Es conveniente recordar que evaluar, como lo menciona Granger *et al.*, 1995, es un juicio o una valoración del mérito, valor o calidad de la investigación, sea ella una propuesta, esté en desarrollo o haya sido concluida y por otro lado el Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (2017), dice que es señalar el valor de algo, o bien, estimar, apreciar, calcular el valor de algo.

Con base a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, (SADER), dentro de su portal SERMEXICANO (2016) define al extensionismo como “*el servicio prestado por personal de las instituciones de educación y de investigación que facilita el acceso al conocimiento, la información y las tecnologías, a productores, grupos y organizaciones económicas rurales y a otros actores del sector agropecuario, pesquero y acuícola*”. Con base a (Russo, 2009 y Zamora, 2016) el extensionismo es un proceso de comunicación que conlleva transferencia tecnológica a una población rural. Algunos autores se refieren

al mismo como un vínculo dinámico entre la investigación científica y la producción agropecuaria (Engel, 2000). De acuerdo (CMDRS,2015) el extensionismo holístico abarca toda la cadena de valor, bajo una visión innovadora. La importancia del extensionismo agrícola en la Ciudad de México (CDMX) radica fundamentalmente en el enorme mercado de casi nueve millones de habitantes (CONAPO, 2018) que demandan una gran cantidad de productos alimenticios del sector agrícola.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el programa de trabajo de los extensionistas agrícolas de la cadena agroproductiva nopal dirigido a pequeños productores dentro de los niveles I y II de la CDMX (aquellos que tiene las menores superficies y hatos ganaderos), con el acompañamiento de un centro de investigación que en este caso fue el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), para a su vez presentar ante las autoridades federales de la SADER y estatales del Gobierno de la CDMX los resultados de la cadena agroproductiva nopal.

## METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó para la evaluación de la cadena agroproductiva nopal como parte del componente extensionismo fue el de tomar en cuenta las acciones propuestas dentro del proyecto de Contribución Tecnológica del INIFAP al Extensionismo Rural de la SADER, en el cual el INIFAP tuvo como actividad principal la del acompañamiento tecnológico a los extensionistas que se contrataron en el programa, (Moctezuma, *et al.*, 2017 y 2019) la cual consistió de las siguientes fases:

- i) *Selección de los extensionistas*, se realizó por medio de una convocatoria de tipo abierta por parte de la SADER en la cual los aspirantes llenaron sus solicitudes en el portal de SERMEXICANO y posteriormente, se les llamó para que realizaran una entrevista presencial de aptitudes y actitudes (Vázquez y Landa 2017).
- ii) *Selección de cadenas de valor*, con base al plan estratégico agropecuario y acuícola de la CDMX, se seleccionaron cinco cadenas productivas agrícolas, entre ellas la de nopal (además la de maíz, amaranto, ornamentales y hortalizas).
- iii) *Elaboración de las agendas de innovación y programas de trabajo de los extensionistas a nivel individual y por cadena*, se solicitó a los extensionistas de manera individual y posteriormente de manera grupal sus programas de trabajo para de ahí derivar hacia la agenda de innovación de la cadena, la cual se basó fundamentalmente en la estrategia delineada por el Centro de Investigación en Estudios Sociales y Tecnológicos de la Agricultura y Agroindustria Mundial (CIESTAAM) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH).
- iv) *Socialización de las agendas de innovación*, los extensionistas antes de iniciar sus labores de campo y de asistencia técnica realizaron reuniones de socialización con los productores de nopal para dar a conocer la agenda de innovación y que los nopaleros emitieran sus comentarios y retroalimentaran a la agenda para la

apropiación de la misma.

v) *Implementación de las innovaciones*, se realizó una preselección de cuáles serían las innovaciones que tendría mayores posibilidades de éxito en su implementación, así como tuvieran facilidad de que en el corto plazo se pudieran obtener resultados.

vi) *Recorridos de campo de supervisión*, actividad que se realizó con la idea central de constatar y verificar en los predios de los productores de nopal, la aplicación o adopción de las innovaciones; durante éstos recorridos se contó con la participación de los directivos de la SAGARPA (hoy SADER), del Instituto Nacional de Capacitación Rural (INCA Rural) así como del INIFAP.

vii) *Evaluación de la cadena agroproductiva nopal*. para la valoración de la cadena, se utilizó como punto de partida la línea base que se definió tanto en el programa de trabajo de los extensionistas de la cadena agroproductiva nopal como en la agenda de innovación 2018 y que tuvieran correspondencia con las metas que se establecieron y los resultados que lograron los productores.

viii) *Cuantificación de las variables agronómicas y económicas mediante sus tasas medias de crecimiento anual (tmca)*. Se calcularon las relativas al nopal en cuanto a superficie sembrada (has), producción (tons) y valor de la producción (miles de \$), mediante la expresión matemática:  $TMCA = ((V_f / V_i)^{(1 / n)} - 1) * 100$ .

En donde  $V_f$  significa el valor final al periodo;

$V_i$  corresponde al valor inicial del periodo y

$n$  representa el número de años que considera el análisis.

Así mismo se consideraron los crecimientos de un año específico, mismo que se comparó con su inmediato anterior para facilitar y cuantificar el tamaño de los incrementos positivos y negativos resultantes a lo largo del periodo (Addin Technology, 2018).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las cadenas productivas agrícolas de la CDMX, más atendidas en cuanto a número de extensionistas, fue la de nopal junto con la de hortalizas, ambas con seis extensionistas, siguieron en orden de importancia la de ornamentales con tres, después amaranto con dos y finalmente, la menos atendida fue la de maíz con solo uno y también se consideró a la coordinadora de extensionistas, Figura 5.

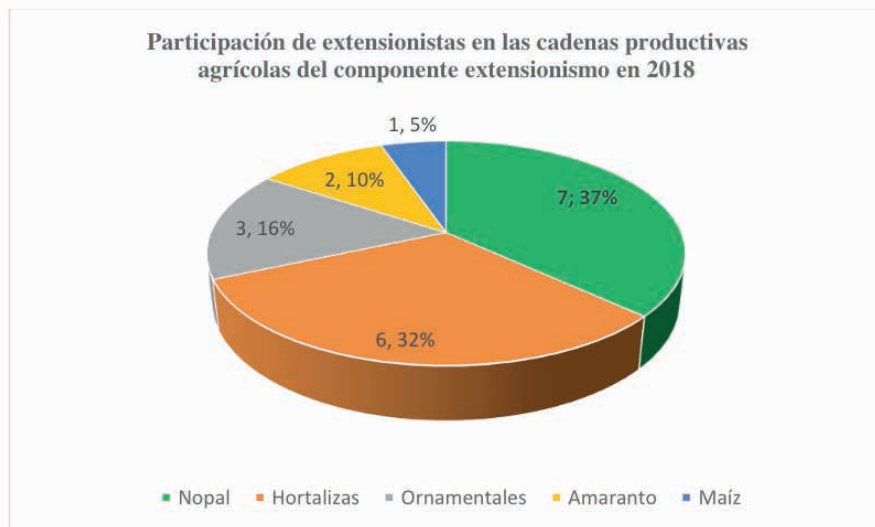


Figura 5. Número de extensionistas y su participación porcentual en la atención a las cadenas productivas pecuarias durante 2018 en la CDMX.

Elaboración propia con datos del componente extensionismo año 2018

En el programa extensionismo agrícola en la CDMX, la participación de género es considerable ya que el 71.4 % de los técnicos son mujeres, dentro del cual destacan por sus aportaciones y opiniones en el mejoramiento de las cadenas de valor agrícolas, así como en la implementación de las innovaciones tecnológicas propuestas por los extensionistas.

Con relación a los productores agrícolas de la cadena productiva nopal participantes en el proyecto de Apoyo al Extensionismo Rural, se solicitó por parte de SADER y SEDEREC a los extensionistas, la conformación de un padrón de por lo menos 30 productores de nopal que estuvieran clasificados dentro de los niveles I y II de las reglas de operación del Componente Extensionismo para que se considerara su atención; con base a lo anterior el número de productores de nopal que se atendieron se muestra en el Cuadro 1.

Cadena	Mujeres	Hombres	Total	18-30		31-64		65 o más	
				Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres
Nopal	109	136	<b>245</b>	19	21	85	98	8	14

Cuadro 1. Padrón de productores agrícolas de nopal en 2018, clasificados por género y cadena de valor que se atendieron en el componente extensionismo de la CDMX.

Elaboración propia con datos del componente extensionismo.

La cadena productiva nopal, atendió a un mayor número de productores, ya que la meta era de 180 y se contó con 245 productores de nopal, con lo cual se superó en un 26.5 %. La mayor proporción de productores se concentró en la edad de 31 a 64 años lo que representó el 74.7 % de la población que atendió la cadena y muestra que se encuentran

en una edad totalmente productiva; el 9 % del padrón están en una edad de plenitud y con una experiencia que puede ser aprovechada por los demás productores y el 16.3 % de los nopaleros son jóvenes. La mujer participó con el 41.6 % de los productores, lo cual demuestra en parte la feminización de la actividad agrícola de nopal.

Las dos alcaldías y las 12 comunidades en las cuales se atendieron a los productores de nopal fueron las siguientes: **Milpa Alta**; Santa Ana Tlacotenco, San Lorenzo Tlacoyucan, San Pedro Atopcan, San Pablo Oztotepec San Juan Tepenahuac, San Jerónimo Miacatlán, San Francisco Tecoxpa, San Francisco Tecomitl, San Agustín Ohtenco, Barrios de Milpa Alta (San Mateo, Los Ángeles, La Luz, San Agustín el Alto, La Concepción, Santa Cruz y Santa Martha) y **Xochimilco**; San Gregorio Atlapulco, se muestran en las Figuras 6, de alcaldías y Figura 7 de las localidades dentro de las respectivas alcaldías.

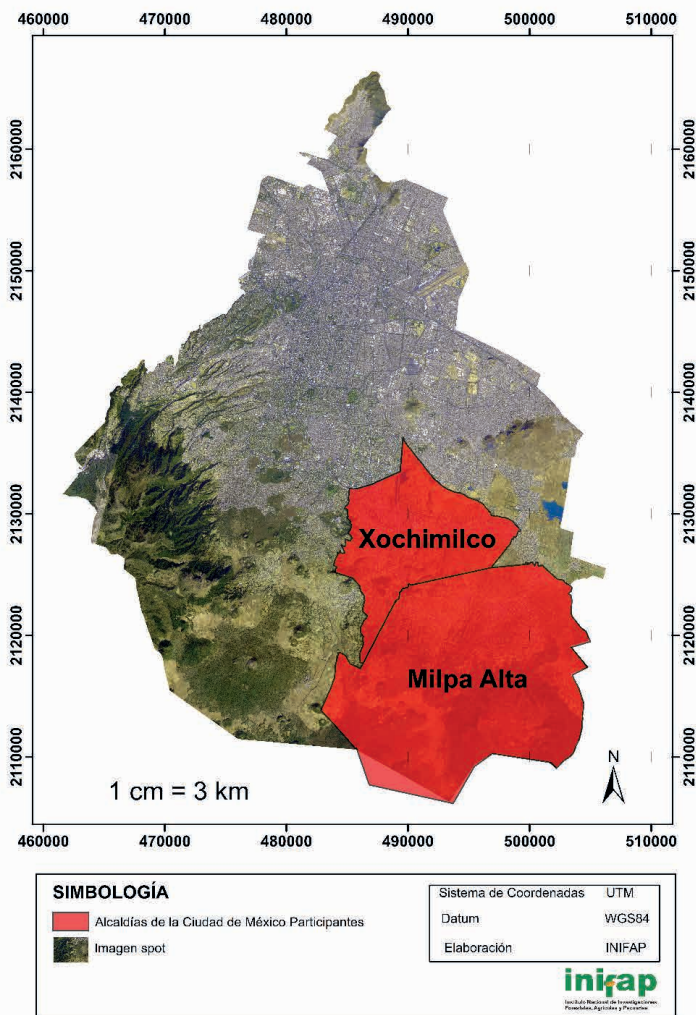


Figura 6. Alcaldías de la Ciudad de México participantes en el Programa de Extensionismo



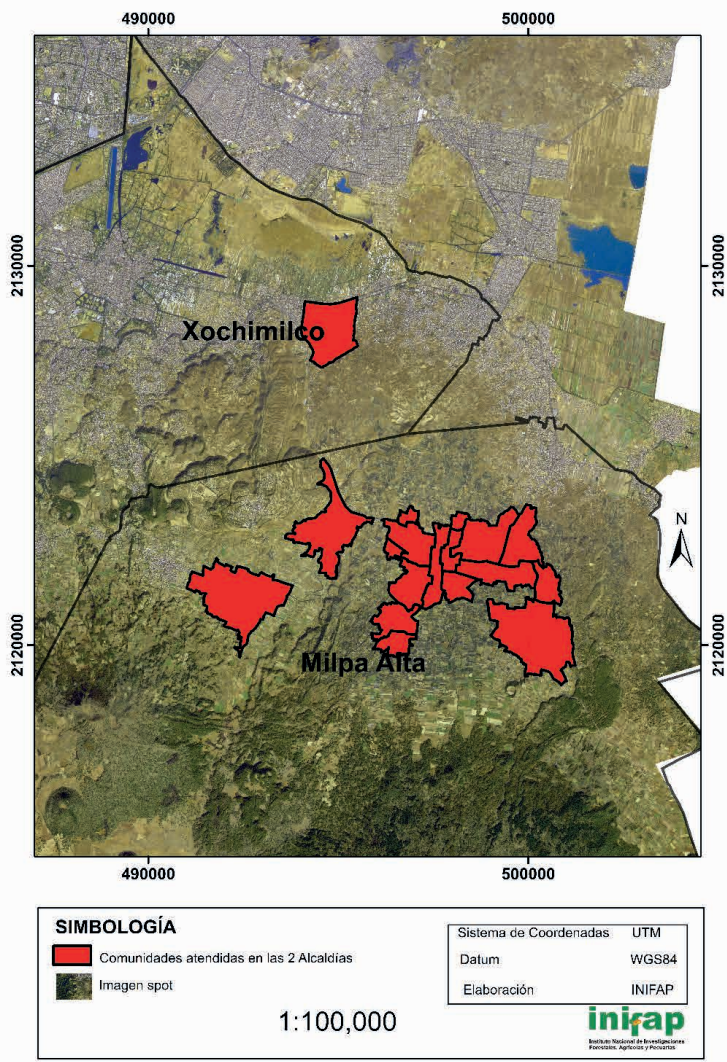


Figura 7. Localidades de las alcaldías participantes en el Programa de Extensionismo

Evaluación de innovaciones que se implementaron: *Eslabón primario*; los indicadores que se utilizaron fueron tres: i) productores que implementaron buenas prácticas agrícolas, en el cual la línea base fue de 112 y la meta propuesta fue de 200, ii) incremento en la producción de nopal verdura en un 5% época de frío (septiembre- noviembre) vía foliar, en donde la línea base fue de 42 tons y iii) productores que incrementan 5% su producción en la época de frío. Los resultados fueron: para el 1er indicador fue de 278 productores, con lo cual el logro fue superior en 3 9 % de la meta, para el 2do, fue de 46 tons, con lo cual el logro que se obtuvo en comparación de su meta fue del 100% y para el 3er indicador fueron, 110 productores y la meta se superó en 25.5 %

Para el logro anterior se implementaron las innovaciones que se muestran en el Cuadro 2.

Innovaciones Implementadas	Acciones y / o actividades desarrolladas
Caldos minerales (bordelés, sulfocálcico).	Talleres para la elaboración y aplicación de caldos minerales como acciones preventivas para la reducción de incidencia de plagas y enfermedades.
Extractos vegetales (higuerilla, chicalote, tabaquillo).	Demostraciones para la elaboración y aplicación con acción repelente para control de plagas y reducir daños en el cultivo.
Análisis de suelo.	Demostración para la toma de muestra de suelo.
Composta y microorganismos como micorrizas y bacterias benéficas en parcelas demostrativas.	Demostración y utilización de compostas y microorganismos mejoradores del suelo.
Trampeo (proteína hidrolizada, feromona).	Taller del control físico mediante la colocación de trampas para el monitoreo y control de insectos.
Fertilización foliar (súper magro, vitalex, Bayfolan, Biomicron, Biofol, Nutrí Humus).	Taller de elaboración y aplicación de fertilización vía foliar(materiales, Ingredientes, cantidades y modo de preparación).
Certificación de cosecha de hortaliza EC0068 y BUMA EC0438	Vincular para la alineación y certificación en las competencias laborales del productor.
Vinculación con CESAVE-CDMX área BUMA	Vincular para certificar las unidades de producción en las buenas prácticas agrícolas, así como fortalecer los procesos de inocuidad en el proceso de producción de las Unidades Económicas Rurales (UER).
Buen uso manejo y mantenimiento de maquinaria agrícola ligera	Taller del buen uso y mantenimiento de maquinaria agrícola de tipo ligero.

Cuadro 2. Innovaciones en el eslabón primario implementadas y acciones o actividades para su éxito.

Elaboración propia con datos del componente extensionismo (nopal).

*Eslabón de transformación*, los indicadores que se utilizaron fueron tres: i) productores capacitados en al menos un proceso de transformación, ii) productores que adoptan el proceso de transformación y iii) desarrollo de nuevos productos a base de nopal (palanqueta, gel antibacterial, pintura). Las líneas base para cada uno de los indicadores fueron: de 25, 20 y 2 productores respectivamente y las metas propuestas fueron de 80, 34 y 5 productores por cada indicador. Los resultados que se obtuvieron fueron de 92, 41 y 5, lo anterior significó que los logros que se alcanzaron fueron de un 15 % por arriba, de 20.6 % superior y del 100 % respectivamente.

Para alcanzar los resultados se implementaron en el eslabón de transformación, cuatro innovaciones de acuerdo al Cuadro 3.



<b>Innovaciones Implementadas</b>	<b>Acciones y / o actividades desarrolladas</b>
Productos a base de nopal (palanqueta, gel antibacterial, pintura).	Elaborar productos a base de nopal, mediante procesos que permitan optimizar los recursos humanos y financieros, de forma higiénica e inocua.
Deshidratación de nopal.	Proceso alternativo para la comercialización cuando existen excedentes de nopal
Buenas Prácticas de Manufactura (BPM).	Capacitación teórico-práctica para cumplir con la normatividad en el proceso de elaboración de los alimentos en higiene y seguridad alimentaria.
Prototipo de un deshidratador solar de tipo rústico.	Construcción de prototipo de un deshidratador solar de tipo rústico, como alternativa para la deshidratación del producto.

Cuadro 3. Innovaciones en el eslabón de transformación implementadas y acciones o actividades para su éxito.

Elaboración propia con datos del componente extensionismo (cadena nopal).

*Eslabón de comercialización primaria*, los indicadores que se utilizaron fueron dos: volumen de nopal comercializado y mejora de precio de venta ambos fuera del centro de acopio. Las líneas base para cada indicador fueron de 93.3 tons para el 1er y \$ 2.36 para el segundo y las metas que se propusieron por parte de los extensionistas fueron de 110 tons y \$ 4.00 respectivamente. Los resultados fueron de 117.8 toneladas en el primer y para el segundo de \$ 4.50 en la mejora del precio, con lo cual el logro para el nopal comercializado fuera del punto de venta fue de 7.1 % más y en la mejora de precio fuera del centro de acopio alcanzó del 12.5 %

Para alcanzar los resultados en el eslabón de comercialización se implementaron seis innovaciones de acuerdo al Cuadro 4.

<b>Innovaciones Implementadas</b>	<b>Acciones y / o actividades desarrolladas</b>
Estrategias de comercialización.	Demostración en métodos para promover el producto y establecer una relación con los clientes.
Normatividad para la comercialización de nopal.	Capacitación para los procesos que debe cumplir cada uno de ellos. Etiqueta, empaque , embalaje y entregas de comercialización.
Medios electrónicos para la comercialización (páginas de internet, radio, redes sociales).	Medios electrónicos para fomentar la difusión en el consumo, comercialización, vinculación y búsqueda de mercados.
Vinculación con Technoserve para búsqueda de nuevos mercado.	Vincular y capacitar a los productores para la comercialización.
Directorio de clientes potenciales.	Generar un directorio con datos de clientes potenciales que se puede encontrar, como los productos, materias primas o servicios.
Documento para la propuesta ruta turística (recorrido y degustación).	Elaboración de un documento para la propuesta de una ruta turística que involucra el recorrido por parcelas y parajes, y fomentar la degustación de gastronomía regional basada en el Nopal.

Cuadro 4. Innovaciones en el eslabón comercialización primaria implementadas y acciones o actividades para su éxito.

Elaboración propia con datos del componente extensionismo (cadena nopal).

*Eslabón de comercialización en la transformación*, los indicadores que se utilizaron fueron tres: i) productos comercializados a base de nopal (gel, palanqueta, pintura), ii) productores que comercializan productos transformados y iii) presentación mejorada para la comercialización. Las líneas base para cada uno de los indicadores fueron de 15 productos para el primer indicador, cuatro productores para el segundo y seis presentaciones para el tercero. Las metas propuestas fueron de 18 productos, ocho productores y ocho presentaciones mejoradas, respectivamente. Los resultados fueron: 17 productos en el 1er caso, 12 productores para el 2do y 13 presentaciones del 3ro, con lo cual el logro de los productos comercializados a base de nopal fue del 94.4%, para el número de productores que comercializaron productos transformados, se superó en 50 % y en las presentaciones mejoradas de los productos, se superó la meta en 62.5 %.

Para alcanzar los resultados se implementaron en el eslabón de comercialización de productos que tuvieron una industrialización, dos innovaciones de acuerdo al Cuadro 5.

<b>Innovaciones Implementadas</b>	<b>Acciones y / o actividades desarrolladas</b>
Búsqueda de nuevos mercados.	Vincular nuevos mercados y compradores como: ferias, agroindustrias y transformadoras.
Diseño de etiquetas.	Mejorar la identidad en el diseño de etiquetas para una mejor presentación y posicionamiento de los productos, que brinden facilidad de reconocimiento en el mercado consumidor.

Cuadro 5. Innovaciones en el eslabón comercialización de productos transformados, implementadas y acciones o actividades para su éxito.

Elaboración propia con datos del componente extensionismo (cadena nopal).

*Eslabón de organización*, los indicadores que se utilizaron fueron tres: i) grupos constituidos, ii) productores organizados para la compra de insumos y iii) grupos organizados para venta de producción primaria. Las líneas base para cada uno de los indicadores fueron de cuatro grupos constituidos, 25 productores organizados para la compra de insumos y seis grupos organizados para la venta de producción primaria. Las metas que se propusieron fueron de seis grupos constituidos, 60 productores organizados para la compra de insumos y 8 grupos organizados para la venta de producción primaria. Los resultados fueron: siete grupos constituidos, 64 productores organizados para la compra de insumos y 12 grupos organizados para la venta de la producción primaria (nopal), con lo cual el logro fue que la meta se superó en 16.7 % con relación a grupos constituidos, en 6.7 % para el caso de productores que se organizaron para comprar insumos y el 50 % para los grupos que se organizaron para vender la producción primaria.

Para alcanzar los resultados se implementaron en el eslabón de organización, tres innovaciones de acuerdo al Cuadro 6.

Innovaciones Implementadas	Acciones y / o actividades desarrolladas
Economías de escala (Compra consolidada de insumos).	Organizar y el realizar esta actividad representa la oportunidad para que los productores reduzcan su presupuesto en insumos y consecuentemente tengan un ahorro en los egresos.
Figuras jurídicas asociativas.	Ampliar las alianzas con otros sectores y/o empresas, y otras muchas ventajas.
Desarrollo humano y empresarial.	Fomentar la capacitación y el desarrollo personal, con modelos de educación a través de los cuales es necesario formar una cultura de identidad empresarial basada en los valores sociales de la productividad y las laborales.

Cuadro 6. Innovaciones en el eslabón de organización implementadas y acciones o actividades para su éxito.

Elaboración propia con datos del componente extensionismo (cadena nopal).

Los beneficios que obtuvieron los productores que recibieron el apoyo del programa de extensionismo fueron: utilización de buenas prácticas de manejo, incremento en la producción de nopal, productores capacitados en industrialización de nopal, desarrollo de nuevos productos, comercialización fuera del centro de acopio, mejora del precio de venta, mejora en la presentación de productos y acciones para la compra en común de insumos con la consiguiente economía de escala.

Tasas medias de crecimiento anual (tmca)

A fin de determinar el crecimiento porcentual a lo largo del periodo de 22 años (2000-2022) se consideraron las variables de: superficie sembrada, producción y valor de la producción del nopal, las cuales se muestran en el Cuadro 7.

Periodo	Superficie sembrada	Producción	Valor de la producción
2001-2022	-2.79	-201	-0.72

Cuadro 7. Tasas medias de crecimiento anual en % de las variables productivas del nopal.

El anterior cuadro señala que las variables del nopal en la CDMX vienen en caída en razón de que la expansión de la mancha urbana genera una fuerte demanda de terrenos para desarrollos inmobiliarios de distintos tipos y la que menos se vio afectada fue la del valor de la producción en razón de los precios del nopal van al alza y la demanda por este alimento va en aumento.

## CONCLUSIONES

El programa extensionismo en materia de nopal en la CDMX se desarrolló en las alcaldías de Milpa Alta y Xochimilco, en la primera es dónde se concentra la mayor producción de nopal con más del 98 %, en la misma proporción en lo relativo a la importancia económica, sin embargo, se observan disminuciones en la superficie sembrada y en la producción, lo cual se debe principalmente al crecimiento de la mancha urbana, sin

embargo la tendencia en el valor de la producción es positiva debido a la gran demanda de éste producto por los habitantes de la CDMX.

La meta de atención de las actividades vinculadas al cultivo del nopal se superó en un 26.5 % y se observó una participación del 41.6 % por parte de las mujeres lo que indica la feminización del campo mexicano. La participación de productores jóvenes en la cadena nopal de la CDMX es escasa ya que sólo alcanzó un 16.3 %

Las actividades de los extensionistas abarcaron cuatro eslabones de la cadena: producción, transformación, comercialización tanto en producción primaria como en industrialización y organización. Se implementaron 24 innovaciones de la siguiente manera: eslabón primario con nueve, eslabón de transformación con cuatro, ocho en el eslabón de comercialización, seis en la producción primaria y dos en industrialización y tres en el eslabón de organización.

Los principales logros por eslabón de la cadena nopal fueron: en la producción primaria se incrementó la producción en 9.5 %, en transformación se consiguieron los resultados más relevantes ya que se alcanzó pasar de dos a cinco nuevos productos de nopal con valor agregado significativo, en la comercialización los resultados fueron que el precio de venta por vender fuera del centro de acopio fue superior a la meta establecida y se superó en un 12.5 % para el caso del nopal como materia prima y para productos terminados, éstos se comercializaron bajo una etiqueta propia, y con relación a la organización fueron las economías de escala al hacer las compras de manera consolidada por parte de grupos organizados.

El mayor beneficio que los productores de nopal de la CDMX fue el valor agregado por la transformación de nopal en productos empacados y con etiquetas que lograron mejores precios, incrementos en el rendimiento medio por hectárea y mejores precios de venta por comercializar fuera del centro de acopio, lo cual les permitió incrementar sus ingresos.

## REFERENCIAS

Addin Technology Incorporated. (2018). <https://www.extendoffice.com/es/documents/excel-average-compound-growth-rate.html>

Agencia Española para la Calidad (AEC). 2019. Transferencia de tecnología. <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/transferencia-de-tecnologia>. Consultado en marzo de 2019.

Comisión Nacional de Población. 2018. Indicadores Demográficos Ciudad de México 2018. [http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Mapa\\_Ind\\_Dem18/index.html](http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Mapa_Ind_Dem18/index.html) consultado febrero de 2019.

Consejo Mexicano para el Desarrollo Rural Sustentable. (2015). Desarrollo de Capacidades y Extensionismo Rural. [http://www.cmdrs.gob.mx/sesiones/Documents/2015/2a\\_sesion/4\\_extencionismo.pdf](http://www.cmdrs.gob.mx/sesiones/Documents/2015/2a_sesion/4_extencionismo.pdf), consultado en febrero de 2019.

Díaz B. J. E. 2003. La Transferencia de Tecnología Apropriada al Pequeño Agricultor. Revista Interamericana de Educación de Adultos. Ministerio da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, Brasil. Biblioteca Nacional de Agricultura – BINAGRI. 75 – 102 pp.

Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española. (2019). Madrid, España.

Engel, P. 2000. Facilitando el desarrollo sostenible: ¿hacia una extensión moderna? Centro de Estudios y Gestión para el Desarrollo Rural Sostenible (CEDRO), Universidad de Concepción, Chile. Mimeo.

Gomes de C. A. M., S. M. Valle L. y A. de Freitas F. 1998a. Análisis prospectivo de cadenas productivas agropecuarias. Brasília. Brasil. EMBRAPA.

Gomes de C. A. M., S. M. Valle L., W. J. Goedert, A. de Freitas F. y J. R. P. Vasconcelos 1998b. Cadeias productivas e Sistemas Naturais: Prospecção Tecnológica. Brasília. Brasil. EMBRAPA - SPI.

Gomes de C. A. M., S. M. Valle L. y A. de Freitas F. 1998C. Módulo de capacitación en Prospección Tecnológica de cadenas productivas. Brasília. Brasil. EMBRAPA.

Granger, A., Grierson, J., Quirino, T. R. y Romano L. 1995. Evaluación en la Administración de la Investigación Agropecuaria. Servicio Internacional para la Investigación Agrícola Nacional (ISNAR), Módulo 4 de la serie de Capacitación en Planificación, Seguimiento y Evaluación para la Administración de la Investigación Agropecuaria. Cali, Colombia.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015). PIB- Entidad Federativa, anual. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/cn/pibe/tabulados.aspx> consultado en julio de 2017.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=09> consultado en febrero de 2019.

Moctezuma L.G., Romero S. M.E., Galicia L.C.A. y Castillo C. A. L. 2017. Extensionismo Agrícola en la Ciudad de México (CDMX). Memoria XXX Congreso Internacional de Administración en Empresas Agropecuarias. San José del Cabo, Baja California Sur. México.

Moctezuma, L. G., Espinosa, G. J. A., Romero, S. M. E., Castillo, C. A. L. y Pérez E. M. R. 2017. Extensionismo Pecuario en la Ciudad de México (CDMX). Memoria 53 Reunión Nacional de Investigación Pecuaría. Año 3. Vol. 1. No. 1. Acapulco, Gro. México. 626 – 628 pp.

Moctezuma, L. G., Espinosa, G. J. A., Romero, S. M. E., Castillo, C. A. L. y Castillo A. R. 2017. Evaluación del Componente Extensionismo Pecuario en la Ciudad de México (CDMX). Memoria II Seminario Nacional de Investigación Socioeconómica y Ambiental de la Producción Pecuaría. Colegio de Postgraduados. Puebla, Pue. México. 28 pp.

Moctezuma, L. G., Ramírez, S. E. U., Velázquez, F. L., Vélez, I. A. y Romero, S. M. E. 2018. Extensionismo rural en la Ciudad de México: aportes del INIFAP al desarrollo de capacidades en el campo. Memorias 60 Años de Investigación Forestal en Coyoacán. INIFAP. CENID – COMEF. Ciudad de México. México. 255 – 267 pp.

Moctezuma, L. G., Ramírez, S. E. U., Velázquez, F. L. y Vélez, I. A. 2019. Importancia del extensionismo rural en la Ciudad de México. Revista Inclusión y Desarrollo. No. 1. Vol. 16. 123-135 pp. Corporación Universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO. Bogotá, Colombia

Reyes O. S. 2013. El Servicio de Extensión Rural en México. Propuestas de Política Pública. Colegio de Postgraduados. Biblioteca Básica de Agricultura. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 156 pp.

Russo, R. O. 2009. Capacidades y Competencias del Extensionista. Agropecuario y Forestal en la Globalización. Comunicación. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 86-91 pp.

Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. SER MEXICANO (2014). [www.extensionismo.mx/web1/index.php/contenido/119-extensionismo-rural](http://www.extensionismo.mx/web1/index.php/contenido/119-extensionismo-rural) consultado en febrero 2019

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2015. Estudios de factibilidad para el establecimiento del cultivo de nopal (*Opuntia*) en tierras ociosas en los estados de Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato y Zacatecas con fines alimenticios, energéticos y ambientales. Informe detallado. México. 94 pp.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2017. Transformación y aprovechamiento de nopal. Desarrollo, promoción y difusión de modelos de innovación y desarrollo tecnológico para el campo mexicano. México. 20 p.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2019). SIACOM 2009-2018 <http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/165998/bovlech.pdf> consultada en febrero de 2019

Valle L. M. S., A. M. Gomes de C., O. Mengo., M. Medina., A. Maestrey., V. Trujillo. y O. Alfaro. 2001. La dimensión de entorno en la construcción de la sostenibilidad institucional. *Serie Innovación para la Sostenibilidad Institucional*. San José. Costa Rica. Proyecto ISNAR "Nuevo Paradigma". 141 pp.

Vázquez G. R. y Landa F. E. 2017. Relación entre el perfil de los extensionistas pecuarios y su desempeño. Memoria Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Ciencia y Tecnología para la Ganadería Tropical Mexicana, Acapulco, Gro. México. 832 p.

Zamora M. M. C. 2016. Extensionismo Forestal. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. Vol.7. No.36. Julio-agosto. México. 4-5pp



Productores, extensionistas e investigadores participantes en el programa Cadena Nopal de la CDMX.



# ANÁLISE DO SOLO E DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ENTORNO DE UM CEMITÉRIO LOCALIZADO NUMA PEQUENA CIDADE DO INTERIOR DE MINAS GERAIS

*Data de aceite: 26/01/2024*

**Jéssica Juliana Braz Bicalho**  
Stellantis South America Betim – MG

**Samila Silva Guimarães Santos**  
Centro Federal de Educação Tecnológica  
de Minas Gerais Belo Horizonte – Minas  
Gerais (Brasil)  
<https://orcid.org/0000-0002-9710-8100>

**Leonardo França da Silva**  
Universidade de Federal Viçosa  
Viçosa – Minas Gerais (Brasil)  
<https://orcid.org/0000-0002-9710-8100>

**Victor Crespo de Oliveira**  
Universidade Estadual Paulista  
Botucatu – São Paulo (Brasil)  
<https://orcid.org/0000-0003-2719-9972>

**Evandro Carrusca de Oliveira**  
Centro Federal de Educação Tecnológica  
de Minas Gerais Belo Horizonte – Minas  
Gerais (Brasil)  
<https://orcid.org/0000-0002-9710-8100>

**Carlos Wagner Gonçalves Andrade  
Coelho**  
Centro Federal de Educação Tecnológica  
de Minas Gerais  
Belo Horizonte – Minas Gerais

**RESUMO:** Antigamente, os cemitérios eram implantados em áreas fora do núcleo habitacional do município. Atualmente, esta prática não acontece com regularidade, seja porque a ocupação urbana chegou ao entorno do cemitério, seja porque a ocupação urbana cedeu espaço para implantação do cemitério naquele aglomerado. Toda esta situação de não conformidade ambiental foi observada na área em estudo, sobressaindo sepulturas do tipo inumação e tumulação, sem impermeabilização do solo, inexistência de estudos geológicos e hidrogeológicos locais, e existência de poços de captação de água subterrâneas tipo cisternas em várias residências no entorno do cemitério. Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a possível contaminação físico-química e microbiológica do solo e da água através da coleta de amostras localizadas dentro e fora do cemitério municipal de Ritópolis - MG, levantando os danos potenciais aos meios físicos e consequentes riscos à saúde humana em função da forma de sepultamento. Para atingir o objetivo, foi realizada revisão bibliográfica e atividades de campo, incluindo reconhecimento in loco com registro fotográfico, coletas de água subterrânea e do solo. Os principais



parâmetros microbiológicos e físico químico foram analisados no laboratório Engequisa, os métodos de ensaio utilizados para determinar os resultados das amostras foram Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23nd. Edition, 2017(SM) e Environmental Protection Agency (EPA). O estudo apresenta análise das legislações para possíveis contaminações da água e do solo coletado. Sendo assim, as irregularidades encontradas, embora dentro dos limites das resoluções e portarias, indicam uma possível influência do cemitério na alteração da composição da água subterrânea e do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Impactos Ambientais, Necrochorume, Contaminação.

## SOIL AND GROUNDWATER ANALYSIS AROUND A CEMETERY IN A SMALL TOWN IN THE INTERIOR OF MINAS GERAIS

**ABSTRACT:** In the past, cemeteries were set up in areas outside the municipality's housing nucleus. Currently, this practice doesn't happen regularly, either because the urban occupation arrived around the cemetery, or because the urban occupation gave way to the implantation of the cemetery in that cluster. This entire situation of environmental non-compliance was observed in the study area, standing out burial types inhumations or the use of graves, without waterproofing the soil, inexistence of local geological and hydrogeological studies, and the existence of cistern-type underground water wells in several residences around the cemetery. In this context, the general objective of this work was to evaluate the possible physical-chemical and microbiological contamination of the soil and water through the collection of samples located inside and outside the cemetery of Ritópolis - MG, surveying the potential damages to the physical means and consequent risks to the human health because of the form of burial. To achieve the objective, a bibliographic review and field activities were carried out, including on-site recognition with photographic record, groundwater and soil collections. The main microbiological and physical chemical parameters were analyzed in the Engequisa laboratory, the test methods used to determine the results of the samples were Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23nd. Edition, 2017 (SM) and Environmental Protection Agency (EPA). The study presents an analysis of the legislation for possible contamination of the water and soil collected. Thus, the irregularities found, although within the limits of resolutions and ordinances, indicate a possible influence of the cemetery in altering the composition of groundwater and soil.

**KEYWORDS:** Environmental impacts, Necroleachate, Contamination.

## 1 | INTRODUÇÃO

O costume de sepultar corpos iniciou-se aproximadamente há 100 mil anos a. C. Inicialmente os cadáveres eram enterrados de forma dispersa e aleatória e, posteriormente, passaram a ocorrer em local específico para esse fim, de forma agrupada, esse local foi denominado cemitério (PACHECO, 2000).

A palavra cemitério tem origem do grego Koumetèrian e deriva-se do latim Coemeteriun, possui o significado de dormitório, lugar onde se dorme. Recinto onde se enterram ou se guardam os mortos, tendo como sinônimos as expressões necrópole, carneiro, campo- santo, cidade dos pés juntos e a última moradia (CAMPOS, 2007).

De acordo com Silva, Suguio e Pacheco (2008), apud Marques (2017), o corpo humano enquanto vivo permanece em equilíbrio com o meio ambiente. Porém, após a morte, os corpos sepultados se transformam e têm os tecidos destruídos por ação de bactérias e enzimas. Essas bactérias e enzimas são decompositoras de matéria orgânica, resultando na dissolução gradual e na liberação de gases, líquidos e sais para o meio ambiente. Ou seja, estão sujeitos a fenômenos transformativos, que podem ser divididos em fenômenos conservativos e fenômenos destrutivos.

Os fenômenos conservativos (Mumificação e Saponificação) – são aqueles que, por condições de umidade, quantidade de oxigênio, retardam a decomposição do corpo e, em alguns casos, o corpo nem se decompõe totalmente. Sendo assim, os corpos ficam semi decompostos, aumentando o perigo de contaminação.

Já os fenômenos destrutivos (Autólise, Putrefação e Maceração) - são aqueles expostos a condições ambientais favoráveis decomposição aeróbica (tipo de solo, temperatura e umidade). Os corpos, quando sepultados, entram em decomposição, liberando o necrochorume. Essa é uma substância composta, em sua maior parte, por água, sais minerais e substâncias orgânicas que percolam o solo podendo atingir a água subterrânea. Ou ainda, quando em cemitérios verticais, contaminam atmosfera através dos gases e, através do ciclo da água, contaminam, da mesma maneira, o solo e as águas subterrâneas. Essas substâncias têm componentes prejudiciais ao ambiente e, conseqüentemente, oferecem riscos à saúde das comunidades ao redor, pois elas alteram a qualidade do solo e das águas, trazendo riscos à saúde pública (PINHEIRO, 2018).

No caso dos sepultamentos, os riscos ao meio ambiente são provocados pela contaminação do solo e águas subterrâneas por substâncias e microrganismos que compõem o necrochorume no processo de percolação da zona não saturada do solo até o aquífero livre. Quanto aos riscos à saúde pública, a água subterrânea e superficial com qualidade alterada pode causar, na população que utilizam estes recursos, doenças de veiculação hídrica (amebíase, giardíase, gastroenterite, febre tifoide, hepatite infecciosa e cólera) provocadas por vírus, bactérias e protozoários (MARQUES, 2017).

No Brasil e no mundo, são crescentes os estudos mais aprofundados sobre contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais, causada pela decomposição dos corpos em cemitérios (BATISTA, 2015). Dessa forma, objetivou-se com este trabalho avaliar possível contaminação físico-química e microbiológica do solo e da água em função da forma de sepultamento.

## **2 | MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Introdução**

O processo metodológico utilizado na presente pesquisa teve abordagem qualitativa,

caráter descritivo, feita através de um estudo de caso, tendo como unidade de análise as áreas interna e de entorno do cemitério do município de Ritápolis (MG). A água foi amostrada em cisterna no entorno do cemitério, localizada a jusante. As análises foram conduzidas com o fim de diagnosticar a qualidade destes meios físicos em estudo. Estas atividades *in loco* pautaram-se, num primeiro instante, em entrevista presencial com funcionários responsáveis pela administração e operação do cemitério, visando obter informações para a elaboração da programação dos trabalhos.

Os principais critérios de amostragem no interior e no entorno do cemitério consideraram o índice de saturação elevado (número de sepultamentos/ano), a área com sepultamento por inumação em covas rasas, os locais com sepultamentos ocorridos nos últimos 12 a 24 meses, a vulnerabilidade da localização quanto aos aspectos urbanos, geográficos e geológicos, a presença de moradias na circunvizinhança, a existência de pontos de exploração de água subterrânea para consumo humano ou outra modalidade, extraída de cisterna ou poço cacimba localizados a jusante das sepulturas, observando pontos de extração em atividade e pontos de extração paralisados, dentre outros.

Segundo Yin (2001), entende-se que o estudo de caso é definido como uma metodologia indutiva, que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de um contexto real, avaliando a interação dos dados e sua análise.

## 2.2 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo está situada no município de Ritápolis, no bairro do Rosário, estado de Minas Gerais. O município, com área de 405 km<sup>2</sup>, pertence ao Comitê da Bacia Hidrográfica Vertentes do Rio Grande.

Para a realização do diagnóstico, delimitou-se a área obedecendo a distância de 125 metros do perímetro do cemitério, abrangendo uma região a montante e a jusante deste. A determinação da distância foi definida com base em pesquisa bibliográfica sobre a proliferação de substâncias de origem patogênica oriundas de necrochorume.

Os pontos onde foram coletadas amostras da água e do solo estão referenciados pelas coordenadas geográficas latitude 21° 01' 19" S e longitude 44° 19' 04" W. Esse levantamento foi realizado com GPS, modelo ETREX, marca Garmin.

A figura 1, registrada com o uso da ferramenta Google Maps, apresenta uma visão panorâmica do respectivo cemitério (realçado pelo polígono em vermelho), instalado em perímetro urbano, próximo de residências. No levantamento realizado *in loco* no entorno do cemitério, comprovou que a maioria das habitações possui cisternas para uso residencial.

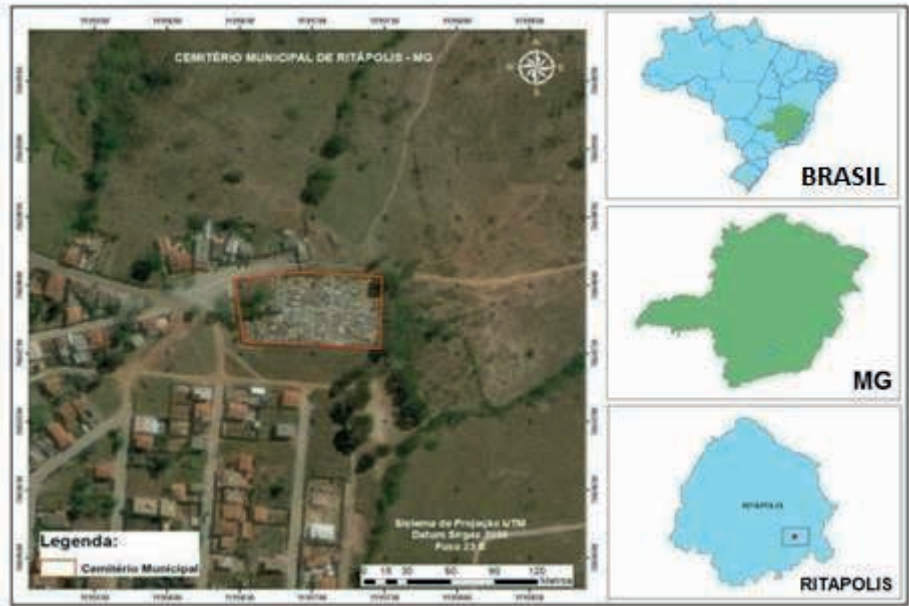


Figura 1: Localização da área de estudo

Fonte: Adaptado pelos autores do Google Maps, (2019).

Localmente, tem-se um cemitério do tipo horizontal tradicional, contendo sepulturas classificadas como jazigos, algumas com gavetas, e sepulturas simples. Nestas sepulturas simples, os corpos são dispostos diretamente em contato com o solo, sem nenhuma proteção quanto a percolação do necrochorume.

### 2.3 Plano de Amostragem

A primeira etapa da pesquisa utilizou a revisão bibliográfica abordando avaliações hidro geoquímicas em áreas onde operam cemitérios. O objetivo foi identificar os parâmetros mais utilizados na realização de diagnósticos ambientais para a caracterização da qualidade do solo e da água subterrânea neste cenário. As principais fontes de busca das informações científicas foram as plataformas de periódicos/pesquisa - CAPES/MEC, as publicações e termos de referência elaborados por Instituições de Pesquisa e Órgãos Ambientais, como CETESB/SP e FEAM/MG, e Google Acadêmico.

Após definir quais parâmetros físico-químicos e microbiológicos seriam analisados, com as devidas instruções técnicas orientadas pelo laboratório contratado, iniciou-se o planejamento para o desenvolvimento do plano de amostragem. Por meio de visitas técnicas nas residências e outros logradouros próximos à área de pesquisa, foram identificados poços de captação de água na região em estudo e definida a localização de dois furos

de sondagem, um no interior e outro fora dos limites do cemitério. Este segundo ponto foi definido como o ponto branco, por estar localizado fora da área com potencial de poluição. Levantou-se, também, as condições de acessibilidade e segurança para a realização dos trabalhos na área.

Os resultados destas ações definiram as localizações dos pontos de amostragem de solo e água e, também, orientaram a relação dos equipamentos para a operação de amostragem (Figura 2). Foram determinados, ainda, os parâmetros físico-químicos para análise do solo, e físico-químicos e microbiológicos para análise da água.



Figura 2: Pontos de coleta

Fonte: Autores (2021).

A etapa seguinte consistiu em levantar os laboratórios credenciados para estes ensaios físico-químicos e microbiológicos na região metropolitana de Belo Horizonte e solicitar orçamentos. Foi escolhido um laboratório Engequisa, instalado no município de Betim.

## 2.4 Amostragem de Água Subterrânea

Anterior à definição do local da amostragem, fez-se um levantamento no entorno do cemitério visando saber se existem poços cisternas ou outra forma de extração de água para consumo humano nas imediações do cemitério. Foram identificadas 10 cisternas nesta área e, de acordo com os critérios preestabelecidos pela autora para seleção do ponto de amostragem, escolheu-se um poço cisterna localizado a jusante do cemitério, em nível topográfico inferior à localização do cemitério. Os critérios em questão foram condicionados à localização, às condições de acesso e à autorização do proprietário para

a realização da amostragem.

A amostra da água subterrânea foi coletada num poço do tipo cisterna no dia 14 de fevereiro de 2021 às 19h. A profundidade atual atinge 8 metros, estando o nível da água (NA) na profundidade de 5 metros. Utilizou-se um balde novo (sem uso prévio), amarrado a uma corda. Antes da primeira amostragem, fez-se uma ambientação do equipamento com o material a ser amostrado, totalizando três procedimentos de lavagem. Em seguida, procedeu-se a coleta da água na cisterna. O material foi acondicionado em quatro frascos distintos, devidamente preparados pelo laboratório, identificados, colocados em caixa térmica e levado pela autora ao laboratório Engequisa. Os ensaios laboratoriais contratados compreendem a determinação do pH, condutividade elétrica, alcalinidade, dureza, teor de nitrato, DBO, presença de coliformes totais e coliformes termotolerantes.

## 2.5 Amostragem do solo

A atividade de amostragem de solo foi realizada no dia 13 de fevereiro de 2021. Foram coletadas 06 amostras em 02 pontos de amostragens diferentes (PA-1 e PA-2), sendo o primeiro ponto de amostragem (PA-1) locado no interior do cemitério e o segundo ponto de amostragem (PA-2) locado fora do cemitério, este último a montante da área de sepultamentos. Em cada ponto de amostragem foram realizadas três coletas em profundidades diferentes (P1, P2 e P3).

As intervenções desenvolvidas no local foram discutidas previamente com o funcionário da Prefeitura responsável pelo cemitério. Depois de autorizadas, ele acompanhou e guiou as ações e deslocamentos em toda a área do trabalho. Para a escolha de cada local das amostragens, foram avaliadas inicialmente as declividades do terreno. As amostras foram coletadas com auxílio de trado manual (boca de lobo), pá reta e enxadão em três níveis diferentes de cada ponto da amostragem.

O ponto de amostragem (PA-1) locado no interior do cemitério foi realizado a 50 centímetros a jusante de uma sepultura, na qual o último sepultamento nela registrado ocorreu na data de 26 de julho de 2020. A profundidade atingida no furo totalizou 1,73 metros. Foram coletados solos nas profundidades de 1,32 m (P1), 1,53 m (P2) e 1,73 m (P3). Estas três coletas neste furo (PA-1) foram homogeneizadas e quarteadas, compondo a amostra de solo do furo localizado no interior do cemitério.

Os solos amostrados foram acondicionados em frascos de vidro apropriados e devidamente identificados, fornecidos pelo laboratório ENGEQUISA. As embalagens foram acomodadas em caixa de poliestireno (isopor) até a chegada ao laboratório, obedecendo o prazo de até 48 horas para a análise laboratorial.

Para verificar as propriedades físico-químicas das amostras do solo extraídas dos locais indicados e das sondagens de simples reconhecimento, foram definidos os parâmetros como condutividade elétrica, fósforo, matéria orgânica, DQO e pH. Os métodos

de ensaio utilizados no laboratório para determinar os resultados das amostras foram Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23nd. Edition, 2017(SM) e Environmental Protection Agency (EPA).

## 2.6 Legislações ambientais consultadas

Para ajudar na interpretação das análises e na elaboração da discussão dos resultados foram consultadas legislações brasileiras em âmbito federal e estadual sobre o padrão de potabilidade da água para consumo humano e sobre padrão de qualidade de solo, água subterrânea e superficial conforme a Quadro 1.

<b>Tipo de amostra</b>	<b>Legislação</b>	<b>Intuito da Legislação</b>
Água subterrânea e superficial	Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde	Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
Água subterrânea	Resolução CONAMA no 396/2008	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.
Solo	Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde	Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
	Resolução CONAMA 368/2006	Altera dispositivos da Resolução no 335, de 3 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios.
	Resolução CONAMA nº 420/2009	Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.
	Deliberação Normativa Conjunta COPAM nº 166/2011	Altera o Anexo I da Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 2 de 6 de setembro de 2010, estabelecendo os Valores de Referência de Qualidade dos Solos
	Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010	Institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas.

Quadro 1: Legislações consultadas para realização da discussão dos resultados

Fonte: Adaptado pelos autores de Marques (2017).



## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Resultados dos ensaios laboratoriais das amostras do solo

Para a análise dos parâmetros de contaminação do solo oriundos de atividades cemiterial, a legislação em vigor, em especial a Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde, Resolução CONAMA 368/2006, Resolução CONAMA nº 420/2009, Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010, não tem especificados os valores máximos permitidos ou valores balizadores para as devidas interpretações do estágio da qualidade ambiental destes estratos físicos neste cenário.

Diante desta situação, considerando que o necrochorume é constituído de 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas tóxicas (KEMERICH, 2014B), definiu-se alguns parâmetros para serem usados na interpretação da qualidade ambiental do solo na área em estudo, compreendendo Condutividade Elétrica, DQO, Fósforo, Matéria Orgânica e pH.

Estes resultados dos ensaios realizados no laboratório da Engequisa estão apresentados na Tabela 1. O laudo original, denominado Relatório de Ensaios Engequisa nº 2175/21.

Parâmetros	Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	DQO ( $\text{mg}/\text{KgO}_2$ )	Fósforo ( $\text{mg}/\text{Kg}$ )	MO ( $\text{mg}/\text{Kg}$ )	pH
Solo Interior docemitério	27,15	79208	6,37	113574	7,74
Solo Exterior docemitério	1980,60	72977	3,10	107900	6,10

Tabela 1: Resultados dos ensaios laboratoriais do solo amostrado

Fonte/Adaptação: Relatório de Ensaios Engequisa Nº 2175/21, (2021).

De acordo com a Tabela 1, a condutividade elétrica definida nos resultados das análises de laboratório totaliza 27,15  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no solo do interior do cemitério e 1980,60  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no solo amostrado fora do cemitério (ponto branco) e, respectivamente, pH nos valores de 7,74 e 6,10.

Segundo Zanato (2016),

[...] o necrochorume possui sais minerais em sua composição. Quando os sais minerais se encontram dissolvidos em água formam os íons, e este por sua vez tem a capacidade de conduzir corrente elétrica, o que determina a condutividade elétrica. No entanto, este parâmetro não diferencia os íons presentes, mas é um indicio de possíveis fontes poluidoras.

Castro (2004) cita que

“à condutividade elétrica é diretamente dependente de fatores como a umidade, concentração de sais e matéria orgânica e que, quando estes parâmetros permanecem iguais, os solos com teores de argila mais elevados conduzem mais eletricidade do que aqueles com textura mais arenosa”.



Baum (2018) escreveu que, na sua pesquisa, os maiores valores de condutividade elétrica foram encontrados em locais próximos a sepultamentos recentes. Segundo a autora, Dent (1995), também constatou o aumento da condutividade elétrica e sais minerais nas águas subterrâneas próximas a túmulos recentes. Já a  $\text{NH}_3$ , também indicativa de poluição recente, apresentou em alguns locais valores acima dos permitidos, e face a rápida migração nas águas subterrâneas, esse parâmetro não necessariamente precisa ser identificado em áreas de sepultamentos recentes (BAUM, 2018).

Segundo Kemerich et al., (2014B), o pH do solo também influencia na velocidade de decomposição da matéria orgânica. Para Sousa, Monteiro e Castro (2015), o potencial aumento do pH decorrente da alta proporção de íons de cálcio também pode ser esperado, além de eventual superação de concentrações de cloreto e sulfato, e presença de indicadores de matéria orgânica e indicadores bacterianos.

Estas afirmações de ambos os autores justificam o pH com maior valor encontrado na amostra coletada no interior do cemitério, relacionando a fase de esqueletização dos corpos sepultados com elevação de íons cálcio liberados nesta fase, além dos índices mais elevados da matéria orgânica (Tabela 1).

De acordo com o mapa de caracterização do solo para o município de Ritápolis e região de entorno, o tipo de solo presente na região, caracterizado como Latossolo Vermelho- Amarelo, de modo geral é ácido (PEREIRA et al., 2010). Da mesma forma, Pignataro

Netto (2008) afirma que Latossolos são solos fortemente ácidos. Assim, diante destas afirmações com relação à acidez deste tipo de solo e analisando os resultados obtidos nos ensaios de laboratório da amostra do interior do cemitério (Tabela 1), tem-se um pH com valor 7,74 tendendo de neutro para alcalino e condutividade elétrica baixa, com valor de 27,15  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Estes parâmetros também evidenciam a contaminação do solo na amostra do interior do cemitério por decomposição dos corpos ali sepultados.

Quanto ao elevado índice de condutividade elétrica no ponto externo da área do cemitério, pode-se atribuir à acidez do solo tratada anteriormente. Relaciona-se com a alta concentração de ferro e, secundariamente, alumínio, presentes no solo tipo Latossolo Vermelho Amarelo mapeado na região. No local, observou-se durante a atividade de amostragem a rigidez do solo para perfuração, com características próximas de um solo laterítico ferruginoso.

Para Andrade et al. (2010), nos solos ácidos, bactérias e vírus têm seus desenvolvimentos bastante reduzidos. Já no solo com pH igual a 7.4, Vidali (2001) sugere que o valor do pH próximo da neutralidade caracteriza maior predomínio de bactérias e de fungos no local contaminado e que os fungos são microrganismos mais eficientes que as bactérias na sobrevivência a condições ambientais adversas, como em teores extremos de pH (menor que 5 e maior que 10). Assim, o resultado do pH do solo no interior do cemitério próximo da neutralidade contribui na agilidade da decomposição dos corpos.

Para os resultados de matéria orgânica, o maior valor encontrado foi no interior do cemitério, de 113.574 mg/Kg. Para a área externa do cemitério, o valor amostrado foi de 107.900 mg/Kg. Esses resultados evidenciam maiores valores de matéria orgânica nas condições menos ácidas.

A Resolução CONAMA nº 396/2008 e a Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde não apresentam valores regulatórios para o Fósforo Total relativo ao consumo humano. O fósforo é um elemento abundante no ambiente, contudo, não é encontrado em estado livre na natureza. Ocorre principalmente sob a forma de fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ;  $\text{HPO}_4^{2-}$ ;  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) ligados a um cátion em compostos inorgânicos insolúveis (OLIVEIRA, 2012; apud BAUM, 2018).

Braum (2018) citando Mathess & Harvey (1982, apud SANTOS, 2000), escreve que, devido a ação dos microrganismos, a concentração de fosfatos deve ser baixa ( $< 0,5$  mg/L) em águas naturais, sendo que valores acima de 1,0 mg/L geralmente são indicativos de águas poluídas.

Os resultados obtidos para o fósforo nas amostras de solo nos ensaios realizados no laboratório da Engequisa totalizaram 6,37 mg/Kg no solo amostrado no interior do cemitério e de 3,10 mg/Kg na amostragem fora do cemitério. Estes resultados obtidos, considerados por Braum (2018) como indicativos de poluição, evidenciam alteração da qualidade do solo amostrado próximo da sepultura em comparação com o solo externo, além de apresentar, também, maior quantidade de matéria orgânica quando comparado ao solo amostrado na área externamente.

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) refere-se à quantidade de oxigênio necessária à oxidação da matéria orgânica, através de um agente químico (BANDICK; DICK, 1999). É um indicador de matéria orgânica baseado na concentração de oxigênio consumido para oxidar a matéria orgânica. Nos resultados obtidos, o valor da DQO encontrado no solo na parte interna do cemitério foi de 79208  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , enquanto fora do cemitério o valor totalizou 72977  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Tais valores explicam a maior presença de quantidade de matéria orgânica no solo coletado no interior do cemitério, proveniente de substâncias exsudadas por microrganismos e processos químicos vindos da matéria orgânica (SEGATO; SILVA, 2000).

### **3.2 Resultados dos ensaios laboratoriais da amostra de água subterrânea**

A definição de valores máximos permitidos para as devidas interpretações de parâmetros indicativos do estágio da qualidade ambiental de solo e de água subterrânea, relacionados com atividades cemiterial, ainda não são partes integrantes da Legislação Ambiental em vigor no país.

No caso da água subterrânea, a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde facilita aos pesquisadores a análise de vários destes valores definidores da potabilidade desse

recurso natural, permitindo uma insipiente comparação entre eles, sem abordar as relações naturais ou antrópicas da presença destes contaminantes. Dentre elas, as características geológicas e hidrogeológicas dos meios em estudo, condições climáticas e sua influência na variação da profundidade do lençol freático, tipo de disposição nas sepulturas, contaminantes secundários relacionados com adornos, metais, produtos químicos medicinais, verniz nas urnas, etc., percolando o solo e atingindo a água subterrânea.

Cita-se Sousa, Monteiro e Castro (2015) como um exemplo de discussão referente ao tratamento de normas orientadoras relacionadas com contaminação em cemitérios, que escreve

[...] condicionar a liberação do uso do solo para atividades de sepultamentos, baseados unicamente em profundidades e distâncias arbitrárias sem maiores estudos entre a interação da carga contaminante e variados tipos de estratos de solo, parece uma prática condescendente proporcionada pela Resolução CONAMA 368/2006.

Ainda segundo Sousa, Monteiro e Castro (2015),

[...] a abordagem do perigo de contaminação envolve a interação entre a vulnerabilidade do aquífero à contaminação e a caracterização da carga contaminante aplicada no meio como resultado da atividade humana. O resultado dessa interação proporciona valores qualitativos de baixo, moderado ou alto perigo de contaminação da água subterrânea.

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios laboratoriais da amostra de água subterrânea coletada em uma cisterna no interior de uma residência, próxima do cemitério em estudo. As análises foram realizadas nos laboratórios da empresa Engequisa Engenharia Química Sanitária e Ambiental Ltda, instalada no município de Betim-MG.

Ensaio	Resultado	Unidade	Portaria MS 2914/11	CONAMA357/05
Alcalinidade Total	13,1	mg/L CaCO <sub>3</sub>	NE	NE
Coliformes Fecais (Termotolerante- Qualitativo)	Ausência	P/A 100 ml	Ausência	NE
Coliformes Totais(Qualitativo)	Ausência	P/A 100 ml	Ausência	NE
Condutividade	107,1	μS/cm	NE	NE
DBO	<2,0	mg/LO <sub>2</sub>	NE	Até 5
Dureza Total	26,9	mg/L CaCO <sub>3</sub>	500	NE
Nitrato	30,6	mg/L	10	10
pH	6	-	6,0- 9,5	6-9

Tabela 2: Resultados dos ensaios laboratoriais da água amostrada

Fonte/Adaptação: Relatório de Ensaio Engequisa N° 2175/21, (2021) NE.

## Condutividade elétrica

O necrochorume é composto por aproximadamente 30% de sais minerais. Quando esses sais se encontram dissolvidos na água, formam íons que possuem a capacidade de conduzir corrente elétrica, ou seja, o que determina a condutividade elétrica. Esse parâmetro não diferencia os íons presentes, mas é o indício de possíveis fontes poluidoras. (ZANATO, 2016)

Löbler, Borda e da Silva (2015) sugerem que *“quanto maior o teor de sais maior será o valor de condutividade elétrica da água subterrânea, tornando-se este um indicativo de salinização ou dissociação de sais do solo”*.

Segundo Rosa e Ucker (2019),

[...] um condicionante que influencia a concentração de íons presentes na água é o nível do lençol freático, já que em níveis elevados de precipitação ocorre a lixiviação da fonte poluidora, acarretando na solubilização dos íons, influenciado pelo gradiente de infiltração no solo.

Desta maneira o nível do lençol freático influencia diretamente na condutividade elétrica da água subterrânea quando em contato com a pluma de contaminação do necrochorume, enquanto que o pH apresenta valores baixos devido a maior quantidade de íons de hidrogênio presente na água (ROSA; UCKER, 2019).

Oliveira e Gontijo (2011), no desenvolvimento de trabalhos em dois cemitérios visando pesquisar os indicadores de qualidade química, física e biológica de solos como critérios de definição de localização de cemitérios, concluíram que

[...] o nível do lençol freático influencia na condutividade elétrica ora favorecendo o enriquecimento da água subterrânea com sais ora solubilizando os mesmos, além do que se notou também que o aumento do nível do lençol freático possibilitou a acidificação da água. Com isto, ressalta-se que os resultados obtidos são indicativos da contaminação por necrochorume, visto que, o cemitério estudado não possui tratamento dos resíduos gerados.

Na amostra do poço cisterna foi encontrado um valor de condutividade elétrica de 107,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , conforme Tabela 2. Nesta análise, valores acima 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indicam altos teores de sais dissolvidos ionizados, podendo as mesmas estarem contaminadas (BUZELLI; CUNHA-SANTINO, 2013).

## Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO

A DBO é um parâmetro importante e mais utilizado para determinar qualidade de água, pois a ocorrência de altos valores deste parâmetro causa uma diminuição dos valores de oxigênio dissolvido na água (ANA, 2016).

De acordo com o CONAMA 357/05 o valor máximo de DBO permitido é de 5 mg/L O<sub>2</sub>. Assim, a amostra de água subterrânea da cisterna analisada na Engequisa, que registrou o valor menor que 2,0 mg/L O<sub>2</sub>, encontra-se abaixo do limite máximo de referência permitido.

## Nitrato

A presença do nitrato nas águas subterrâneas é comum em pequenas quantidades, porém em maiores concentrações podem indicar uma possível contaminação.

O poço cisterna amostrado apresentou valor de 30,6 mg/L de nitrato. Esse valor encontrado é um valor superior ao valor máximo permitido (VMP), definido pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde como sendo 10 mg/L para o consumo humano. Sendo assim, o resultado da análise desta amostra de água subterrânea confirmou a presença de contaminantes neste poço cisterna.

A toxicidade química do nitrato diluído na água freática relaciona-se aos teores anômalos de compostos das cadeias do fósforo e do nitrogênio e aminas. O nitrato no meio natural decompõe-se e é reduzido a substâncias mais simples e inofensivas, ao longo do tempo (ROMANÓ, 2005).

Segundo Kemerich et al, (2014B),

[...] o  $\text{NO}_3^-$  (Nitrato) é uma das formas inorgânicas do nitrogênio no solo e, juntamente com o  $\text{NH}_4$ , constitui produto final da mineralização do nitrogênio orgânico, contido em qualquer resíduo orgânico após adição ao solo. Ao longo do tempo, pode atingir o lençol freático e os corpos de água por ele alimentados, tornando-se este um grande problema de contaminação ambiental, uma vez que os maiores valores ocorreram nas amostras superficiais. Assim, os compostos podem ser facilmente lixiviados e carregados aos recursos hídricos superficiais.

Em função dessa contaminação, a água poderá ter as suas características alteradas, podendo causar danos à saúde humana se consumida, pois o  $\text{NO}_3^-$  possui ação na síntese de nitrosaminas e nitrosamidas no estômago humano (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997; apud KEMERICH et al, 2014B).

Segundo Barros et al. (2008), estes compostos de nitrogênio em contato com os recursos hídricos (superficiais e subterrâneas) se tornam fontes de problemas relacionados à saúde pública, sendo que o mesmo pode reagir com o Ferro II e ser fonte de uma doença conhecida como metemoglobina, conhecida também como “síndrome do bebê azul”.

## pH

O resultado da análise de laboratório determinando o pH da amostra da água subterrânea coletada no poço cisterna, localizado a jusante do cemitério em Ritápolis, tendo como referência a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, encontra-se dentro da faixa aceitável para definição do índice de potabilidade para fins de consumo humano (Tabela 2). O resultado totalizou o pH no valor de 6,0. Os limites de pH para potabilidade da água subterrânea estabelecidos na Portaria 2914/2011 encontra-se no intervalo entre 6,0– 9,5. A Resolução CONAMA 357/05 estabelece o limite entre 6,0 – 9,0.

Porém, de acordo com Carvalho et al. (2015), valores de pH com tendências ácidas,

como registrado neste caso, pode ser indicio de contaminação de águas subterrâneas. Segundo Rosa e Ucker (2019), *“o nível do lençol freático influencia na condutividade elétrica e pH devido as variações da condutividade elétrica e acidificação do pH, sendo assim um indicativo da contaminação da água subterrânea por necrochorume”*.

Kemerich et al., (2014B) observaram em suas pesquisas relacionadas com alterações químicas em solo ocupado por cemitério horizontal no norte do Rio Grande do Sul, que os maiores valores de pH estão presentes nos pontos de menores cotas topográficas, evidenciando a relação do parâmetro com o fluxo superficial e subsuperficial da água.

Estes autores, citando o trabalho de autoria de Dent et al. (2004), colocam que

[...] as condições adequadas para a formação de nitrito e nitrato por bactérias nitrificantes, incluem valores favoráveis de pH no meio, devido as mesmas serem muito sensíveis a este parâmetro. As *Nitrobacter* spp. preferem um pH entre 5 e 8, enquanto as *Nitrossomonas* spp. preferem pH entre 7 e 9. Portanto, o pH é um elemento importante também na decomposição pelas bactérias nitrificantes.

## Alcalinidade e Dureza Total

Castro (2008), em seu trabalho de pesquisa referente à caracterização geofísica e hidrogeológica do cemitério Bom Jardim, localizado em Fortaleza – CE, desenvolveu diversas análises físico-químicas em amostras coletadas em áreas externas e internas do referido cemitério.

Um dos parâmetros analisados foi a alcalinidade total média da água subterrâneas, que registrou valores de 231 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ . Segundo o autor, a região externa do cemitério apresenta valores de alcalinidade maiores que no seu interior, caracterizando um ambiente menos alcalino nas áreas de sepultamento.

Comparando os resultados de alcalinidade obtidos por Castro (2008) com o resultado levantado na amostra de água de Ritópolis, no valor de 13,1 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , conclui-se que a amostra de Ritópolis caracteriza um ambiente com alcalinidade muito inferior.

Da mesma forma, acompanhando a baixa alcalinidade, o resultado da análise de dureza total em Ritópolis registrou valor de 26,9 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ . Castro (2008) registrou, no geral, uma dureza total de 221,6 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .

Esta baixa alcalinidade e baixa dureza total detectadas na água coletada no poço cisterna em Ritópolis, caracterizando uma ínfima presença de Carbonato de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), está coerente com o valor do pH, registrado como 6, confirmando um ambiente tendendo para ácido. Se, ao contrário, o teor de  $\text{CaCO}_3$  fosse mais significativo, o pH tenderia para um ambiente com maior basicidade, superior a 7.

## Indicadores Microbiológicos

Os resultados dos ensaios laboratoriais para detecção de indicadores microbiológicos, analisados na água subterrânea amostrada no poço cisterna, não identificaram a presença de Coliformes Fecais (Termotolerante - Qualitativo) e Coliformes Totais (Qualitativo). O resultado foi registrado como “Ausente”, conforme consta na Tabela 2 e no Relatório de Ensaio Engequisa nº 2174/21, de 15/02/2021.

## 4 | CONCLUSÃO

A análise desenvolvida neste trabalho indica que há evidências de contaminação do solo pela decomposição dos corpos ali sepultados. Além disso, as irregularidades encontradas na área estudada indicam que, mesmo com pouca intensidade, a qualidade da água subterrânea pautada nos parâmetros pH, condutividade elétrica, teor de nitrato indicam potencial de alteração química relacionada às atividades cemiterial.

Mesmo com a publicação da Resolução CONAMA 368/2006 criando instrumentos regulamentadores para a atividade cemiterial, ainda existem problemas significativos relacionados com os impactos dos cemitérios nas cidades. Dentre as várias justificativas, destaca-se a pouca importância atribuída pelas autoridades à legislação ambiental e à fiscalização que atualmente regem os cemitérios e suas atividades, seja motivada pelo desconhecimento científico, seja pela dificuldade financeira, seja pelo respeito aos preceitos culturais e religiosos dos cemitérios em toda a humanidade.

O gerenciamento ambiental do cemitério e seu entorno se complementa com o domínio dos perigos e riscos neste ambiente de transformação da matéria orgânica e suas consequências para a população. Para isto, o monitoramento dos efeitos provocados pela decomposição corpórea no solo e no sistema hídrico e a intervenção técnica visando minimizar a contribuição do sistema para a contaminação da área envolvida, minimizará os danos à saúde pública local. Tais ações irão subsidiar tecnicamente os estudos e análise de risco e, comprovada a contaminação, facilitar a implementação de projetos de remediação da área impactada, atentos continuamente à proteção dos usuários da água e do solo.

Tendo como referência o estudo desenvolvido, cujos resultados acusaram a existência de contaminantes na área em estudo, sugere-se que sejam desenvolvidos outros trabalhos complementares visando o controle mais abrangente da situação ambiental envolvendo a área de interferência do cemitério em Ritópolis.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) **Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil. Brasília, 2005a.** Disponível em: < <https://www.ana.gov.br/> > Acesso em: 25 out. 2019.

ANDRADE, Juliano de Almeida; AUGUSTO, Fabio; JARDIM, Isabel Cristina Sales Fontes. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Eclética Química Journal**, [S.L.], v. 35, n. 3, p. 17, 17 jan. 2018. Eclética Química Journal. <http://dx.doi.org/10.26850/1678-4618eqj.v35.3.2010.p17-43>.

ARCE, Funerária. **Conheça os tipos de cemitério: Horizontal, Vertical, Ecológico e Parque**. 2018. Disponível em: <<https://www.funerariaarce.com.br/tipos-de-cemiterios/>>. Acesso em: 14 set. 2019.

ASF. **ASF Home Page**. 2021. Disponível em: <https://asf.alaska.edu/>. Acesso em: 15 fev. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS/ABAS. **Contaminação e Remediação de Águas Subterrâneas**. Disponível em: <<https://www.abas.org/educacao/contaminacao-e-remediacao-de-aguas-subterraneas/>>. Acesso em: 25 out. 2019.

BACIGALUPO, Rosiane. **Cemitérios: fontes potenciais de impactos ambientais**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 2011

BANDICK, A. K.; DICK, R. P. **Field management effects on soil enzymes activities**. *Soil biology & biochemistry*, USA, n. 31, p. 1471-1479, 1999.

BARROS, Y. J.; MELO, V. D. F.; ZANELLO, S.; ROMANÓ, E. N. D. L.; LUCIANO, P. R. Teores de metais pesados e caracterização mineralógica de solos do cemitério municipal de Santa Cândida, Curitiba (PR). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.4, p.1763-1773,2008

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA Nº 368, de 028/03/2006. **Dispõe sobre licenciamento ambiental de cemitérios**.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA Nº 402, de 17/11/2008. **Altera os artigos 11 e 12 da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003**.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA Nº 335, de 03/04/2003. **Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios**.

BRAUM, Camila Angélica. **Impactos Ambientais no Solo e na Água Subterrânea Ocasionalmente por Cemitérios Públicos Urbanos De Lages - sc**. 2018. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Estado de Santa Catarina – Udesc, Lages, 2018, 2018.

BUZELLI, Giovanna Moreti; CUNHA-SANTINO, Marcela Bianchessi da. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 185-205, 2013. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.930>

CAMPOS, Ana Paula Silva. **Avaliação do potencial de poluição no solo e nas águas subterrâneas decorrente da atividade cemiterial**. 2007. 141 f. Dissertação (Mestrado)



CARVALHO, Fabio Israel M.; LEMOS, Vanda P.; DANTAS FILHO, Heronides Adonias; DANTAS, Kelly das Graças F. Assessment of Groundwater Quality from the Belém Based on Physicochemical Parameters and Levels of Trace Elements Using Multivariate Analysis. **Revista Virtual de Química**, [S.L.], v. 7, n. 6, p. 2221-2241, 2015. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20150132>.

CASTRO, Cesar Nunes de. **Definição de Unidades de Gerenciamento do Solo por meio de sua Condutividade elétrica e variáveis físico-químicas**. 2004. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CASTRO, David Lopes de. Caracterização geofísica e hidrogeológica do cemitério Bom Jardim, Fortaleza - CE. **Revista Brasileira de Geofísica**, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 251-271, set. 2008. Fap UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-261x2008000300001>.

CETESB, 2004. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de SP**. São Paulo: Relatório anual, 2vol. - (Série Relatórios / Secretaria de Estado do Meio Ambiente, ISSN 0103-4103).

DELIBERAÇÃO NORMATIVA CONJUNTA COPAM/CERH nº 02, de 08 de setembro de 2010. **Institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas**.

DELIBERAÇÃO NORMATIVA COPAM Nº 166, de 29-06-2011, **Altera o Anexo I da Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 2 de 6 de setembro de 2010, estabelecendo os Valores de Referência de Qualidade dos Solos**.

DENT, B. B., FORBES, S. L., STUART, B. H., Review of human decomposition processes in soil, **Environmental Geology**, p.576-585, 2004.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**. Fortaleza: CPRM, LABHID, UFPE, 1997. 404p

FINEZA, **Avaliação da contaminação de águas subterrâneas por cemitérios**: estudo de casos de Tabuleiro-MG. 2008, Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil; disponível em: <http://alexandria.cpd.ufv.br:8000/teses/engenharia%20civil/2008/238036f.pdf>

FITZ, Paulo Roberto. Cartografia básica. Canoas RS. Ed La Salle, 2000

FRANCISCO, A. M.; SILVA, A. K. G.; SOUZA, C. S.; SANTOS, F. C. S. Tratamento do necrochorume em cemitérios. **Revista Atas de Saúde Ambiental** (São Paulo, online), ISSN: 2357-7614 - Vol. 5, jan-dez, 2017, p. 172-188.

IBAMA, Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - **Diagnostico Floresta Nacional de Ritópolis**. 2000. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-planos-de-manejo/pm\\_flon\\_ritapolis\\_diagnostico.pdf](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-planos-de-manejo/pm_flon_ritapolis_diagnostico.pdf). Acesso em: 20 fev. 2021.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **Densidade Demográfica**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ritapolis/panorama>. Acesso em: 21 jan. 2021.

KEMERICH, P. D. C.; UCKER, F. E.; BORBA, W. F. Cemitérios como fonte de contaminação ambiental. **Revista Scientific American Brasil**, v.1, n.1, p.78-81, 2012.

KEMERICH, P., Borba, W., Schmachtenberg, N., Graepin, C., Flores, C., Barros, G., & Gerhardt, A. Alterações químicas em solo ocupado por cemitério horizontal no norte do Rio Grande do Sul. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, (33), 85-99. Retrieved from [http://rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes\\_RBCIAMB/article/view/23](http://rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/23). 2014B

KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha; BIANCHINI, Débora Cristina; FANK, Julia Caroline; BORBA, Willian Fernando de; WEBER, Diego Polonia; UCKER, Fernando Ernesto. A questão ambiental envolvendo os cemitérios no Brasil. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas**, Santa Maria, v. 13, n. 5, p. 3777-3785, maio 2014A.

LEITE, Gabriela Alonge Almeida; PRADO, Florestan Rodrigo do. **Sinais abióticos: putrefação, autólise, maceração**. 2019. Disponível em: <<http://intertemas.toledoprudente.edu.br/index.php/ETIC/article/view/7892/67648626>>. Acesso em: 25 out. 2019.

LEMONS, Guilherme de Araújo. **Aspectos simbólicos e socioculturais presentes na arquitetura tumular do cemitério de Santo Amaro (Recife-PE)**. 2019. 82 f. Monografia (Especialização) - Curso de Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade Damas da Instrução Cristã, Recife, 2019.

LÖBLER, C. A.; BORBA, W. F. de; DA SILVA, J. L. S. Relação entre a pluviometria e a condutividade elétrica em zona de afloramento do sistema Aquífero Guarani. **Ciência e Natura, Santa Maria**, v. 37, n. 3, p. 115-121, 2015.

LOPES, J. L. Cemitério e seus impactos ambientais: estudo de caso: Cemitério Municipal do Distrito de Catuaba/SP. In: CARNEIRO, V. S. Impactos causados por necrochorume de cemitérios: meio ambiente e saúde pública. **Revista Águas Subterrâneas**. Suplemento. I Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. São Paulo, Brasil - ISSN 2179-9784. 2000

MARQUES, Júlio César Gomes. **Diagnóstico ambiental de solo, água subterrânea e superficial no entorno do cemitério municipal parque cachoeira em Betim-MG**. 2017. 197 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Bambuí, 2017.

MARTINS, M. T; PELLIZARE, V. H.; PACHECO, A.; MYAKI, D. M.; ADAMS, C.; BOSSOLAN, N. R. S.; MENDES, J. M. B.; HASSUDA, S. Qualidade bacteriológica de águas subterrâneas em cemitérios. **Revista de Saúde Pública**, v. 25, n. 1, p. 47–52, 1991

MATOS, B.A. **Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismo no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo**. 2001. 113 f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001

MEMORIAL Necrópole Ecumênica. 2018. Disponível em:<<https://memorialsantos.com.br/>>. Acesso em: 25 out. 2019.

MINAS GERAIS. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Feam divulga primeira lista de áreas contaminadas do Estado**. Disponível em: <[http://www.feam.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=354](http://www.feam.br/index.php?option=com_content&task=view&id=354)>. Acesso em: 25 out. 2019.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. PORTARIA Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Mobilidade de metais pesados em um Latossolo Amarelo Distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.4, p.807-812, 2001

OLIVEIRA, Leyser Rodrigues; GONTIJO, Elder Lasmar. **Indicadores de qualidade química, física e biológica de solos como critérios de escolha para a localização de cemitérios**. 2011. Disponível em: file:///C:/Users/welli/Desktop/42- Texto%20do%20artigo-145-1-10-20110630.pdf. Acesso em: 15 mar. 2021.

OLIVEIRA, Ronald Lopes de. **Sepultamentos e cemitérios numa vila católica marcada pela colonização protestante (Nova Friburgo, século XIX)**. 2018. 186 f. Tese (Doutorado) - Curso de Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em História Social, A Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

OURIVES, E. M., de Sousa Carvalho, P., de Oliveira, B. M., & Ferreira, A. M. (2017). Análise de impacto ambiental de cemitério no município de Três Pontas–MG. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, 11(1), 109-111.

PACHECO, Alberto. **Cemitério e meio ambiente**. Tese de Livre Docência. Universidade de São Paulo.2000. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/44/tde-23062015-131326/pt-br.php> Acesso em: 25 out.2019

PEREIRA, T. T. C.; KER, J. C.; SCHAEFER, E. G. R.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C.L.; ALMEIDA, C. C. Gênese de latossolos e cambissolos desenvolvidos de rochas pelíticas do Grupo Bambuí – Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 34:1283-1295, 2010.

PIGNATARO NETTO, I. T. **Qualidade física e química de um latossolo vermelho- amarelo sob pastagens com diferentes períodos de uso**. Brasília: FAV/UNB, 2008. Disponível em: <[http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/1737/1/Dissert\\_laraTerezinhaPignataroNet to.pdf](http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/1737/1/Dissert_laraTerezinhaPignataroNet%20to.pdf)> Acesso em: 15 mar.2021

PINHEIRO, Thaís Moraes de. **Contaminação ambiental causada pelo Necrochorume proveniente de cemitérios**. INOVAE - ISSN: 2357-7797, São Paulo, Vol.6, JAN-DEZ, 2018- pág. 145-171.

ROCHA, Renée. **Contaminação da Água Subterrânea por Cemitérios: Estudo de caso no cemitério municipal de Osório**. 2017. 59 f. Monografia (Especialização) - Curso de Curso de Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017

ROMANÓ, E. N. de L. **Cemitérios: Passivo Ambiental E Medidas Preventivas e Mitigadoras**, 2005. Disponível em:> <https://docplayer.com.br/13790105-Cemiterios- passivo-ambiental-medidas-preventivas-e-mitigadoras.html> < Acesso em: 02 Jan. 2021

ROSA, Maria Clara Veloso Soares; UCKER, Fernando Ernesto. Influência do lençol freático na condutividade elétrica e PH em cemitério. Águas **Subterrâneas**, Goiás, v. 33, n. 1, p. 1-8, 13 fev. 2019. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v33i1.29484>.

SEGATO, L. M.; SILVA, C. L. **Caracterização do Chorume do Aterro Sanitário de Bauru**. In:Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 26, 2000, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ABEAS, 2000. 1 CDROM.

SILVA, Florilda Vieira da. **Avaliação da contaminação das águas subterrâneas por atividade cemeterial na cidade de Maceió**. 2012.150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012.

SILVA, Francisco Carlos da; SUGUIO, Kenitiro; PACHECO, Alberto. Avaliação ambiental preliminar do cemitério de Itaquera, segundo a resolução conama 335/2003, município de São Paulo. **Revista Ung - Geociências**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 31-47, 2008.

SILVA, R. W. C.; MALAGUTTI FILHO, W. **Cemitérios: fontes potenciais de contaminação**. Revista Ciência Hoje, v.44, n.262, p.24-29, 2009.

SILVA, Rafael Bel Prestes da; CAMPOS, Milton César Costa; CUNHA, Jose Mauricio da. Potencial de contaminação do solo decorrente da atividade cemiterial. **Revista Iberoamericana de Ciências Ambientais**, [s.l.], v. 9, n. 2, p.1-10, 24 out. 2017. Escola Superior de Sustentabilidade. <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2018.002.0001>

SOUZA, Mauro César de Brito; MONTEIRO, Cleto Augusto Baratta; CASTRO, Marco Aurélio Holanda de. O uso da avaliação do perigo de contaminação do aquífero como um requisito para o licenciamento ambiental de cemitérios. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences And Humanities Research Medium**, Ituiutaba, v. 6, n. 2, p. 137- 153, jun/dez 2015.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade de águas e ao tratamento de esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014, 472 p.

UFSJ, Universidade Federal de São João del. **Plano municipal de saneamento básico de Ritópolis**. Ritópolis, 2013.

VIDALI, M. Bioremediation. An overview. *Pure Appl. Chem.* 73:1163-1172, 2001.

WEBER, D. P. **Análise da normatização acerca da implantação de cemitérios**. 2010. 39f. Dissertação (Especialização em Gestão Ambiental) – Área de Ciências Naturais e Tecnológicas, Centro Universitário - rio Franciscano, Santa Maria, 2010

XAVIER, Natiele Silva. **Análises de impacto ambiental pelas possíveis contaminações por necrochorume no lençol freático**. 2015. 26f. Monografia apresentada ao curso de Tecnologia em Gestão Ambiental da Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA, como requisito a obtenção do grau de Tecnóloga em Gestão Ambiental.

YIN, R. K. **Estudo de caso – planejamento e métodos**. (2ed.). Porto Alegre: Bookman, 2001

ZANATO, Taís Renata. **Contribuição do método da eletrorresistividade na investigação da possível contaminação por necrochorume em aquíferos fraturados no cemitério de Santo Antônio**. 2016. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Geofísica, Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul - Rs, 2016.

ZANDONÁ, Daiane Miglioli. **Diagnóstico ambiental, prospecção tecnológica e proposição de um novo modelo de gestão de cadáveres**. 2019. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2019.

**DENIS MEDINA GUEDES** - Engenheiro Agrícola e Ambiental formado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), com mestrado em Engenharia Agrícola na área de mecanização agrícola pela mesma instituição. Possui experiência no desenvolvimento de equipamentos agrícolas, como secadores, fornalhas e transportadores, tendo atuado no mercado de trabalho como supervisor de projetos em uma indústria de Máquinas e equipamentos agrícolas. Também atuou como professor substituto na UFV Campus de Florestal e como professor efetivo e coordenador do curso de Tecnologia em Gestão Ambiental no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Mato Grosso campus Sorriso. Atualmente é professor efetivo na UFV campus Florestal, onde já coordenou os cursos de Agronomia e Técnico em Agropecuária. Atua principalmente nas áreas de topografia e geoprocessamento, agricultura de precisão e secagem e armazenagem de produtos agrícolas.

**LEONARDO FRANÇA DA SILVA** - Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal De Minas. Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista -UNESP. Especialista em Engenharia de segurança do trabalho e de produção. Atualmente, é pesquisador de Doutorado em Engenharia Agrícola (Construções Rurais e Ambiência) pela Universidade Federal de Viçosa e membro colaborador do Núcleo de Pesquisa em. Possui experiência nas áreas de Engenharia agrícola, com ênfase em Engenharia de Construções Rurais, Desenvolvimento rural, Sustentabilidade em sistemas de produção (Agrícola / Animal), Segurança do trabalho e Ergonomia.

**VICTOR CRESPO DE OLIVEIRA** - Engenheiro Agrícola pela Universidade Federal de Lavras. Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. É atualmente pesquisador de doutorado em Engenharia Agrícola na Universidade Estadual Paulista (UNESP). Possui experiência internacional no desenvolvimento de projetos científicos e atua diretamente no desenvolvimento de pesquisas na área de Construções Rurais e Ambiência.

**B**

Balmuda 33, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49

**C**

Ciudad de México 64, 65, 66, 70, 73, 79, 80

CO2 emissions 1, 4, 13, 16

Combinação de previsões 20, 21, 24, 25, 26, 27, 31

Contaminação 83, 84, 85, 91, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103

**D**

Drought 50, 51, 54, 55, 57, 58, 59, 61, 62, 63

**E**

Emerging brand 33, 40, 42, 47

Equatorial andean basin 50

Extensionistas 64, 65, 70, 71, 72, 76, 79, 81, 82

**H**

High-end disruptive innovation 33, 36, 37, 39, 40, 46, 47, 48, 49

**I**

Impactos ambientais 84, 99, 101

Índice de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA 18, 19

Innovaciones 75, 76, 77, 78

**M**

Modelagem 18

**N**

N cycle 1

Necrochorume 84, 85, 86, 87, 91, 95, 96, 97, 100, 101, 102, 103

Nopal 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 81, 82

Nutrients 1, 8, 10, 11, 15

**O**

Organic amendments 1, 14, 15


Organic waste 1, 2

**S**

Spatiotemporal climatic extreme 50

**T**

Transferencia de tecnología 65, 79




Estudios teórico-metodológicos en  
**CIENCIAS EXACTAS,  
TECNOLÓGICAS**

**Y DE LA TIERRA 4**

 [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)



**Atena**  
Editora


Ano 2024







Estudios teórico-metodológicos en  
**CIENCIAS EXACTAS,  
TECNOLÓGICAS**

**Y DE LA TIERRA 4**

 [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)



**Atena**  
Editora

Ano 2024