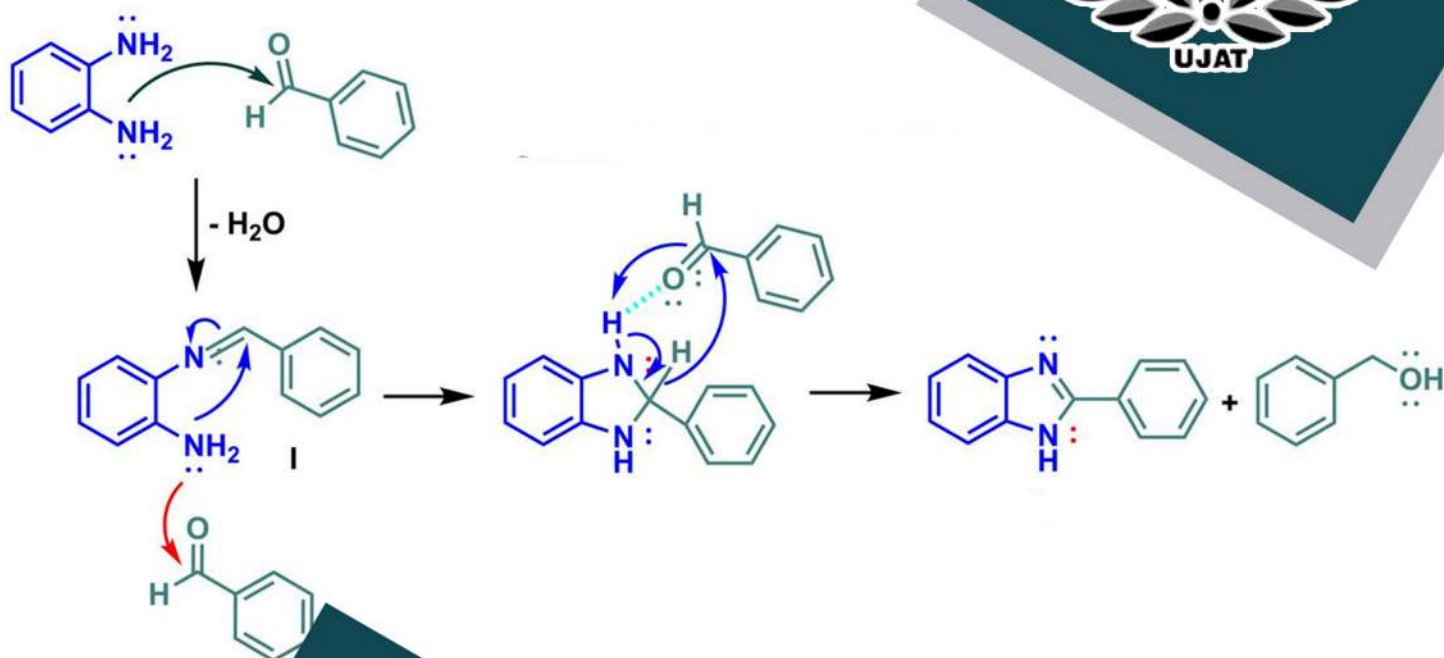




# UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



# JOBS

Journal of Basic Sciences

DACB • UJAT

Volúmen 12  
Número 33  
enero-abril 2026

ISSN:2448-4997  
<https://revistajobs.ujat.mx>

OPEN ACCESS





En este número del Journal of Basic Sciences, se reúne un conjunto de resultados de investigaciones que, abarcando diversas áreas del conocimiento, presentan un punto de convergencia dado por la búsqueda de soluciones a diversos desafíos de nuestra realidad actual.

De esta forma, en el estudio sobre la gamificación sobre la enseñanza de las matemáticas, se presenta un acercamiento hacia la inclusión educativa, ya que se demuestra que mediante el uso adecuado de herramientas lúdicas y digitales es posible reducir la ansiedad y potenciar la autonomía en estudiantes con necesidades educativas especiales; señalando que la transformación de las aulas, hacia sitios en donde se fomente la participación activa de los estudiantes, se facilita enormemente mediante la aplicación adecuada de este tipo de estrategias.

En otro orden de ideas, la segunda contribución presenta una metodología basada en el principio de la química verde para la síntesis de benzimidazoles; empleando ultrasonido y aplicando un proceso que elimina el uso de disolventes nocivos, se llega a optimizar el tiempo de reacción, logrando buenos rendimientos. Siguiendo esta tendencia de optimización de procesos y aprovechamiento integral de recursos, en el tercer artículo se analiza el potencial de transformación microbiana del bagazo de malta de cebada; mediante la modificación planteada, se mejora la composición de este subproducto de la industria cervecera, lo que permite su aplicación hacia el desarrollo de alimentos funcionales.

La gestión adecuada del entorno es el tema central de dos contribuciones incluidas en este número. Por un lado, se presenta el uso exitoso de *Sagittaria lancifolia* para efectuar procesos de remediación de aguas residuales agrícolas en Tabasco. Por otro lado, se rescata la dimensión social a través de un estudio cualitativo de memoria ambiental, mediante la recuperación de narrativas locales sobre la erupción del volcán El Chichonal del año 1982, se destaca cómo los habitantes de la comunidad Aquiles Serdán dan significado a los cambios en su paisaje fluvial y agrícola, mostrando un registro de resiliencia que va más allá de los datos geológicos.

Por último, en dos artículos se abordan aspectos relativos a la salud pública y el impacto de contextos críticos. Así, se presenta un análisis sobre la prevalencia de anemia en estudiantes de nuevo ingreso en la UJAT, subrayando la necesidad de mantener una vigilancia epidemiológica constante que coadyuve a asegurar el desarrollo integral de los miembros de la comunidad universitaria. Por último, se incluye un estudio sobre los hábitos de sueño durante el periodo de aislamiento provocado por la pandemia de COVID-19, donde se advierten alteraciones psicológicas persistentes derivadas del confinamiento.

En síntesis, el conjunto de contribuciones que integra este número, ofrece un panorama en donde se muestra cómo la ciencia no solo busca la explicación de fenómenos aislados, sino que la aplicación del conocimiento científico lleva a la articulación de respuestas ante diversas problemáticas, en una búsqueda de una sociedad más sustentable y en equilibrio con su entorno.

## DIRECTORIO INSTITUCIONAL

### Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Lic. Guillermo Narváez Osorio.  
Rector

Dr. Luis Manuel Hernández Govea.  
Secretario de Servicios Académicos

Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez.  
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

Dr. Pablo Marín Olán. Director de Difusión,  
Divulgación Científica y Tecnológica

### Directorio Divisional División Académica de Ciencias Básicas

Dra. Hemicenda Pérez Vidal.  
Directora

Dr. Luis Manuel Martínez González.  
Coordinador de Investigación

M.C. Abel Cortazar May.  
Coordinador de Docencia

L.Q. Esmeralda León Ramos.  
Coordinador de Difusión Cultural y Extensión

## CONSEJO EDITORIAL

- **Dr. Carlos Ernesto Lobato García.** Editor en Jefe. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0003-3734-7780>
- **Dr. Adib Abiu Silahua Pavón.** Gestor Editorial. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0001-5344-1430>

## COMITÉ EDITORIAL

- **Mtra. Claudia Gisela Vázquez Cruz.** Editora Asociada. Actuaría. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0009-0002-1791-5621>
- **Mtra. María Hortensia Almaguer Cantú.** Editora Asociada. Ciencias de la Computación. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0009-0007-7839-9014>
- **Dr. José Arnold González Garrido.** Editor Asociado. Ciencias Farmacéuticas. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0000-0003-1135-4050>
- **Dr. José Luis Benítez Benítez.** Editor Asociado. Física. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <https://orcid.org/0009-0000-0561-5029>
- **Mtro. Guillermo Chávez Hernández.** Editor Asociado. Geofísica. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0002-3555-9678>
- **Dra. Addy Margarita Bolívar Cimé.** Editora Asociada. Matemáticas. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0002-7342-0888>
- **Dra. Nancy Romero Ceronio.** Editora Asociada. Química. DACB, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, <https://orcid.org/0000-0001-8169-3811>

JOURNAL OF BASIC SCIENCES, Vol. 12, Núm. 33, abril de 2026, es una publicación continua cuatrimestral, editada por la División Académica de Ciencias Básicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, C.P. 86040, Villahermosa Tabasco, México. Tel. (+52) (933) 358 1500 Ext. 5040. <https://revistajobs.ujat.mx>. Editor Responsable de la Revista: Carlos Ernesto Lobato García. Reserva de derechos al uso exclusivo 04-2015-052110084000-203, ISSN: 2448-4997, ambos otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Centro, Tabasco. C.P. 86040. Fecha de última actualización, 30 de enero de 2025.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación y de esta Casa Editora.

Las publicaciones respaldadas con el sello editorial de la UJAT no podrán utilizarse para entrenar modelos de IA generativa, a menos de que haya una declaración expresa, tanto de la Universidad como de los autores y/o herederos.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>Effectiveness of gamification in teaching mathematics to students with special educational needs</b>	1-14
<b>Síntesis de derivados de benzimidazoles (2-aryl-1H-benzo[d]imidazoles) promovida por energía ultrasónica, en ausencia de solventes y catalizadores</b>	15-26
<b>Modificación secuencial del bagazo de cebada mediante ultrasonido e hidrólisis enzimática</b>	27-41
<b><i>Sagittaria lancifolia</i> en la remoción de DQO y nutrientes de efluentes agrícolas con humedales artificiales de flujo subsuperficial</b>	42-58
<b>Percepciones comunitarias sobre caída de ceniza del volcán El Chichonal en el paisaje fluvial de Aquiles Serdán, Tabasco</b>	59-72
<b>Prevalencia de anemia de universitarios de la unidad Chontalpa-UJAT</b>	73-82
<b>Hábitos de Sueño en Aislamiento Social por la Pandemia de COVID-19</b>	83-91

## **Efectividad de la gamificación en la enseñanza de matemáticas para estudiantes con necesidades educativas especiales**

### **Effectiveness of gamification in teaching mathematics to students with special educational needs**

**Gallardo-Herrerias C.<sup>1\*</sup>** 

<sup>1</sup>Universidad de Almería

\*cgh188@inlumine.ual.es

---

#### **Resumen**

Este estudio investiga los efectos de la gamificación en la educación matemática de estudiantes con necesidades educativas especiales (NEE) en primaria. Se adoptó el método cuasiexperimental, y 48 alumnos con NEE fueron asignados a un grupo experimental (n=25) con una intervención gamificada de 12 semanas y a un grupo control (n=23) con instrucción convencional. El enfoque lúdico se basó en herramientas en línea (p. ej., Classcraft, Kahoot!) y mecánicas de juego como puntos, niveles y desafíos cooperativos, alineadas con el currículo de matemáticas. El rendimiento matemático también fue evaluado mediante pruebas previas y posteriores, y las observaciones del profesorado registraron los niveles de participación. Los resultados revelaron una mejora significativa en el grupo experimental, con puntuaciones medias que aumentaron de 12.3 a 22.7 (sobre 40), en comparación con un aumento mínimo de 12.9 a 15.2 en el grupo control. El análisis estadístico también demostró un tamaño del efecto no superable ( $d$  de Cohen = 1.87) y la superioridad de la gamificación para mejorar el pensamiento lógico y la resolución de problemas. La participación activa mostró una alta correlación ( $r = 0.72$ ) con las calificaciones, lo que demuestra una vez más los beneficios motivacionales de la gamificación. La retroalimentación cualitativa indicó una mejora en el ambiente de clase, una reducción de la ansiedad y una mayor autonomía estudiantil. Si bien el estudio es exitoso, identifica limitaciones como el muestreo y el tiempo de intervención. Sugiere estudios longitudinales, una demografía más amplia y la evaluación de la gamificación digital y analógica.

**Palabras claves:** *gamificación, necesidades educativas especiales, educación matemática, aprendizaje inclusivo.*

#### **Abstract**

This study investigates the effects of gamification in mathematical education for students with special educational needs (SEN) in elementary school. The quasi-experimental method was adopted, and 48 SEN students were assigned to an experimental group (n=25) with a 12-week gamified intervention and a control group (n=23) taught conventionally. The game-based approach drew on online tools (e.g., Classcraft, Kahoot!) and game mechanics like points, levels, and co-operative challenges that were aligned to mathematics curriculum. Mathematical performance was also assessed through pre- and posttests, and teacher observations tracked levels of engagement. Results revealed significant improvement in the experimental group, with mean scores rising from 12.3 to 22.7 (out of 40), compared to a minimal rise from 12.9 to 15.2 in the control group. Statistical analysis also proved an unovercome effect size (Cohen's  $d = 1.87$ ) and the superiority of gamification to

improve logical thinking and problem-solving. Active engagement was highly correlated ( $r = 0.72$ ) with grades, again demonstrating the motivational benefits of gamification. Qualitative feedback indicated improved class climate, reduced anxiety, and greater student autonomy. While the study is successful, it identifies limitations such as sampling and intervention time. It suggests longitudinal studies, wider demographics, and evaluation of digital and analog gamification.

**Keywords:** *gamification, special educational needs, mathematics education, inclusive learning.*

---

Recibido: 09-junio-2025, Aceptado: 12-febrero-2026, Publicado: 30-abril-2026

## 1. Introduction

Mathematics education was never ever an easy task [1]. Not due to the fact that there is something about the subject matter that is excruciatingly complex, but due to the fact that maths has the power to induce fear, rejection, and alienation in the overwhelming majority of students. It is a maths phobia that runs through all education and cultural fronts; a feeling which crosses national frontiers and strikes the student at any stage of his educational career. In fact, the issues of the students while trying to learn mathematics are so common that they can be termed an epidemic across the globe. But for SEN students, the issue is all the more complex because they already possess other issues that complicate things and make it even difficult for them to learn mathematics. They possess cognitive challenges, emotional challenges, and behavioral challenges that render them incapable of understanding the regular curriculum, particularly the logic-mathematical mode of thinking [2]. Problems among SEN students are not just cognitive but are in their affective and psychological beings that match the level of their learning profiles. Chronic failure at performing numeracy tasks builds hopelessness with helplessness at being unable to manage it, reinforcing negative self-concepts and avoidance behavior [3]. Therefore, the challenge is to mold pedagogies which are able to link such students' potentialities with the requirements of the curriculum so that learning becomes inclusive and participatory [4].

The imperatives for the introduction of inclusive and participatory pedagogy. Teachers, instructors, are bound to create appropriate avenues for meeting the individual needs of all the students, such as SEN students, and granting them a level playing field to actualize their full potential. The conventional model of teaching is not sufficient enough to cater to the needs of different disabled students. Thus, the fraternity of teachers today is more aware than ever of the need for newer approaches such as differentiated instruction and tailored learning to develop inclusive classrooms for all children [4]. These approaches strive to develop a classroom climate that is not only academically goal-driven, but also emotional well-being, social belonging, and bonding. By facilitating interaction and participation, these pedagogical approaches have the potential to reduce the alienation inherent in learning mathematics for SEN students. This section discusses some of the most recent promising practices that have very recently become so highly trendy in dealing with such issues, such as gamification [2]. Gamification is possible to define as the application of game mechanics such as points, levels, rewards, and progress tracking—outside of games but in learning settings.

Gamification is the process of creating otherwise bland or interesting activities interactive, interesting, and immersive by employing the joy of the game naturally towards the goal of obtaining active attention, persistence, and indigenous motivation [5]. While traditional games are focused on drill and practice, gamification integrates these components of a game as part of the learning process, thereby making the latter interactive and interesting. This enables the students to learn the content at their convenience whenever they require it and track their progress over time. This works very well for learning mathematics, a field with which many students have traditionally struggled with either boredom or intimidation. With the incorporation of game-like elements into mathematics instruction, learning would be fun and permit

students to experiment, err, but learn mathematics better [6]. Numerous scholars have predicted gamification as a possible way in which learners can be sustained in motivation, focus, collaboration, as well as learning satisfaction as a whole [3]. Additionally, the competitive or collaborative gamification can be applied in the aim of eliciting cooperation, collaboration, and socialization among the students, thus maximizing the learning process. Because of this characteristic, gamification has succeeded in schools across the globe even in mathematics, a subject over the past decades that was unable to sustain the attention of students.

Nevertheless, although the positive impact of gamification has been the topic of numerous studies in ordinary classrooms, they have mostly been conducted among nondisabled children [3]. Existing research on gamification will thus be the voice of nondisabled students and much less likely to cover particular needs of learning disabled students or other students who have various special educational needs. This study explores to what extent gamification can be utilized to improve SEN students' motivation, engagement, and performance and its impact on math attitude. Further studies on how extensible gamified learning systems can be tailored to address the diverse needs of SEN students exhibiting cognition, emotional, and behavioral difficulties need to be performed [7]. The claim that gamification has been shown to offer as a solution for mathematics issues in learning of students with SEN is promising but will have to be within its limit and risk. Gamification is properly designed, innovative positioning within the curriculum, and with proper resources. The conditions of successful deployment are researched in three broad categories: Pedagogical Design, Teacher Training, and Technological Resources. Key Points to Keep in Mind for Successful Implementation.

1. Pedagogic and Curricular Design Effectively tuned gamification requires well-designed synchronisation with the level of learning objective and learning preference of SEN students:

- Alignment with Curriculum: It should be aligned with the requirement of the main maths curriculum in testing, problem-solving, mental maths, core maths, and logic.
- Narrative and Context: Narrative (story) and quest building are required to set the stage for presence in a learning existence frame.
- Error Management: Failure should be facilitated in the system as part of learning that keeps the affective cost of failure at a low level and leads to persistence and resilience.
- Process Attention: Positive reinforcement in the way of effort and progress rather than outcome, that is, very useful for SEN students who are repeatedly failing at school.
- Channels of Feedback: Feedback must be provided immediately so that the students know what was wrong they did and what do they have to do in order to rectify that and thereby generate motivation and feelings of achievement.
- Social Learning: Effort should not be made to segregate the students but offer social learning and feeling of belongingness since socio-emotional skills are developed by students with SEN through group activities.
- Individualized: Its application ought to be guided by continuous observation, feedback from students, and inclusion in study plans that are individualized.

2. Teacher Initiative and Motivation

Reflection practice is dependent upon the human factor

- Intentional Training: Teachers must be trained to design and build gamification of learning environments that are generalizable to the settings of their students.
- Effort Investment: It takes an incalculable level of pedagogical effort, imagination, and work from teachers to map curriculum subject matter onto game-like features in the enactment of a gamified intervention.

3. Technology and Access to Resources

The efficacy of the gamified strategy is with support-logistics:

- Technological Infrastructure: The schools are responsible for offering the technological infrastructure to ensure gamified learning reaches every student.
- Equity of Access: It should be made accessible to students irrespective of socio-economic status. Technical hardware is scarce in one of the top practical constraints, especially in poorer school districts.
- Suitable Tools: There needs to be availability of web-based tools and platforms with gamification capabilities, i.e., Classcraft, Kahoot!, and the Prodigy math game.

Teachers would also need training in the process of designing and setting up the gamified learning environment that is responsive to the needs of the students.

Apart from that, schools would also have the obligation of making sure all the students regardless of the socioeconomic background of the family possess the technological equipment needed for gamification learning [8].

All these aspects would have to be remembered while arriving at the impact and practicability of gamification as an inclusive learning process.

Gamification studies among education have been limited to only those students belonging to higher educational levels, i.e., university or secondary level [3].

Gamification usage at the elementary level and particularly of inclusive classes of SEN students has not been examined as yet. Also, methodological issues like small sample size, intervention durations being short, and ineffective use of mainstream measures will mostly taint research in the field [3]. Loopholes in this instance are in carrying out more controlled studies as a way of providing a better set of evidence on how gamification may be used in the effort to boost SEN students' performance in mathematics. SEN students face particular difficulties in learning mathematics, most of which are emotional and cognitive in origin.

For example, children with mathematical reasoning disorder, number sense and numerical processing disorder, and dyscalculia find it extremely difficult to understand mathematical concepts. Additionally, ADHD students do not have the ability to sustain attention on tasks for an extended period and therefore get distracted and cannot complete tasks [9]. Low frustration tolerance emotional dysregulation also makes it easy for such dysregulation to occur, hence demotivation or fear every time faced with difficult tasks [10]. These intellectual and emotional challenges of linguistic impairment also introduce additional barriers in mathematics problem-solving and comprehension [9]. Traditional pedagogical approaches are not designed for SEN students, as SEN students have been predominantly classified as "underachievers" in mathematics. Stigmatization will further result in low efficacy, avoidance, and failure [10]. Gamification is a new paradigm because it provides an adaptive and non-critical learning environment.

The greatest advantage is that it does not view mistake as something negative factor of the process of learning. Whereas in traditional classroom settings failure is not merely absence but also chips away at the confidence level of SEN students, in game-based learning systems the effort is rewarded and students are able to try out various solutions for problems without the threat of negative ramifications. Careful thought should be given to how game-based learning systems can be tailored to make them accessible to intellectually, emotionally, and behaviorally challenged SEN students. Herrera (2025) describes some of the most wonderful benefits of gamification in such a setting. The best benefit is that gamification does not dread failure because it is a component of learning. Though mistakes in regular classrooms can rob SEN students of their confidence, gamified environments motivate learners and allow students to try countless viable solutions without anticipating consequences. This type of environment reduces emotional pain at failure significantly, thus enabling the students to learn and get better [7].

Secondly, gamified environments promote effort and improvement as strongly as the result.

This shift in focus is best suited to SEN students who have encountered more than a study course failure previously because it serves to re-boost their motivation and self-belief, thus encouraging them to keep practicing. Through the conversion of failure into opportunity to learn and improve, gamification also calls for learner persistence and resilience. On a related but different context, gamification provides instant feedback, particularly beneficial for SEN learners. Instant feedback enables the learners to partake in where they went wrong and how they could better do it next time, hence a feeling of achievement and encouragement. This is in far contrast to traditional testing, where feedback arrives too late and does not get it right and has a high likelihood of resulting in frustration and disorientation. Although in the potential extremes of gamification, its implementation in real classrooms and particularly for SEN children is plagued by innumerable problems [11]. One of the greatest concerns is if gamification will be long-lasting for children with ADHD, who cannot focus on activities in the long run. Apart from this, even its use during intellectual development of intellectually disabled students is questioned, and there is no clear understanding if gamified learning systems can meet their intellectual demands to the maximum [12]. Gamification involves a collection of challenges requiring additional focus. It requires high-quality lesson planning, which would be difficult to be completed under normal classroom circumstances if teachers do not have training in gamification.

The second discouragement is the lack of technical infrastructure to enable effective implementation of the gamification project, which is extremely prevalent within schools in disadvantaged school districts.

These actual traps in practice create absurdly wide gaps between theoretical gamification uptake and the action that is followed in classrooms. The second biggest challenge has been to achieve a proper balance between collaborative interaction and individual learning within gamified learning. Though gamification veers towards individual learning, the strategy itself does not have to replicate, in exact words, that feeling of belongingness and unity that forms the foundation for effective inclusive education. Today, gamified interventions are not only designed to address improvement on an individual level but need also to incorporate social learning opportunities in a bid to avoid learner isolation from others during learning [11]. The affective aspect of gamification needs to be addressed in the right manner in a phase whose aim is the optimization of effectiveness of gamification as a learning intervention. Gamification may also be applied to guide the attitude towards failure of the learner in a manner in which failure is seen as part of learning and not in the guises of signs of weakness. This change of attitude is particularly important in the case of SEN students whose confidence to learn would otherwise have been lost due to their previous failure to learn. By orienting towards failure as a developmental and learning experience, gamification makes the learners obstinate and resolute [7].

Despite the vast potential of gamification, the majority of literature suffers from methodological shortcomings that minimize the findings to a lower generalizability.

The majority of the studies are post-test, no follow-up, no control groups, and short-term, and thus it is challenging to establish certain hypotheses on the basis of the long-term success of gamification [13]. Additionally, these studies only take into account the rise in academic achievement, without taking into account other related variables such as: Students' Attitude towards Mathematics; Emotional regulation; The construction of self-regulated learning. In order to build a comprehensive picture of gamification impacts, future research needs to take into account a broader set of outcome measures, e.g., qualitative information concerning the emotional and social growth of children [13]. This present study attempts to make its own contribution to special education gamification research by investigating the potential to enhance SEN elementary school students' mathematics achievement.

It is a step forward towards a more critical intervention in how gamification can be applied to the service of learning and inclusion through the use of quasi-experimental design, pre- and post-testing, and triangulation of quantitative and qualitative data. It is genuinely focused on pedagogic goals of equity,

individualization, and integrated development, especially for those students who previously had been excluded from processes of normal schooling [3]. There was a need for an early school (9-12 years) focus since it is where SEN students perform the worst in the whole curriculum, and that makes sense-logico-mathematical thinking. There was interference in developing top-level ability base for this age such as logical reasoning and problem-solving, and which was enhanced the most through gamification process. Above all, by that time, SEN students will already have had other math learning problems under below negative self-perceptions and generating high emotional tension; in such a case, gamification is optimally able to eliminate such psychological experiences by reframing mistakes as accomplishment and experience of learning and thereby recovering motivation and self-worth Background Gamification can be defined as the application of game design elements i.e., points, levels, rewards, and progress tracking—outside a game but prominently in education. The basic principle for employing this process is to leverage the inherent entertainment value of playing games so that otherwise stagnant or mundane tasks become more interactive, dynamic, and interesting. Gamification Effectiveness in Books There are various research studies that have offered proof of the gamification effect of increasing motivation, concentration, cooperation, and learning satisfaction [5], [6].

Gamification has been found to have a very positive effect on the motivation and performance of students, particularly on those activities in which they are failing right from the start [13]. Reward mechanics, points, and competitions in game design have been found to be wildly successful at maintaining the interest of students and at getting them to perform tasks that would have otherwise bored or intimidated them. Restricting the Research: In spite of the improving classroom trends, most of the existing research on the positive effect of gamification has been conducted on average classes and normally developing students. Most of the existing research does not reflect the life of the student with disability and thus restricts discussion regarding SEN or learning disability students' special needs.

Secondly, a lot of the investigation which has been done into whether gamification is effective has been on a university or high school level and above [3].

Gaps in the Field: This literature bias has led to a de facto knowledge gap as to whether gamification can be used to help students with SEN, and maths disability specifically.

The pedagogical potential of gamification as a main pedagogical tool and accompaniment in inclusive classrooms for students with special education needs is unexploited. Other than that, there are doubts as to whether gamification might allow students with disability to maximize math attainment and attitude [3]. Besides, serious methodological flaws have been reported in prior work:

1. Short-Term Strategy: There have also been some post-test follow-up process-less or control group-less short-term investigations, and it is difficult to make healthy long-term effect conclusions regarding gamification [3], [13].
2. Small Samples: It is vulnerable to issues of sample size and low application of standardized tests [3].
3. Unidimensional Outcome Orientation: It is the attempt of most of the research to boost academic performance but overlook powerful variables such as student mathematics attitudes, emotional selfregulation, and self-regulated learning.

These flaws in design and lack of guidance in the case of SEN students provide the basis for more controlled studies on the introduction of gamification and how it affects mathematics performance in SEN students. The present study aims to help address such research gaps in an investigation of the potential introduction of gamification as a tool to improve mathematics performance among elementary school SEN students.

The main hypothesis of this study is SEN students in the gamification intervention will be instructed more in mathematics than those in traditional teaching.

We also anticipate gamification to lead to greater emotional and motivational engagement, not only in performance but attitudinal shift of the learners in the process.

This presupposition is built upon flow theory [14] and self-determination theory, both of which assume fun, autonomy, and subjective competence as the pillars of quality learning.

The two theories then assume that fun, autonomy, and perceived competence must come before good learning.

Gamification is striving for such ideals on the back of the intrinsic fun of games with the hope of inducing active participation, persistence, as well as intrinsic motivation.

Specifically, the intervention utilized improvement visualization procedures (at points or levels) and immediate feedback to attempt to enhance students' self-improvement motivation and perceived competence. The intervention also promoted greater student autonomy perceptions, and encouraging inner motivation and greater emotional commitment desired by these theoretical models.

The research aims to evaluate the efficacy of gamification on elementary school students with SEN in learning mathematics. The specific objectives are to:

1. Compare the learning effects of students in the gamified intervention and non-gamified group.
2. Identify differences in math performance before and after the intervention; (3) explore the correlation between active engagement in gamified activities and academic performance.
3. Explore the attitudes of teachers regarding the viability of gamification in inclusive education.

## 2. Method

The research employed a quasi-experimental quantitative study design with a pretest-posttest control group design suitable for measuring up to the effect of an instructional treatment on a specific group where random assignment is not required, which has been relatively easier in actual classrooms where random variation of group assignment can be convenient or even ethical [15].

The investigation was conducted between March and May 2024 over a period of 12 weeks in three state schools within urban settings within southern Spain. Convenience sampling was applied in the selection of the schools since they already had inclusive education support rooms and there was institutional willingness to implement a research-intervention process. Each center had an in-house special education unit for students with diverse diagnoses, including autism spectrum disorders (ASD), attention deficit hyperactivity disorder (ADHD), intellectual disability-mild and moderate, and specific learning disorders (mainly dyscalculia and dyslexia).

The final sample included 48 SEN students, divided into two groups.: experimental (n=25) and control (n=23). Allocation was based on the natural distribution of available classrooms available in participating schools to avoid interference with school organization. Both cohorts were age-homogeneous (9 to 12 years), diagnosis category, math curriculum capacity level according to psycho-pedagogical report, and socio-economic level, according to orientation teams of education.

Independent variable was the application of gamification-based intervention to mathematics educational content. It included a sequence of gamified teaching that was designed by the research team and integration support teachers. It was designed based on the essential mathematics curriculum assessment needs with an emphasis on problem-solving, mental maths, core arithmetic, and logic. Practice online platforms with gamification features (e.g., Classcraft, Kahoot!, and Prodigy Math Game) and in-class environments with point systems, levels, badges, and group challenges.

The gamification task was presented in five phases: (1) introduction to game world, characters, and rules; (2) demonstration of maths resources within the vocabulary of missions; (3) construction of student- and team-centred gamified tasks; (4) symbolic rewards that offer feedback; and (5) embedded formative and

summative assessment within gameworld narrative. Sessions were 45-60 minutes, three weekly over the intervention duration.

The control group received the identical math content from the same instructors but with the same traditional approach to lecture presentation, reading from textbooks, and working formal paper problems. Both groups received the same time for mathematics instruction.

To measure the dependent variable—math performance—a 30 multiple-choice and 10 open-ended question standardized objective test was developed, already validated by mathematics and special needs education experts. Pretest and posttest were conducted with the test. Numerical ability, basic operations, problem solving, and logical reasoning were addressed by questions. Internal consistency analysis by the KuderRichardson coefficient (KR-20) of 0.87, which was high, determined the construct validity.

In addition to the quantitative measure tool, a purpose-built observation scale was utilized to record participatory action in the form of involvement, motivation, and persistence throughout the learning process. Administered by the support teachers at the end of each session, the scale utilized indicators such as sustained attention, co-operative interaction, independence in work, and persistence in error situations. Scores on this scale were used as an auxiliary variable to facilitate explanation of academic performance data and understand the motivational effect of gamification.

Parents'/guardians' consent was requested through an informed written consent form, with a guarantee of anonymity and confidentiality through the use of an alphanumeric coding system. Statistical analysis on SPSS (version 27) began with a test of normality through the Kolmogorov-Smirnov test. Since the results showed normal distribution in both samples, parametric tests were applied. Independent sample t-tests were employed to determine posttest means of experimental and control groups, and paired sample t-tests were employed to determine pretest and posttest scores for both groups. The level of significance was set at  $p < 0.05$ .

In addition to mean difference analysis, effect size was also calculated using Cohen's *d* and linear regression analysis to ascertain any possible relationships between levels of participation and academic performance in the experimental condition. Selection biases were minimized by uniform inclusion/exclusion, routine scheduling of sessions, and follow-up on dropouts and absences. There was 91.6% retention with four dropouts (two in each group) due to reasons external to the research.

Semi-structured interviews were one of the main qualitative tools to examine the gamification effects from the educator's perspective and not only quantifiable results, but also subjective emotions related to the process of pedagogical implementation.

The interview guide, structured in four thematic axes—general impressions regarding gamification, implementation experience, perceived impact on the students, professional reflection—allowed to gather an adequate number of experiences of high interpretative value. Interviews were either phone or face-to-face, generally 45 to 60 minutes. Participants were informed of the purpose of the research, confidentiality of response was assured, and informed consent to record was obtained. Interviews were transcribed verbatim with expressive nuances retained for subsequent analysis.

Qualitative analysis followed a thematic analysis path. The process began with exploratory reading of the transcripts and then open coding to determine salient discourse fragments. These codes such as "student motivation," "initial resistance," or "teacher creativity" were applied to produce interpretive categories. These comprised those fitting preconceived themes alongside some which arose naturally from the material, such as the relevance of pedagogical intuition or narrative as a pedagogical tool.

### 3. Results

Normality of the data was initially established using Kolmogorov-Smirnov test that provided significance values more than 0.05 in experiment group and control group for both pretest and posttest. This provided normal distribution of the data and thus use of parametric tests in subsequent comparison analysis was justified. Homogeneity of variances was also achieved using Levene's test that was insignificant ( $p > 0.05$ ). There was a great variation between the pretest and posttest scores of the intervention group on the initial descriptive analysis. The mean was 12.3 out of 40 with a standard deviation of 3.6 prior to intervention, reflecting general poor function but with a little heterogeneity of cases. Following the gamification intervention, the mean score of the group was 22.7 points with a standard deviation of 4.2 and shows significant improvement, with no significant increase in data variability as a result of differential learning rates within the group.

Mean score for the pre-experimental control group was 12.9 (SD = 3.8) and was also given analogous conditions to the experimental group at the start of the experiment. Control group mean, though, rose to only 15.2 (SD = 4.1) on posttest, reflecting statistically significant intra-group improvement but significantly less than that for the experimental group. This was used to validate the hypothesis through showing extreme divergence in effectiveness for both methods of instruction.

To statistically confirm these results, paired sample t-tests were also used in both groups. In the experiment group, posttest minus pretest difference was highly significant ( $t(24) = -13.18$ ;  $p < 0.001$ ), while, in the control group, it was significant but of lower magnitude ( $t(22) = -4.26$ ;  $p < 0.01$ ). These results confirmed that both groups improved during the intervention period but with highly differing magnitudes in favor of the gamification method.

An independent samples t-test of posttests by group found a significant statistical difference ( $t(46) = 6.53$ ;  $p < 0.001$ ), with a large effect size of Cohen's  $d$  of 1.87. This is particularly significant, as it not only demonstrates that the experimental condition had significantly improved, but that its improvement had been significantly better than that of the control group even though they had started under essentially identical baseline conditions.

For comparison of the test items, the experimental group answered most rationally and on problem-solving, at 2.1 and 6.7, and 1.9 and 5.8 out of a maximum of 10, respectively. This would point towards the dynamic and contextual aspects of gamification (i.e., missions, challenges, and instant feedback) potentially enriching understanding, working through tasks, and attempts at inductive and deductive reasoning.

Improvement in daily tasks and mental arithmetic, while significant, was less pronounced, rising on average from 3.8 to 5.3, perhaps because the skills required more automatization than the short intervention could meet.

Semi-structured interview qualitative data corroborated trends in quantitative results. Definition of gamification, gamification implementation experience, perceived impact on students, and professional reflection were four thematic categories that comprised the interview guide. Staff noticed increased engagement and enthusiasm from students, particularly those with lower rates of these otherwise. A science teacher, for example, reported seeing students who had previously been sat apart on theoretical work getting involved enthusiastically in narrative-based problems put outside. One math teacher recalled a very successful escape-room-inspired assignment where students had to work through algebra problems in order to progress, with consequent mastery of concepts and enhanced peer interaction. Teachers also reported that gamification appeared to allow inclusion of students with learning difficulties; one dyslexic student, for instance, wrote more self-assuredly when assignments were reimagined as low-stakes "missions" with immediate feedback and symbolic rewards.

Teachers also reported challenges, especially at the beginning of implementation, which needed to be managed in time, imagination, and consistent reworking in order to incorporate curricular matter and ludic forces. However, they noted such challenges as short-term and swamped by passion and achievement seen within class. Transcript answers were transcribed verbatim and analyzed thematically, and clear convergence of conclusions with statistical findings, mainly motivation, behavior of collaboration, and class performance. Triangulation of the qualitative and quantitative findings thereby established that gamification affected cognitive and affective learning processes.

A second significant finding was the manner in which effort affected academic performance, as seen in teacher observation records. This test, administered several times during the 12-week intervention, assessed each student's effort in terms of endurance, teamwork, work, completion of tasks, and persistence. Linear regression provided a significant positive correlation between effort and end-test performance ( $r = 0.72$ ;  $R^2 = 0.51$ ;  $p < 0.001$ ). It indicates that around 51% of variance in ultimate performance was explained by extents of participation in the gamified dynamic, consistent with the contention that investment and affect acquired through play has a causal influence on learning.

Individual students did so in some cases. For instance, an ADHD child raised his score from 7 to 21 due to persistent attention and interest in game-like stuff. One child with mild intellectual disability raised from 10 to 19, one of the most industrious members of co-operative work. These qualitative results corroborate the quantitative results in terms of saying that game-like intervention offered the real chance of the traditionally marginalised or at-risk students for this strand of curriculum.

The control group became better but less and less in a consistent manner. Others did a bit better even when consistently rewarded, while others were consistent, i.e., students with acute attention or reading comprehension deficit. Motivation was also less consistent among this group, excessive daydreaming, some passivity, or minimal activity in work assigned to them, just the opposite of the more active and lively mood seen among the experimental group.

It should be mentioned that not all the members of the experimental group were found to have performed much better. Posttest scores were identical or decreased by one point due to extraneous factors like poor attendance, emotional instability, or lack of proper encouragement in the home setting in four instances. These differences highlight the attention to the observation of the possible risks of oversimplification of outcomes and notice of the fact that though gamification is robust, it cannot correct all the issues of SEN students by itself. Heterogeneity of this population necessitates added measures and one-to-one support, not necessarily funded by gamification per se. Fidelity of implementation was obtained through systematic observation of the gamification elements introduced during each session (story, points scheme, levels, symbolic rewards, etc.). Outcomes showed high fidelity to the original design with 91.2% mean compliance and suggest that concrete effects are credibly causally attributable to the intervention. Instructors cited best times for engagement in badge rewards, peer competition for timed calculations, and story-based math discovery missions. Not only were these aspects contextualizing and engaging, but they also encouraged collaboration, tenacity, and recasting of failure in learning.

Though not the hoped-for outcome, changes in verifiable classroom attitude and affect were observed in academic self-concept and group cohesiveness. The very same students who had before been shy or intimidated by mathematics became more openly involved, seeking help without risk of rejection and even luxuriating in success that they did have, albeit in small degree. These qualitative findings, although not quantitated herein, were stringently noted by teachers and are essential to understanding the entire context of the finding.

#### 4. Conclusions

The results of this study affirm that gamified methods of teaching mathematics offer an effective methodological key to achieving academic success in students with special educational needs. Throughout the research, this hypothesis was not only successful in regards to acquiring particular content but in changing classroom dynamics, building inner motivation, increasing emotional involvement, and the formation of positive attitudes towards education.

The hypothesis was to see if the integration of pedagogically designed playful and narrative features as a systematic component of a gamified product would have a differential impact, in contrast with the usual practice, on students with learning and engagement problems. The advantage was not just statistically significant to provide enhanced equity of access to mathematical understanding for traditionally disadvantaged learners.

It should be mentioned that neither exposure time nor practice repetition can be defined as the reason for improvement in the experimental group's performance. Instead, evidence supports the fact that narrative context, instant feedback mechanisms, visualization of advancement (via points or levels), and symbolic rewards were the reason for persistence, concentration, and students' interest in self-improvement. These were the areas overlooked by traditional methods, which used to conserve intellectual effort involved in problem-solving, logical thinking, and learning abstractions—historical weak points of the group. Qualitative data collected using semi-structured interviews supported and supplemented quantitative data, offering a complex understanding of how gamification affected not just academic performance but classroom culture and student identity.

Teacher reports indicated improvement in peer interaction, task engagement, and classroom climate, with specific reference to students who were formerly disengaged or socially withdrawn. That learners of varying cognitive and emotional profiles were involved in collaborative learning activities is a testament that gamification also has a mediating function of enabling social learning and inclusion, attesting to its further potential in facilitating inclusive education environments. Although the findings unequivocally establish the potential of gamification across a broad array of learning contexts, they also call for careful consideration of the conditions under which it can thrive.

First, the creation and implementation of a gamified intervention take an immeasurable amount of time, creativity, and pedagogical effort on the part of instructors. It is less about imposing inappropriately or artificially game-like elements and more about creating a sense of presence within a learning space that is also congruent with curricular goals and responsive to the needs of specific students. It deals with narrative development, quest development, and developing tracking and assessment mechanisms suitable to the class. It also addresses students' individual performance diversity within experimental groups with an explanation of internal student special needs' diversity. While others achieved outstanding, others achieved minimal or no achievement. This refers to heterogeneity that is to imply intricate interaction between contextual or personal characteristics such as attention disorder, socio-emotional problems, or lack of family support and instructional mode. It also emphasizes the problem that gamification, while extremely adaptable, must be read as part of a broader portfolio of differentiated strategies. To that extent, its application must be informed by ongoing monitoring, student feedback, and incorporation into individualized learning plans. Its boundaries must also be proclaimed in order to establish boundaries for its conclusions and guide subsequent refinement in the study of education. The first limitation is the short duration of the research period. Restricted to a single semester at university, sufficient to detect obvious differences between groups, future research will need to incorporate longitudinal studies evaluating longer-term retention of gamification impact and how it builds toward higher-order math ability or toward other segments of the curriculum.

A second limitation is sample size, which, while statistically adequate, was limited to a single education site with distinct sociocultural, institutional, and geographic characteristics. This limits the external validity of results to other school environments. Larger and more representative samples within schools in varying regions, socioeconomic levels, inclusion models, and diversity support levels would be required in future studies to enhance external validity and offer replicable trends.

The study had been aimed at academic accomplishment that had been quantified in content-testing terms and had not talked, to a greater degree, about the other dimensions of the students' holistic development, such as self-directed learning, academic self-concept, social contact, emotional stability, or sense of efficacy.

Although some of them were qualitatively observed and documented by interviewing teachers, they were not integrated into the systematic measurement plan. A high priority area for future research would be mixed-methods designs to measure quantitatively and qualitatively the gamification's many-sided effect on SEN students' school lives. In addition, one would need to develop and experiment with various gamification models in order to determine which particular components e.g., competitive versus cooperative formats, group versus individual-based advancement, or analog versus digital media have more powerful or long-lasting effects based on the learning profile. Breaking down these subtleties will be the way forward from promising results at the pilot project level to the development of evidence-based pedagogical models that can be replicated in a range of educational settings.

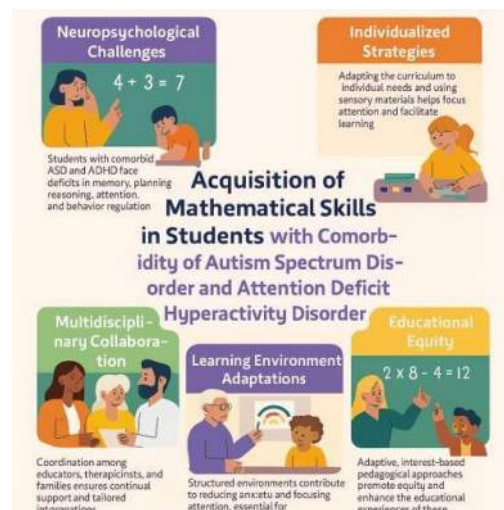
## 5. Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

## 6. Declaration of Use of Artificial Intelligence

The authors declare that they have not used any generative artificial intelligence applications, 512 software, or websites in the writing of the manuscript, in the design of tables and figures, or in the analysis and interpretation of the data.

## 7. Graphical abstract



## 8. Contributing roles

ROL	AUTORES(AS)
Cocentualización	Celia Gallardo Herrerías
Curación de datos	Celia Gallardo Herrerías
Análisis formal	Celia Gallardo Herrerías
Investigación	Celia Gallardo Herrerías
Metodología	Celia Gallardo Herrerías
Administración del proyecto	Celia Gallardo Herrerías
Recursos	Celia Gallardo Herrerías
Software	Celia Gallardo Herrerías
Supervisión	Celia Gallardo Herrerías
Visualización	Celia Gallardo Herrerías
Escritura-borrador-original	Celia Gallardo Herrerías
Escritura-revisión-edición	Celia Gallardo Herrerías

Note. Contributor Role Taxonomy (CRediT)

## 9. References

- [1] H. P. Husnaini, A. T. Syam, N. O. Niken y A. A. Soares, “Teachers’ Strategies in Teaching Speaking at High Schools: Obstacles and Challenges,” *Linguistics Initiative*, vol. 4, no. 2, pp. 243–262, 2024.
- [2] C. L. Yugcha, C. N. Aguilar y D. G. Pisco, “Estrategias de enseñanza de las matemáticas para bachillerato general unificado aplicando gamificación: estrategias de enseñanza de las matemáticas,” *REFCalE: Revista Electrónica Formación y Calidad Educativa*, vol. 12, no. 3, pp. 97–114, 2024, doi: 10.56124/refcale.v12i3.006.
- [3] D. P. Cárdenas y G. A. Chacón, “Gamificación para la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas basado en la solución de problemas en estudiantes con necesidades educativas especiales (NEE),” *Revista Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, vol. 18, no. 3, 2023, doi: 10.14483/23464712.21036.
- [4] J. M. Pertuz y R. J. Carmona, “STEAM para el desarrollo del pensamiento matemático: una revisión documental,” *Praxis*, vol. 20, no. 2, p. 2, 2024.
- [5] S. A. Alcívar, M. A. Hernández, S. A. Reina, J. M. Gavilanes, S. E. Chilán y K. C. Granda, “Gamificación como estrategia didáctica en la enseñanza de matemáticas: un estudio de caso en educación primaria,” *Revista Científica Multidisciplinar G-nerando*, vol. 5, no. 2, pp. 1143–1203, 2024, doi: 10.60100/rcmg.v5i2.310.
- [6] L. C. Ramos, S. F. Casillas y A. R. Rábago, “Gamificación: una estrategia de enseñanza de las matemáticas en secundaria,” *EDUCATECONCIENCIA*, vol. 29, 2021, doi: 10.58299/kh10xs11.
- [7] J. J. Herrera, “Estrategias de gamificación en la educación primaria: impacto en el desarrollo de competencias matemáticas y de comunicación,” *Educación*, vol. 61, no. 1, pp. 245–261, 2025, doi: 10.5565/rev/educar.2255.
- [8] J. S. Triana, C. V. Gutierrez, A. V. Alvarez y W. O. Aguilar, “La gamificación en el aprendizaje de las matemáticas en estudiantes de tercer grado de educación general básica de la unidad educativa Gloria Gorelik,” *Sinergia Académica*, vol. 7, no. 3, pp. 181–203, 2024, doi: 10.51736/7dk5jn77.
- [9] J. R. Fernández y C. D. Taquire, “Gamificación y herramientas tecnológicas en la enseñanza-aprendizaje de las matemáticas,” *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 6, no. 6, pp. 262–285, 2022, doi: 10.37811/cl\_rcm.v6i6.3485.

- [10] K. G. Villalba, A. D. Castro, L. A. Gallo, M. A. Chávez y A. P. Gallegos, “Gamificación, una estrategia para aprender matemáticas,” *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 6, no. 5, pp. 2428–2448, 2022, doi: 10.37811/cl\_rcm.v6i5.3255.
- [11] V. R. Zambrano y J. K. Cornejo, “La Construcción de las Matemáticas a partir de los Recursos de Gamificación,” *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0*, vol. 16, no. 2, pp. 138–142, 2023, doi: 10.37843/rted.v16i2.388.
- [12] E. M. Patajalo y C. D. Avila, “La Gamificación en Matemáticas: Una Revisión Sistemática,” *Polo del Conocimiento*, vol. 10, no. 2, pp. 566–586, 2025, doi: 10.23857/pc.v10i2.8897.
- [13] P. A. Erráez, D. I. Guevara y N. R. Malla, “La gamificación en matemáticas, una necesidad educativa actual,” *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 6, no. 1, pp. 4543–4554, 2022, doi: 10.37811/cl\_rcm.v6i1.1814.
- [14] M. A. Csikszentmihalyi, “Literacy and intrinsic motivation,” *Daedalus*, 1990.
- [15] C. Baker, “Quantitative research designs: Experimental, quasi-experimental, and descriptive,” en *Evidence-Based Practice: An Integrative Approach to Research, Administration, and Practice*, vol. 2, 2017, pp. 155–183.

## **Síntesis de derivados de benzimidazoles (2-aryl-1H-benzo[d]imidazoles) promovida por energía ultrasónica, en ausencia de solventes y catalizadores**

### **Synthesis of benzimidazole derivatives (2-aryl-1H-benzo[d]imidazoles) using ultrasonic energy, in the absence of solvents and catalysts**

Alvarado-Méndez I.<sup>1</sup>, Gómez-Egurrola R.<sup>1</sup>, Alvarado-Sánchez C.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Química Orgánica. Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Aplicada de Tabasco, División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Cunduacán–Jalpa Km 1, Col. La Esmeralda, Cunduacán Tabasco C.P. 86690.

\*cuauhtemoc.alvarado@ujat.mx

---

#### **Resumen**

En este artículo se presenta una nueva metodología para la síntesis de derivados de benzimidazol en el marco de la química verde. La metodología es promovida por ultrasonido, en ausencia de solventes y catalizadores y procede en un tiempo de 2 horas. Bajo las condiciones optimizadas, los benzimidazoles se obtuvieron con rendimientos del 20-83%. Esta metodología promete ser eficiente para la obtención de benzimidazoles con gran potencial farmacológico, por lo que el estudio acerca de su posible alcance sintético es promisorio.

**Palabras claves:** Ultrasonido, benzimidazoles, química verde, síntesis.

#### **Abstract**

This paper presents a new methodology for the synthesis of benzimidazole derivatives in the framework of green chemistry. The methodology is promoted by ultrasound, in the absence of solvents and catalysts and proceeds in a time of 2 hours. Under the optimized conditions, benzimidazoles were obtained with yields of 20-83%. This methodology promises to be efficient for obtaining benzimidazoles with great pharmacological potential, so the study of their possible synthetic scope is promising.

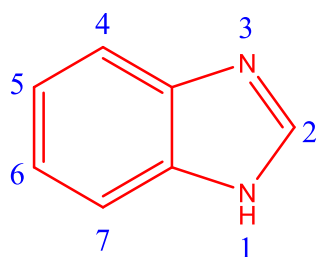
**Keywords:** Ultrasound, benzimidazoles, green chemistry, synthesis.

---

Recibido: 18-septiembre-2025, Aceptado: 19-febrero-2026, Publicado: 30-abril-2026

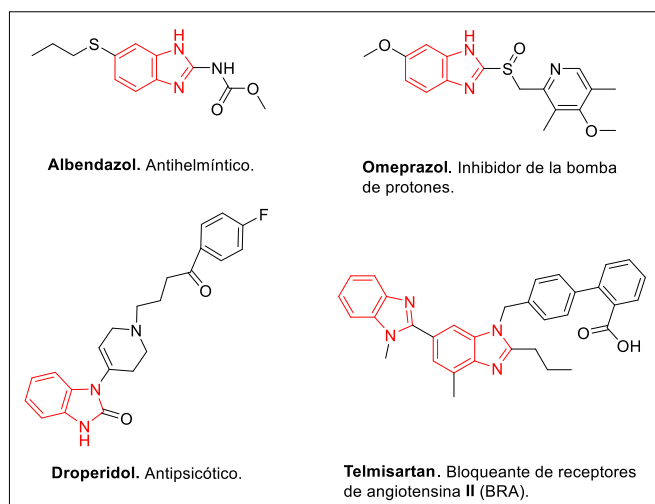
## **1. Introducción**

Los benzimidazoles son compuestos heterocíclicos aromáticos y nitrogenados, su estructura está compuesta por la fusión de anillo de benceno y un anillo de imidazol, geoméricamente plana, (Figura 1). Por un lado, el anillo de benceno confiere propiedad aromática al sistema, mientras que el anillo de imidazol introduce dos átomos de nitrógeno tanto en la posición 1 como 3, estos puntos le confieren versatilidad química a este tipo de compuestos al permitir que se les realicen modificaciones estructurales. Estas modificaciones pueden llevarse a cabo por medio de la introducción de grupos funcionales ya sea en el anillo de benceno, en el anillo imidazol o bien, en los átomos de nitrógeno del imidazol, de modo que se pueden alterar sus propiedades químicas y físicas.



**Figura 1.** Estructura general de los benzimidazoles.

Este tipo de estructuras moleculares, con el tiempo han adquirido mayor relevancia en la investigación farmacéutica gracias a su flexibilidad en cuanto a la gama de aplicaciones terapéuticas que pueden llegar a poseer. Incluso, estudios donde se evalúa la relación estructura-actividad (SAR) demostraron que los benzimidazoles poseen una extensa diversidad de actividades terapéuticas, dentro de las cuales destacan propiedades antimicrobianas[1-3], antiinflamatorias[3], antifúngicas[2-3], [4], antineoplásicas[3], [5], [6], antihipertensivas[3], [7], antioxidantes[3], [8], analgésicas[3], antivirales[3], [9], antiulcerosas[3] y antidiabéticas[3]. Actualmente, el impacto de estas propiedades farmacológicas se ve reflejado en la existencia de derivados de benzimidazoles complejos que son utilizados como fármacos[10-13], (Esquema 1).



**Esquema 1.** Fármacos con estructuras basadas en benzimidazoles [10-13].

A lo largo de las últimas dos décadas, se han ido desarrollando diversas estrategias para sintetizar compuestos derivados de benzimidazoles. Sin embargo, los métodos tradicionales han presentado inconvenientes relacionados con el impacto ambiental [1,2,5,7,14], motivo por el cual se ha promovido la implementación de métodos más sostenibles y que vayan acorde con los principios de la química verde[15-16]. En este sentido, el surgimiento de la síntesis asistida por ultrasonido ha representado una alternativa innovadora y eficiente, debido a que este método sintético disminuye notablemente el tiempo de reacción, minimiza la cantidad reactivos y solventes a utilizar y ofrece altos rendimientos, [17-20].

De igual manera, es importante señalar que frecuentemente los benzimidazoles son utilizados como intermediarios estratégicos para la síntesis de compuestos aún más complejos con importantes actividades biológicas, lo cual ha impulsado su investigación y desarrollo. Ante este escenario, en el presente artículo se detalla una metodología optimizada, verde, en ausencia de solventes y utilizando ultrasonido como

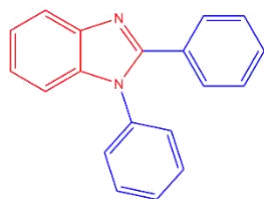
energía de activación, para obtener derivados de benzimidazoles, donde se destaca la sostenibilidad del proceso.

## 2. Metodología experimental

### 2.1 Métodos generales

Todas las reacciones fueron llevadas a cabo en tubos de ensayo bajo irradiación ultrasónica continua durante un período de 2 horas en un baño de ultrasonido Cole Park modelo 8891. El progreso de las reacciones fue monitoreado por cromatografía en capa fina (CCF) utilizando placas de 20X20 cm X2 mm de espesor de la compañía Merck con indicador fluorescente. Los espectros de Resonancia Magnética Nuclear se obtuvieron en un espectrómetro de resonancia Bruker Ascend™ de 500 MHz (RMN <sup>1</sup>H) y 125 MHz (RMN <sup>13</sup>C). Las materias primas utilizadas son de la compañía Aldrich. Los puntos de fusión fueron determinados en un equipo Stuart modelo SMP10.

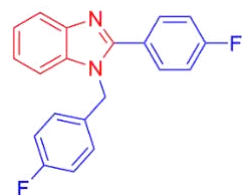
#### 2.2 1,2-difenil-1H-benzo[d]imidazol (2Aa)



El crudo de reacción se purificó por cromatografía en columna (Hexano-Acetato 80:20). El producto deseado se obtuvo como un sólido de color blanco (97%), punto de fusión 78-82°C (literatura: 107 °C [21]). **RMN <sup>1</sup>H** (DMSO-d<sub>6</sub>) δ 7.87 (d, 1H, *J* = 7.9), 7.69 (d, 2H, *J* = 7.65), 7.51-7.41 (m, 3H), 7.37-7.28 (m, 4H) 7.25-7.18 (m, 2H), 7.11 (d, 2H, *J* = 8.6). **RMN <sup>13</sup>C** (DMSO-d<sub>6</sub>) δ 154.34, 143.35, 136.57, 136.23, 130.25, 130.06, 129.43, 129.21, 128.90, 127.93, 126.13, 123.19, 122.83,

120.16, 110.68.

#### 2.3 1-(4-fluorobencil)-2-(4-fluorofenil)-1H-benzo[d]imidazol (2Ab)

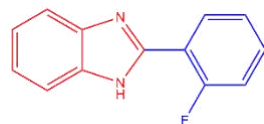


El crudo de reacción se purificó por cromatografía en columna (Hexano-Acetato 80:20). El producto deseado se obtuvo como un sólido de color amarillo claro (20%), punto de fusión 78-82°C (literatura: 74–76 °C [22]). **RMN <sup>1</sup>H** (DMSO-d<sub>6</sub>) δ 7.68 (dd, 2H, *J* = 8.40, 5.95), 7.65-7.61 (m, 1H), 7.43-7.39 (m, 1H), 7.29 (t, 2H, *J* = 8.92), 7.20-7.14 (m, 2H), 7.02 (t, 2H, *J* = 8.85), 6.94 (dd, 2H, *J* = 8.62), 5.48 (s, 2H).

**RMN <sup>13</sup>C** (DMSO-d<sub>6</sub>) δ 163.00 (d, *J* = 195), 161.00 (d, *J* = 191.38), 152.20, 142.45,

135.67, 132.93, 132.90, 131.36, 131.29, 128.18, 128.12, 126.50, 126.48, 122.74, 122.25, 119.19, 115.78 (d, *J* = 21.66), 115.62 (d, *J* = 21.21), 110.69, 46.65.

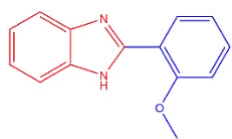
#### 2.4 Síntesis de 2-(2-fluorofenil)-1H-benzo[d]imidazol (1Ac)



El crudo de reacción se purificó por cromatografía en columna (Hexano-Acetato 88:12). El producto deseado se obtuvo como un sólido de color blanco (24%), punto de fusión 217-225°C (literatura: 272-274°C [23]). **RMN <sup>1</sup>H** (DMSO-d<sub>6</sub>) δ 8.12 (td, 1H, *J* = 7.77, 2.01), 7.69-7.59 (m, 2H), 7.58-7.52 (m, 1H), 7.43 (dd, 1H,

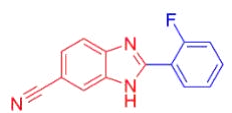
*J* = 11.82, 8.02), 7.39 (t, 1H, *J* = 7.6), 7.23 (d, 1H, *J* = 6.1), 7.22 (d, 1H, *J* = 6.1). **RMN <sup>13</sup>C** (DMSO-d<sub>6</sub>) δ 159.31 (d, *J* = 248.72), 146.30, 131.82, 131.75, 130.13, 130.11, 125.02, 125.00, 122.24, 117.99, 117.90, 116.43 (d, *J* = 21.21).

#### 2.5 Síntesis de 2-(2-metoxifenil)-1H-benzo[d]imidazol (1Ad)



El crudo de reacción se purificó por cromatografía en columna (Hexano-Acetato 69:31). El producto deseado se obtuvo como un sólido de color blanco (83%), punto de fusión 160-166°C (literatura: 156–158°C [24]). **RMN <sup>1</sup>H** (DMSO-d<sub>6</sub>) δ 10.68 (s, 1H), 8.59 (d, 1H, *J* = 7.8), 7.82 (d, 1H, *J* = 7.95), 7.48 (d, 1H, *J* = 7.15), 7.42 (t, 1H, *J* = 7.85), 7.30-7.21 (m, 2H), 7.14 (t, 1H, *J* = 7.57), 7.05 (d, 1H, *J* = 8.4), 4.07 (s, 3H). **RMN <sup>13</sup>C** (DMSO-d<sub>6</sub>) δ 156.65, 149.76, 142.82, 133.47, 131.07, 130.03, 122.60, 122.17, 121.59, 119.16, 117.74, 111.33, 110.67, 55.9.

## 2.6 Síntesis de 2-(2-fluorofenil)-1H-benzo[d]imidazol-6-carbonitrilo (1Be)



El crudo de reacción se purificó por cromatografía en columna (Hexano-Acetato 70:30). El producto deseado se obtuvo como un sólido de color naranja pálido (78%), punto de fusión 120-125°C. **RMN <sup>1</sup>H** (DMSO-d<sub>6</sub>) δ 7.92 (t, 1H, *J* = 7.62), 7.82 (s, 1H), 7.45 (d, 1H, *J* = 4.10), 7.30-7.23 (m, 2H), 7.14-7.04 (m, 2H). **RMN <sup>13</sup>C** (DMSO-d<sub>6</sub>) δ 160.77, 158.77, 149.84, 145.51, 132.87 (d, *J* = 8.57), 130.53 (d, *J* = 2.71), 125.87, 125.30 (d, *J* = 3.15), 120.11, 117.20 (d, *J* = 11.28), 116.69 (d, *J* = 21.21), 104.37.

## 3. Resultados y Discusión

La síntesis de benzimidazoles a partir de *o*-fenilendiaminas y aldehídos, utilizando energía ultrasónica, ha sido reportada por distintos autores (Esquema 2) [17-20]. Dentro de estos métodos, Santosh Rangnath Deshmukh et al., reportaron un método que implica el uso de ácido pirúvico como catalizador y agua como solvente, obteniendo 12 derivados en 80-91% [17]. Por otro lado, Sandeep Pardeshi et al., utilizaron el sulfato de níquel y amonio como catalizador homogéneo, en medio acuoso, con tiempos estimados de reacción de 120 minutos, obteniendo una serie de 31 benzimidazoles en rendimientos de 80-91% [18]. M. Bharathi et al., reportaron una metodología en etanol/metanol, con tiempos cortos de reacción (90 minutos), y utilizando catalizadores heterogéneos recuperables; los benzimidazoles obtenidos se obtuvieron en rendimientos de 43-95%.[19]. Finalmente, durante el desarrollo de su metodología, Drashti Shah et al., concluyeron que el etanol fue el mejor solvente, y que la estequiometría juega un papel importante en los resultados; el tiempo de reacción fue de tan solo 30 minutos y obtuvieron una serie de 15 derivados en rendimientos de 92-95% [20]. Como puede observarse, las metodologías reportadas proceden en condiciones no ecológicas con catalizadores especiales, utilizando solventes volátiles y en condiciones de alto gasto de energía. En nuestro estudio, la metodología estandarizada, (Tabla 1), no implica el uso de solventes ni de catalizadores, de modo que se previene la generación de residuos durante el proceso, y ya que el ultrasonido provee energía mecánica localizada (cavitación) [24] se reduce el consumo energético global, siendo en general una metodología más segura, y que respeta los principios de la química verde, [15-16].

Referencia		Rendimiento
[17]		80-91%
[18]		80-91%
[19]		43-95%
[20]		92-95%

Esquema 2. Métodos de síntesis de benzimidazoles por sonicación[17-20].

A continuación, se describe el desarrollo de la metodología. Durante la optimización del proceso se utilizaron *o*-fenilendiamina **1A** y benzaldehído **1a** como materias primas. En experimentos preliminares, utilizando una relación *o*-fenilendiamina: 1 / benzaldehído: 2, se encontró que la reacción procedía en ausencia de solventes y catalizadores, por lo que solamente se describirán las pruebas del ajuste de tiempo y los equivalentes de benzaldehído necesarios para el desarrollo adecuado de la reacción (Tabla 1). En las primeras pruebas, durante el monitoreo por CCF, se observó la presencia de dos productos distintos, los cuales fueron purificados y su estructura verificada por medio de RMN <sup>1</sup>H y RMN <sup>13</sup>C. El primero de ellos resultó ser el compuesto monosustituido 2-fenil-1*H*-benzo[*d*]imidazol **1Aa** mientras que el segundo fue el disustituido o *N*-sustituido 1-benzil-2-fenil-1*H*-benzo[*d*]imidazol **2Aa** (Figura 2).

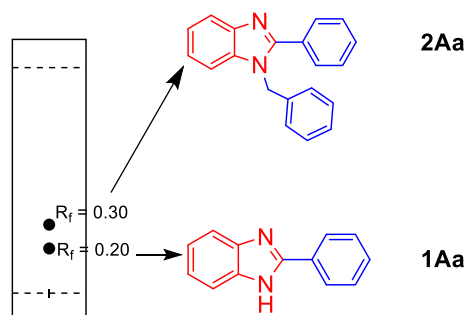


Figura 2. CCF de los derivados **1Aa** y **2Aa**.

Como inicialmente se realizó la reacción con 2 equivalentes de aldehído **1a**, se hicieron pruebas para tratar de encontrar la cantidad mínima necesaria del mismo y así evitar su desperdicio y la formación del producto de disustitución **2Aa**. Cuando se probó con 1.2 eq. de aldehído **1a** (Tabla 1, entrada 1), se encontró que la reacción no concluía, pues se podían observar las 2 materias primas **1A** y **1a**, aún después de aumentar el tiempo de reacción a 4 h (Tabla 1, entrada 3). El mismo resultado se observó cuando la cantidad de aldehído **1a** se elevó a 1.5 eq. (Tabla 1, entrada 2) y tampoco mejoró con el aumento del tiempo de reacción a 4 h (Tabla 1, entrada 4). El consumo total de las materias primas solo se observó cuando se utilizaron 2 eq., de

aldehído en la reacción y no fue necesario extender el tiempo de reacción más allá de 2 horas, estableciéndose estas condiciones de reacción como las óptimas. Bajo estas condiciones, se obtuvo el compuesto disustituido **2Aa** con 97% de rendimiento (Tabla 2, entrada 1).

**Tabla 1.** Estandarización de las condiciones de reacción

No.	1A (eq)	1a (eq)	Tiempo (h)	Observación (CCF)
1	1	1.2	2	Presencia parcial <b>1A</b> y <b>1a</b> .
2	1	1.5	2	
3	1	1.2	4	
4	1	1.5	4	
5	1	2	2	Consumo total de <b>1A</b> y <b>1a</b> .

Nota: La reacción se realizó a escala de 1 mmol de diamina, en ausencia de solventes y catalizadores. Se utilizó ultrasonido como energía de activación, a temperatura ambiente.

Ha sido reportado que factores como el uso de solventes, bases inorgánicas, catalizadores, así como las modificaciones en la temperatura de reacción y los equivalentes de materias primas, favorecen la obtención de uno de los dos productos **1Aa** o **2Aa**.<sup>[25]</sup> En la metodología aquí descrita, se utiliza un exceso de aldehído **1a** (2 eq), factor que permite a ambos nitrógenos de la diamina **1A** reaccionar durante el proceso de síntesis; así mismo, la ausencia de catalizador y solvente, disminuyen el control sobre la selectividad, permitiendo que se produzcan ambos derivados, aunque, favoreciéndose de manera clara la producción del compuesto disustituido **2Aa**.

Una vez establecidas las condiciones de reacción adecuadas, se procedió a preparar otros 4 derivados. De acuerdo con los resultados de la optimización de la reacción, se esperaba obtener únicamente los compuestos disustituidos, pero esto solo se observó cuando se utilizó 4-fluorobenzaldehído (Tabla 2, entrada 2), que posee un sustituyente electroattractor en la posición *para*, obteniéndose el benzimidazol **2Ab** con bajo rendimiento (20%), el cual no mejoró con el aumento del tiempo de reacción a 4 h. Posteriormente, se hizo reaccionar la diamina **1A** con el 2-fluorobenzaldehído **1c** (Tabla 2, entrada 3), invirtiéndose la selectividad, pues se obtuvo solamente el benzimidazol monosustituido **1Ac** con rendimiento de 24%. Por otro lado, cuando la diamina **1A** se hizo reaccionar con un aldehído rico en electrones, el 2-metoxibenzaldehído **1d** (Tabla 2, entrada 4), se obtuvo únicamente el benzimidazol monosustituido **1Ad** con 83% de rendimiento. Finalmente, cuando la 4-ciano-*o*-fenilendiamina **1B**, se hizo reaccionar con el 3-fluorobenzaldehído **1e** (Tabla 2, entrada 5), se obtuvo el benzimidazol monosustituido **1Be** con rendimiento de 78%.

Tabla 2. Benzimidazoles obtenidos

Entrada	R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	Rendimiento (%)	
1	<b>1A</b> H	<b>1a</b> H	<b>1Aa</b>	<b>2Aa</b> (97)
2		<b>1b</b> 4-F	<b>1Ab</b>	<b>2Ab</b> (20)
3		<b>1c</b> 2-F	<b>1Ac</b> (24)	<b>2Ac</b>
4		<b>1d</b> 2-OCH <sub>3</sub>	<b>1Ad</b> (83)	<b>2Ad</b>
5	<b>1B</b> C≡N	<b>1e</b> 3F	<b>1Be</b> (78)	<b>2Be</b>

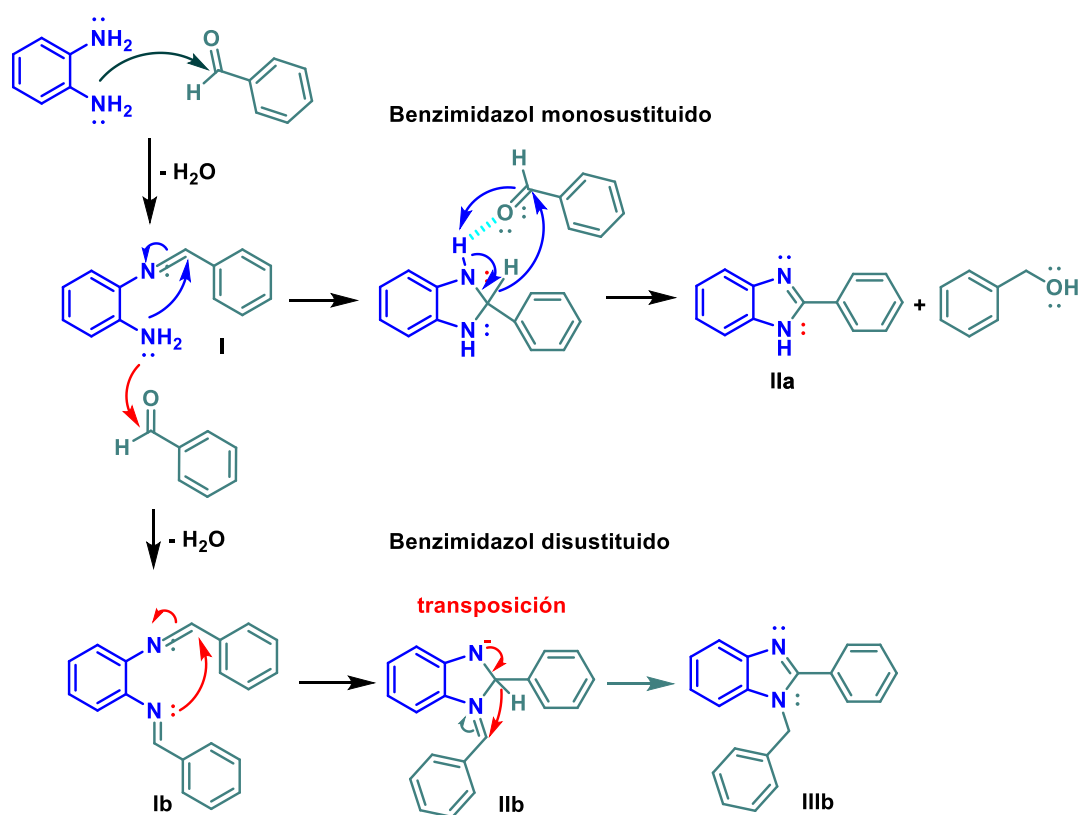
Nota: Todas las reacciones se realizaron a escala de 1 mmol de diamina, en ausencia de solventes y catalizadores, en un tiempo de 2 h. Se utilizó ultrasonido como energía de activación, a temperatura ambiente.

Los resultados anteriores muestran una relación directa entre el impedimento estérico y la naturaleza electrónica de los sustituyentes del anillo aromático del aldehído, con los rendimientos y con la selectividad hacia la obtención del benzimidazol mono o disustituido. Los sustituyentes electroattractores como el flúor en la posición *para* del anillo aromático del aldehído, ocasionan que el oxígeno carbonílico tenga una menor densidad de carga negativa, haciendo menos susceptible al carbono a un ataque nucleofílico. Además, los sustituyentes en esta posición no ocasionan impedimento estérico, por lo que se puede formar el compuesto disustituido, pero su baja reactividad ocasiona que se obtenga en bajo rendimiento (**IIIb**, Esquema 3). Por otro lado, los aldehídos con sustituyentes en las posiciones *orto* y *meta*, muestran selectividad hacia la producción de los compuestos monosustituídos [26], debido principalmente a efectos estéricos. Se observa nuevamente la tendencia hacia los bajos rendimientos con los grupos electroattractores o desactivantes en la posición *orto*, mientras que el rendimiento aumenta satisfactoriamente con sustituyentes electrodonadores como el metoxi, que aumentan la densidad de carga negativa sobre el oxígeno del carbonilo. Finalmente, a pesar de su poder desactivante, la presencia del flúor en posición *meta*, no tiene gran influencia en los rendimientos. Cabe señalar que la naturaleza y posición de los sustituyentes que posea la diamina no representan un factor clave para el impedimento de la reacción y la obtención de buenos rendimientos [27-28]. Otro factor que pudo haber afectado los rendimientos fue la rápida descomposición de los aldehídos, en los crudos de reacción pudieron detectarse los alcoholes bencílicos, que como se verá más adelante en el mecanismo, pensamos que pudieron haber funcionado como agentes oxidantes para la obtención de los benzimidazoles. Por otro lado, dado que la reacción no se lleva a cabo en un sistema cerrado, los benzaldehídos se oxidan en contacto con el oxígeno molecular atmosférico, generando ácidos como subproducto de reacción. Los ácidos se pudieron observar por RMN <sup>1</sup>H, como contaminantes de los benzimidazoles, probablemente formando la sal orgánica.

### 3.1 Propuesta de mecanismo de reacción

De acuerdo con las observaciones experimentales y en línea con los mecanismos previamente reportados [27], se propone que la síntesis de los benzimidazoles a partir de *o*-fenilendiaminas y benzaldehídos, se desarrolla por medio de etapas que implican la formación de intermediarios imínicos, ciclación y transposición de hidrógenos (Esquema 3). En la etapa inicial del mecanismo, uno de los grupos amino de la *o*-fenilendiamina realiza un ataque nucleofílico al benzaldehído. Este paso produce un hemiaminal transitorio, el cual sufre una deshidratación para formar una imina, liberando así una molécula

de agua. La estructura imínica resultante **I**, puede reaccionar con otra molécula de aldehído para formar el compuesto disustituido **IIIb**, o sufrir un ataque nucleofílico intramolecular por parte del segundo grupo amino de la *o*-fenilendiamina y formar el compuesto monosustituido **IIa**. En el caso del compuesto monosustituido, el ataque intramolecular del segundo nitrógeno de la fenetilamina sobre la imina **I**, da como resultado el dihidro benzimidazol **Ia**. Finalmente, este intermediario se oxida produciendo el benzimidazol monosustituido **IIa**, por reacción con otra molécula de aldehído; que, a su vez, se reduce al alcohol. Como soporte de este paso, se comprobó la presencia del alcohol bencílico en CCF, por comparación con un estándar. En el caso del compuesto disustituido, el amino libre de la imina **I** reacciona con otra molécula de aldehído, generándose el intermediario diimínico **Ib**. El impedimento estérico juega un papel importante en este paso, si el aldehído posee sustituyentes voluminosos en las posiciones orto y meta, se favorecerá la formación del benzaldehído monosustituido. Una vez formado el intermediario diimínico **Ib**, las *ortho*-iminas que lo componen reaccionan intramolecularmente entre sí, formando el benzimidazol disustituido **IIIb**.



Esquema 3. Propuesta de mecanismo de reacción para los derivados de benzimidazol mono y disustituidos.

## 5. Conclusiones

Se sintetizaron cinco derivados de benzimidazoles (**2Aa-2Ab**, **1Ab-1Bd**) utilizando ultrasonido como energía de activación, las condiciones de reacción no implicaron el uso de solventes ni catalizadores y el tiempo de reacción fue de 2 horas. Los resultados anteriores muestran una relación directa entre el impedimento estérico y la naturaleza electrónica de los sustituyentes del anillo aromático del aldehído, con los rendimientos y con la selectividad hacia la obtención del benzimidazol mono o disustituido. Los

derivados **2Aa**, **1Ad** y **1Bd** presentan de buenos a excelentes rendimientos (78-97%) indicando que tanto  $2\text{OCH}_3$  y  $3\text{F}$  como sustituyentes  $\text{R}_2$ , al igual que  $\text{C}\equiv\text{N}$  como sustituyente  $\text{R}_1$  son tolerados en esta transformación en tanto que los compuestos **2Ab** y **1Ac** se obtuvieron solamente en 20% y 24% respectivamente.; esto evidencia a la síntesis mediada por ultrasonido como un método prometedor para la obtención de estructuras con gran potencial terapéutico, como los benzimidazoles.

## 6. Agradecimientos

R.G.E. agradece a la SECIHTI el apoyo otorgado a través de la Beca para Estudios de Maestría (1322077). Este trabajo fue parcialmente apoyado por la SECIHTI a través del Proyecto CF-2023-I-1700.

## 7. Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés

## 8. Declaratoria de uso de Inteligencia Artificial

“Los autores declaran que no han utilizado ninguna aplicación, software, páginas web de inteligencia artificial generativa en la redacción del manuscrito, en el diseño de tablas y figuras, ni en el análisis e interpretación de los datos”.

## 9. Roles de contribución

ROL	AUTORES(AS)
Conceptualización	Cuauhtémoc Alvarado, Ricardo Gómez
Curación de datos	Cuauhtémoc Alvarado, Izaflor Alvarado
Análisis formal	Cuauhtémoc Alvarado, Izaflor Alvarado
Adquisición de fondos	Cuauhtémoc Alvarado
Investigación	Ricardo Gómez, Izaflor Alvarado
Metodología	Ricardo Gómez, Izaflor Alvarado
Administración del proyecto	Cuauhtémoc Alvarado
Recursos	Cuauhtémoc Alvarado
Supervisión	Cuauhtémoc Alvarado
Escritura-borrador-original	Izaflor Alvarado
Escritura-revisión-edición	Cuauhtémoc Alvarado, Izaflor Alvarado

Nota. Taxonomía de roles de contribución (CRediT)

## 10. Referencias

- [1] V. R. Mishra, C. W. Ghanavatkar, S. N. Mali, S. I. Qureshi, H. K. Chaudhari, y N. Sekar, “Design, synthesis, antimicrobial activity and computational studies of novel azo linked substituted benzimidazole, benzoxazole and benzothiazole derivatives”, *Comput Biol Chem*, vol. 78, pp. 330–337, feb. 2019, doi: 10.1016/j.compbiolchem.2019.01.003.
- [2] M. Abdel-Motal, K. Almohawes, y M. A. Tantawy, “Antimicrobial evaluation and docking study of some new substituted benzimidazole-2yl derivatives”, *Bioorg Chem*, vol. 101, p. 103972, ago. 2020, doi: 10.1016/J.BIOORG.2020.103972.
- [3] S. R. Brishty, M. J. Hossain, M. U. Khandaker, M. R. I. Faruque, H. Osman, y S. M. A. Rahman, “A Comprehensive Account on Recent Progress in Pharmacological Activities of Benzimidazole Derivatives”, *Front Pharmacol*, vol. 12, nov. 2021, doi: 10.3389/FPHAR.2021.762807.
- [4] H. R. M. Rashdan, A. H. Abdelmonsef, M. M. Abou-Krishna, y T. A. Yousef, “Synthesis, identification, computer-aided docking studies, and admet prediction of novel benzimidazo-1,2,3-triazole based molecules as potential antimicrobial agents”, *Molecules*, vol. 26, núm. 23, dic. 2021, doi: 10.3390/molecules26237119.
- [5] S. Nashaat, M. A. Henen, S. M. El-Messery, y H. Eisa, “Synthesis, state-of-the-art NMR-binding and molecular modeling study of new benzimidazole core derivatives as Pin1 inhibitors: Targeting breast cancer”, *Bioorg Med Chem*, vol. 28, núm. 11, jun. 2020, doi: 10.1016/j.bmc.2020.115495.
- [6] F. M. Suk, C. L. Liu, M. H. Hsu, Y. T. Chuang, J. P. Wang, y Y. J. Liao, “Treatment with a new benzimidazole derivative bearing a pyrrolidine side chain overcomes sorafenib resistance in hepatocellular carcinoma”, *Sci Rep*, vol. 9, núm. 1, dic. 2019, doi: 10.1038/s41598-019-53863-2.
- [7] Z. Wu et al., “Design, synthesis and biological evaluation of novel fluoro-substituted benzimidazole derivatives with anti-hypertension activities”, *Bioorg Chem*, vol. 101, ago. 2020, doi: 10.1016/j.bioorg.2020.104042.
- [8] O. A. Ramos Rodríguez et al., “Synthesis, crystal structure, antioxidant activity and dft study of 2-aryl-2,3-dihydro-4H-[1,3]thiazino[3,2-a]benzimidazol-4-One”, *J Mol Struct*, vol. 1199, ene. 2020, doi: 10.1016/j.molstruc.2019.127036.
- [9] R. Srivastava et al., “Alkylated benzimidazoles: Design, synthesis, docking, DFT analysis, ADMET property, molecular dynamics and activity against HIV and YFV”, *Comput Biol Chem*, vol. 89, dic. 2020, doi: 10.1016/j.compbiolchem.2020.107400.
- [10] “Telmisartán: Usos, interacciones y mecanismo de acción | DrugBank Online”. Consultado: el 5 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://go.drugbank.com/drugs/DB00966>
- [11] “Droperidol: Usos, interacciones y mecanismo de acción | DrugBank Online”. Consultado: el 5 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://go.drugbank.com/drugs/DB00450>
- [12] “Albendazol: Usos, interacciones y mecanismo de acción | DrugBank Online”. Consultado: el 5 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://go.drugbank.com/drugs/DB00518>
- [13] “Omeprazol: Usos, interacciones y mecanismo de acción | DrugBank Online”. Consultado: el 5 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://go.drugbank.com/drugs/DB00338>

- [14] N. Sridhar Goud et al., “Novel benzimidazole-triazole hybrids as apoptosis inducing agents in lung cancer: Design, synthesis, 18F-radiolabeling & galectin-1 inhibition studies”, *Bioorg Chem*, vol. 102, sep. 2020, doi: 10.1016/j.bioorg.2020.104125.
- [15] C. S. Radatz, R. B. Silva, G. Perin, E. J. Lenardão, R. G. Jacob, y D. Alves, “Catalyst-free synthesis of benzodiazepines and benzimidazoles using glycerol as recyclable solvent”, *Tetrahedron Lett*, vol. 52, núm. 32, pp. 4132–4136, ago. 2011, doi: 10.1016/j.tetlet.2011.05.142.
- [16] D. Raja, A. Philips, P. Palani, W. Y. Lin, S. Devikala, y G. C. Senadi, “Metal-Free Synthesis of Benzimidazoles via Oxidative Cyclization of d -Glucose with o-Phenylenediamines in Water”, *Journal of Organic Chemistry*, vol. 85, núm. 17, pp. 11531–11540, sep. 2020, doi: 10.1021/acs.joc.0c01053.
- [17] Santosh Ranganath Deshmukh, Archana Subhash Nalkar, y Shankar Ramchandra Thopate, “Water-Mediated Green Synthesis of Benzimidazoles Using Pyruvic Acid: A Comparable Study of Ultra-sonication versus Conventional Heating”, *Lett Org Chem*, vol. 19, núm. 7, pp. 511–519, jun. 2022.
- [18] S. D. Pardeshi et al., “Sonicated assisted synthesis of benzimidazoles, benzoxazoles and benzothiazoles in aqueous media”, *Journal of the Chilean Chemical Society*, vol. 59, núm. 1, pp. 2335–2340, 2014, doi: 10.4067/S0717-97072014000100020.
- [19] M. Bharathi, S. Indira, G. Vinoth, T. Mahalakshmi, E. Induja, y K. Shanmuga Bharathi, “Green synthesis of benzimidazole derivatives under ultrasound irradiation using Cu-Schiff base complexes embedded over MCM-41 as efficient and reusable catalysts”, *J Coord Chem*, vol. 73, núm. 4, pp. 653–670, feb. 2020, doi: 10.1080/00958972.2020.1730335.
- [20] D. Shah et al., “Ultrasound-Assisted Synthesis of Benzimidazole Derivatives: A Catalyst-Free Green Chemistry Approach”, *Russian Journal of Organic Chemistry*, vol. 59, núm. 8, pp. 1397–1406, ago. 2023, doi: 10.1134/S1070428023080146.
- [21] A. Avila-Sorrosa, L. A. Gil-Ruiz, M. E. Vargas-Diaz, B. Torres-Noguera, y D. Morales-Morales, “Green synthesis and in vitro anticancer evaluation of 1,2-disubstituted benzimidazole derivatives”, *Results Chem*, vol. 14, p. 102134, mar. 2025, doi: 10.1016/J.RECHEM.2025.102134.
- [22] N. Mishra, A. S. Singh, A. K. Agrahari, S. K. Singh, M. Singh, y V. K. Tiwari, “Synthesis of Benz-Fused Azoles via C-Heteroatom Coupling Reactions Catalyzed by Cu(I) in the Presence of Glycosyltriazole Ligands”, *ACS Comb Sci*, vol. 21, núm. 5, pp. 389–399, may 2019, doi: 10.1021/ACSCOMBSCI.9B00004/SUPPL\_FILE/CO9B00004\_SI\_004.PDF.
- [23] S. V. Patil, S. S. Patil, y V. D. Bobade, “A simple and efficient approach to the synthesis of 2-substituted benzimidazole via sp<sup>3</sup> C–H functionalization”, *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 9, pp. S515–S521, sep. 2016, doi: 10.1016/J.ARABJC.2011.06.017.
- [24] R. Karmakar y C. Mukhopadhyay, “Ultrasonication under catalyst-free condition: an advanced synthetic technique toward the green synthesis of bioactive heterocycles”, *Green Synthetic Approaches for Biologically Relevant Heterocycles: Volume 1: Advanced Synthetic Techniques*, pp. 497–562, ene. 2021, doi: 10.1016/B978-0-12-820586-0.00014-5.
- [25] K. Das, A. Mondal, y D. Srimani, “Selective Synthesis of 2-Substituted and 1,2-Disubstituted Benzimidazoles Directly from Aromatic Diamines and Alcohols Catalyzed by Molecularly

Defined Nonphosphine Manganese(I) Complex”, *Journal of Organic Chemistry*, vol. 83, núm. 16, pp. 9553–9560, ago. 2018, doi: 10.1021/acs.joc.8b01316.

[26] J. Fu et al., “PTSA-catalyzed selective synthesis and antibacterial evaluation of 1,2-disubstituted benzimidazoles”, *Mol Divers*, vol. 27, núm. 2, pp. 873–887, abr. 2023, doi: 10.1007/s11030-022-10460-2.

[27] N. T. Chung, V. C. Dung, y D. X. Duc, “Recent achievements in the synthesis of benzimidazole derivatives”, el 7 de noviembre de 2023, Royal Society of Chemistry. doi: 10.1039/d3ra05960j.

[28] M. Nardi et al., “A Review on the Green Synthesis of Benzimidazole Derivatives and Their Pharmacological Activities”, el 1 de febrero de 2023, MDPI. doi: 10.3390/catal13020392.

---

## **Modificación secuencial del bagazo de cebada mediante ultrasonido e hidrólisis enzimática**

### **Sequential modification of brewers' spent grain by ultrasound and enzymatic hydrolysis**

**Primo-Mora A.R.<sup>1\*</sup>, Aparicio-Saguilán A.<sup>2</sup>, Páramo-Calderón, D.E.<sup>2</sup>, Sánchez-Ocampo P.M.<sup>2</sup>  
, Utrilla-Coello, R.G.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>División de estudios de posgrado. Doctorado en Biotecnología. Universidad del Papaloapan. Tuxtepec, Oaxaca, México.

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones Científicas. Instituto de Biotecnología. Universidad del Papaloapan. Tuxtepec, Oaxaca, México.

<sup>3</sup>Tecnológico Nacional de México TecNM. Campus Acapulco de Juárez, Guerrero. México.

\* [aprimo@unpa.edu.mx](mailto:aprimo@unpa.edu.mx)

---

#### **Resumen**

El bagazo de malta de cebada (BSG), subproducto abundante de la industria cervecera, contiene fibra dietética y compuestos fenólicos con potencial funcional. Este estudio evaluó la modificación del BSG mediante un tratamiento secuencial consistente en ultrasonido (US, 80% amplitud, 30 min) seguido de hidrólisis enzimática con Driselasa por 1 y 4 h (HE, 1-4h) para mejorar sus propiedades funcionales y antioxidantes. La densidad aparente permaneció estable entre tratamientos (0.286-0.313 g/cm<sup>3</sup>). El US incrementó la capacidad de hinchamiento (15%), retención de agua (22%) y retención de aceite (54%) comparado con el BSG nativo. Los tratamientos secuenciales US→HE atenuaron parcialmente estos efectos. El contenido de fenoles totales disminuyó en muestras tratadas (31-45%), mientras que la capacidad antirradical DPPH aumentó en US→HE (14%) y la actividad ABTS apareció únicamente en muestras tratadas, maximizándose con US→HE-4h. Los tratamientos liberan compuestos fenólicos más reactivos pese a la reducción del contenido total. La modificación del BSG proporciona ingredientes mejorados para el desarrollo de alimentos funcionales.

**Palabras claves:** *Hidrólisis enzimática, ultrasonido, bagazo de cebada, propiedades funcionales.*

#### **Abstract**

Brewer's spent grain (BSG), an abundant byproduct of the brewing industry, contains dietary fiber and phenolic compounds with functional potential. This study evaluated the sequential modification of BSG through ultrasound (US, 80% amplitude, 30 min) followed by Driselase enzymatic hydrolysis 1 and 4 h (EH, 1-4h) to improve its functional and antioxidant properties. Bulk density remained stable across treatments (0.286-0.313 g/cm<sup>3</sup>). US increased swelling capacity (15%), water holding capacity (22%), and oil holding capacity (54%) compared to native BSG. Sequential US→EH treatments partially attenuated these effects. Total phenolic content decreased in treated samples (31-45%), while DPPH antiradical capacity increased in US→EH treatments (14%) and ABTS activity appeared only in treated samples, maximizing with US→EH-4h. Treatments release more reactive phenolic compounds despite reduced total content. BSG modification provides improved functional ingredients for the development of functional foods.

**Keywords:** *Enzymatic hydrolysis, ultrasound, brewer's spent grain, functional properties.*

---

Recibido: 17-septiembre-2025, Aceptado: 19-febrero-2026, Publicado: 30-abril-2026

## 1. Introducción

El desarrollo de alimentos funcionales representa una de las tendencias más significativas en la industria alimentaria moderna, impulsado por la creciente demanda de productos que proporcionen beneficios nutricionales y para la salud más allá de la nutrición básica [1]. Estos alimentos han demostrado su capacidad para prevenir enfermedades crónicas como la diabetes y enfermedades cardiovasculares, modular la microbiota intestinal y aportar compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes y cardioprotectoras [2]. La investigación en esta área se ha centrado en identificar y utilizar ingredientes novedosos, a menudo derivados de fuentes sostenibles, que puedan ser incorporados en formulaciones alimentarias para generar estos efectos beneficiosos [3].

Paralelamente, la valorización de residuos agroindustriales ha emergido como una estrategia crucial para la sostenibilidad, la economía circular y la reducción del desperdicio en la industria alimentaria [4]. En este contexto, el bagazo de malta de cebada (BSG, por sus siglas en inglés) destaca como el subproducto más abundante de la industria cervecera, con una generación estimada de 39 millones de toneladas anuales a nivel mundial [5]. Este residuo, compuesto principalmente por paredes celulares ricas en fibra dietética (60-70% en base seca), proteínas (15-25%),  $\beta$ -glucanos, arabinosilanos y compuestos fenólicos, posee un potencial significativo como ingrediente funcional [6]. Su aprovechamiento no solo aborda un problema ambiental, sino que también ofrece una oportunidad económica para la industria, al transformar un desecho en un producto de valor añadido. A pesar de su rica composición, la estructura lignocelulósica compleja del BSG limita la biodisponibilidad de sus nutrientes y la liberación de los compuestos bioactivos, restringiendo su aplicación directa en formulaciones alimentarias [7]. Para superar esta barrera, la industria y la academia han explorado diversas estrategias. Estudios previos han utilizado tratamientos individuales, como el uso de enzimas (celulasas y hemicelulasas) para hidrolizar la matriz de fibra y mejorar su digestibilidad [8], y el ultrasonido de alta potencia para romper las paredes celulares y facilitar la extracción de compuestos bioactivos [9, 10]. Sin embargo, la investigación ha sido limitada en cuanto a la comparación sistemática de estos métodos. El efecto comparativo del tratamiento ultrasónico y, especialmente, la sinergia generada por su aplicación secuencial con la hidrólisis enzimática, sobre las propiedades funcionales y antioxidantes del BSG, sigue siendo un área poco explorada [11].

Considerando que el tratamiento ultrasónico puede influir en la actividad enzimática mediante el fenómeno de cavitación acústica, facilitando la ruptura de paredes celulares y mejorando el acceso de las enzimas a sus sustratos específicos [12], la modificación secuencial (US $\rightarrow$ HE) podría potenciar la liberación y estabilidad de los compuestos fenólicos. La comprensión de cómo estos tratamientos modifican la matriz del BSG es crucial para maximizar la funcionalidad del subproducto y su viabilidad como ingrediente. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue comparar el efecto del tratamiento ultrasónico y su combinación secuencial con hidrólisis enzimática con Driselasa sobre las propiedades funcionales y antioxidantes del BSG, buscando una estrategia más eficiente y sostenible para su revalorización y su integración en la cadena alimentaria.

## 2. Metodología Experimental

### 2.1. Obtención y acondicionamiento del bagazo de cebada

El BSG se obtuvo de una cervecera local en Tuxtepec, Oaxaca, México. El material se recolectó en diciembre de 2024, inmediatamente después de la filtración del mosto, para garantizar su frescura y minimizar la variabilidad estacional debida a factores ambientales como humedad y temperatura. Se obtuvieron aproximadamente 60 kg de BSG en peso fresco, en lotes controlados para asegurar homogeneidad. El BSG fresco se transportó al laboratorio en contenedores aislados a temperatura ambiente ( $\approx 30$  °C) en un tiempo máximo de 30 min, con el objetivo de prevenir fermentación secundaria o

contaminación microbiológica. En el laboratorio, el material se lavó con agua purificada hasta que el efluente permaneció transparente, eliminando impurezas y azúcares residuales. Posteriormente, el BSG lavado se deshidrató en un horno convectivo (SUCESA, México) a 45 °C, con una velocidad de aire de 1 m/s durante 24 h. El bagazo seco se molió en una licuadora (Nutribullet, modelo NBF50400, EE. UU.) y se tamizó mediante un tamiz No. 40 (425 µm) para obtener una distribución homogénea del tamaño de partícula. Finalmente, el material procesado se almacenó en recipientes herméticamente sellados a temperatura ambiente hasta su análisis.

## 2.2. Tratamiento ultrasónico

El BSG se sometió a un tratamiento de ultrasonido de alta potencia utilizando un equipo Sonics Vibra-Cell VCX-130, operando a 130 W y 22 kHz. Se empleó un sonotrodo de titanio de ½ pulgada de diámetro para transmitir las ondas ultrasónicas a la muestra. El BSG se dispersó en agua destilada en una proporción 1:15 (BSG:agua) en un vaso de precipitados de 400 mL, preparando muestras individuales de 10 g de BSG con 150 mL de agua. El tratamiento se realizó con una amplitud del 80%, aplicando ciclos de 30 s de ultrasonido activo seguidos de 30 s de inactividad, durante un tiempo total de 30 min. El sonotrodo se posicionó a 1.5 cm del fondo del recipiente para asegurar una distribución homogénea de la energía ultrasónica en toda la muestra. Durante el proceso, las muestras se mantuvieron en un baño de agua a 2 °C para evitar un aumento excesivo de la temperatura. Al finalizar el tratamiento, las muestras se deshidrataron en un horno de convección a 45 °C hasta alcanzar peso constante. El material seco se almacenó en recipientes herméticamente sellados a temperatura ambiente hasta su posterior hidrólisis.

## 2.3. Hidrólisis enzimática secuencial posterior al tratamiento ultrasónico

Tras el acondicionamiento del material pretratado, se procedió con la hidrólisis enzimática utilizando Driselasa (Sigma-Aldrich), obtenida de basidiomicetos. Esta enzima, que contiene celulasa, xilanasas y laminarinasa, es eficaz en la degradación de las paredes celulares vegetales. Para ello, se tomaron 10 g del BSG previamente sometido a ultrasonido y secado, los cuales se suspendieron en 150 mL de buffer de acetato de sodio 10 mM. Se adicionaron 20 mg de Driselasa y se ajustó el pH a 4.5 con ácido cítrico, condiciones óptimas para la actividad enzimática. La mezcla se incubó a 37 °C durante dos tiempos distintos: 1 h y 4 h, con el objetivo de evaluar el efecto de la duración de la incubación sobre la eficiencia de la hidrólisis. La reacción se detuvo mediante calentamiento a 100 °C, asegurando la inactivación completa de la enzima. Posteriormente, el BSG modificado secuencialmente se secó a 45 °C durante 24 h y se reservó para su caracterización.

## 2.4. Densidad aparente (DA)

La densidad aparente del BSG se determinó mediante un método gravimétrico, siguiendo el procedimiento descrito por [13]. Se pesó con precisión 1 g de BSG seco y se transfirió cuidadosamente a una probeta graduada de 10 mL, evitando la compactación del material. Se registró el volumen ocupado por el BSG y se calculó la densidad aparente utilizando la siguiente fórmula:

$$DA \left( \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{Masa del BSG (g)}}{\text{Volumen del BSG (cm}^3\text{)}}$$

## 2.5. Capacidad de hinchamiento (CH)

La capacidad de hinchamiento del BSG se evaluó mediante la medición del volumen de agua absorbido por una masa conocida de muestra a lo largo del tiempo [13]. Para ello, se pesó 1 g de BSG seco y se colocó en un tubo de ensayo de 15 mL. Se añadió agua destilada hasta alcanzar un volumen total de 10 mL y se

dejó reposar la muestra durante 2 h. Se realizaron mediciones del volumen ocupado por la fibra hidratada a intervalos regulares: 0 (inicio), 15, 30, 45, 60, 90 y 120 min. La capacidad de hinchamiento, expresada en  $\text{cm}^3/\text{g}$ , se calculó como el incremento de volumen por unidad de masa de BSG, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{CH} \left( \frac{\text{cm}^3}{\text{g}} \right) = \frac{\text{Volumen ganado por el BSG (cm}^3\text{)}}{\text{Masa del BSG (g)}}$$

## 2.6. Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua (CRA) del BSG se determinó siguiendo el método descrito por [14], con ligeras modificaciones. Se pesaron 0.2 g de BSG seco y se colocaron en tubos de centrifuga de 15 mL con 6 mL de agua destilada. Las muestras se agitaron continuamente durante 18 h a temperatura ambiente ( $\sim 22$  °C) y posteriormente se centrifugaron a  $4500 \times g$  durante 25 min a 22 °C. Tras eliminar el sobrenadante, se registró la masa del residuo hidratado. La CRA se calculó mediante la ecuación:

$$\text{CRA} \left( \frac{\text{g}}{\text{g}} \right) = \frac{\text{Masa de agua retenida por la muestra (g)}}{\text{Masa del BSG (g)}}$$

## 2.7. Capacidad de retención de aceite (CRa)

La capacidad de retención de aceite (CRa) del BSG se determinó mediante una adaptación del método descrito por [13]. Se pesaron 2 g de BSG seco y se mezclaron con 20 mL de aceite de maíz en un tubo Falcon de 50 mL. La mezcla se agitó suavemente cada 5 min durante 30 min a temperatura ambiente ( $\sim 22$  °C) para asegurar un contacto adecuado entre el BSG y el aceite. Posteriormente, la mezcla se centrifugó a  $2000 \times g$  durante 25 min para separar la fase sólida (BSG con aceite retenido) de la fase líquida (aceite no retenido). La CRa se calculó como la relación entre la masa de aceite retenido y la masa inicial de BSG seco, usando la ecuación:

$$\text{CRa} \left( \frac{\text{g}}{\text{g}} \right) = \frac{\text{Masa de aceite retenido por la muestra (g)}}{\text{Masa del BSG (g)}}$$

## 2.8. Determinación de fenoles totales

El contenido de fenoles totales se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu según [15], con modificaciones. Se mezclaron 100  $\mu\text{L}$  del extracto con 6 mL de agua destilada, 0.5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu y, tras 5 min, 1.5 mL de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 20% (p/v); el volumen se ajustó a 10 mL con agua destilada. Las soluciones se incubaron 2 h a  $25 \pm 1$  °C y se midió la absorbancia a 765 nm. La curva de calibración se construyó con ácido gálico (0.025–0.8 mg/mL en etanol al 80%). El blanco se preparó sustituyendo la muestra por disolvente, y los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (mg GAE) por g de bagazo de malta de cebada (base seca).

## 2.9. Actividad antirradical (DPPH)

La actividad antioxidante por DPPH se determinó según [16], con modificaciones. Se mezclaron 3.9 mL de solución de DPPH (0.025 mg/mL en metanol) y 0.1 mL del extracto de bagazo de malta de cebada. La mezcla se incubó 90 min en oscuridad a  $25 \pm 1$  °C y se midió la absorbancia a 517 nm. La referencia se preparó sustituyendo la muestra por etanol al 80%. La curva de calibración se construyó con Trolox (0.025–0.8 mg/mL en etanol al 80%). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

### 2.10. Actividad antirradical (ABTS)

La capacidad antioxidante por ABTS•+ se evaluó según [17]. El radical se generó mezclando ABTS (0.0384 g/5 mL) y persulfato de potasio (0.0066 g/5 mL), incubado 16 h en oscuridad a  $25 \pm 1$  °C. La solución se diluyó con etanol absoluto hasta una absorbancia de  $0.70 \pm 0.05$  a 734 nm. Para el ensayo, se mezclaron 980  $\mu$ L de la solución radical y 20  $\mu$ L del extracto de bagazo de malta de cebada; tras 7 min de incubación se midió la absorbancia a 734 nm. El blanco se preparó sustituyendo la muestra por etanol al 80%, y todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

## 3. Resultados

### 3.1. Densidad aparente (DA)

La densidad aparente varió mínimamente entre tratamientos (0.286-0.313 g/cm<sup>3</sup>;  $p > 0.05$ ) (Figura 1). Este comportamiento concuerda con estudios previos que reportan estabilidad de este parámetro bajo procesamiento moderado en subproductos cerveceros, indicando que la densidad aparente es relativamente resistente a modificaciones estructurales superficiales [18].

El ultrasonido incrementó ligeramente la densidad aparente (0.313 g/cm<sup>3</sup> vs 0.286 g/cm<sup>3</sup> del nativo). Este efecto se atribuye a la cavitación acústica, donde las ondas ultrasónicas generan burbujas microscópicas que colapsan violentamente, produciendo fuerzas de cizalla que fragmentan las partículas y reorganizan la estructura lignocelulósica hacia un empaquetamiento más compacto [19]. La reducción de espacios intersticiales resultante, consolidada durante el proceso de secado posterior al ultrasonido, explica el incremento observado en la densidad aparente.

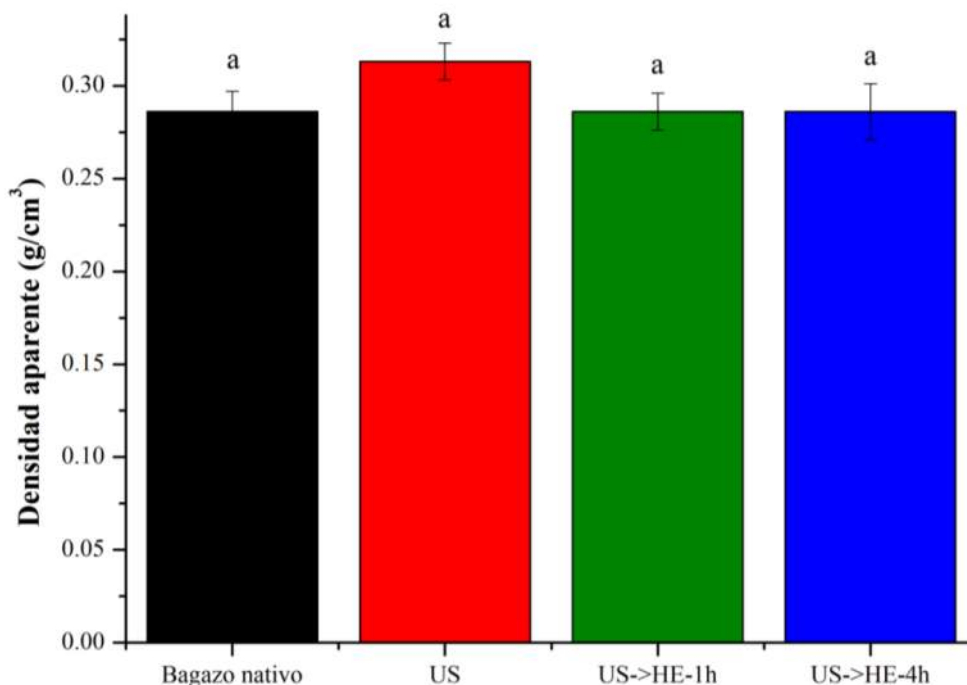
Los tratamientos secuenciales (US→HE-1h y US→HE-4h) revirtieron este efecto, retornando a los valores del control (0.286 g/cm<sup>3</sup>). Esta reversión refleja un mecanismo de acción donde la hidrólisis enzimática actúa sobre la matriz previamente modificada por el ultrasonido. La Driselasa, con actividades celulasa y hemicelulasa, hidroliza específicamente enlaces  $\beta$ -1,4-glucosídicos en celulosa y degrada arabinosilanos presentes en la pared celular del BSG [20]. Esta degradación enzimática selectiva sobre la estructura pretratada genera cavidades microscópicas y aumenta la porosidad interna, contrarrestando efectivamente la compactación inicial inducida por el ultrasonido [21]. El tiempo de hidrólisis (1h vs 4h) no mostró diferencias, sugiriendo que la degradación enzimática alcanza un equilibrio estructural temprano bajo las condiciones evaluadas.

Los valores obtenidos (0.286-0.313 g/cm<sup>3</sup>) se mantienen consistentemente dentro del rango reportado para BSG procesado (0.25-0.35 g/cm<sup>3</sup>) [18], confirmando que los tratamientos preservan las características físicas básicas del material dentro de parámetros industrialmente aceptables. Esta consistencia es importante considerando que desviaciones significativas podrían limitar la aplicabilidad del BSG modificado en formulaciones comerciales.

Desde una perspectiva tecnofuncional, la estabilidad de la densidad aparente presenta ventajas operacionales significativas. Este parámetro influye directamente en la fluidez del material durante mezclado, su comportamiento de sedimentación en suspensiones, y las características volumétricas del producto final [22]. Una densidad aparente predecible facilita la dosificación automatizada, mejora la reproducibilidad en procesos de formulación, y permite un control más preciso de la textura en aplicaciones como productos de panadería, donde el volumen específico es crítico [23]. Adicionalmente, la consistencia de este parámetro simplifica los cálculos de escalamiento industrial y reduce la variabilidad lote a lote.

La estabilidad observada sugiere que las modificaciones estructurales inducidas por la secuencia de tratamientos ocurren principalmente a nivel microestructural sin afectar significativamente el comportamiento macroscópico. Sin embargo, es importante reconocer que la densidad aparente puede no

reflejar completamente las modificaciones microestructurales como cambios en porosidad interna, distribución de tamaños de poro, o área superficial específica [24]. Estas propiedades, relevantes para la funcionalidad del BSG en aplicaciones específicas, requieren técnicas de caracterización complementarias para una evaluación integral del impacto del proceso secuencial sobre la estructura del material.

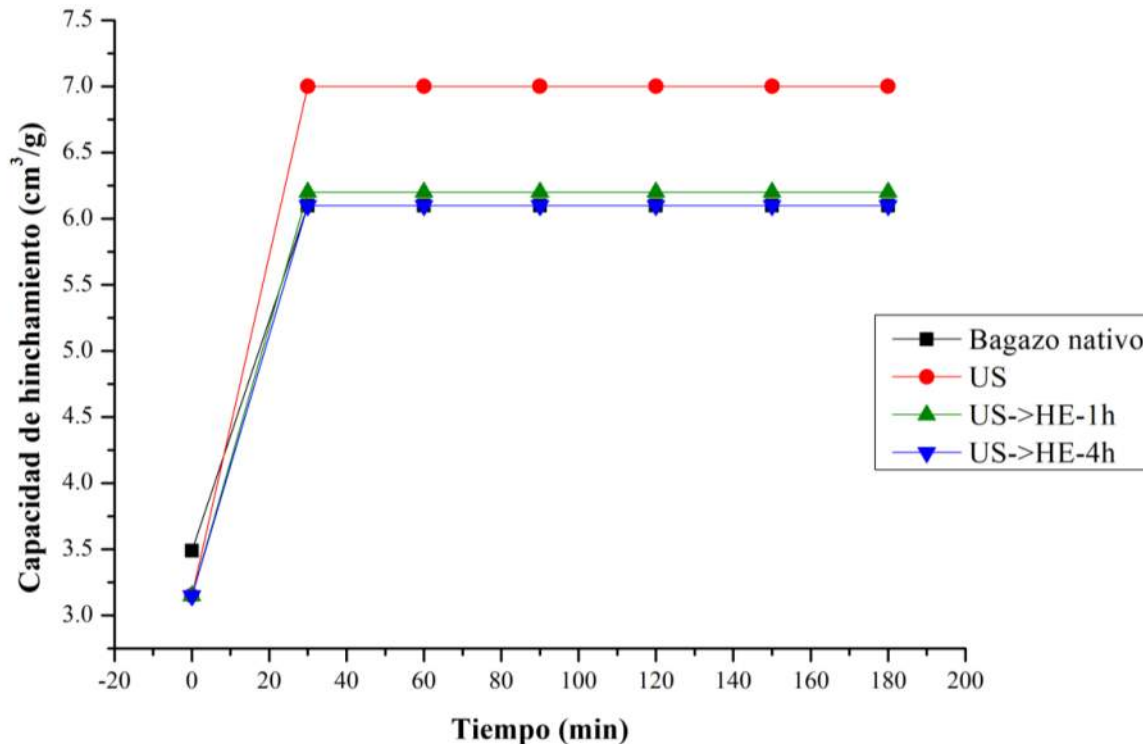


**Figura 1.** Densidad aparente del bagazo de cebada nativo y modificado mediante ultrasonido (US) y del proceso secuencial de ultrasonido seguido de hidrólisis enzimática (US→HE).

### 3.2. Capacidad de hinchamiento (CH)

La capacidad de hinchamiento mostró un incremento rápido en los primeros 30 min, alcanzando el equilibrio a los 180 min (Figura 2). Este comportamiento es típico de matrices ricas en fibra insoluble, donde la absorción inicial de agua es rápida hasta aproximarse al equilibrio de hidratación [25]. El ultrasonido alcanzó la mayor CH en equilibrio ( $\sim 7.0$  cm<sup>3</sup>/g vs 6.1 cm<sup>3</sup>/g del nativo), representando un incremento del 15%. Los tratamientos secuenciales (US→HE-1h y US→HE-4h) mostraron valores similares al BSG nativo ( $\sim 6.1$ -6.2 cm<sup>3</sup>/g), sin diferencias entre tiempos de hidrólisis. La superioridad del ultrasonido se atribuye a la cavitación acústica, que disrumpe enlaces de hidrógeno, desagrega la red lignocelulósica y expone grupos hidrofílicos, incrementando la porosidad y área superficial efectiva para captación de agua [26]. Los tratamientos secuenciales no mostraron sinergia para esta propiedad, retornando a valores del control. La cavitación acústica probablemente maximizó la exposición de sitios hidrofílicos disponibles, pero la posterior hidrólisis enzimática puede generar fragmentos solubles que no contribuyen al volumen de hinchamiento [26, 27]. Los valores obtenidos se mantuvieron dentro de rangos reportados para BSG [18]. La mejora del 15% con ultrasonido es relevante considerando que la CH influye directamente en la textura y aceptabilidad de algunos alimentos [28]. El ultrasonido resultó ser el método más eficiente para maximizar la CH, superando incluso a los tratamientos secuenciales. Este hallazgo es particularmente relevante para aplicaciones alimentarias donde una alta retención de agua es un factor crítico [29]. Si bien los tratamientos secuenciales no destacaron en este aspecto, podrían ofrecer ventajas

significativas en otros atributos funcionales, por lo que su evaluación debe ser específica para cada aplicación.



**Figura 2.** Capacidad de hinchamiento del bagazo de cebada nativo y modificado mediante ultrasonido (US) y del proceso secuencial de ultrasonido seguido de hidrólisis enzimática (US→HE).

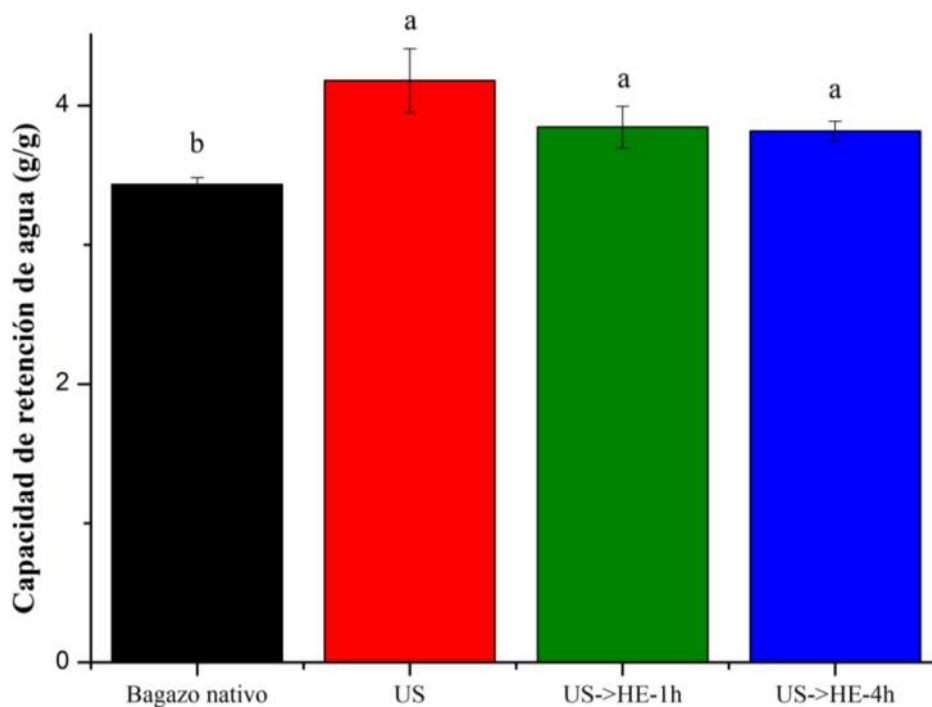
### 3.3. Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua mostró diferencias significativas entre tratamientos (Figura 3). El BSG nativo presentó una CRA de 3.43 g/g, mientras que el ultrasonido la incrementó significativamente hasta 4.18 g/g ( $p < 0.05$ ), representando un aumento del 22%. Los tratamientos secuenciales (US→HE-1h y US→HE-4h) mostraron valores intermedios (3.85 y 3.81 g/g, respectivamente), superiores al nativo, pero inferiores al ultrasonido solo.

El incremento significativo con ultrasonido se atribuye a la cavitación acústica, que disrumpe la estructura lignocelulósica, incrementa la porosidad y expone grupos hidrofílicos (hidroxilos de celulosa y hemicelulosa), facilitando la interacción agua-matriz [26, 30]. La hidrólisis enzimática subsecuente redujo la CRA comparado con ultrasonido solo, aunque manteniéndose superior al control. Esta reducción puede atribuirse a la generación de fragmentos de bajo peso molecular que se liberan de la matriz, reduciendo la capacidad estructural de retención [27]. Adicionalmente, la degradación enzimática de arabinosilanos y  $\beta$ -glucanos puede alterar la red tridimensional responsable de la retención física del agua [31].

La ausencia de diferencias entre 1h y 4h de hidrólisis (3.85 vs 3.81 g/g) sugiere que las modificaciones estructurales alcanzan equilibrio temprano bajo las condiciones evaluadas, indicando que tiempos prolongados no proporcionan beneficios adicionales para este parámetro. Los valores obtenidos (3.43-4.18 g/g) se encuentran dentro del rango reportado para BSG (3.0-5.0 g/g) [18], confirmando la efectividad de los tratamientos. La mejora del 22% con ultrasonido es tecnológicamente relevante, considerando que la

CRA influye directamente en la textura y estabilidad durante almacenamiento en productos cárnicos, panadería y análogos vegetales [32].



**Figura. 3.** Capacidad de retención de agua del bagazo de cebada nativo y modificado mediante ultrasonido (US) y del proceso secuencial de ultrasonido seguido de hidrólisis enzimática (US→HE).

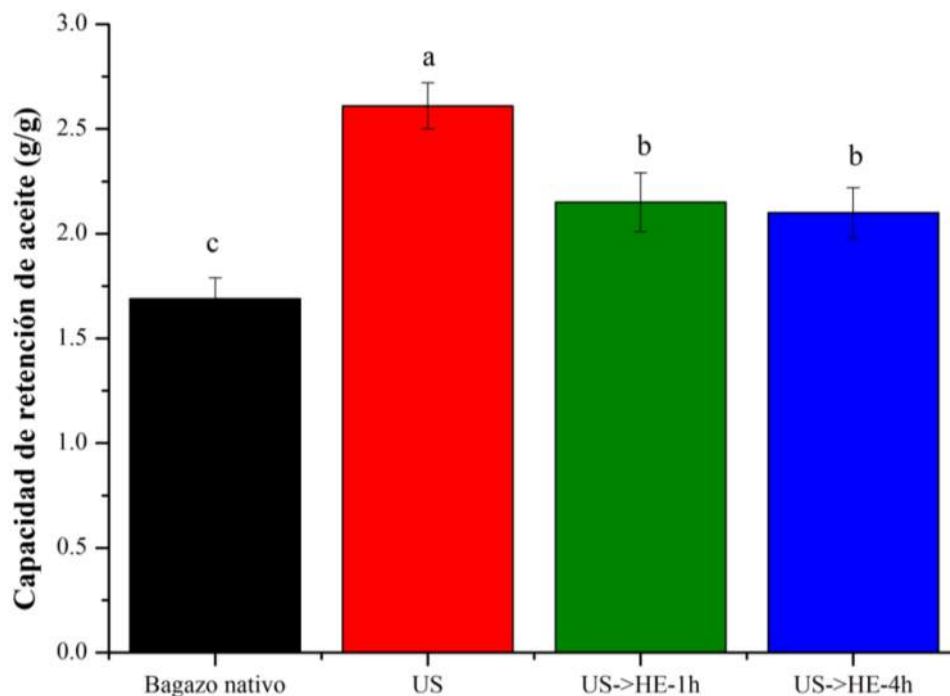
### 3.4. Capacidad de retención de aceite (CRA)

La capacidad de retención de aceite mostró diferencias significativas entre tratamientos (Figura 4). El BSG nativo presentó una CRA de 1.69 g/g, mientras que el ultrasonido la incrementó significativamente hasta 2.61 g/g ( $p < 0.05$ ), representando un aumento del 54%. Los tratamientos secuenciales (US→HE-1h y US→HE-4h) mostraron valores intermedios (2.15 y 2.10 g/g, respectivamente), superiores al nativo, pero inferiores al ultrasonido solo.

El incremento con ultrasonido se atribuye a la alteración de la estructura microfibrilar por cavitación acústica, que aumenta la porosidad y expone grupos hidrofóbicos capaces de interactuar con lípidos [33]. La disrupción de la matriz lignocelulósica crea cavidades adicionales que facilitan la captación y retención de aceite mediante interacciones hidrofóbicas y atrapamiento físico [34].

La hidrólisis enzimática subsecuente redujo parcialmente la CRA comparado con ultrasonido solo. Esta reducción puede explicarse por la degradación enzimática de componentes estructurales que generan sitios de retención, liberando fragmentos que no contribuyen a la capacidad de retención [35]. La ausencia de diferencias entre 1h y 4h indica que las modificaciones estructurales alcanzan equilibrio temprano.

Los valores obtenidos (1.69-2.61 g/g) se encuentran en el rango superior reportado para BSG procesado [18], confirmando la efectividad de los tratamientos. Desde una perspectiva tecnológica, la alta CRA mejora la retención de aceite en productos de panadería, reduce la sinéresis en embutidos y contribuye a la estabilidad durante almacenamiento [36]. Nutricionalmente, la capacidad de retención de aceite puede contribuir a la regulación de la absorción lipídica en el tracto gastrointestinal, con efectos potenciales sobre el colesterol sérico [37].



**Figura. 4.** Capacidad de retención de aceite del bagazo de cebada nativo y modificado mediante ultrasonido (US) y del proceso secuencial de ultrasonido seguido de hidrólisis enzimática (US→HE).

### 3.5. Contenido de fenoles totales y capacidad antirradical (DPPH y ABTS)

El contenido de fenoles totales (CFT) mostró diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 1). El BSG nativo presentó la mayor concentración (1.62 mg EAG/g), mientras que todos los tratamientos redujeron significativamente este valor (0.89-1.10 mg EAG/g;  $p < 0.05$ ). Esta reducción puede atribuirse a la degradación parcial o liberación de compuestos fenólicos durante los tratamientos [38].

La capacidad antirradical DPPH mostró un comportamiento diferente. Los tratamientos secuenciales (US→HE-1h y US→HE-4h) alcanzaron valores superiores al nativo (0.66 y 0.65 vs 0.58 mg ET/g;  $p < 0.05$ ), mientras que el ultrasonido solo mantuvo valores similares al control. Este incremento sugiere la liberación de compuestos fenólicos de bajo peso molecular con mayor actividad específica [39].

La capacidad antirradical ABTS mostró actividad únicamente en las muestras tratadas. El BSG nativo no presentó actividad detectable, mientras que todos los tratamientos mostraron actividad significativa. El tratamiento secuencial US→HE-4h alcanzó el valor más alto (0.81 mg ET/g), superior al ultrasonido solo (0.71 mg ET/g). Esta actividad indica afinidad de los fenoles liberados hacia el radical ABTS hidrofílico [40].

La reducción del CFT acompañada del incremento en capacidad antirradical se explica por cambios en el perfil y estado de los compuestos fenólicos. La cavitación acústica puede romper enlaces éster entre fenoles y componentes de la pared celular, liberando ácidos fenólicos libres más reactivos [41]. La hidrólisis enzimática posterior puede generar agliconas y moléculas de menor peso molecular con mayor accesibilidad y reactividad redox [42, 43].

Los valores de capacidad antirradical obtenidos en este estudio (0.56-0.66 mg ET/g para DPPH y 0.44-0.81 mg ET/g para ABTS) son inferiores a los rangos reportados en la literatura para el bagazo de malta tratado [44]. Esta variación puede deberse a diferencias en el origen de la materia prima, los solventes o los métodos de extracción utilizados. A pesar de esto, el tratamiento del material resultó en una mejora significativa de

su capacidad antirradical. La mejora es particularmente notable en la actividad antioxidante frente al radical ABTS, lo cual es coherente con la literatura que indica que los compuestos fenólicos del bagazo tienen una mayor afinidad por este radical. Este potencial antioxidante demostrado en el material modificado es relevante para su aplicación en el desarrollo de alimentos funcionales. Los resultados indican que, aunque el CFT disminuyó, la eficacia antioxidante se mantuvo o incrementó, sugiriendo una modificación cualitativa del perfil fenólico provocada por la secuencia de tratamientos. Los tratamientos secuenciales US→HE resultan prometedores para maximizar la capacidad antirradical, particularmente frente al radical ABTS, para aplicaciones donde se requiera neutralización de radicales libres.

**Tabla 1.** Contenido de fenoles totales (CFT) y capacidad antirradical (DPPH y ABTS) del bagazo de malta de cebada nativo, modificado mediante ultrasonido (US) y del proceso secuencial de ultrasonido seguido de hidrólisis enzimática (US→HE) (media +/- desviación estándar).

Muestra	CFT (mg EAG/g s.s.)	DPPH (mg ET/g s.s.)	ABTS (mg ET/g s.s.)
Bagazo nativo	1.62 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.58 ± 0.01 <sup>b</sup>	N.D.
US	1.09 ± 0.07 <sup>b</sup>	0.56 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.71 ± 0.004 <sup>b</sup>
US→HE-1h	1.10 ± 0.11 <sup>b</sup>	0.66 ± 0.001 <sup>a</sup>	0.44 ± 0.02 <sup>c</sup>
US→HE-4h	0.89 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.65 ± 0.008 <sup>a</sup>	0.81 ± 0.005 <sup>a</sup>

N.D: no detectable. Letras diferentes en una misma columna indican que las medias son significativamente diferentes entre sí de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

#### 4. Conclusiones

El tratamiento de ultrasonido (US) y su aplicación secuencial con hidrólisis enzimática (US→HE) modificaron de forma significativa las propiedades tecno-funcionales y antioxidantes del bagazo de malta de cebada (BSG), sin afectar su densidad aparente. El ultrasonido por sí solo aumentó la porosidad y la retención de agua y aceite, mientras que la hidrólisis enzimática realizada de manera posterior equilibró estos efectos. Aunque el contenido fenólico total disminuyó tras los tratamientos, la actividad antioxidante se mantuvo o incluso aumentó debido a la generación de compuestos fenólicos más pequeños y con mayor reactividad provocada por la secuencia del proceso. Las condiciones secuenciales US→HE-4h fueron las más efectivas, destacando en los ensayos DPPH y ABTS. El BSG modificado presenta aplicaciones potenciales en panificación, productos cárnicos, bebidas funcionales y barras energéticas, gracias a su equilibrio hidrofílico-lipofílico y su capacidad antioxidante. No obstante, se requieren estudios adicionales sobre escalabilidad, costos, estabilidad, validación sensorial y bioaccesibilidad. En conjunto, la modificación secuencial físico-enzimática del BSG es una estrategia sostenible y efectiva para valorizar un subproducto agroindustrial, aportando al desarrollo de ingredientes funcionales de nueva generación en el marco de la economía circular.

## 5. Agradecimientos

El autor expresa su agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo recibido mediante la Beca para Estudios de Doctorado (CVU: 212346). Asimismo, se agradece a la Universidad del Papaloapan por las facilidades brindadas y el respaldo institucional para la realización de este proyecto.

## 6. Conflicto de intereses

Los autores manifestamos que no existen conflictos de interés que pudieran condicionar los resultados, el análisis o la interpretación de los datos incluidos en este manuscrito. De igual forma, declaramos que en la elaboración, análisis y desarrollo del presente trabajo no se hizo uso de herramientas de inteligencia artificial.

## 7. Declaratoria de uso de Inteligencia Artificial

Los autores declaramos que en la elaboración, análisis y desarrollo del presente trabajo no se hizo uso de herramientas de inteligencia artificial.

## 8. Resumen Grafico



## 9. Roles de contribución

ROL	AUTORES(AS)
Cocentualización	Utrilla-Coello, R.G.
Investigación	Primo-Mora, A.R.
Metodología	Sánchez-Ocampo, P.M.
Supervisión	Páramo-Calderón, D.E.
Visualización	Páramo-Calderón, D.E.
Escritura-borrador-original	Primo-Mora, A.R.
Escritura-revisión-edición	Aparicio-Saguilán, A.

Nota. Contributor Role Taxonomy (CRediT)

## 10. Referencias

- [1] Granato, D., Barba, F. J., Bursac Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., & Putnik, P. (2020). Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 11, 93-118. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>
- [2] Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2018). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. *Journal of Functional Foods*, 18, 820-897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
- [3] Galanakis, C. M. (2012). Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends in Food Science & Technology*, 26(2), 68-87. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.03.003>
- [4] Trevizan, J., Bido, G., Ferrari, A., & Felipe, D. (2021). Nutritional Composition of Malted Barley Residue from Brewery. *The Journal of Men's Studies*, 11, 27. <https://doi.org/10.5539/jms.v11n1p27>.
- [5] Ikram, S., Huang, L., Zhang, H., Wang, J., & Yin, M. (2017). Composition and nutrient value proposition of brewers spent grain. *Journal of Food Science*, 82(10), 2232-2242. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13794>.
- [6] Verni, M., Pontonio, E., Krona, A., Jacob, S., Pinto, D., Rinaldi, F., Verardo, V., Díaz-De-Cerio, E., Coda, R., & Rizzello, C. (2020). Bioprocessing of Brewers' Spent Grain Enhances Its Antioxidant Activity: Characterization of Phenolic Compounds and Bioactive Peptides. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01831>.
- [7] Bonifácio-Lopes T, Vilas Boas AA, Coscueta ER, Costa EM, Silva S, Campos D, Teixeira JA, Pintado M. Bioactive extracts from brewer's spent grain. *Food Funct.* 2020 Oct 21;11(10):8963-8977. doi: 10.1039/d0fo01426e. Erratum in: *Food Funct.* 2021 Nov 29;12(23):12162. doi: 10.1039/d1fo90072b. PMID: 33001088.
- [8] Lynch, K., Strain, C., Johnson, C., Patangia, D., Stanton, C., Koç, F., Gil-Martínez, J., O'riordan, P., Sahin, A., Ross, R., & Arendt, E. (2021). Extraction and characterisation of arabinoxylan from brewers spent grain and investigation of microbiome modulation potential. *European Journal of Nutrition*, 60, 4393 - 4411. <https://doi.org/10.1007/s00394-021-02570-8>.
- [9] Forssell, P., Kontkanen, H., Schols, H., Hinz, S., Eijssink, V., Treimo, J., Robertson, J., Waldron, K., Faulds, C., & Buchert, J. (2008). Hydrolysis of Brewers' Spent Grain by Carbohydrate Degrading Enzymes. *Journal of The Institute of Brewing*, 114, 306-314. <https://doi.org/10.1002/J.2050-0416.2008.TB00774.X>.

- [10] Alonso-Riaño, P., Diez, M., Blanco, B., Beltrán, S., Trigueros, E., & Benito-Román, Ó. (2020). Water Ultrasound-Assisted Extraction of Polyphenol Compounds from Brewer's Spent Grain: Kinetic Study, Extract Characterization, and Concentration. *Antioxidants*, 9. <https://doi.org/10.3390/antiox9030265>.
- [11] Martín-García, B., Pasini, F., Verardo, V., Díaz-De-Cerio, E., Tylewicz, U., Gómez-Caravaca, A., & Caboni, M. (2019). Optimization of Sonotrode Ultrasonic-Assisted Extraction of Proanthocyanidins from Brewers' Spent Grains. *Antioxidants*, 8. <https://doi.org/10.3390/antiox8080282>.
- [12] Qian, J., Chen, D., Zhang, Y., Gao, X., Xu, L., Guan, G., & Wang, F. (2023). Ultrasound-Assisted Enzymatic Protein Hydrolysis in Food Processing: Mechanism and Parameters. *Foods*, 12. <https://doi.org/10.3390/foods12214027>.
- [13] Naibaho, J., Korzeniowska, M., Wojdyło, A., Figiel, A., Yang, B., Laaksonen, O., Foste, M., Vilu, R., & Viiard, E. (2021). Fiber modification of brewers' spent grain by autoclave treatment to improve its properties as a functional food ingredient. *LWT*, 149, 111877. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111877>
- [14] Pramana, Y. S., Yulianto, A., Paramitasari, D., Supriyanti, A., & Elisa, S. (2023). Comparison of Dietary Fiber Characteristics Prepared from Cassava Pulp Using Acid-Heat Treatment and Extrusion Process. 1246. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1246/1/012047>
- [15] Yamazaki, E., Murakami, K., & Kurita, O. (2005). Easy preparation of dietary fiber with the high water-holding capacity from food sources. *Plant Foods for Human Nutrition*, 60(1), 17–23. <https://doi.org/10.1007/S11130-005-2537-9>
- [16] Chumark, P., Khunawat, P., Sanvarinda, Y., Phornchirasilp, S., Morales, N. P., Phivthongngam, L., Ratanachamnong, P., Srisawat, S. and Pongrapeeporn, K. S. 2008. The in vitro and ex vivo antioxidant properties, hypolipidaemic and antioatherosclerotic activities of water extract of *Moringa oleifera* Lam Leaves. *Journal of Ethnopharmacology*. 116:439-446
- [17] Siddhuraju, P. y Becker, K. 2003. Antioxidant properties of various solvent extracts of total phenolic constituents from three different agro-climatic origins of drumstick tree (*Moringa oleifera* Lam.). *J. Agric. Food. Chem.* 51(8) 2144-2155.
- [18] Naibaho, J., & Korzeniowska, M. (2021). The variability of physico-chemical properties of brewery spent grain from 8 different breweries. *Heliyon*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06583>.
- [19] Devos, C., Bampouli, A., Brozzi, E., Stefanidis, G., Dusselier, M., Van Gerven, T., & Kuhn, S. (2024). Ultrasound mechanisms and their effect on solid synthesis and processing: a review. *Chemical Society Reviews*, 54, 85 - 115. <https://doi.org/10.1039/d4cs00148f>.
- [20] Zhang, T., Tang, H., Vavylonis, D., & Cosgrove, D. (2019). Disentangling loosening from softening: insights into primary cell wall structure. *The Plant journal: for cell and molecular biology*. <https://doi.org/10.1111/tpj.14519>.
- [21] Deng, L., Chen, Q., Ohm, J., Islam, S., Rao, J., Jin, Z., & Xu, M. (2024). Upcycling soybean meal through enzymatic conversion of insoluble fiber into soluble dietary fiber enhanced by ball milling.. *Journal of food science*. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17185>.
- [22] Düsenberg, B., Schmidt, J., Sensoy, I., & Bück, A. (2023). Flowability of plant based food powders: Almond, chestnut, chickpea, coconut, hazelnut and rice. *Journal of Food Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111606>.
- [23] Oladunmoye, O., Akinoso, R., & Olapade, A. (2010). EVALUATION OF SOME PHYSICAL–CHEMICAL PROPERTIES OF WHEAT, CASSAVA, MAIZE AND COWPEA FLOURS FOR BREAD MAKING. *Journal of Food Quality*, 33, 693-708. <https://doi.org/10.1111/J.1745-4557.2010.00351.X>.
- [24] Zhang, G., Cai, D., Wang, M., Zhang, C., Zhang, J., & Wu, Z. (2013). Microstructural modification of diatomite by acid treatment, high-speed shear, and ultrasound. *Microporous and Mesoporous Materials*, 165, 106-112. <https://doi.org/10.1016/J.MICROMESO.2012.08.005>.

- [25] Huang, Y., Li, C., Zheng, S., Fu, X., Huang, Q., Liu, G., & Chen, Q. (2024). Influence of Three Modification Methods on the Structure, Physicochemical, and Functional Properties of Insoluble Dietary Fiber from *Rosa roxburghii* Tratt Pomace. *Molecules*, 29. <https://doi.org/10.3390/molecules29092111>.
- [26] Sun, X., Liu, S., Zhang, X., Tao, Y., Boczkaj, G., Yoon, J., & Xuan, X. (2021). Recent advances in hydrodynamic cavitation-based pretreatments of lignocellulosic biomass for valorization. *Bioresource technology*, 126251. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126251>.
- [27] Li, S., Hu, N., Zhu, J., Zheng, M., Liu, H., & Liu, J. (2022). Influence of modification methods on physicochemical and structural properties of soluble dietary fiber from corn bran. *Food Chemistry: X*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100298>.
- [28] Dendegh, T., Ukeyima, M., & Dendegh, R. (2019). Proximate Composition, Functional and Sensory Properties of Pearl Millet, Soy Flour and Baobab Fruit Pulp Composite Flour as a Complementary Food. *Asian Food Science Journal*. <https://doi.org/10.9734/AFSJ/2019/V8I329992>.
- [29] Jeong, M., & Cho, S. (2023). Effect of pH-shifting on the water holding capacity and gelation properties of mung bean protein isolate. *Food research international*, 177, 113912. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113912>.
- [30] Madison, M., Coward-Kelly, G., Liang, C., Karim, M., Falls, M., & Holtzapple, M. (2017). Mechanical pretreatment of biomass – Part I: Acoustic and hydrodynamic cavitation. *Biomass & Bioenergy*, 98, 135-141. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2017.01.007>.
- [31] Zhu, N., Liu, Y., Zhang, X., Gao, H., Zeng, J., Yang, J., Song, J., Li, X., & Zhao, T. (2024). Effect of enzymatic hydrolysis of arabinoxylan on the quality of frozen dough during the subfreezing process. *Journal of the science of food and agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13433>.
- [32] Wang, Z., Wang, L., Yu, X., Wang, X., Zheng, Y., Hu, X., Zhang, P., Sun, Q., Wang, Q., & Li, N. (2023). Effect of polysaccharide addition on food physical properties: A review. *Food chemistry*, 431, 137099. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137099>.
- [33] Hassan, Z., Imran, M., Ahmad, M., & Khan, M. (2021). Ultrasound-Assisted Modification of Insoluble Dietary Fiber from Chia (*Salvia hispanica* L.) Seeds. *Journal of Food Quality*. <https://doi.org/10.1155/2021/5035299>.
- [34] Sang, J., Li, L., Wen, J., Gu, Q., Wu, J., Yu, Y., Xu, Y., Fu, M., & Lin, X. (2021). Evaluation of the Structural, Physicochemical and Functional Properties of Dietary Fiber Extracted from Newhall Navel Orange By-Products. *Foods*, 10. <https://doi.org/10.3390/foods10112772>.
- [35] Zhang, M., Liao, A., Thakur, K., Huang, J., Zhang, J., & Wei, Z. (2019). Modification of wheat bran insoluble dietary fiber with carboxymethylation, complex enzymatic hydrolysis and ultrafine comminution. *Food chemistry*, 297, 124983. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124983>.
- [36] Türker, İ., & Isleroglu, H. (2023). Dietary fibers of fenugreek seeds: Storage stability and food application. *Food and Health*. <https://doi.org/10.3153/fh23015>.
- [37] Zhu, R., Tan, S., Wang, Y., Zhang, L., & Huang, L. (2023). Physicochemical Properties and Hypolipidemic Activity of Dietary Fiber from Rice Bran Meal Obtained by Three Oil-Production Methods. *Foods*, 12. <https://doi.org/10.3390/foods12193695>.
- [38] Iadecola, R., Ciccioritti, R., Ceccantoni, B., Bellincontro, A., & Amoriello, T. (2022). Optimization of Phenolic Compound Extraction from Brewers' Spent Grain Using Ultrasound Technologies Coupled with Response Surface Methodology. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14063309>.
- [39] Carciocchi, R., Sologubik, C., Fernández, M., Manrique, G., & D'Alessandro, L. (2018). Extraction of Antioxidant Phenolic Compounds from Brewer's Spent Grain: Optimization and Kinetics Modeling. *Antioxidants*, 7. <https://doi.org/10.3390/antiox7040045>.

- [40] Kitrytė, V., Šaduikis, A., & Venskutonis, P. (2015). Assessment of antioxidant capacity of brewer's spent grain and its supercritical carbon dioxide extract as sources of valuable dietary ingredients. *Journal of Food Engineering*, 167, 18-24. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2014.12.005>.
- [41] Zhong, X., Zhang, S., Wang, H., Yang, J., Li, L., Zhu, J., & Liu, Y. (2022). Ultrasound-alkaline combined extraction improves the release of bound polyphenols from pitahaya (*Hylocereus undatus* 'Foolon') peel: Composition, antioxidant activities and enzyme inhibitory activity. *Ultrasonics Sonochemistry*, 90. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106213>.
- [42] Kornpointner, C., Scheibelreiter, J., & Halbwirth, H. (2022). Snailase: A Promising Tool for the Enzymatic Hydrolysis of Flavonoid Glycosides From Plant Extracts. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.889184>.
- [43] Vilas-Franquesa, A., Frygas, C., Casertano, M., Montemurro, M., & Fogliano, V. (2023). Upcycling mango peels into a functional ingredient by combining fermentation and enzymatic-assisted extraction. *Food chemistry*, 434, 137515. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137515>.
- [44] Flavia Rafaela Ludka, Ana Beatriz Klosowski, Giovani Almeida Camargo, Aline Silva Justo, Evelyn Assis Andrade, Flávio Luis Beltrame, Juliana Bonametti Olivato, Brewers' spent grain extract as antioxidants in starch-based active biopolymers, *International Journal of Food Science and Technology*, Volume 59, Issue 1, January 2024, Pages 142–150, <https://doi.org/10.1111/ijfs.16785>

---

## ***Sagittaria lancifolia* en la remoción de DQO y nutrientes de efluentes agrícolas con humedales artificiales de flujo subsuperficial**

### ***Sagittaria lancifolia* in the removal of COD and nutrients from agricultural effluents using artificial subsurface flow wetlands**

Estrada-Pérez, N.<sup>1\*</sup> , Lopez-Ocaña G.<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Laboratorio de Tecnología del Agua, División Académica de Ciencias Biológicas, Carretera Villahermosa-Cárdenas Km. 0.5 S/N, Ranchería Emiliano Zapata, 86150 Villahermosa, Tabasco, México.

\*estrada.nancy95@gmail.com

---

#### **Resumen**

Los humedales artificiales fijan contaminantes en la superficie del medio de soporte transformando los compuestos por medio de microorganismos logrando tratamientos satisfactorios con bajo consumo de energía y poco mantenimiento. Con el objetivo de remover NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PT y DQO, se trató un afluente agrícola en Tabasco, con concentraciones iniciales de 11.62 mg/L de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 71.40 mg/L de PT y 4402.20 mg/L de DQO, mediante humedales artificiales de flujo subsuperficial con *Sagittaria lancifolia* (HAFSSI), con 4 días de tiempo de retención y 0.5 m de tirante con grava de ¾". El humedal artificial de flujo subsuperficial Control (HAFSC) alcanzó remociones de 35.6% de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 81% de PT y 99.7% de DQO y el humedal flujo subsuperficial con *Sagittaria lancifolia* (HAFSSI) removió un 94 % de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 83.1% de PT y 99.9% de DQO. Esta especie vía humedales artificiales muestra un potencial alto en la fitorremediación de aguas residuales de la industria agropecuaria.

**Palabras claves:** *Agropecuaria, eficiencia de remoción, Fósforo, Nitrato.*

#### **Abstract**

Constructed wetlands fix contaminants on the surface of the support medium by transforming elements through microorganisms, achieving satisfactory treatments with low energy consumption and little maintenance. To remove NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, TP and COD, an agricultural effluent in Tabasco was treated, with initial concentrations of 11.62 mg/L of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 71.40 mg/L of TP and 4402.20 mg/L of COD, using subsurface flow constructed wetlands with *Sagittaria lancifolia*, with 4 days of retention time and 0.5 m of depth with ¾" gravel. The subsurface flow control wetland (HAFSC) achieved removals of 35.6% of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 81% of TP and 99.78% of COD and the subsurface flow Constructed wetland with *Sagittaria lancifolia* (HAFSSI) removed 99.7% of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 83.1% of TP and 99.9% of COD. This species via Constructed wetlands shows a high potential in the phytoremediation of wastewater from the agricultural industry.

**Keywords:** *Agriculture, removal efficiency, Phosphorus, Nitrate.*

---

Recibido: 18-septiembre-2025, Aceptado: 12-marzo-2026, Publicado: 30-abril-2026

## **1. Introducción**

El aumento acelerado de la población ha incrementado la producción agrícola para satisfacer las altas demandas alimenticias existentes, en consecuencia a esto el sector agrícola se ha convertido en una de las principales fuentes de contaminación de cuerpos de agua, gran parte de los agroquímicos utilizados son

transportados por filtración o por escorrentía superficial según las características hidrogeográficas, en México el 77% de agua dulce es utilizada para riego agrícola (Reyes- Padro, 2022).

El volumen de generación anual de plaguicidas oscila dentro de los 81, 878 toneladas (INEGI, 2019) aunado al estrés hídrico este tipo de aguas residuales tienden a ser descargadas sin tratamiento previo, cuantificado plaguicidas organoclorados, carbamatos y piretroides en niveles superiores a los 10 – 500 µg/L (Calcina-Benique et al., 2022) siendo esto un peligro eminente para la calidad del agua, los organismos que habitan en diversos cuerpos de agua e incluso para la salud humana (Grondona et al., 2022). Los plaguicidas aportan altos niveles de nutrientes como nitrógeno y fósforo, así como materia orgánica biodegradable y no biodegradable, por lo que es recomendable establecer sistemas de tratamiento de aguas que brinden resultados eficientes en la remoción de nutrientes, materia orgánica y metales pesados (Ferat et al., 2020). Dentro de las alternativas se ha observado para el tratamiento de aguas residuales son los humedales artificiales, los cuales son sistemas construidos para manipular los procesos biológicos dentro de un entorno natural semicontrolados, tienen numerosos beneficios como operación y mantenimiento simples, son energéticamente eficientes y rentables proporcionando un hábitat natural en zonas urbanas, en la actualidad su aplicación se extiende para limpiar efluentes industriales, drenajes de minas, lixiviados de vertederos, aguas contaminadas de ríos, lagos y efluentes agrícolas (Pérez et al., 2022).

Los humedales artificiales (HA) se componen por un medio de soporte el cual influye en el movimiento del agua y el crecimiento de plantas, proporcionan el área superficial para que los microorganismos se adhieran y puedan actuar como medio de filtración y adsorción de contaminantes formando una biopelícula y finalmente brindando apoyo a las raíces de las especies (Ji et al., 2022) por otro lado, un elemento importante de los humedales artificiales son las especies las cuales son evaluadas en diferentes zonas geográficas por sus efectos positivos en la eliminación de nutrientes y compuestos orgánicos, las cuales se encuentran en humedales naturales: *C. papyrus*, *P. australis*, *T. latifolia* y *Scirpus sylvaticus*, el rol de estas se presenta en relación con efectos físicos, la fijación de los microorganismos, la evapotranspiración, aislamiento térmico y aspectos estéticos del sistema (Vidanage et al., 2020).

La especie *Sagittaria lancifolia* se ha reportado con alta eficiencia de remoción de color, turbiedad y materia orgánica así como contribuir con la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), siendo una especie versátil adaptada a cualquier flujo en humedales construidos, logrando remociones de hasta un 97% en Sólidos Suspendidos Totales (SST), 94% en Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), 93% en DQO y 99.9 % en coliformes fecales (Jiang y Chui, 2022), teniendo en cuenta estos datos, se implementaron 6 humedales artificiales de flujo subsuperficial, tres con la especie *Sagittaria lancifolia* y tres sin especie para verificar la capacidad de remoción de la especie, donde se evaluó la remoción de Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Fósforo Total (PT) y DQO de afluentes agrícolas.

## 2. Metodología Experimental

### 2.1 Localización

La investigación se realizó en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL) específicamente en el Laboratorio de Tecnología del Agua de la localización en la latitud 17°59'28.06" N y longitud 92°58'26.39" O.

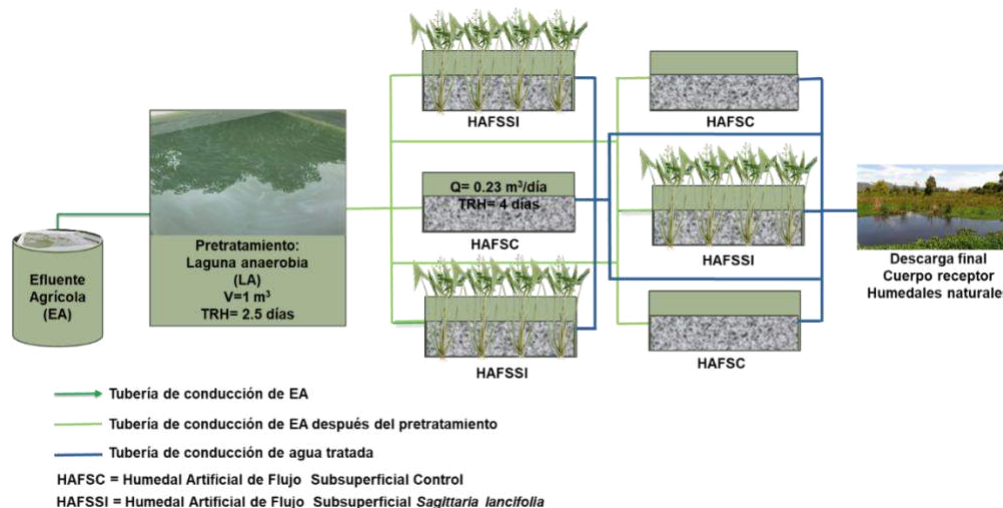
### 2.3 Diseño y construcción

Se usaron seis HAFS hechos con placas de metal resistente con un volumen de 3 m<sup>3</sup>, forrado con pintura alquídica en exterior y protegido por un sistema impermeable y membrana textil. Los HA contenían 0,5 m de grava de río con un tamaño entre 2.36 mm y 19 mm para funcionar como soporte para la especie. Para la distribución del efluente agrícola se realizaron instalaciones hidráulicas de PVC de 1" para desplazar el

flujo de una laguna anaerobia con capacidad de  $1 \text{ m}^3$  a los humedales. El caudal de diseño por estanque fue de  $0.2 \text{ m}^3/\text{día}$ , con un tiempo de retención hidráulica de 4 días, con el fin de alcanzar 92 % de remoción de la  $\text{DBO}_5$  (López et al. 2014). A tres unidades experimentales no se les colocaron especies para que funcionaran como control, posteriormente a tres se les sembró *S. lancifolia*.

## 2.4 Operación y mantenimiento

El agua tratada fue agua reconstituida de efluentes agrícolas donde principalmente se utilizó pesticidas como el paraquat y mancozeb para la eliminación de plagas, una vez obtenido el efluente agrícola se almacena en una laguna anaerobia que cumple también la función de pretratamiento (eliminación arenas y sólidos voluminosos), alimentando al sistema de tratamiento con tubería hidráulica de PVC conectadas, que direccionan el flujo para repartir a las unidades experimentales (figura 1). El caudal promedio ( $Q_{\text{med}}$ ) de operación es de  $0.23 \text{ m}^3/\text{día}$ , los HAFS presentaron un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 4 días, con una altura del medio de soporte de 0.5 m y una porosidad de  $n = 49.99\%$ . Posteriormente, el efluente fue descargado en un humedal natural ubicado en la escuela.



**Figura. 1.** Diagrama del sistema de tratamiento de aguas agrícolas usando humedales artificiales de flujo subsuperficial con *S. lancifolia* (HAFSSI) y los humedales de control (HAFSC) con sus réplicas. Fuente: Elaboración propia.

## 2.5 Muestreo siembra y estabilización de las especies

La *S. lancifolia* fue extraída de humedales naturales con presencia de descarga de aguas residuales carretera Villahermosa - Centla ( $18^\circ 20.361'N$  y  $92^\circ 29.467'O$ ). Cada ejemplar fue extraído de manera completa y no sólo las flores o los frutos (Nabila et al., 2023). Se colectaron individuos jóvenes, eliminando lodos y materiales adheridos al sistema radicular mediante lavado, fueron colocados en contenedores de 10 L, con agua del medio en el que fueron retiradas las plantas, con la finalidad de evitar el estrés de las plantas durante el traslado. Después de 21 días, las especies comenzaron a crecer, posteriormente se trasplantaron a los HA, distribuyéndolas en tres HA (Figura 1) a continuación, se sembraron 15 plantas por cada reactor, formando cinco filas de tres plantas cada una. El tiempo de adaptación en las unidades experimentales fue de 40 días, después de este periodo se inició la fase de estabilización del humedal la cual duró aproximadamente seis meses y la evaluación del sistema fue realizada después de cumplir el año de su periodo de estabilización.

## 2.6 Caracterización de aguas residuales

El muestreo se realizó durante 10 semanas durante los meses de febrero y abril del 2024. Este se realizó durante cuatro días de la semana (40 muestras). Se monitorearon 8 puntos de muestreos, una del efluente agrícola, una de la laguna anaerobia y seis de los HA teniendo un total de 320 muestras simples, a las cuales se les determinó los parámetros de control como pH, temperatura, sólidos disueltos totales (SDT) y conductividad eléctrica (CE) medidos con un multiparamétrico (HI 9828, Hanna InstrumentMR, EUA), además de turbiedad y color determinados por un turbidímetro LaMotteMR (Modelo TC3000we, métodos EPA 180,1 y SM 2120B, Rumania). En el caso del PT y  $\text{NO}_3^-$  se determinaron una vez por semana; analizando un total de 100 muestras. Para determinar el  $\text{NO}_3^-$ , se realizó según el método SM4500 $\text{NO}_3^-$  La técnica de luz ultravioleta (UV) (4500- $\text{NO}_3^-$ B), que mide la absorbancia de  $\text{NO}_3^-$  a 220 nm, es adecuada para el cribado de aguas contaminadas. Para determinar PT se utilizó el método SM4500-P, la DQO se determinó mediante el método USEPA 410,4 y fue medida con el equipo Hanna® HI839800-01.

## 2.7 Diseño experimental

Teniendo en cuenta que los datos no cumplieron con los postulados de normalidad y homocedasticidad, se empleó la prueba de Kruskal-Wallis seguida de Bonferroni para identificar diferencias significativas entre puntos de muestreos, las pruebas y los gráficos se realizaron software STATGRAPHICS CENTURION® v19,0, utilizando un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ . Teniendo en cuenta a los tres tratamientos procedentes de un factor tres HAFSC Control sin especies y tres HAFSSI (*Sagittaria lancifolia*).

## 2.8 Eficiencia de remoción

Para calcular la eficiencia de remoción de los tratamientos se presenta la siguiente ecuación, donde  $\eta$  representa la eficiencia de remoción en %, C1 la concentración del afluente de aguas residuales y C2 la concentración del efluente de aguas residuales (Lin X et al. 2003).

$$\eta = \frac{C1 - C2}{C1} * 100 \dots\dots\dots(1)$$

## 2.9 Cinética de degradación.

Se obtuvo que el comportamiento de las aguas residuales es una reacción cinética de primer orden, la tasa de degradación k (DQO,  $\text{NO}_3^-$  y PT) se estimó con la siguiente ecuación, para así poder determinar el coeficiente cinético (Crites y Tchobanoglous, 2000; López-Ocaña et al. 2019).

$$k_o = \ln \frac{C_n}{C_o} \dots\dots\dots(2)$$

Donde  $C_n$  = concentración del efluente,  $C_o$  = concentración de afluente,  $\tau$  = tiempo de retención,  $k_o$  = constante de degradación. Una vez evaluadas las concentraciones se procede a realizar los gráficos de los coeficientes en el Excel 2024.

## 3. Resultados

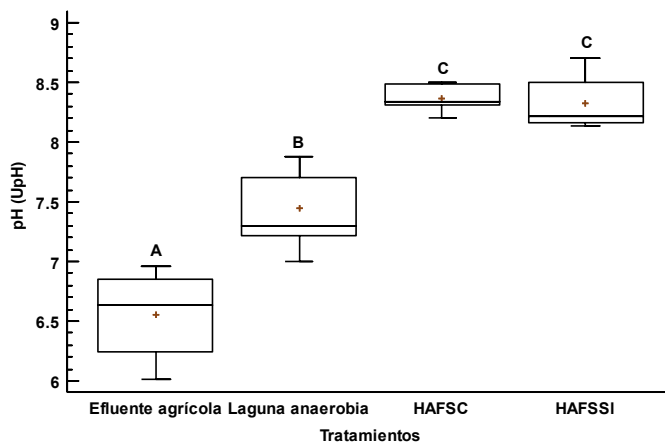
### 3.1 Características de la calidad del agua

Un agua residual de índole agrícola tiende a presentar características fisicoquímicas similares a las que se presentan en la presente investigación, en ocasiones llegan a tener un pH De 6.4 UpH, concentraciones de DQO por encima de los 4000 mg/L,  $\text{NO}_3^-$  que superan los 20 mg/L incluso altas concentraciones de PT mayores a 80 mg/L (Córdova et al., 2021).

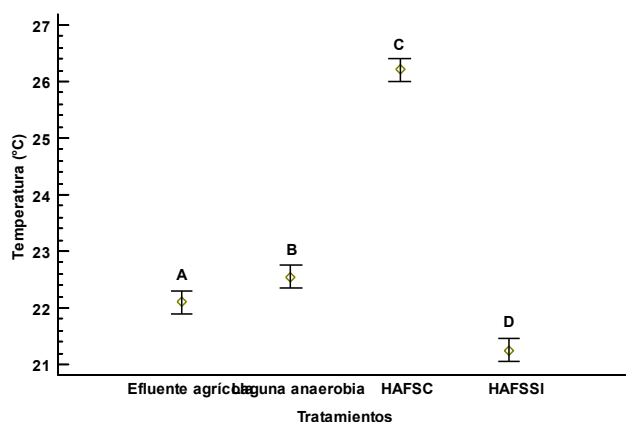
**Tabla 1.** Valores promedio ( $\pm$ DE) en los efluentes de las unidades de tratamiento (N=40).

Parámetros	Efluente agrícola		Laguna anaerobia		HAFSC		HAFSSI	
	<i>X</i>	<i>DE</i>	<i>X</i>	<i>DE</i>	<i>X</i>	<i>DE</i>	<i>X</i>	<i>DE</i>
pH (UpH)	6.8	0.4	7.5	0.3	8.3	0.4	8.3	5.0
Temperatura (°C)	22.1	0.3	25.0	0.2	24.8	0.1	21.2	0.1
SDT (ppm)	730.7	17.7	659.2	15.7	434.5	20.5	322.1	119.2
CE (mS/cm)	1464.7	42.2	1265.7	31.3	864.1	49.1	640.9	237.7
Color (UC)	2841.9	558.1	2564.5	26.4	310.7	66.5	170.0	131.4
Turbiedad (UNT)	35.9	8.5	33.6	0.8	3.6	0.4	1.7	1.5
DQO (mg/L)	4420.0	276.6	4125.1	29.7	9.6	6.5	2.54	0.7
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	11.6	7.5	10.6	0.2	6.8	1.5	0.5	0.1
PT (mg/L)	71.4	12.0	68.3	2.8	12.4	1.4	11.08	0.3

En cuanto al comportamiento del Potencial de Hidrogeno (pH), la prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medianas de los tratamientos evaluados con un nivel de 95,0% de confianza. El valor mediano de pH más bajo se encontró en el Efluente agrícola con  $6.6 \pm (Q_1= 6.2, Q_3= 6.8)$  UpH, seguido de la laguna anaerobia con  $7.3 \pm (Q_1= 7.2, Q_3= 7.7)$  UpH, para el tratamiento Control se tiene  $8.3 \pm (Q_1= 8.3, Q_3= 8.4)$  UpH y finalmente el valor mediano más alto se reportó en el tratamiento HAFSSI con  $8.2 \pm (Q_1= 8.1, Q_3= 8.5)$  (Figura 2).

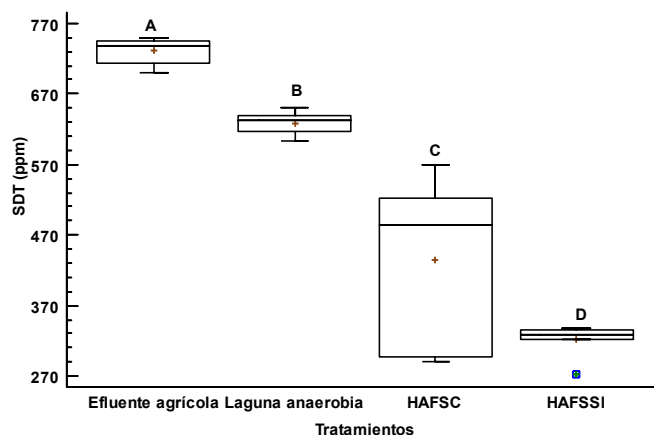
**Figura 2.** Valores medianos ( $\pm$ RI) para la variable pH (UpH) (N = 40).

Para el parámetro de temperatura se encontró diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,009$ ). El tratamiento HAFSSI presentó el valor promedio con desviación estándar más bajo con  $21.2 \pm 0.4$  °C, seguido del efluente agrícola con  $22.1 \pm 0.4$  °C, la laguna anaerobia presentó  $22.5 \pm 0.3$  °C y el valor medio más alto se observó en el HAFSC donde se presentaron  $26.2 \pm 0.8$  °C (Figura 3).



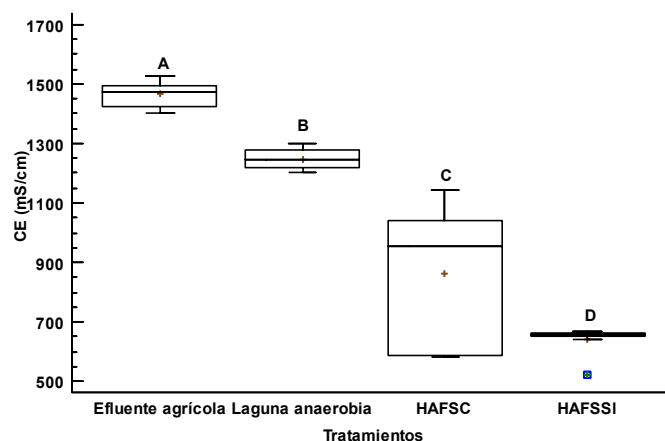
**Figura 3.** Valores medianos ( $\pm$ RI) para la variable Temperatura ( $^{\circ}$ C) (N = 40).

Los sólidos disueltos totales (SDT) mostraron en la prueba de Kruskal-Wallis diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medianas de los tratamientos evaluados con un nivel de 95,0% de confianza. El valor mediano de SDT más bajo se encontró en el tratamiento HAFSSI con  $322.1 \pm (Q_1= 323, Q_3= 333)$  ppm, seguido el HAFSC con  $434.5 \pm (Q_1= 298, Q_3= 522)$  ppm, para la laguna anaerobia se tiene  $627.5 \pm (Q_1= 616, Q_3= 639)$  ppm y finalmente el valor mediano más alto se reportó en el efluente agrícola con  $730 \pm (Q_1= 713, Q_3= 746)$  ppm (Figura 4).



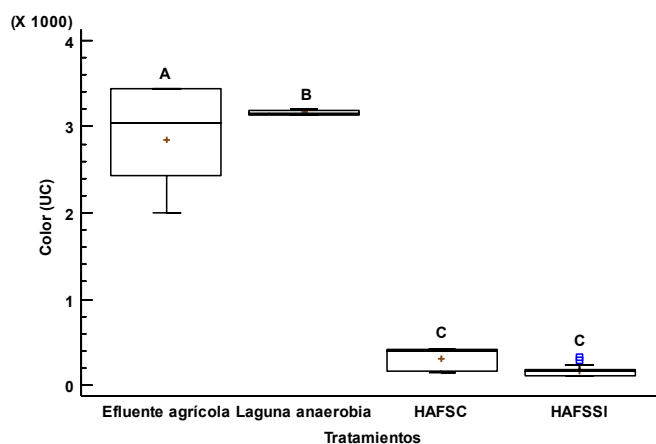
**Figura 4.** Valores medianos ( $\pm$ RI) para la variable SDT (ppm) (N = 40).

En cuanto al comportamiento del Conductividad eléctrica (CE), la prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medianas de los tratamientos evaluados con un nivel de 95,0% de confianza. El valor mediano de CE más bajo se encontró en el tratamiento HAFSSI con  $659 \pm (Q_1= 651, Q_3= 655)$  mS/cm, seguido del tratamiento HAFSC con  $954 \pm (Q_1= 588, Q_3= 1042)$  mS/cm, para la laguna anaerobia se tiene  $1247 \pm (Q_1= 1217, Q_3= 1280)$  mS/cm y finalmente el valor mediano más alto se reportó en el efluente agrícola con  $1470 \pm (Q_1= 1425, Q_3= 1496)$  mS/cm (Figura 5).



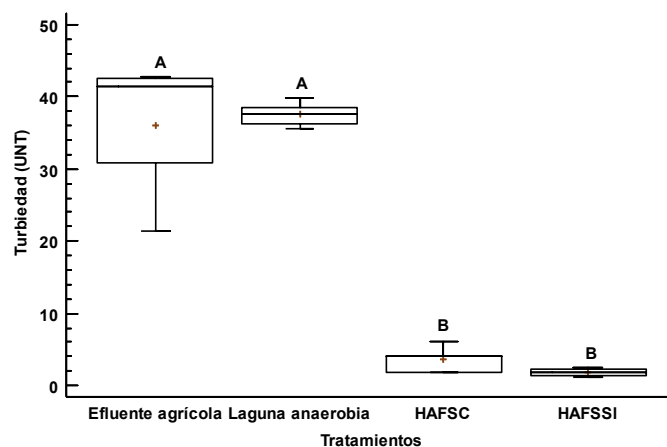
**Figura. 5.** Valores medianos ( $\pm$ RI) para la variable CE (mS/cm) (N = 40).

Para el Color la prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medianas de los tratamientos evaluados con un nivel de 95,0% de confianza. El valor mediano de color más bajo se encontró en el tratamiento HAFSSI con  $169 \pm (Q_1= 111, Q_3= 179)$  UC, seguido del tratamiento HAFSC con  $397 \pm (Q_1= 157, Q_3= 423)$  UC, para la laguna anaerobia se tiene  $3160 \pm (Q_1= 3141, Q_3= 3191)$  UC y finalmente el valor mediano más alto se reportó en el efluente agrícola con  $3040 \pm (Q_1= 2432, Q_3= 3441)$  UC (Figura 6).



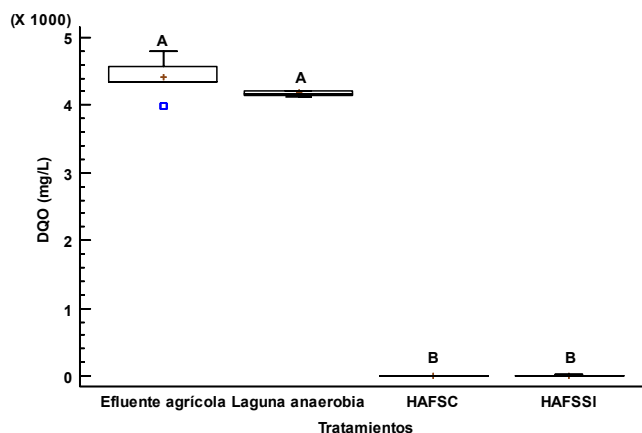
**Figura. 6.** Valores medianos ( $\pm$ RI) para la variable Color (UC) (N = 40).

La turbiedad mostro en la prueba de Kruskal-Wallis diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medianas de los tratamientos evaluados con un nivel de 95,0% de confianza. El valor mediano de turbiedad más bajo se encontró en el tratamiento HAFSSI con  $1.8 \pm (Q_1= 1.3, Q_3= 2.2)$  UNT, seguido el HAFSC con  $4 \pm (Q_1= 1.9, Q_3= 4.1)$  UNT, para la laguna anaerobia se tiene  $37.6 \pm (Q_1= 36.2, Q_3= 38.5)$  UNT y finalmente el valor mediano más alto se reportó en el efluente agrícola con  $41.5 \pm (Q_1= 30.8, Q_3= 42.6)$  UNT (Figura 7).



**Figura. 7.** Valores medianos ( $\pm$ RI) para la variable Turbiedad (UNT) (N = 40).

Para la demanda química de oxígeno (DQO) la prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medianas de los tratamientos evaluados con un nivel de 95,0% de confianza. El valor mediano de DQO más bajo se encontró en el tratamiento HAFSC con  $2.6 \pm (Q_1= 1.8, Q_3= 2.8)$  mg/L, seguido el HAFSSI con  $11 \pm (Q_1= 4, Q_3= 11)$  mg/L, para la laguna anaerobia se tiene  $4171 \pm (Q_1= 4151, Q_3= 4209)$  mg/L y finalmente el valor mediano más alto se reportó en el efluente agrícola con  $4336 \pm (Q_1= 4332, Q_3= 4569)$  mg/L (Figura 8).



**Figura. 8.** Valores medianos ( $\pm$ RI) para la variable DQO (mg/L) (N = 40).

En cuanto al comportamiento del Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), la prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medianas de los tratamientos evaluados con un nivel de 95,0% de confianza. El valor mediano de  $\text{NO}_3^-$  más bajo se encontró en el tratamiento HAFSSI con  $0.6 \pm (Q_1= 0.4, Q_3= 0.7)$  mg/L, seguido el HAFSC con  $6.1 \pm (Q_1= 5.9, Q_3= 8.6)$  mg/L, para la laguna anaerobia se tiene  $10.67 \pm (Q_1= 10.4, Q_3= 10.7)$  mg/L y finalmente el valor mediano más alto se reportó en el efluente agrícola con  $10.1 \pm (Q_1= 4.4, Q_3= 15.6)$  mg/L (Figura 9).

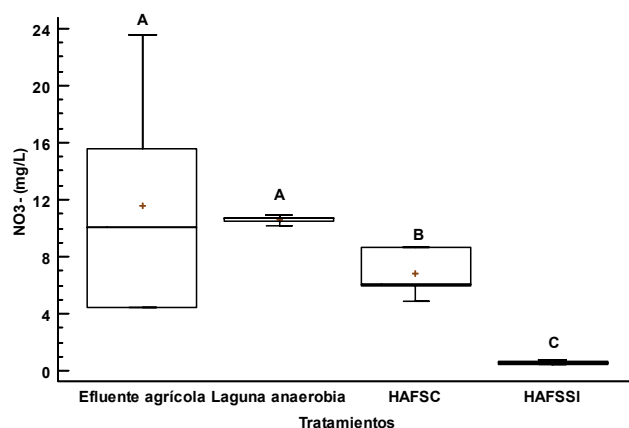


Figura. 9. Valores medianos ( $\pm$ RI) para la variable  $\text{NO}_3^-$  (mg/L) (N = 40).

El fósforo total (PT) demostró en la prueba de Kruskal-Wallis diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medianas de los tratamientos evaluados con un nivel de 95,0% de confianza. El valor mediano de PT más bajo se encontró en el tratamiento HAFSSI con  $11.2 \pm (Q_1= 10.9, Q_3= 11.3)$  mg/L, seguido el HAFSC con  $11.6 \pm (Q_1= 11, Q_3= 13.7)$  mg/L, para la laguna anaerobia se tiene  $64.5 \pm (Q_1= 63, Q_3= 68)$  mg/L y finalmente el valor mediano más alto se reportó en el efluente agrícola con  $65 \pm (Q_1= 60, Q_3= 84)$  mg/L (Figura 10).

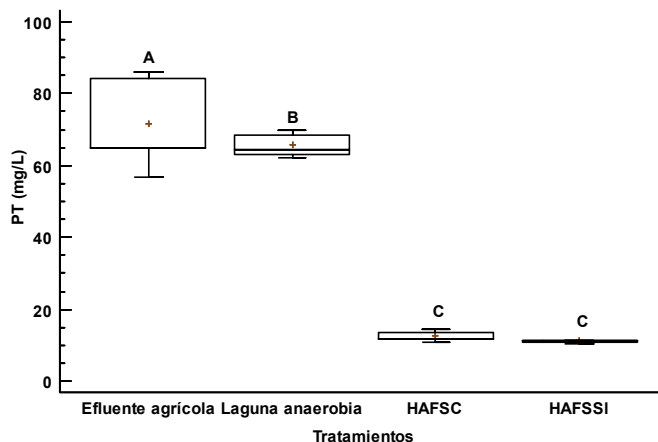


Figura. 10. Valores medianos ( $\pm$ RI) para la variable PT (mg/L) (N = 40).

### 3.2 Eficiencia de remoción

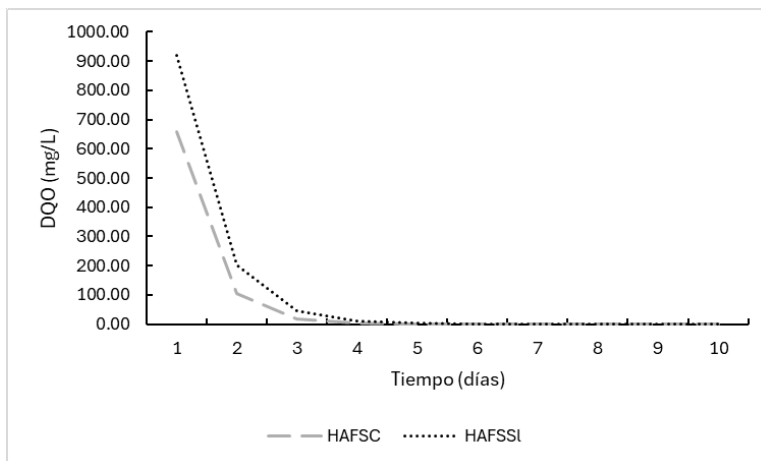
Las eficiencias de remoción de los parámetros evaluados se muestran en la Tabla 2. El humedal artificial de flujo subsuperficial Control (HAFSC) alcanzó remociones de 35.6% de  $\text{NO}_3^-$ , 81% de PT y 99.7% de DQO y el humedal flujo subsuperficial con *Sagittaria lancifolia* (HAFSC) removió un 94 % de  $\text{NO}_3^-$ , 83.1% de PT y 99.9% de DQO, mostrando que la especie evaluada tiene un alto nivel de adsorción de nutrientes y degradación de metales (Mancilla-Villa et al., 2022).

**Tabla 2.** Eficiencia de remoción de parámetros en los diferentes tratamientos (N=40).

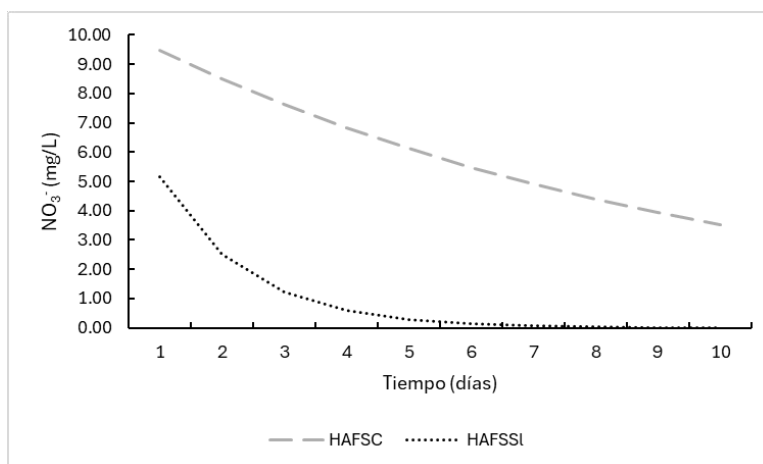
Parámetros	Laguna anaerobia (ER%)	HAFSC (ER%)	HAFSSI (ER%)
SDT (ppm)	14.1	30.7	48.6
CE (mS/cm)	14.8	30.7	48.6
Color (UC)	-11.4	90.1	94.6
Turbiedad (UNT)	72.2	63.1	82.2
DQO (mg/L)	5.1	99.7	99.9
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	8.9	35.6	94.4
PT (mg/L)	8.2	81	83.1

### 3.3 Cinética de degradación

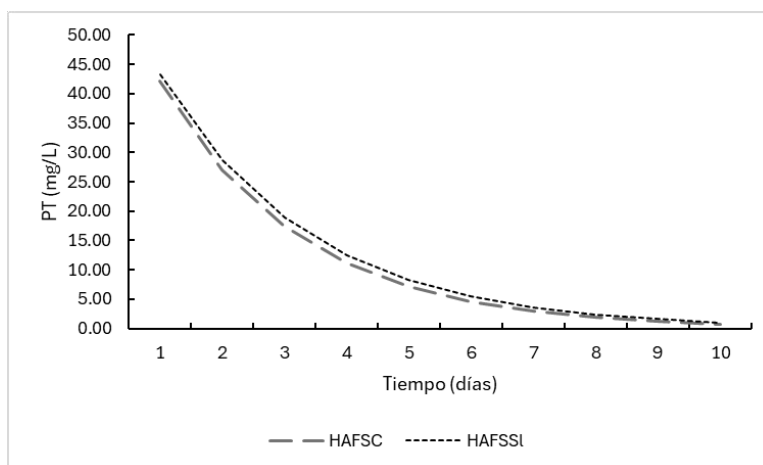
Para los coeficientes cinéticos ( $k$ ) de DQO, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y PT se estimaron con un TRH de 4 días, la temperatura promedio del agua presento comportamiento de 24.88°C para el HAFSC y 21.25°C para el HAFSSI, teniendo una constante ( $k$ ) para DQO de 1.85 días<sup>-1</sup> y 1.52 días<sup>-1</sup> respectivamente (figura 11), una constante cinética ( $k$ ) para NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de 0.11 días<sup>-1</sup> y 0.72 días<sup>-1</sup> respectivamente (figura 12) y una constante cinética ( $k$ ) para PT de 0.42 días<sup>-1</sup> y 0.44 días<sup>-1</sup> respectivamente (figura 13), con los resultados obtenidos se observó una mejor tasa de degradación en el HAFSSI.



**Figura. 11.** Coeficiente cinético  $k$  (días<sup>-1</sup>) para DQO en cada uno de los tratamientos, HAFSC con  $k= 1.85$  y HAFSSI con  $k= 1.52$ .



**Figura. 12.** Coeficiente cinético  $k$  (días<sup>-1</sup>) para  $\text{NO}_3^-$  en cada uno de los tratamientos, HAFSC con  $k=0.11$  y HAFSSI con  $k=0.72$ .



**Figura. 13.** Coeficiente cinético  $k$  (días<sup>-1</sup>) para PT en cada uno de los tratamientos, HAFSC con  $k=0.42$  y HAFSSI con  $k=0.44$ .

### 3.4 Característica de las especies

En la tabla 3 se observa el efecto de la *Sagittaria lancifolia* en su etapa de evaluación en donde se presentan datos de características morfológicas de la especie, teniendo un crecimiento notable sin embargo no hubo una propagación de esta esto debido a la disponibilidad de agua, ya que al ser un flujo subsuperficial carece de cierto volumen de agua, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y a la tolerancia de los contaminantes presentes en el efluente agrícola (Flores et al., 2023).

**Tabla 3.** Comportamiento de las especies en el periodo de febrero – abril 2024.

Parámetros	Etapa inicial	Etapa final
N° de plantas	15	16
Masa de planta (kg)	2.9 ± 0.2	4 ± 0.4
Largo de tallo (cm)	52 ± 6.4	85.5 ± 7.3
Diámetro de tallo (cm)	18.7 ± 0.5	19.6 ± 0.2
N° de hojas (cm)	4 ± 0	4.5 ± 0.6
Largo de hojas (cm)	23 ± 0.3	23.9 ± 0.2
Ancho de hojas (cm)	12.8 ± 0.2	13.4 ± 0.1
Largo de raíz (cm)	15 ± 0	27 ± 0
Biomasa total (kg)	59.5 ± 2.5	102.5 ± 1.3
Humedad (%)		120 ± 2.8

#### 4. Discusiones

La temperatura tiende a ser uno de los valores más importantes en los procesos donde intervienen sistemas biológicos, en los humedales se encuentra limitada la capacidad de remoción de contaminantes por factores ambientales, teniendo en cuenta que las reacciones bióticas tienden a ser mayores a temperaturas bajas (18 °C) que a temperaturas altas (35 °C), sin embargo se tiene en cuenta la influencia de los flujos de entrada así como la concentración de contaminantes determinado así temperaturas optimas de temperatura (Mora-Orozco et al., 2020), los tratamientos presentaron temperaturas de 21.5°C (HAFSC) y 24.88°C (HAFSSI) las cuales permiten una desnitrificación ayudando a las especies a la remover los nitritos.

El comportamiento promedio del pH de los tratamientos HAFSC (8.33 UpH) y HAFSSI (8.36 UpH), a comparación del pH inicial de 6.56 UpH siendo levemente alcalino lo cual puede llegar a ser perjudicial al disminuir los nutrientes necesario y dispensables para las plantas así como delimitar el oxígeno disponible para los organismos presentes generando estrés y afectando la tasa de crecimiento y supervivencia (Sierra et al., 2025) teniendo un pH por debajo de 9 UpH en los tratamientos se garantiza el crecimiento de plantas y actividad microbiana.

En los efluentes agrícolas los SDT miden la cantidad de minerales, sales y materia orgánica disuelta en el agua, niveles altos pueden dañar la capacidad de adsorción de nutrientes de las plantas y sobre todo la calidad del agua, según recomendaciones secundarias de la EPA (2025) las descargas de aguas superiores a los 1000 ppm indican presencia de iones tóxicos (Arciniega et al., 2024) sin embargo en los tratamientos con concentraciones promedio de 434.53 ppm (HAFSC) y 322.13 ppm (HAFSSI) se determina que las descargas de aguas residuales se encuentran libres de iones tóxicos para el cuerpo receptor.

Los tratamientos presentaron concentraciones promedio de CE por debajo de 800 mS/cm, se ha comprobado en trabajo anteriores que una alta concentración de CE puede ocasionar acumulación de sales en plantas lo que puede ser perjudicial en su crecimiento teniendo en cuenta un nivel de tolerancia de <800 mS/cm, considerándose no fitotóxica para las especies y organismos existentes (González et al., 2022).

McCalla et al., (2022) hallaron eficiencias de color y turbiedad en humedales artificiales con *Ceriodaphnia dubia*, *Hyaella azteca* y *Chironomus dilutus* para el tratamiento de aguas provenientes de una región agrícola en donde se obtuvieron eficiencias de remoción de 90% para turbiedad y 89% para color, siendo la *Sagittaria lancifolia* más de eficiente en la remoción de color (94.6%) y menos eficiente en turbiedad (82.2%) sin embargo, no son datos que causen efectos negativos en los sistemas de tratamientos.

Las eficiencias de remoción obtenidas para DQO,  $\text{NO}_3^-$  y PT con *Sagittaria lancifolia* es similar a los obtenidos con *Phragmites australis*, y *Typha latifolia* en humedales artificiales de flujo subsuperficial presentando por Šereš et al. (2021), teniendo concentraciones iniciales de agua de índole agrícola de  $7008 \pm 322.4$  mg/L de DQO,  $102.1 \pm 17.3$  mg/L de  $\text{NO}_3^-$  y  $92.5 \pm 2.0$  mg/L de PT, al final de cada humedal se presentaron concentraciones de  $53.0 \pm 42.6$  mg/L para DQO,  $91.4 \pm 6.4$  mg/L para  $\text{NO}_3^-$  y  $87.1 \pm 13$  mg/L para PT, con eficiencias de remoción de 99.4%, 10.48% y 5.84% respectivamente teniendo mejores resultados de remoción la *Sagittaria lancifolia* en cuanto a de  $\text{NO}_3^-$  y PT con 94.4% y 83.1% respectivamente.

La especie *Cyperus alternifolius* ha demostrado un potencial alto en la degradación de contaminantes en humedales artificiales para aguas de la industria agropecuaria presentando cinéticas de degradación de  $2.40$  días<sup>-1</sup> para DQO,  $0.81$  días<sup>-1</sup> para  $\text{NO}_3^-$  y  $0.61$  días<sup>-1</sup> para PT (Rahman et al., 2022), esto debido a la mayor complejidad metabólica que presentan los plaguicidas y herbicidas presentes en las aguas agrícolas así como la limitación por condiciones ambientales presente en los experimentos y la competencia de inhibición de actividad microbiana que pueda que pueda ocurrir debido a las características principales de los plaguicidas presentes en el agua, resultados similares se obtuvieron con la *Sagittaria lancifolia* para DQO ( $1.52$  días<sup>-1</sup>),  $\text{NO}_3^-$  ( $0.72$  días<sup>-1</sup>) y PT ( $0.44$  días<sup>-1</sup>).

## 5. Conclusiones

Como se puede observar en los resultados obtenidos en el presente trabajo, la especie *Sagittaria lancifolia*, tiene un algo potencial de adsorción de nutrientes, así como la asimilación y degradación de DQO, siendo el tratamiento en conjunto una alternativa sustentable, debido a sus bajos costos, fácil operación y mantenimiento y sobre todo siendo totalmente una tecnología verde lo cual contribuye con la preservación del medio ambiente.

## 6. Agradecimientos

Agradecemos a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación SECIHTI por otorgarme la beca dentro del periodo comprendido 01 de septiembre del 2022 al 31 de agosto de 2026. Registro No. 1006272. El apoyo otorgado a través de la Beca para Estudios de Doctorado en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas tropicales. Asimismo, se le agradece al autor: Gaspar López Ocaña por facilidad de las unidades experimentales para llevar a cabo la ejecución de este estudio de humedales artificiales, así como al Laboratorio de Tecnología del Agua de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, por el equipo analítico facilitado en este trabajo.

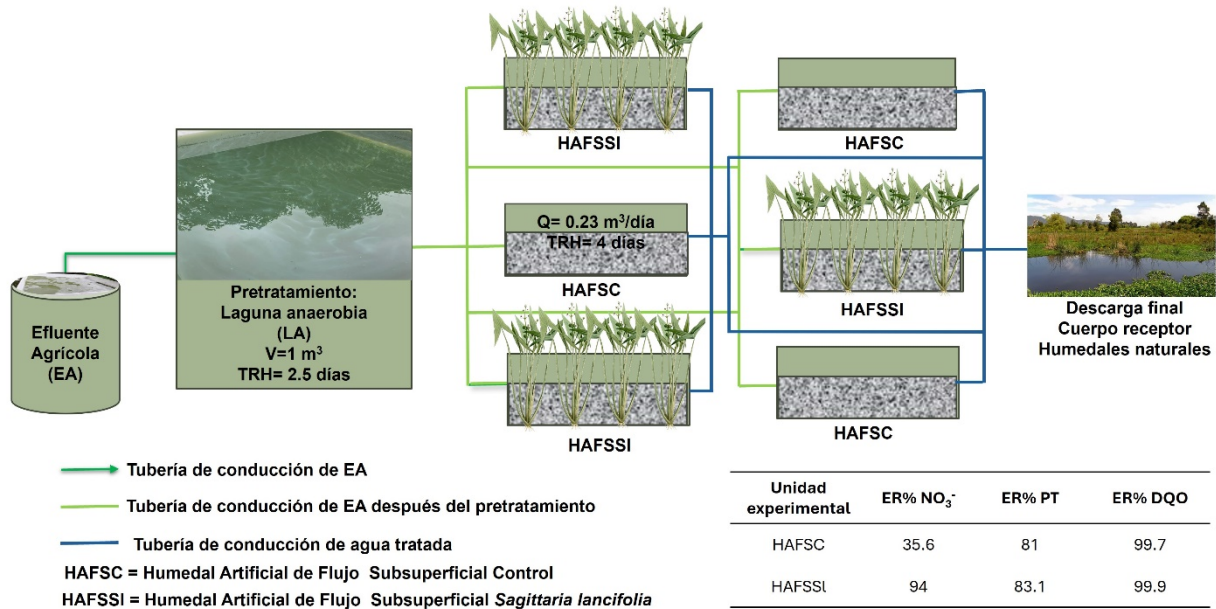
### 7. Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

### 8. Declaratoria de uso de inteligencia artificial

Los autores declaran que no han utilizado ninguna aplicación, software, páginas web de inteligencia artificial generativa en la redacción del manuscrito, en el diseño de tablas y figuras, ni en el análisis e interpretación de los datos

### 9. Resumen grafico



## 10. Roles de contribución

ROL	AUTORES(AS)
Cocentualización	Nancy Estrada Pérez Gaspar López Ocaña
Curación de datos	Nancy Estrada Pérez Gaspar López Ocaña
Análisis formal	Nancy Estrada Pérez Gaspar López Ocaña
Adquisición de fondos	Nancy Estrada Pérez Gaspar López Ocaña
Investigación	Nancy Estrada Pérez Gaspar López Ocaña
Metodología	Nancy Estrada Pérez Gaspar López Ocaña
Administración del proyecto	Nancy Estrada Pérez Gaspar López Ocaña
Recursos	Nancy Estrada Pérez Gaspar López Ocaña
Software	Nancy Estrada Pérez Gaspar López Ocaña
Supervisión	Nancy Estrada Pérez Gaspar López Ocaña
Validación	Nancy Estrada Pérez Gaspar López Ocaña
Visualización	Nancy Estrada Pérez Gaspar López Ocaña
Escritura-borrador-original	Nancy Estrada Pérez Gaspar López Ocaña
Escritura-revisión-edición	Nancy Estrada Pérez Gaspar López Ocaña

Nota. Taxonomía de roles de contribución (CRediT)

## 11. Referencias

- [1] Reyes-Prado, Manuel A., Ramírez-Pereda, Blenda, Ramírez, Karina, Huitrón, Víctor González, Rodríguez-Mata, Abraham Efraim, Uriarte Aceves, Perla Marysol, & Amabilis-Sosa, Leonel E. (2022). Recuperación de nutrientes y degradación de materia orgánica de agua residual agrícola por medio de un sistema uv/h2o2 optimizado. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 38, 54236. Epub 09 de noviembre de 2022. <https://doi.org/10.20937/rica.54236>
- [2] Grondona, Sebastián, Massone, Héctor, Gonzalez, Mariana, & Bedmar, Francisco. (2022). Evaluación del peligro de contaminación del agua subterránea en áreas agrícolas. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 38, 54194. Epub 09 de noviembre de 2022. <https://doi.org/10.20937/rica.54194>
- [3] Ferat, M. A., Galaviz Villa, I., & Partida Sedas, S. (2020). Evaluación de nitrógeno y fósforo total en escorrentías agropecuarias en la cuenca baja del río Usumacinta (Tabasco, México). *Ecosistemas*, 29(1), 1879. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1879>

- [4] Pérez, Y. A., García Cortés, D. A., & Jauregui Haza, U. J. (2022). Humedales construidos como alternativa de tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas: una revisión: . *Ecosistemas*, 31(1), 2279. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2279>
- [5] Ji, Z., Tang, W., Pei, Y. 2022 Construted wetlands substrates: A review on development, functions mechanisms, and application in contaminants renval. *Chemosphere* 286:131564.
- [6] Vidanage, V.V.D.N.G., Karunarathna, A.K., Alahakoon, A.M.Y.W., Jayawardene, S.M.N. 2020. Development of an Effective and Efficient Integrated Charcoal Filter Constructed Wetland System for Wastewater Treatment. En: Ghosh S., Saha P., Francesco Di M. (eds.), *Recent Trends in Wastewater Treatment and Water Resource Management*, pp. 47-56. Springer, Singapur.
- [7] Jiang, L., Chui, T.F.M. 2022. A review of the application of constructed wetlands (CWs) and their hydraulic, water quality and biological responses to changing hydrological conditions. *Ecological Engineering* 174:106459.
- [8] López Ocaña, G., Torres Balcázar, C.A., Bautista Margulis, R.G., Hernández Barajas, J.R., Gutiérrez Vidal, J.J., de la Cruz Luna, E. y Ferrer Sánchez, M.I., (2014) Diseño de sistemas experimentales de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial. *Perspectiva Científica desde la UJAT*. Editorial UJAT. Tabasco, Mexico., ISBN: 978-607-606-1725, pp. 133–146, 2014. <http://www.archivos.ujat.mx/2014/divulgacion%20cientifica/SDDC2013final.pdf>.
- [9] Nabila, S., Purnamasari, R., Agustina, E., & Irawanto, R. (2023). Assessing the Tolerance of *Sagittaria Lancifolia* (Spear Plant) to Linear Alkylbenzene Sulfonates (LAS) Exposure. *Indonesian Journal Of Biology Education*, 6(1), 28-33. <https://doi.org/10.31002/ijobe.v6i1.583>
- [10] Lin X., L. Chongyu y S. Wensheng. (2003). Treatment of landfill leachate by subsurface-flow constructed wetland: a microcosm test. 3era conferencia internacional y exhibición. *Vetiver y agua*. Guangzhou, República Popular.China. Pp. 222- 230. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=a8d7661c6024a5e3a9a6053ff938b202fc7700c8>
- [11] Crites, R., y G. Tchobanoglous. 2000. *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizado*. Santafe de Bogota: Mc Graw Hill Interamericana. 151 p. ISBN 9789584100412
- [12] López-Ocaña G., Bautista-Margulis, R.G., Valdés-Manzanilla A., Torres-Balcázar C.A., López-Vidal R., Pérez-Sánchez E. & Pampillón-González L. (2019). Spatial distribution behavior of basic pollutants in a subsurface-flow wetland with *Thalia geniculata*. *Int. J. Environ. Impacts*, Vol. 2, No. 2 (2019) 145–160. DOI: 10.2495/EI-V2-N2-145-160.
- [13] Córdova Mendoza, Pedro, Barrios Mendoza, Teresa Oriole, Córdova Barrios, Isis Cristel, & Navarrete Velarde, Raúl Antonio. (2021). Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante reactor anaerobio para la reutilización del efluente en cultivos agrícolas. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 5(14), 237-249. Epub 31 de agosto de 2021. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.114>
- [14] Mancilla-Villa, Oscar Raúl, Gómez-Villaseñor, Larissa, Olguín-Lopez, José Luis, Guevara-Gutiérrez, Rubén Darío, Hernández-Vargas, Omar, Ortega-Escobar, Héctor Manuel, Flores-Magdaleno, Héctor, Can-Chulim, Álvaro, Sánchez-Bernal, Edgar Iván, Cruz-Crespo, Elia, & Palomera-García, Carlos. (2022). Contaminación orgánica por coliformes, Nitrógeno y Fósforo en los ecosistemas acuáticos de la cuenca Ayuquila-Armería, Jalisco, México. *Biotecnia*, 24(1), 5-14. Epub 13 de junio de 2022. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i1.1283>
- [15] Flores, A. G., Mancilla, L. E. A., Marquina, R. V., Bahena, H. C., Lases, J. A. V., & Galindo, M. E. B. (2023). Humedales, plantas y comunidades: las hidrófitas y su aprovechamiento en Playa Ventura, Guerrero. *Inventio*, 19(47). <https://doi.org/10.30973/inventio/2023.19.47/3>

- [16] Mora-Orozco, Celia De La, Saucedo-Terán, Rubén Alfonso, González-Acuña, Irma Julieta, Gómez-Rosales, Sergio, & Flores-López, Hugo Ernesto. (2020). Efecto de la temperatura del agua sobre la constante de velocidad de reacción de los contaminantes en un humedal construido para el tratamiento de aguas residuales porcícolas. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(Supl. 2), 1-17. Epub 30 de junio de 2020. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4681>
- [17] Sierra Gaviria, E. F., Fernández Vargas, K. D., Fernández Morantes, C., y Arias Hoyos, A. (2025). Humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal como alternativa para la remoción de metales pesados en efluentes de minería aurífera. *Revista Sapientia*, 17(33). <https://doi.org/10.54278/sapientia.v17i33.261>
- [18] Arciniega Galaviz, M. A., Ávila Díaz, J. A., & Hernández Sandoval, P. (2024). Evaluación de un humedal artificial piloto para el tratamiento de aguas residuales domesticas - Fitorremediación con *Eichhornia crassipes*. *Revista Ra Ximhai*, 20(3 Especial), 17–37. <https://doi.org/10.35197/rx.20.03.2024.01.ma>
- [19] González-Pereyra, D., Cisneros-Almazán, R., Cisneros-Pérez, R., Guadiana-Alvarado, Z. A., & Soto-Peña, G. A. (2022). Tratamiento de aguas residuales de la industria galvanoplástica mediante humedales intensificados a nivel microcosmos. *Revista AIDIS De ingeniería Y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo Y práctica*, 15(3), 1080–1094. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.3.80492>
- [20] McCalla, L. B., Phillips, B. M., Anderson, B. S., Voorhees, J. P., Siegler, K., Faulkenberry, K. R., Goodman, M. C., Deng, X., & Tjeerdema, R. S. (2022b). Effectiveness of a Constructed Wetland with Carbon Filtration in Reducing Pesticides Associated with Agricultural Runoff. *Archives Of Environmental Contamination And Toxicology*, 82(3), 317-329. <https://doi.org/10.1007/s00244-021-00909-0>
- [21] Šereš, M., Innemanová, P., Hnátková, T., Rozkošný, M., Stefanakis, A., Semerád, J., & Cajthaml, T. (2021). Evaluation of Hybrid Constructed Wetland Performance and Reuse of Treated Wastewater in Agricultural Irrigation. *Water*, 13(9), 1165. <https://doi.org/10.3390/w13091165>
- [22] Rahman, D., Priambodo, E., Caturputranto, T., & Wahyudianto, F. (2022). Kinetics of Pollutants Removal in Wetlands Influenced by Retention Time and Number of Plants Using *Cyperus alternifolius*. *Journal Of Ecological Engineering*, 23(12), 37-43. <https://doi.org/10.12911/22998993/154848>

---

## **Percepciones comunitarias sobre caída de ceniza del volcán El Chichonal en el paisaje fluvial de Aquiles Serdán, Tabasco**

### **Community perceptions of ash fall from El Chichonal Volcano in the riverine landscape of Aquiles Serdan, Tabasco**

López-de Dios, C. del C.<sup>1</sup>, Castillo-Isidro, A.G.<sup>1</sup>, Montejo-Ramos, R.<sup>1</sup>, Alcudia-Arellano, J.T.<sup>1</sup>  
, Ramos-González, B. del C.<sup>1</sup>, Pérez-Vidal, H.<sup>1</sup>, Morales-Bautista, C.M.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Red de Investigación Multidisciplinaria en Materia Ambiental desde la Perspectiva de la Química Aplicada. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

\*carlos.morales@ujat.mx

---

#### **Resumen**

La erupción del volcán El Chichonal, ocurrida en 1982, produjo una amplia dispersión de cenizas que alcanzó diversas zonas del estado de Tabasco. En la comunidad de Aquiles Serdán (Paraíso, Tabasco) persisten recuerdos y narrativas locales asociadas a este evento y a los cambios que sus habitantes interpretan haber ocurrido en el entorno. Este estudio tuvo como objetivo documentar percepciones y memorias ambientales locales sobre la caída de ceniza volcánica y sus efectos atribuidos en el paisaje fluvial y agrícola, mediante un enfoque cualitativo basado exclusivamente en entrevistas semiestructuradas. Se entrevistaron tres habitantes nativos (49-70 años), seleccionados como informantes clave por haber vivido el evento, y el análisis se realizó mediante codificación temática abierta y axial. Los testimonios describen una ceniza fina, gris clara, percibida como fácilmente removida por el viento y arrastrada por las lluvias hacia los cauces, así como interpretaciones locales sobre una aparente reducción temporal de la profundidad y la formación de bancos o acumulaciones en algunas zonas del río. También se mencionaron afectaciones transitorias en cultivos de coco y en la visibilidad del agua. Los hallazgos reflejan memorias situadas y significados atribuidos por la comunidad; no constituyen evidencia empírica directa de procesos geoambientales, sino un registro cualitativo de la manera en que el evento eruptivo ha sido recordado y resignificado a lo largo del tiempo.

**Palabras claves:** *Ceniza; Chichonal; Memorias; Comunidad; Mecoacán.*

#### **Abstract**

The 1982 eruption of the El Chichonal volcano produced a wide dispersion of volcanic ash that reached several areas of the state of Tabasco, Mexico. In the community of Aquiles Serdán (Paraíso, Tabasco), memories and local narratives about this event and its perceived environmental consequences still persist. This study aimed to document local perceptions and environmental memories regarding ashfall and the effects attributed to fluvial and agricultural settings through a qualitative approach based exclusively on semi-structured interviews. Three native inhabitants (49-70 years old), selected as key informants for having lived through the event, were interviewed, and data were analyzed through open and axial thematic coding. Testimonies described the ash as fine, light-gray, and easily dispersed by wind, later washed by rainfall into river channels, as well as local interpretations of temporary reductions in river depth and the formation of small deposits or islets in some areas. Participants also mentioned short-term effects on coconut crops and water visibility. Findings reflect situated memories and meanings attributed by the community; they do not constitute

direct empirical evidence of geoenvironmental processes, but rather a qualitative record of how a distal volcanic event has been remembered and re-signified over time.

**Keywords:** *Volcanic ash; El Chichonal; local perception; environmental memory; rural community.*

Recibido: 16-diciembre de 2025-xx, Aceptado: 19-febrero-2026, Publicado: 30-abril-2026

## 1. Introducción

La erupción del volcán El Chichonal, ocurrida entre marzo y abril de 1982 en el noroeste del estado de Chiapas, México, fue uno de los eventos volcánicos más significativos del siglo XX y en la historia de México. El episodio eruptivo alcanzó un Índice de Explosividad Volcánica (VEI) de 5, generando una columna eruptiva superior a 15 km de altura y la expulsión de material piroclástico [8]. La actividad volcánica produjo una intensa dispersión de cenizas hacia el norte y noreste, afectando de forma notable los estados de Chiapas, Tabasco y Campeche, así como parte de Guatemala y Belice [30].

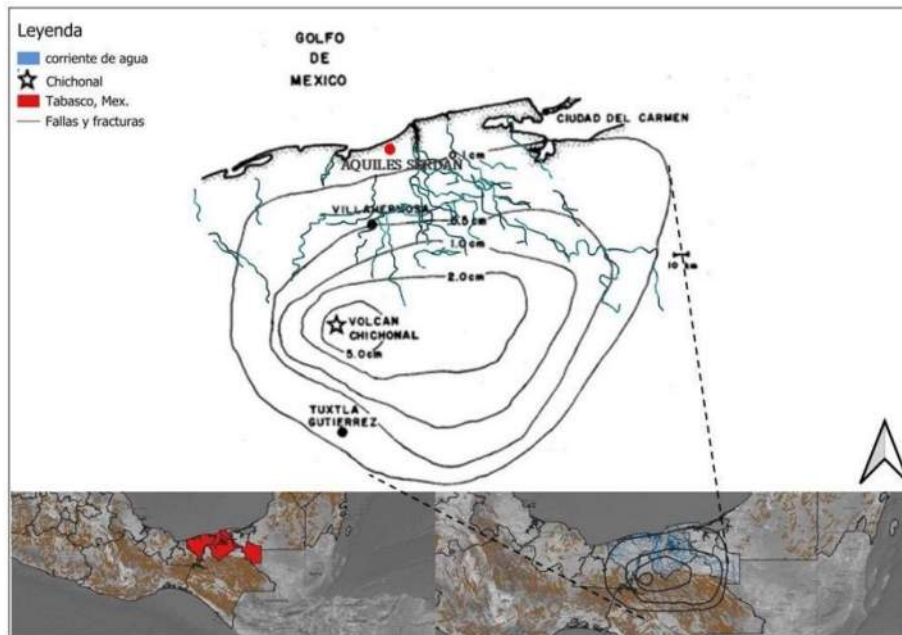
Los depósitos de ceniza generados fueron descritos como finos, de color gris claro y fácilmente redistribuidos por acción del viento y las lluvias. En el caso de Tabasco, la caída de ceniza cubrió amplias zonas agrícolas y fluviales, y su posterior arrastre pluvial generó azolves temporales y alteraciones en la dinámica de los cauces [2]. Aunque los efectos inmediatos del evento han sido ampliamente documentados desde perspectivas geológicas, geoquímicas y atmosféricas, incluyendo la caracterización de los depósitos piroclásticos, la composición isotópica del azufre y el oxígeno, y la evolución del lago cratérico, los impactos ambientales y sociales a largo plazo en comunidades distales han recibido escasa atención científica [27].

A más de cuatro décadas de la erupción, la región conserva evidencias ambientales e históricas que permiten analizar cómo las comunidades locales perciben, interpretan y recuerdan los efectos de aquel fenómeno. En este sentido, la memoria ambiental representa una herramienta valiosa para analizar cómo la experiencia humana interpreta y resignifica los procesos naturales, especialmente en contextos donde los registros instrumentales son limitados o inexistentes [30]. La recuperación de testimonios orales ofrece una perspectiva complementaria a la observación científica, al rescatar las percepciones que la población mantiene sobre los cambios ocurridos en su entorno inmediato.

En este contexto, el presente estudio tuvo como propósito documentar las percepciones locales sobre la caída de ceniza y los cambios fluviales observados tras la erupción del volcán El Chichonal (1982) en la comunidad de Aquiles Serdán, municipio de Paraíso, Tabasco. El trabajo se apoyó en entrevistas semiestructuradas, analizadas mediante codificación temática abierta y axial, con el fin de aportar evidencia cualitativa sobre la memoria ambiental del evento y su utilidad para comprender la relación entre los procesos naturales y la percepción social del cambio ambiental.

La comunidad de Aquiles Serdán se localiza en la planicie costera del Golfo de México, dentro del municipio de Paraíso, Tabasco [14]. Se trata de una zona con presencia de ríos, lagunas y manglares vinculados al sistema hídrico de la Laguna Mecoacán, reconocido por su alta productividad biológica y relevancia para actividades de subsistencia locales [31]. La economía local se sustenta principalmente en la agricultura y la pesca artesanal [24]. De acuerdo con los relatos históricos de los pobladores, durante la erupción de 1982 la región recibió una capa fina de ceniza volcánica que cubrió cultivos, techos y caminos; Estos testimonios se inscriben dentro del contexto regional documentado por estudios científicos sobre la dispersión amplia de tefra en dirección norte-noreste, incluyendo el estado de Tabasco, donde se reportaron episodios de oscuridad significativa, sin que ello implique una validación empírica directa de las narrativas locales [8,23].

Para contextualizar espacialmente el área de estudio y su conectividad fluvial, la Figura 1 muestra la ubicación del volcán El Chichonal y de Aquiles Serdán, así como la red de ríos que los conectan hacia la planicie tabasqueña.



**Figura 1.** Mapa de zona de estudio (Reconstruido a partir de [8,23]).

La información geológica y volcánica presentada en este apartado tiene como finalidad contextualizar espacial y temporalmente el evento eruptivo de 1982 y su alcance regional. Dichos antecedentes no se emplean para validar empíricamente los testimonios recopilados, sino para ofrecer un marco de referencia general dentro del cual se inscriben las memorias locales. En este estudio, la literatura geológica acompaña y contextualiza las narrativas comunitarias, sin establecer correspondencias causales ni verificaciones físicas directas entre los relatos y los procesos geoambientales descritos por la investigación especializada. En este sentido, la erupción del volcán El Chichonal representó uno de los eventos geológicos más relevantes del siglo XX, con una amplia dispersión de cenizas que afectó gran parte del sureste mexicano, incluyendo el estado de Tabasco. La caída de material volcánico alteró temporalmente la calidad del aire, cubrió suelos agrícolas y provocó la deposición de partículas finas en ríos y lagunas. Aunque las afectaciones inmediatas fueron documentadas desde el punto de vista geológico y atmosférico, estudios recientes subrayan que el sistema continúa bajo vigilancia y presenta dinámicas hidrotermales y sísmicas que ameritan seguimiento, lo cual revaloriza la importancia de documentar las memorias sociales asociadas a impactos distales históricos [3,16].

En el caso del municipio de Paraíso, Tabasco, se tienen registros y testimonios que indican la llegada de cenizas a comunidades costeras como Aquiles Serdán, donde los pobladores interpretaron cambios en la textura del suelo y una aparente disminución de la profundidad de los cauces y la formación de pequeños bancos o acumulaciones de sedimento. En paralelo, trabajos recientes en el propio Chichonal muestran que eventos hidrometeorológicos intensos pueden removilizar materiales volcánicos y detonar procesos de transporte y depósito (por ejemplo, lahares intereruptivos), reforzando el interés por documentar, desde la evidencia social local, los cambios en ambientes fluviales y agrícolas a escala regional [6].

Sin embargo, no existen registros sistematizados que documenten cómo estos eventos fueron percibidos, interpretados y recordados por los habitantes locales. Este vacío limita la comprensión de los procesos de

adaptación y resiliencia comunitaria frente a fenómenos naturales de gran escala. La literatura reciente en estudios sociales del riesgo volcánico destaca que el conocimiento local y la memoria ambiental coproducen saberes útiles para la reducción del riesgo y la gestión territorial, por lo que integrar testimonios de comunidades distales es metodológicamente pertinente [11,32].

Por tanto, el problema central que aborda esta investigación es la falta de documentación científica sobre las percepciones comunitarias del impacto de la ceniza volcánica en la planicie costera de Tabasco, específicamente en la comunidad de Aquiles Serdán. Este vacío dificulta integrar el conocimiento local a las narrativas científicas sobre el evento del Chichonal, reduciendo la comprensión integral de sus efectos geoambientales y sociales. En un contexto donde las instituciones mexicanas han actualizado diagnósticos y comunicados sobre la actividad del volcán y su monitoreo, resulta oportuno recuperar y analizar testimonios que permitan reconstruir, desde la voz de los habitantes, la memoria ambiental del evento y su significado en el paisaje fluvial y agrícola de la región [4].

Es importante precisar que el presente estudio se inscribe en un enfoque cualitativo centrado en la memoria ambiental y la percepción social, y no tiene como objetivo reconstruir ni explicar procesos geoambientales de manera empírica. Los testimonios recopilados se entienden como construcciones narrativas y memorias retrospectivas, a través de las cuales los entrevistados interpretan y resignifican un evento natural ocurrido décadas atrás. En este sentido, las referencias a cambios en el paisaje fluvial y agrícola corresponden a interpretaciones locales y no a mediciones físicas o inferencias causales sobre la dinámica geomorfológica o sedimentaria del sistema. Este posicionamiento epistemológico permite analizar el valor cultural, simbólico y social de la memoria ambiental, reconociendo explícitamente los alcances y límites del enfoque cualitativo adoptado.

## 2. Metodología Experimental

El presente estudio se desarrolló mediante un enfoque cualitativo de corte descriptivo-interpretativo, orientado a comprender fenómenos complejos en sus contextos naturales, considerando las experiencias, significados y realidades construidas por los participantes [12,18]. Desde esta perspectiva, la investigación se centró en analizar cómo los habitantes de la comunidad de Aquiles Serdán recuerdan, interpretan y resignifican la caída de ceniza asociada a la erupción del volcán El Chichonal ocurrida en 1982. Este enfoque resulta pertinente cuando el objetivo de investigación no es medir variables ni establecer relaciones causales, sino analizar significados, narrativas y experiencias construidas socialmente en contextos específicos.

En este estudio, la memoria ambiental se concibe como una construcción social y narrativa, más que como un registro factual exacto del evento eruptivo. Los recuerdos expresados por los participantes reflejan procesos de interpretación, selección y resignificación del pasado, influenciados por la experiencia vivida, la transmisión oral y el contexto sociocultural. Por ello, los testimonios no se analizan como descripciones empíricas directas de los procesos geoambientales ocurridos en 1982, sino como relatos situados que permiten comprender cómo los participantes han otorgado significado a la caída de ceniza y a los cambios percibidos en su entorno.

El tamaño de la muestra respondió a un muestreo intencional de tipo cualitativo, orientado a la selección de informantes clave más que a la representatividad estadística. Se realizaron tres entrevistas a habitantes nativos de la comunidad de Aquiles Serdán, con edades comprendidas entre los 49 y 70 años, seleccionados por haber vivido directamente la erupción del volcán El Chichonal en 1982 y conservar recuerdos personales del evento.

En estudios cualitativos centrados en la memoria y la percepción ambiental, el valor analítico de los testimonios no radica en el número de participantes, sino en la relevancia experiencial, la profundidad del

relato y la capacidad de los informantes para reflexionar sobre sus vivencias. En este sentido, la muestra se concibe como un conjunto de relatos situados que permiten explorar interpretaciones locales del evento eruptivo, sin pretender generalizar los hallazgos al conjunto de la comunidad.

Por ello, los resultados del estudio se interpretan como expresiones de memorias situadas y narrativas locales, y no como una representación exhaustiva de una memoria colectiva homogénea. El uso de un número reducido de entrevistas se reconoce como una limitación inherente al diseño cualitativo adoptado; sin embargo, dicha limitación es coherente con el alcance exploratorio del estudio y con su énfasis en la comprensión profunda de experiencias individuales.

La información se obtuvo mediante entrevistas semiestructuradas, empleadas como el instrumento principal de investigación. El guion de entrevista fue validado por juicio de expertos pertenecientes al Laboratorio de Análisis de Suelos e Hidrocarburos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, quienes evaluaron la claridad, pertinencia y coherencia temática de cada pregunta. Tras la validación, se realizaron los ajustes necesarios para asegurar que los ítems fueran comprensibles para los participantes y relevantes para los objetivos del estudio.

El instrumento final abordó aspectos relacionados con las características físicas de la ceniza, los procesos de transporte y remoción por efecto del viento y la lluvia, los cambios percibidos en los cauces fluviales y las afectaciones en las actividades productivas y cotidianas. Las entrevistas se llevaron a cabo en los domicilios de los participantes, en un ambiente de confianza y conversación abierta, durante el mes de octubre de 2025, con una duración promedio de 25 min por sesión. La selección de los informantes se efectuó mediante un muestreo intencional, considerando a las personas que hubieran vivido en la comunidad durante el evento de 1982 y conservaran recuerdos directos sobre la caída de ceniza.

Los criterios de inclusión establecieron que los participantes debían ser mayores de 40 años, residir de manera continua en Aquiles Serdán desde antes de la erupción y manifestar disposición voluntaria para compartir sus experiencias. Se excluyó a quienes migraron después del suceso o no contaban con recuerdos personales del mismo. En total se entrevistó a tres informantes clave los cuales cuentan con, 49, 68 y 70, cuyas ocupaciones se relacionan con labores del hogar, la pesca y la agricultura.

Previo a cada entrevista se explicó el objetivo del estudio y se obtuvo el consentimiento informado verbal, garantizando la confidencialidad de los datos y su uso exclusivo con fines académicos.

Posteriormente, el material fue transcrito de forma literal y analizado mediante un enfoque cualitativo de tipo temático-inductivo. Las transcripciones se revisaron de manera reiterada para identificar unidades de significado relacionadas con la experiencia de la caída de ceniza, los cambios percibidos en el entorno y las valoraciones asociadas al evento eruptivo. A partir de este proceso, dichas unidades se agruparon progresivamente en categorías analíticas con afinidad temática y coherencia narrativa.

El análisis se realizó de manera manual por el investigador responsable, sin el uso de software especializado. La interpretación de los testimonios se llevó a cabo de forma sistemática, manteniendo la trazabilidad entre los relatos originales y las categorías analíticas finales. Asimismo, se realizó una contrastación interna de carácter exploratorio entre los testimonios, las notas de campo y las observaciones contextuales, con el fin de fortalecer la coherencia interpretativa del análisis y apoyar la delimitación de las categorías analíticas, sin pretender una validación exhaustiva de las mismas.

### 3. Resultados

Los resultados se presentan de acuerdo con las categorías emergentes del análisis temático: (3.1) características físicas y comportamiento de la ceniza, (3.2) cambios hidromorfológicos y transformación del paisaje, (3.3) impactos agroambientales y domésticos, y (3.4) memoria y valoración del evento eruptivo. Los hallazgos expresan coincidencias y matices entre los tres testimonios, reflejando experiencias

personales y memorias situadas expresadas en relatos locales sobre los efectos de la erupción del volcán El Chichonal (1982).

### 3.1 Características físicas y comportamiento de la ceniza

Los testimonios de los entrevistados coincidieron en destacar aspectos sensoriales y dinámicos de la ceniza volcánica. Las descripciones permiten documentar cómo se percibió su textura, color, movilidad y persistencia en el entorno inmediato. A partir de los testimonios se identificaron patrones consistentes en torno a las características físicas y el comportamiento de la ceniza, según fue descrita por los entrevistados (Tabla 1). De manera general, la ceniza fue descrita como un material de textura fina, coloración gris clara y tacto suave, con un comportamiento altamente móvil, susceptible a la acción del viento y a procesos de resuspensión. Asimismo, se señaló que los eventos de lluvia favorecieron su rápido arrastre hacia los cauces superficiales, lo que limitó su permanencia temporal en el paisaje; no obstante, durante su breve presencia, la ceniza generó cambios visuales perceptibles en el entorno inmediato.

**Tabla 1.** Características físicas y comportamiento de la ceniza.

<b>Categoría</b>	<b>Descripción narrativa</b>	<b>Citas representativas</b>
Textura y color	Ceniza fina, gris claro, suave al tacto.	“Era como harina, suave y color blanco-grisáceo.”
Movilidad y dispersión	Material ligero, fácilmente levantado por el viento.	“Al barrer se hacían conjuntos que el viento volvía a levantar.”
Resuspensión y lavado	Lluvias arrastraron rápidamente la ceniza hacia los cauces.	“Las primeras lluvias la bajaron toda para el río.”
Persistencia	Permanencia breve pero visualmente notoria.	“Solo duró unos días, pero sí cambió cómo se veía todo.”

### 3.2 Cambios hidromorfológicos y transformación del paisaje

Las narrativas de los habitantes describen cambios perceptibles en el río y en el paisaje ribereño posteriores a la caída de ceniza (Tabla 2). En particular, los entrevistados mencionaron una aparente disminución en la profundidad del cauce y un incremento en la turbidez del agua. Asimismo, relataron la presencia temporal de acumulaciones de material en orillas y zonas de baja corriente, percibidas como fenómenos de corta duración. De acuerdo con los testimonios, semanas después el río recuperó condiciones visuales similares a las previas al evento.

**Tabla 2.** Cambios hidromorfológicos percibidos en el paisaje fluvial.

<b>Categoría</b>	<b>Descripción narrativa</b>	<b>Citas representativas</b>
Profundidad del río	Percepción de disminución del nivel del agua.	“El río se veía más bajo.”
Turbidez del agua	Aumento de lodosidad por mezcla con ceniza.	“El agua se miraba más lodosa.”
Formación de depósitos	Aparición de bancos o islotes de sedimento fino.	“Se hicieron como islotes en algunas orillas.”
Temporalidad del efecto	Cambios considerados pasajeros.	“Semanas después, ya no se veía nada gris.”

### 3.3 Impactos agroambientales y domésticos

La deposición de ceniza tuvo repercusiones perceptibles en los sistemas productivos locales, así como en la vida cotidiana y la salud de los habitantes, describiendo afectaciones percibidas (Tabla 3). En el ámbito agroambiental, se describió una afectación temporal en los cultivos, principalmente asociada a la cobertura foliar por ceniza y a una disminución momentánea del vigor vegetal, con recuperación posterior favorecida por las precipitaciones. En la esfera doméstica, la presencia continua del material particulado implicó un aumento en las labores de limpieza de patios y techos, mientras que, en términos de salud, se reportaron molestias leves como irritación ocular o de garganta. Adicionalmente, se identificaron daños menores en viviendas con cubiertas de materiales ligeros, los cuales no derivaron en afectaciones estructurales significativas.

**Tabla 3.** Impactos agroambientales y domésticos.

<b>Categoría</b>	<b>Efecto percibido</b>	<b>Citas representativas</b>
Cultivos	Hojas cubiertas de ceniza; disminución temporal de vigor; recuperación tras lluvias.	“Las matas estaban tristes, pero ya con la lluvia se limpiaron.”
Actividades domésticas	Limpieza constante de patios y techos.	“Había que barrer diario porque caía y caía.”
Salud	Irritación leve en ojos o garganta.	“Picaban los ojos cuando estaba más fuerte.”
Vivienda	Daños menores en techos de palma.	“Unas palapas se vinieron abajo.”

### 3.4 Memoria y valoración del evento eruptivo

Más allá de los impactos físicos, los testimonios expresan una dimensión emocional y simbólica del fenómeno. Los entrevistados describieron miedo y sorpresa inicial ante un hecho desconocido, así como interpretaciones posteriores sobre la recuperación del entorno y la continuidad de la vida cotidiana. La tabla siguiente integra los elementos centrales de estas memorias situadas y valoraciones expresadas en los relatos (Tabla 4).

**Tabla 4.** Memoria y valoración comunitaria del evento eruptivo.

<b>Dimensión</b>	<b>Interpretación comunitaria</b>	<b>Citas representativas</b>
Emoción inicial	Miedo y sorpresa ante un fenómeno desconocido.	“Pensamos que era el fin del mundo.”
Resignificación	Interpretación posterior como evento natural extraordinario.	“Después vimos que la tierra se volvió a acomodar.”
Resiliencia	Reconocimiento de la capacidad de recuperación del entorno.	“Todo volvió a su lugar.”
Memoria ambiental	Evento recordado como hito histórico local.	“Es algo que quedó en la memoria de todos.”

Los testimonios analizados mostraron un alto grado de coincidencia en la descripción de los efectos asociados a la caída de ceniza y a los cambios percibidos en el entorno. La ausencia de disenso relevante entre los relatos puede estar relacionada con la selección de informantes que compartieron la experiencia directa del evento eruptivo de 1982, así como con la transmisión social de los recuerdos a lo largo del tiempo y la estructura del guion de entrevista empleado. Esta homogeneidad delimita el alcance

interpretativo de los resultados y se reconoce como una característica del diseño cualitativo adoptado, sin que ello invalide su valor descriptivo.

#### 4. Discusión

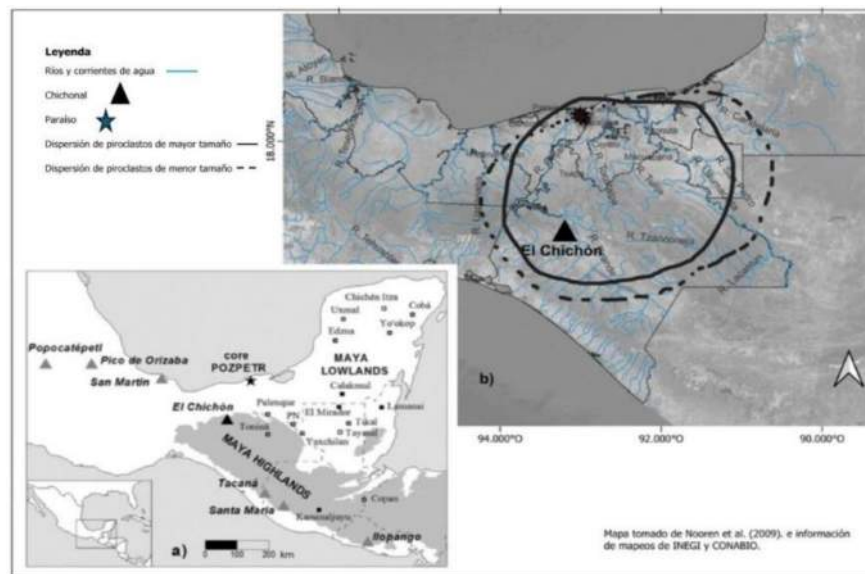
Los resultados obtenidos permiten comprender cómo los entrevistados de Aquiles Serdán recuerdan e interpretan los efectos de la última erupción del volcán “Chichonal” que data del año 1982 entre los meses de marzo y abril, desde una perspectiva ambiental y social. Dicho acontecimiento ocurrió en los municipios de Francisco de León y Chapultenango, en el estado de Chiapas a aproximadamente 200 km de nuestra zona de estudio [4]. Las percepciones recogidas indican que el evento fue experimentado principalmente como una alteración temporal del entorno, más que como una catástrofe permanente, un enfoque coherente con la literatura reciente que subraya el papel de la memoria local y la experiencia cotidiana en la comprensión de los impactos [1,13]. Esta visión contrasta con el enfoque de los estudios geológicos clásicos, centrados en la magnitud eruptiva y la composición de los depósitos, al ofrecer una mirada desde la experiencia cotidiana que resalta la capacidad adaptativa de las poblaciones rurales ante los fenómenos naturales [33].

La descripción coincidente de la ceniza como un polvo fino, ligero y de rápida dispersión puede interpretarse, desde la percepción de los entrevistados, como la llegada de material volcánico fino transportado a larga distancia. Esta interpretación coincide con lo reportado en estudios previos sobre la dispersión regional del material volcánico, que documentan la llegada de cenizas a la planicie tabasqueña durante las semanas posteriores a la erupción [21,26,29]. Desde la perspectiva local, este material fue percibido no solo como una sustancia foránea, sino como un elemento que se integró al paisaje, al ser lavado y redistribuido por las lluvias.

El conjunto de testimonios sugiere que la modificación del cauce de los ríos fue asociada por los entrevistados al aporte repentino de partículas finas, las cuales pudieron generar un azolve parcial en las zonas más bajas. Si bien no existen mediciones instrumentales de aquel periodo, la coincidencia entre los relatos que mencionan una disminución en la profundidad y un tono más turbio del agua aporta una línea de evidencia cualitativa que complementa los registros geológicos.

Como se aprecia en la Figura 1, la disposición del drenaje regional favorece la redistribución de partículas finas hacia la Laguna Mecoacán, lo que es consistente con los testimonios sobre azolves temporales en cauces locales. Esto sugiere que la percepción local puede aportar indicios cualitativos útiles para orientar futuras investigaciones de cambio ambiental [10].

Existe evidencia de que la erupción tuvo un impacto en un área aproximada de 152 km<sup>2</sup> alrededor del volcán, lo cual se ilustra de manera visual en la Figura 2. Dentro de este contexto, una zona del estado de Tabasco, correspondiente a un pozo petrolero, se considera un punto referencial para delimitar el alcance de la erupción y la dispersión de la tefra (material fragmentado expulsado durante una erupción volcánica), comúnmente denominada “ceniza” por los habitantes locales. Este evento provocó la deposición de una capa de ceniza de tonalidad blanco-grisácea que se extendió hacia el oriente de México, generando condiciones de oscuridad significativa en el estado de Tabasco. De acuerdo con mapas de isocapas reportados por [23], se estimó una isocapa de aproximadamente 5 mm asociada a la caída de tefra en la región. Hallazgos concordantes son descritos por [8], quien documenta que la capital del estado permaneció en penumbra durante varios días debido a la acumulación de ceniza, registrándose incluso su presencia sobre las cubiertas de embarcaciones en el Golfo de México.



**Figura 2.** Área de impacto alrededor del volcán Chichónal [23].

Por otro lado, se tiene el aporte fluvial durante la época de la erupción, ya que la remoción de piroclastos en las laderas del volcán por lluvias durante y después de la erupción incrementó la carga de sedimentos finos en las cuencas que fluyen hacia el norte y noreste del país, estos sedimentos viajaron por los sistemas hidrológico del Grijalva-Usumacinta y ríos costeros de la zona, cuya descarga, flujo, dinámica mareal y la gran red hidrológica presente en la zona controlaron el transporte y deposición de estos sedimentos a fuentes de agua semi estacionarias como lo es la laguna Mecoaacán [6,19,20]. Estos procesos descritos en la literatura permiten contextualizar las percepciones de los pobladores, quienes reportaron una disminución aparente de la profundidad y anchura del cauce.

En el ámbito agrícola, la comunidad identificó daños reversibles en los cultivos de coco y plátano, o que fue interpretado por los entrevistados como una afectación temporal sin consecuencias prolongadas en el suelo a largo plazo. Este tipo de afectaciones efímeras se han documentado en otros contextos volcánicos, donde la ceniza fina puede afectar temporalmente la fotosíntesis por sombreo o abrasión foliar, pero con recuperación rápida tras las lluvias [17,22,25]. Además de estas afectaciones foliares, otros autores comentan que la deposición de ceniza volcánica puede interactuar con la materia orgánica de la superficie para inducir hidrofobicidad o repelencia al agua, alterando drásticamente el balance hídrico del suelo en el corto-medio plazo. Esta repelencia reduce la infiltración y la conductividad hidráulica del suelo, lo que puede contribuir a la escorrentía y la erosión [28].

La distancia temporal entre el evento eruptivo y el momento de las entrevistas implica que los recuerdos expresados han sido reinterpretados y resignificados a lo largo del tiempo, más que conservados como registros literales del suceso.

Los testimonios destacan una valoración positiva del proceso de recuperación del entorno y de la adaptación humana frente al evento eruptivo. A diferencia de enfoques externos que suelen enfatizar los impactos destructivos, los relatos de Aquiles Serdán subrayan la capacidad del entorno para autorregenerarse y del ser humano para adaptarse a las nuevas condiciones. Las memorias expresadas en los relatos preservan la experiencia de la ceniza no solo como una amenaza, sino como un episodio que reafirma el vínculo con la naturaleza. Esta memoria ambiental cumple una función social importante: transmite conocimiento intergeneracional sobre los riesgos naturales, las estrategias de respuesta y la percepción de los límites del paisaje.

La incorporación de la percepción comunitaria como fuente científica permite ampliar el marco interpretativo del evento eruptivo [5]. Los testimonios ofrecen una escala de observación que combina elementos físicos, simbólicos y sociales, mostrando que la comprensión del ambiente no depende únicamente de la evidencia material, sino también de las experiencias que los habitantes construyen a partir de su interacción con el territorio [9]. De esta manera, el análisis cualitativo se convierte en una herramienta complementaria a la geociencia, capaz de revelar dimensiones subjetivas, pero igualmente relevantes del cambio ambiental [7,15].

En síntesis, los hallazgos de este estudio muestran que la erupción de El Chichonal permanece en los relatos de Aquiles Serdán principalmente como una experiencia significativa desde el punto de vista simbólico y narrativo. La percepción de un impacto temporal, la recuperación del paisaje y la resignificación del evento forman parte de memorias ambientales situadas, construidas a lo largo del tiempo. Desde una perspectiva aplicada, estos hallazgos no constituyen evidencia técnica para la gestión del riesgo, pero aportan un valor interpretativo y cultural relevante para la educación ambiental, la comunicación del riesgo y la preservación de la memoria histórica local.

## **5. Conclusiones**

El análisis de los testimonios de los entrevistados de Aquiles Serdán (Paraíso, Tabasco) permitió documentar percepciones y narrativas locales asociadas a la caída de ceniza derivada de la erupción del volcán El Chichonal ocurrida en 1982. Los relatos describen la ceniza como un material fino, móvil y de permanencia breve, cuyos efectos fueron percibidos como temporales sobre el paisaje y la dinámica fluvial, seguidos de una recuperación progresiva del entorno y de las actividades cotidianas.

Los resultados destacan el valor de la memoria ambiental como una fuente interpretativa complementaria, particularmente en contextos donde la información instrumental es limitada o inexistente. Desde esta perspectiva, los testimonios aportan elementos cualitativos sobre la forma en que el evento fue experimentado, recordado y resignificado a lo largo del tiempo, más que sobre la magnitud física del fenómeno en términos estrictamente geológicos.

Es importante señalar que este estudio presenta limitaciones inherentes a su diseño cualitativo y exploratorio. El número reducido de entrevistas, la ausencia de mediciones instrumentales contemporáneas al evento eruptivo y la distancia temporal entre el suceso y el momento de las entrevistas delimitan el alcance de las conclusiones. En consecuencia, los hallazgos se circunscriben al análisis de percepciones, narrativas y significados atribuidos por los entrevistados, sin pretender establecer relaciones causales ni generalizaciones a escala comunitaria o regional.

En conjunto, este trabajo pone de relieve la pertinencia del enfoque cualitativo para el estudio de eventos volcánicos desde una dimensión social y cultural, y subraya la importancia de integrar las memorias ambientales y los relatos locales como complemento a los enfoques sedimentológicos, cartográficos y geoquímicos. Más allá de su utilidad predictiva, estas narrativas contribuyen a una comprensión socialmente situada de los procesos naturales que modelan el paisaje de la planicie costera de Tabasco.

## **6. Agradecimientos**

Los autores agradecen a la División Académica de Ciencias Básicas por la infraestructura brindada para realizar este trabajo de investigación, así mismo se agradece a Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca de manutención otorgada para los estudios de posgrado.

## 7. Conflicto de intereses

“Los autores declaran no tener conflictos de intereses”

## 8. Declaratoria de uso de Inteligencia Artificial

Los autores declaran no haber utilizado ninguna inteligencia artificial en el diseño de este artículo.

## 9. Resumen Grafico

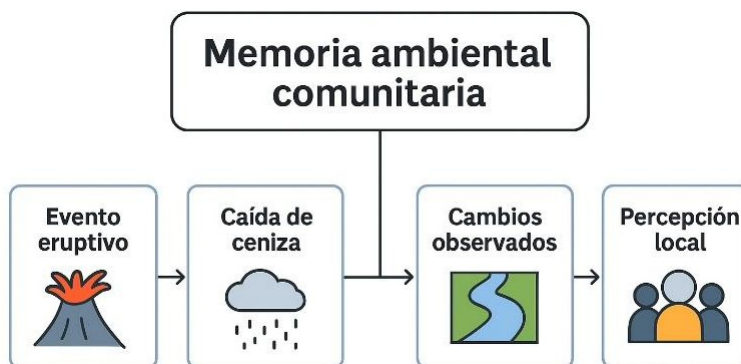


Figura 4. Resumen gráfico de investigación

## 10. Roles de contribución

ROL	AUTORES(AS)
Cocentpualización	López-de Dios, C. del C
Curación de datos	López-de Dios, C. del C, Ramos-González, B. del C
Análisis formal	Morales-Bautista, C.M.
Adquisición de fondos	Castillo-Isidro, A.G. , Montejo-Ramos, R
Investigación	López-de Dios, C. del C, Morales-Bautista, C.M.
Metodología	López-de Dios, C. del C, Morales-Bautista, C.M.
Administración del proyecto	Pérez-Vidal, H., Morales-Bautista, C.M.
Recursos	Pérez-Vidal, H., Morales-Bautista, C.M.
Software	Ramos-González, B. del C, Alcudia-Arellano, J.T.
Supervisión	Morales-Bautista, C.M.
Validación	Morales-Bautista, C.M.
Visualización	Alcudia-Arellano, J.T.
Escritura-borrador-original	López-de Dios, C. del C, Pérez-Vidal, H., Morales-Bautista, C.M.
Escritura-revisión-edición	Pérez-Vidal, H., Morales-Bautista, C.M.

Nota. Taxonomía de roles de contribución (CRediT)

## 111. Referencias

- [1] Alegría, C., Villalobos, A., & Castruccio, A. (2024). Percepciones de riesgo volcánico y gestión local en Ensenada (Chile): Un enfoque cualitativo. *Andean Geology*, 51(1), 63–86. <https://www.scielo.cl/pdf/andgeol/v51n1/0718-7106-andgeol-51-01-0063.pdf>
- [2] Carey, S., & Sigurdsson, H. (1986). The 1982 eruptions of El Chichón Volcano, Mexico (2): Observations and numerical modelling of tephra-fall distribution. *Bulletin of Volcanology*, 48(2), 127–141. <https://doi.org/10.1007/BF01046547>
- [3] Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2023). Estudios e investigaciones sísmicas, geodésicas e hidrogeoquímicas de los volcanes activos Pico de Orizaba, Ceboruco, Tacaná, Chichón y San Martín Tuxtla. Dirección de Investigación, Subdirección de Riesgos Volcánicos. [https://www.cenapred.unam.mx/DatosAbiertos/Estudios\\_investigaciones2023.pdf](https://www.cenapred.unam.mx/DatosAbiertos/Estudios_investigaciones2023.pdf)
- [4] Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2025, septiembre 1). Infórmate acerca de la actividad reciente del volcán El Chichón. <https://www.gob.mx/cenapred/es/articulos/informate-acerca-de-la-actividad-reciente-del-volcan-el-chichon>
- [5] Chambon, M., Wambiji, N., Álvarez Fernández, S., Azarian, C., Wandiga, J. N., Vialard, J., Ziveri, P., & Reyes-García, V. (2024). Weaving scientific and local knowledge on climate change impacts in coastal Kenya, Western Indian Ocean. *Environmental Science & Policy*, 160, 103846. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2024.103846>










- [6] Cruz-Vázquez, O., Capra, L., Borselli, L., & Norini, G. (2025). Inter-eruptive lahars at El Chichón Volcano (Mexico): Susceptibility analysis and numerical modelling. *Earth Surface Processes and Landforms*. <https://doi.org/10.1002/esp.70070>
- [7] Danielsen, F., Eicken, H., Funder, M., Johnson, N., Lee, O., Theilade, I., Argyriou, D., & Burgess, N. D. (2022). Community monitoring of natural resource systems and the environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 47, 637–670. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-022325>
- [8] De la Cruz-Reyna, S. (2009). The 1982 eruption of El Chichón Volcano, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 175(4), 315–331. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0016-71692009000100003](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0016-71692009000100003)
- [9] Djosetro, M., & Behagel, J. (2024). Including local knowledge in conservation planning: The case of the western coastal protected areas in Suriname. *Ecosystems and People*, 20(1), 2361683. <https://doi.org/10.1080/26395916.2024.2361683>
- [10] Eilola, S., Horstkotte, T., Forbes, B. C., Habeck, J. O., Komu, T., Rasmus, S., ... Fagerholm, N. (2024). Perceptions on and impacts of environmental changes under multiple stressors: A case study from two communities in northern Fennoscandia. *Regional Environmental Change*, 24, 89. <https://doi.org/10.1007/s10113-024-02241-4>
- [11] Forte, P. B., Coppola, D., Delgado, F., & colaboradores. (2021). Volcano monitoring in Latin America: Taking a step forward. *Volcanica*, 4(1), 1–25. <https://www.jvolcanica.org/ojs/index.php/volcanica/article/view/85/136forte>
- [12] Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, T. C. P. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill Interamericana. <https://doi.org/10.22201/FESC.20072236E.2019.10.18.6>
- [13] Ida, R., Putra, B., & Nugroho, M. (2025). Disaster risk communication during the Mount Semeru 2021 eruption: Local engagement and preparedness. *Frontiers in Public Health*, 13, 1475459. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12223973/>
- [14] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010: Paraíso, Tabasco. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/27/27014.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/27/27014.pdf)
- [15] Kidd, J., Barnett, G., Muir, B., & McCarthy, D. (2024). A pan-Canadian review of community-based monitoring and its contributions to environmental assessment. *FACETS*, 9(1), 1–28. <https://doi.org/10.1139/facets-2022-0192>
- [16] Legrand, D., Pertou, M., López-Landa, V., Ramos, S., Jon Selvas, J., Alatorre-Ibargüengoitia, M., Campion, R., Peiffer, L., Macías, J. L., Cisneros, G., Valdéz, C., & De la Cruz-Reyna, S. (2024). El Chichón volcanic activity before and after the Mw 8.2, 2017, Chiapas earthquake, México: Is El Chichón ready to erupt? *Bulletin of Volcanology*, 86, 72. <https://doi.org/10.1007/s00445-024-01758-0>
- [17] Ligot, N., Barthélemy, L., Viera, A., Falys, H., Godin, B., Bogaert, P., & Delmelle, P. (2024). Exposure of vegetables to simulated volcanic ashfall reveals production loss controlled by plant traits and growth stage. *Agrosystems, Geosciences & Environment*. <https://doi.org/10.1002/agg2.20494>
- [18] López-de Dios, C. del C., Lobato-García, C. E., & Acosta-Pérez, L. I. (2025). Percepciones del profesorado de la Licenciatura en Química de la UJAT sobre la enseñanza-aprendizaje durante la pandemia de COVID-19. *Huella Científica*, 2(2), 79–98. <https://huellacientifica.villahermosa.tecnm.mx/>
- [19] Macías, J. L., Capra, L., Arce, J. L., Espíndola, J. M., García-Palomo, A., & Sheridan, M. F. (2008). Hazard map of El Chichón volcano, Chiapas, México: Constraints posed by eruptive history and computer simulations. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 175(4), 444–458. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2008.02.023>

- [20] Márquez-García, L. I., Salas-de-León, D. A., & Exposito-Díaz, G. (2025). Determination of suspended sediment concentration in the Grijalva–Usumacinta River System, Southern Gulf of Mexico. *Arabian Journal of Geosciences*, 18, 151. <https://doi.org/10.1007/s12517-025-12292-4>
- [21] Martín-Del-Pozzo, A. L., & Nieto-Torres, A. (2024). Ashfall characteristics and development of the ash monitoring network during three decades of the long-lived eruption of Popocatepetl Volcano, México. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 454, 108176. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2024.108176>
- [22] Mihai, R. A., Crăciunescu, A. M., Diaconu, C. C., & Râpeanu, G. (2025). Consequences of volcanic ash on antioxidants, nutrient composition, heavy metal accumulation, and secondary metabolites in key crops of Cotopaxi Province, Ecuador. *Toxics*, 13(2), 75. <https://doi.org/10.3390/toxics13020075>
- [23] Nooren, C. A. M., Hoek, W. Z., Tebbens, L. A., & Martin Del Pozzo, A. L. (2009). Tephrochronological evidence for the late Holocene eruption history of El Chichón volcano, Mexico. *Geofísica Internacional*, 48(1), 97–112. <https://www.scielo.org.mx/pdf/geoint/v48n1/v48n1a8.pdf>
- [24] Periódico Oficial del Estado de Tabasco. (2025, 21 de junio). Plan Municipal de Desarrollo de Paraíso, Tabasco 2024–2027 (Época 7.<sup>a</sup>, Suplemento C, edición 8590). [https://publicacionperiodico.tabasco.gob.mx/documento/7149/firmado\\_qr.pdf](https://publicacionperiodico.tabasco.gob.mx/documento/7149/firmado_qr.pdf)
- [25] Rodríguez-Hernández, Á., Ruiz-Suárez, N., Henríquez-Hernández, L. A., Díaz-Díaz, R., Zumbado, M., Bernal Suárez, M. del M., Alonso-González, P., Parga-Dans, E., & Luzardo, O. P. (2025). Bananas in the aftermath of La Palma volcanic eruption (Canary Islands, Spain): A study on the nutritional and toxic element composition of post-disaster production. *PLOS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0328982>
- [26] Romeo, F., Pavolonis, M., & Clarisse, L. (2025). Ash and ice aggregation in satellite retrieval: The 15 January 2022 event. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 130, e2024JD041196. <https://doi.org/10.1029/2024JD041196>
- [27] Rye, R. O., Luhr, J. F., & Wasserman, M. D. (1984). Sulfur and oxygen isotopic systematics of the 1982 eruptions of El Chichón Volcano, Chiapas, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 23(1–2), 109–123. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(84\)90058-1](https://doi.org/10.1016/0377-0273(84)90058-1)
- [28] Saputra, D. D., Sari, R. R., Sari, I. N., Suprayogo, D., & van Noordwijk, M. (2023). Water repellency by volcanic ash interacting with organic matter: Incubation response and effect on infiltration. *Geoderma*, 436, 116535. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116535>
- [29] Takishita, K., Poulidis, A.-P., & Iguchi, M. (2024). Tephra segregation profiles based on disdrometer observations and tephra dispersal modeling: Vulcanian eruptions of Sakurajima volcano, Japan. *Earth, Planets and Space*, 76, 29. <https://doi.org/10.1186/s40623-023-01952-y>
- [30] Tilling, R. I. (2009). El Chichón’s “surprise” eruption in 1982: Lessons for reducing volcano risk. *Geofísica Internacional*, 48(1), 3–19. <http://www.redalyc.org/pdf/568/56813222002.pdf>
- [31] Torres Velázquez, J. R., Infante-Mata, D., Sánchez, A. J., Espinoza-Tenorio, A., & Barba, E. (2017). Atributos estructurales, productividad (hojarasca) y fenología del manglar en la Laguna Mecoaacán, Tabasco, México. *Revista de Biología Tropical*, 65(4), 1428–1441. <https://doi.org/10.15517/rbt.v65i4.26653>
- [32] Vergara-Pinto, F., O’Grady, N., Fredriksen, A., Romero, J. E., Marchant, C., Walshe, R., & Szlam, M. (2024). How residents and volcanoes co-produce risk knowledge: Ways of knowing and affective attunement to the rhythms of Lonquimay volcano, Chile. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 454, 108180. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2024.108180>
- [33] Weir, A. M., Jenkins, S. F., Wilson, T. M., et al. (2024). Rapid remote volcanic ashfall impact assessment for the built environment. *Bulletin of Volcanology*, 86, 176. <https://doi.org/10.1007/s00445-024-01776-y>

---

## Prevalencia de anemia de universitarios de la Unidad Chontalpa-UJAT

### Prevalence of anemia in university students of the Chontalpa Unit-UJAT

Castellanos-Hernández J.<sup>1</sup>, De la Cruz-De la Cruz D. I.<sup>1</sup>, Trejo-Sánchez B. E.<sup>2</sup>, López-Victorio C. J.<sup>3</sup>, De la Cruz-Cano E.<sup>4</sup>, Escobar-Ramírez A.<sup>3</sup>, Díaz-Gandarilla J. A.<sup>4</sup>, Carrillo Hidalgo I.<sup>5</sup>, González Garrido J. A.<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Cunduacán, Tabasco, México.

<sup>2</sup>División Académica de Ciencias Básicas, Laboratorio Clínico de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Cunduacán, Tabasco, México.

<sup>3</sup>Centro de Investigación de Ciencia y Tecnología Aplicada de Tabasco (CICTAT), División Académica de Ciencias Básicas. Laboratorio de Bioquímica y Biología Molecular, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Cunduacán-Jalpa KM. 1 Colonia la Esmeralda, Tabasco, C.P. 86690, México. Proyecto de Responsabilidad social universitario

<sup>4</sup>Laboratorio de Análisis Clínicos, División Académica Multidisciplinaria de Comalcalco, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Comalcalco C.P. 86650, México.

<sup>5</sup>Centro de Atención Médica y Beneficencia IS-DOOR A.C. Cunduacán, Tabasco, México. Proyecto de Responsabilidad social universitario

\*arnold.gonzalez@ujat.mx

---

#### Resumen

La anemia, un síndrome hematológico multifactorial, representa un problema de salud pública que puede afectar el desarrollo cognitivo e intelectual de los estudiantes. Este estudio tuvo como objetivo determinar la prevalencia y la clasificación morfológica de la anemia en estudiantes de nuevo ingreso de la Unidad Chontalpa UJAT durante el periodo 2023-2024. Se realizó un estudio retrospectivo, observacional y transversal en 1339 estudiantes de entre 17 y 24 años. La determinación de hemoglobina y parámetros eritrocitarios se realizó con un analizador hematológico Mindray BC-30. La prevalencia global de anemia fue de 4.26 % con mayor incidencia en mujeres. El tipo microcítico hipocrómico fue el más frecuente (47.36%). Se concluye que, aunque la prevalencia no representa un riesgo para la salud pública y el patrón hematológico sugiere la deficiencia de hierro, sin embargo, la ausencia de marcadores bioquímicos limita la confirmación etiológica definitiva. Se recomienda integrar estos estudios en programas de vigilancia epidemiológica universitaria para un diagnóstico diferencial preciso.

**Palabras claves:** Anemia, Prevalencia, Universitarios, Hemoglobina, Tabasco.

#### Abstract

Anemia, a multifactorial hematological syndrome, represents a public health problem that can affect students' cognitive and intellectual development. This study aimed to determine the prevalence and morphological classification of anemia in new students at the Chontalpa UJAT Unit during the 2023-2024 period. A retrospective, observational, cross-sectional study was conducted on 1,339 students between the ages of 17 and 24. Hemoglobin and erythrocyte parameters were determined using a Mindray BC-30 hematological analyzer. The overall prevalence of anemia was 4.26%, with a higher incidence in women. The microcytic hypochromic type was the most frequent (47.36%). It is concluded that, although the prevalence does not represent a risk to public health and the hematological pattern suggests iron deficiency, the absence of biochemical markers limits definitive

etiología confirmada. Se recomienda que estos estudios se integren en programas de vigilancia epidemiológica de universidades para un diagnóstico diferencial preciso.

**Palabras clave:** Anemia, Prevalencia, Estudiantes de Colegios, Hemoglobina, Tabasco.

Recibido: 09-enero-2026, Aceptado: 12-febrero-2026, Publicado: 30-abril-2026

## 1. Introducción

La anemia es un síndrome hematológico multifactorial que se presenta cuando el organismo no produce suficientes glóbulos rojos, que contienen hemoglobina, proteína encargada de transportar el oxígeno por todo el cuerpo [1]. Desde el punto de vista fisiopatológico, la carencia de hierro es la causa más común de anemia, pero pueden causarla otras carencias nutricionales (entre ellas, las de folato, vitamina B12 y vitamina A), la inflamación aguda y crónica, las parasitosis y las enfermedades hereditarias o adquiridas que afectan a la síntesis de hemoglobina y a la producción o la supervivencia de los eritrocitos. La presencia de anemia se considera un síntoma de enfermedades subyacentes [1], [2], [3]. La clasificación morfológica de anemia por índices eritrocitarios nos permite identificar y clasificar los distintos tipos de anemia y su posible causa [4], [5]. Para establecer la existencia de anemia hay que tener en cuenta la edad, la región geográfica y especialmente el sexo, a diferencia de los varones, las mujeres están sujetas a mayor requerimiento de hierro por su ciclo menstrual, además, están influenciadas por su autocuidado e imagen personal. Las manifestaciones clínicas frecuentes son: debilidad, falta de energía, ausencia de apetito, anorexia, aumento de sueño, susceptible, bajo rendimiento físico, percepción de vértigo, cefalea y alteraciones en su crecimiento, lo cual dificulta significativamente el desempeño de los estudiantes a lo largo de su carrera académica y afecta de manera negativa su desarrollo profesional [1], [6].

La anemia es un problema de salud pública mundial que afecta aproximadamente al 32.9 % de la población mundial, la OMS estima que el 23.3% de jóvenes en todo el mundo padecen anemia [1], [7]. En México, la anemia predominante es asociada a la desnutrición por deficiencia de hierro, [8] además, esta patología es preocupante debido a que se asocia en el contexto educativo con una pérdida de las funciones cognitivas (pensamiento, la memoria, la percepción y la resolución de problemas), ocasionando un problema en el rendimiento académico [7], [9]. Reportes en estudiantes universitarios, describen que esta condición reduce la capacidad de aprendizaje y aumenta la fatiga, dificultando el cumplimiento de tareas académicas exigentes [10], [11].

El diagnóstico de la anemia suele ser a través de la biometría hemática. En la biometría hemática se analizan diversos parámetros, entre los cuales se incluyen el conteo de glóbulos rojos, la concentración de hemoglobina y los índices corpusculares: Volumen Corpuscular Medio (VCM), Hemoglobina Corpuscular Media (HCM) y Concentración de Hemoglobina Corpuscular Media (CHCM), además del Hematocrito (HTO). La evaluación integral de estos valores resulta fundamental para identificar y clasificar morfológicamente los distintos tipos de anemia. El objetivo del presente estudio fue determinar la prevalencia y clasificación morfológica de anemia en estudiantes universitarios de nuevo ingreso de la Unidad Chontalpa durante el periodo 2023-2024.

## 2. Metodología Experimental

### 2.1 Grupo de estudio

El estudio observacional, descriptivo y retrospectivo se realizó durante el periodo del 1 de enero del 2023 al 31 de diciembre del 2024 en la Unidad Chontalpa de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, a los estudiantes de nuevo ingreso que acudieron al Laboratorio de Análisis clínicos de la División Académica

de Ciencias Básicas. Se incluyeron un total de 1339 estudiantes universitarios, con edades comprendidas entre los 17 y 24 años con un promedio de edad de 18 años. Se excluyeron embarazo, enfermedades crónicas, infecciones agudas y tratamiento hematológico previo. La presencia de anemia fue determinada a partir de los valores de la fórmula roja e índices eritrocitarios obtenidos mediante el sistema Mindray BC-30.

## **2.2 Consentimiento informado.**

El estudio se realizó de acuerdo con los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki de 1975 (revisada en 1983) y fue consistente con las guías de buena práctica clínica. El protocolo de este estudio fue aprobado por el comité de investigación y ética de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y un consentimiento informado por escrito fue obtenido de cada uno de los participantes.

## **2.3 Obtención de muestras sanguíneas.**

Se obtuvieron 5mL de sangre venosa por venopunción de la vena cubital media, en condiciones estandarizadas y bajo estricta asepsia. Los participantes se encontraban con un ayuno de 8-12 horas para evitar variaciones fisiológicas en los parámetros hematológicos. La recolección se realizó utilizando material estéril y desechable, conforme a las normas de bioseguridad y las recomendaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-007-SSA3-2011 [12]. Las muestras se depositaron en tubos con anticoagulante EDTA y se procesaron el mismo día mediante el analizador hematológico Mindray BC-30, calibrado de acuerdo con las especificaciones del fabricante, para determinación de hemoglobina y parámetros eritrocitarios.

## **2.4 Detección de Anemia y clasificación por índices eritrocitarios.**

La anemia se diagnosticó siguiendo los criterios de la Organización Mundial de la Salud (OMS): hemoglobina <13.0 g/dL en hombres y <12.0 g/dL en mujeres [13]. De las personas que presentaron valores de anemia, se realizó una Clasificación de severidad por valores de hemoglobina: Anemia leve (10.0-10.9 g/dL), Anemia moderada (7.0-9.9 g/dL), Anemia grave (<7.0 g/dl). Posteriormente, se realizó la clasificación morfológica utilizando los parámetros del volumen corpuscular medio (VCM), Hemoglobina corpuscular media (HCM) y la concentración de hemoglobina corpuscular media (CMHC), categorizando la anemia en: anemia microcítica-hipocrómica se caracteriza por un VCM (<80 fL), una HCM (<27 pg) y CMHC (<32 g/dL). En la anemia normocítica-normocrómica, el VCM se mantiene en valores normales (80–100 fL), HCM (27–33 pg) y CMHC (32-36 g/dL). Por último, la anemia macrocítica-normocrómica presenta un VCM >100 fL, mientras que la HCM puede encontrarse en valores normales (27–33 pg) o >33 pg y CMHC (32-36 g/dL) [14], [4].

## **2.5 Estadística.**

El análisis estadístico de los datos cualitativos se realizó utilizando estadística descriptiva, con apoyo del software Microsoft Excel 2019. Se emplearon medidas de tendencia central y de dispersión, así como frecuencias absolutas y relativas (porcentajes) para caracterizar a la población y estimar la prevalencia de anemia en el grupo de estudio.

### 3. Resultados

En este estudio los participantes presentan una edad promedio de 18 años. En la Tabla 1 se presenta los parámetros hematológicos de la población de estudio, correspondiendo el 67% a hombres y el 33% a mujeres.

En la Tabla 2, se muestra la prevalencia de anemia por hemoglobina en los años de estudio, observándose una mayor prevalencia en el año 2023, sin embargo, se observó una disminución en el año 2024 del 4.95 % con respecto al año anterior. En la clasificación de la severidad de la anemia se observó en la Tabla3 que los participantes se encuentran en el rango de anemia leve (84.3%), moderado (15.8%), y no se presentó ninguno caso de anemia grave.

En la Tabla 4 se presenta los parámetros hematológicos de la población de estudio, correspondiendo el 67% a hombres y el 33% a mujeres. En los años 2023 y 2024 la población evaluada fue diferente, tanto en el tamaño muestral como en la distribución por sexo, como se observa en las Tablas 2 y 3. Para la determinación de hemoglobina, los resultados mostraron que 57 estudiantes presentaron algún tipo de anemia como se muestra en la Tabla 3, lo que sugiere la presencia de esta patología en la población estudiada.

En la clasificación morfológica en la tabla 5, la anemia microcítica hipocrómica fue la más prevalente seguida por la anemia normocítica hipocrómica.

**Tabla 1.** Parámetros hematológicos de estudiantes universitarios de la Unidad Chontalpa-UJAT, 2023-2024

	<b>Población</b> <i>n</i> =1339	<b>Femenino</b> <i>n</i> =443	<b>Masculino</b> <i>n</i> =896
<b>Hemoglobina (g/dL)</b>	14.64±1.64	13.23±1.05	15.34±1.64
<b>VCM (fL)</b>	88.41±6.29	87.83±5.48	88.69±6.29
<b>HCM (pg)</b>	28.57±1.69	28.29±1.50	28.71±1.69
<b>CHCM(g/dL)</b>	32.30±1.65	32.10±1.49	32.40±1.92

Nota: Los valores se expresan como media ± desviación estándar. *n*= frecuencia absoluta; VCM: Volumen corpuscular medio; HCM: Hemoglobina Corpuscular media; CHCM: Concentración de Hemoglobina Corpuscular Media.

**Tabla 2.** Prevalencia de anemia según sexo y año de estudio en estudiantes universitarios de la Unidad Chontalpa-UJAT, 2023-2024

<b>2023-2024</b> <i>n</i> =57 <b>4.26%</b>	<b>2023</b> <i>n</i> =38 <b>7.7%</b>	<b>2024</b> <i>n</i> =19 <b>2.2%</b>
F=48(3.6%) M=9(0.6%)	F=32(6.5%) M=6(1.2%)	F=16(1.9%) M=3(0.3%)

Nota: *n*= frecuencia absoluta; %= frecuencia relativa; M= Masculino; F= Femenino. Clasificación de la prevalencia basada en los criterios de la OMS.

**Tabla 3.** Distribución de la severidad de la anemia por sexo en estudiantes universitarios de la Unidad Chontalpa-UJAT, 2023-2024

Año	Género	Leve (%)	Moderada (%)	Grave (%)
<b>2023</b> n=38	<b>M</b> n=5	13.15% n=5	0	0
	<b>F</b> n=33	71.05% n=27	15.78% n=6	0
<b>2024</b> n=19	<b>M</b> n=3	15.8% n=3	0	0
	<b>F</b> n=16	68.4% n=13	15.8% n=3	0

Nota:  $n$  = frecuencia absoluta; %= frecuencia relativa; M= Masculino; F= Femenino. Los rangos de severidad se establecieron según los criterios de la OMS: Leve (10.0-10.9 g/dL), Moderada (7.0-9.9 g/dL) y grave (<7 g/dL).

**Tabla 4.** Parámetros hematológicos de estudiantes universitarios con anemia de la Unidad Chontalpa-UJAT, 2023-2024

	Femenino		Masculino	
	2023 n=32	2024 n=6	2023 n=16	2024 n=3
<b>Hemoglobina (g/dL)</b>	11.23±0.76	11.41±0.51	12.35±0.50	12.17±0.68
<b>VCM (fl)</b>	81.26±6.20	83.33±6.50	80.85±4.41	75.2±14.48
<b>HCM (pg)</b>	26.72±2.42	25.48±2.40	26.52±2.45	23.1±4.74
<b>CHCM(g/dL)</b>	31.98±5.09	30.62±0.61	32.8±1.43	30.73±0.91

Nota: Los valores se expresan como media ± desviación estándar.  $n$ = frecuencia absoluta VCM: Volumen corpuscular medio; HCM: Hemoglobina Corpuscular media; CHCM: Concentración de Hemoglobina Corpuscular Media.

**Tabla 5.** Distribución de los tipos morfológicos de anemia según sexo en de estudiantes universitarios de la Unidad Chontalpa-UJAT, 2023-2024

	Anemia Microcítica Hipocrómica n=24	Anemia Microcítica Normocrómica n=1	Anemia Normocítica Hipocrómica n=13	Anemia Normocítica Normocrómica n=19
<b>F</b>	(75%)18	(100%)1	(100%)13	(84.2%)16
<b>M</b>	(25%)6	0	0	(15.8%)3

Nota:  $n$  = frecuencia absoluta; %= frecuencia relativa; M= Masculino; F= Femenino.

#### 4. Discusión

La prevalencia global de anemia en estudiantes universitarios de la Unidad Chontalpa-UJAT fue de 4.26% (Tabla 1). De acuerdo con los criterios establecidos de la OMS, se clasifica como prevalencia normal para la salud pública (< 4.6%) [12]. Sin embargo, en el año 2023 se observó una prevalencia de 7.7%, considera de riesgo leve (5.0-19.9%) (Tabla 2), mientras que en el año 2024 disminuyó a 2.2%, ubicándose nuevamente en el rango normal. Estos resultados coinciden parcialmente con estudios previos. Por ejemplo, en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León se reportó una prevalencia de 3.7%, con mayor afectación en mujeres (6.31%) que en hombres (1.08%) [15]. En contraste, en Colima se registró una prevalencia significativamente mayor (21.6%), posiblemente influenciada por factores como edad, semestre cursado y acceso a recursos nutricionales.[16]. En Uruguay, se reportó una prevalencia de anemia del 2.1% y de ferropenia del 8.7%, lo que sugiere que el diagnóstico basado únicamente en hemoglobina puede subestimar la condición [17], [18].

La mayor prevalencia de anemia se observó en mujeres, esto se puede asociar a pérdidas menstruales cíclicas no compensadas por una adecuada ingesta de hierro [19]. El tipo más común fue la anemia microcítica hipocrómica (47.36%), estos resultados posiblemente pueden estar asociados a característica de la deficiencia de hierro, pero también a talasemias y anemias sideroblásticas [4]. El patrón microcítico hipocrómico observado es compatible con deficiencia de hierro, la causa más frecuente a nivel mundial [2]. De acuerdo con la literatura, entre los factores asociados destacan una dieta deficiente en hierro, especialmente en hierro hemo de origen animal y las condiciones socioeconómicas, debido a que muchos estudiantes provienen de entornos con pocos recursos económicos, limitando su acceso a una alimentación adecuada [20],[21]. Según CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la política de Desarrollo Social), Tabasco presenta carencias de acceso a alimentación nutritiva. Además, que se ha descrito que los hábitos alimenticios de los universitarios se asocian con la omisión de comidas, el consumo frecuente de comida rápida y el bajo consumo de vegetales y proteínas animales, lo que puede incrementar la incidencia de este tipo de anemia [22], [23]. En nuestro estudio, se identificaron casos de anemia normocítica normocrómica (28.07%), posiblemente vinculados a procesos inflamatorios crónicos [24]. Un pequeño porcentaje (1.75%) correspondió a anemia microcítica normocrómica, posiblemente asociada a talasemias o anemias sideroblásticas [25], [26].

La disminución de la prevalencia en 2024 podría estar relacionada con intervenciones del gobierno federal. En el año 2023, el principal apoyo de becas del gobierno federal para educación media superior en Tabasco fue la “Beca Universal de Educación Media Superior Benito Juárez”, que promueve el apoyo económico en la manutención de los estudiantes [27]. Sin embargo, no se cuenta con evidencia directa que vincule esta actividad con la mejora observada, lo que representa una limitación. Otra limitación es la ausencia de análisis bioquímicos complementarios, como los de ferritina sérica o capacidad total de fijación del hierro, que permitirían evaluar la deficiencia de hierro con mayor precisión. Además, el estudio se centró en estudiantes de nuevo ingreso, lo que restringe la generalización de los resultados a toda la población universitaria. Finalmente, aunque se identificaron factores de riesgo, no se aplicaron instrumentos específicos para evaluar hábitos alimenticios, estado nutricional o condiciones socioeconómicas, lo que limita la capacidad de establecer asociaciones causales.

#### 5. Conclusiones

El presente estudio permitió determinar una prevalencia baja de anemia (4.26%) en estudiantes de la Unidad Chontalpa-UJAT, predominante en mujeres y de tipo microcítica hipocrómica. Se recomienda fortalecer los programas de nutrición y vigilancia de salud en población universitaria.

## 6. Agradecimientos

Los autores agradecen a la División Académica de Ciencias Básicas de la UJAT por el apoyo logístico en la recolección de datos y análisis de muestras.

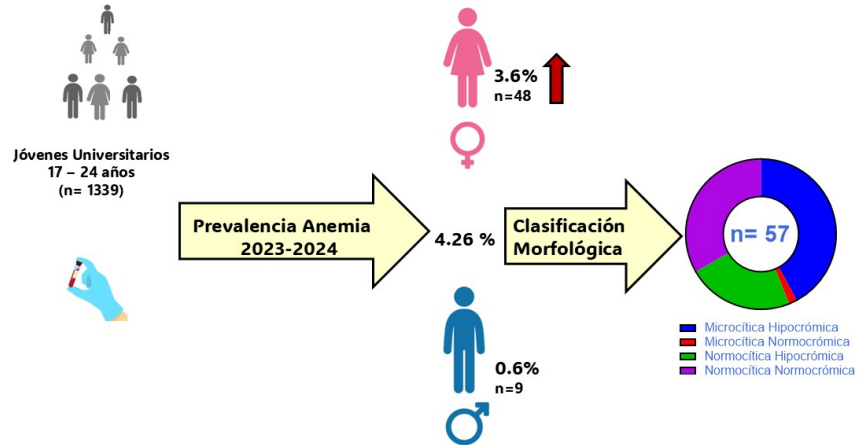
## 7. Conflicto de intereses

“Los autores declaran no tener conflictos de intereses”

## 8. Declaratoria de uso de Inteligencia Artificial

“Los autores declaran que no han utilizado ninguna aplicación, software, páginas web de inteligencia artificial generativa en la redacción del manuscrito, en el diseño de tablas y figuras, ni en el análisis e interpretación de los datos”.

## 9. Resumen Grafico



## 10. Roles de contribución

ROL	AUTORES(AS)
Cocentualización	González Garrido J. A, Díaz-Gandarilla J. A.
Curación de datos	Castellanos-Hernández J., De la Cruz-De la Cruz D. I
Análisis formal	González Garrido J. A., Trejo-Sánchez B. E.
Adquisición de fondos	González Garrido J. A
Investigación	Castellanos-Hernández J., De la Cruz-De la Cruz D. I., López-Victorio C. J., De la Cruz-Cano E.
Metodología	González Garrido J. A., Díaz-Gandarilla J. A., Escobar-Ramírez A.
Administración del proyecto	González Garrido J. A.
Recursos	González Garrido J. A., Carrillo Hidalgo I., Escobar-Ramírez A.
Software	Trejo-Sánchez B. E.
Supervisión	González Garrido J. A., Díaz-Gandarilla J. A.
Validación	Escobar-Ramírez A., Carrillo Hidalgo I.
Visualización	Castellanos-Hernández J., Trejo-Sánchez B. E.
Escritura-borrador-original	Castellanos-Hernández J
Escritura-revisión-edición	González Garrido J. A., Díaz-Gandarilla J. A., Carrillo Hidalgo I.

Nota. Taxonomía de roles de contribución (CRediT)

## 11. Referencias







- [1] Organización Mundial de la Salud, “Anemia,” 2023. Accessed: oct. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/anaemia>
- [2] L. and B. I. National Heart, “Anemia - Causas y factores de riesgo,” Mar. 2024. Accessed: oct. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.nhlbi.nih.gov/es/salud/anemia/causas>
- [3] A.K. C. Leung, J. M. Lam, A. H. C. Wong, K. L. Hon, and X. Li, “Iron Deficiency Anemia: An Updated Review,” *Curr Pediatr Rev*, vol. 20, no. 3, pp. 339–356, Jul. 2024, doi: 10.2174/1573396320666230727102042.
- [4] K. K. Marshall A. Lichtman, “Williams Manual of Hematology,” ISBN: 9781264269211. Accessed: Jan. 28, 2026. [Online]. Available: <https://nhathuocngocanh.com/wp-content/uploads/2023/10/Williams-Manual-of-Hematology-Tenth-Edition-nhathuocngocanh.pdf>
- [5] K. S. Ysihuaylas B[3]las, “Prevalencia, grado de anemia y clasificación según índices eritrocitarios en estudiantes de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, 2016,” 2017.
- [6] L. Rodas-Alvarado and L. Rodas-Alvarado, “Anemia en futuras generaciones médicas,” *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, vol. 20, no. 2, pp. 337–338, Jun. 2020, doi: 10.25176/RFMH.V20I2.2281.
- [7] A. Mosiño, K. P. Villagómez-Estrada, and A. Prieto-Patrón, “Association between School Performance and Anemia in Adolescents in Mexico,” *Int J Environ Res Public Health*, vol. 17, no. 5, p. 1466, Mar. 2020, doi: 10.3390/IJERPH17051466.
- [8] R. Corral-Symes, K. Fernández-Quiroga, O. González-Santiago, and P. D. M.-S. Claudio, “Prevalencia de Anemia en Estudiantes de la Facultad de Ciencias Químicas de la UANL,” *Revista de Ciencias*

- Farmacéuticas y Biomedicina, vol. 1, no. 1, pp. 14–21, Jul. 2018, Accessed: Aug. 09, 2025. [Online]. Available: <https://rcfb.uanl.mx/index.php/rcfb/article/view/119>
- [9] E. E. Fienco-Choez, C. A. Martínez-Lirio, and Y. Y. Q. Cantos, “Anemia como factor pronóstico de rendimiento académico en jóvenes adultos de 19-25 años de la parroquia La Unión,” *Revista Científica de Salud BIOSANA*, vol. 5, no. 1, pp. 301–312, Feb. 2025, doi: 10.62305/BIOSANA.V5I1.442.
- [10] G. Llanos, M. José, G. Zamudio, Ll. de los Reyes-García, and P. Hematologist, “Significado de la anemia en las diferentes etapas de la vida,” *Enfermería Global*, vol. 15, no. 43, pp. 407–418, 2016, Accessed: Sep. 09, 2025. [Online]. Available: [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1695-61412016000300015&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1695-61412016000300015&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- [11] G. A. Morón Sánchez et al., “IRON DEFICIENCY ANEMIA AND ITS RELATIONSHIP WITH COGNITIVE FUNCTION IN UNIVERSITY STUDENTS, SANTA CRUZ 2024.,” *Revista Científica en Ciencias de la Salud Humana – RCCSH*, vol. 4, no. 1, pp. 1–17, Jun. 2025, doi: 10.56274/RCS.2025.4.1.54.
- [12] “DOF - Diario Oficial de la Federación.” Accessed: Aug. 10, 2025. [Online]. Available: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5240925&fecha=27/03/2012#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5240925&fecha=27/03/2012#gsc.tab=0)
- [13] World Health Organization, “Haemoglobin concentrations for the diagnosis of anaemia and assessment of severity,” 2011. Accessed: Oct. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-NMH-NHD-MNM-11.1>
- [14] K. Kaushansky et al., “Variables de laboratorio relevantes para el diagnóstico hematológico,” in *Williams. Manual de Hematología (10a ed.)*, 2022, ch. I. Accessed: Oct. 27, 2025. [Online]. Available: <https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=3349&sectionid=283526516>
- [15] K. F.-Q. Ruth Corral-Symes and Morales-San-Claudio, “Prevalencia de Anemia en Estudiantes de la Facultad de Ciencias Químicas de la UANL.” Accessed: Jul. 30, 2025. [Online]. Available: <http://eprints.uanl.mx/24342/1/24342.pdf>
- [16] R. Velasco-Rodríguez, M. Del Toro-Equihua, A. B. Mora-Brambila, R. Godínez-Gómez, D. A. López-Flores, and A. B. Saucedo-Tellechea, “Prevalencia de anemia en estudiantes de enfermería,” *Rev. enferm. Inst. Mex. Seguro Soc*, pp. 7–12, 2008, Accessed: Oct. 27, 2025. [Online]. Available: [http://revistaenfermeria.imss.gob.mx/editorial/index.php/revista\\_enfermeria/article/view/502/900](http://revistaenfermeria.imss.gob.mx/editorial/index.php/revista_enfermeria/article/view/502/900)
- [17] S. Grille et al., “[Iron deficiency in reproductive age university women at the School of Medicine, Uruguay],” *Rev Fac Cien Med Univ Nac Cordoba*, vol. 77, no. 4, pp. 229–234, Dec. 2020, doi: 10.31053/1853.0605.V77.N4.28992.
- [18] F. J. Bernárdez-Zapata, “Deficiencia de hierro en mujeres en edad reproductiva. Revisión de la bibliografía,” *Ginecol Obstet Mex*, vol. 89, no. 2, pp. 129–140, Feb. 2021, doi: 10.24245/GOM.V89I2.4600.
- [19] A.G. Eng et al., “Attention-deficit/hyperactivity disorder and the menstrual cycle: Theory and evidence,” *Horm Behav*, vol. 158, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.yhbeh.2023.105466.
- [20] L. Van Doren, M. Steinheiser, K. Boykin, K. J. Taylor, M. Menendez, and M. Auerbach, “Expert consensus guidelines: Intravenous iron uses, formulations, administration, and management of reactions,” *Am J Hematol*, vol. 99, no. 7, pp. 1338–1348, Jul. 2024, doi: 10.1002/AJH.27220.
- [21] V. P. Patel et al., “Iron Status in Sickle Cell Anemia: Deficiency or Overload?,” *Cureus*, vol. 15, no. 2, Feb. 2023, doi: 10.7759/CUREUS.35310.
- [22] F. J. Maza-ávila, M. C. Caneda-Bermejo, and A. C. Vivas-Castillo, “Dietary habits and health effects among university students. A systematic review,” *Psicogente*, vol. 25, no. 47, Jan. 2022, doi: 10.17081/PSICO.25.47.4861.

- [23] W. Zhang, M. Xu, Y. Feng, Z. Mao, and Z. Yan, “The Effect of Procrastination on Physical Exercise among College Students—The Chain Effect of Exercise Commitment and Action Control,” *International Journal of Mental Health Promotion*, vol. 26, no. 8, pp. 611–622, 2024, doi: 10.32604/ijmhp.2024.052730.
- [24] L. Van Doren, M. Steinheiser, K. Boykin, K. J. Taylor, M. Menendez, and M. Auerbach, “Expert consensus guidelines: Intravenous iron uses, formulations, administration, and management of reactions,” *Am J Hematol*, vol. 99, no. 7, pp. 1338–1348, Jul. 2024, doi: 10.1002/AJH.27220.
- [25] C. He et al., “Anemia is associated with long-term exposure to PM2.5 and its components: a large population-based study in Southwest China,” *Ther Adv Hematol*, vol. 14, Jan. 2023, doi: 10.1177/20406207231189922.
- [26] Y. Li et al., “Unveiling the molecular landscape of  $\delta$ -thalassemia and  $\delta$ -globin variants in southern China: novel mutations, gene spectrum, and implications for thalassemia diagnosis,” *Front Genet*, vol. 16, 2025, doi: 10.3389/FGENE.2025.1584310/PDF.
- [27] “Beca Universal de Educación Media Superior ‘Benito Juárez’ | Coordinación Nacional de Becas para el Bienestar Benito Juárez | Gobierno | gob.mx.” Accessed: Oct. 27, 2025. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/becasbenitojuarez/articulos/conoce-todo-sobre-la-beca-universal-de-educacion-media-superior-benito-juarez>.

## **Hábitos de Sueño en Aislamiento Social por la Pandemia de COVID-19**

### **Sleep Habits in Social Isolation due to the COVID-19 Pandemic**

**Méndez-Cházaro, E. S.<sup>1</sup>, Rincón-Benavides, D. E.<sup>2</sup>, Murillo-Collado, Erick<sup>2</sup>, González-Garrido, J. A.<sup>3</sup>, López-Victorio, C. J.<sup>3</sup>, Carrillo-Hidalgo, I.<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Cunduacán, Tabasco, México.

<sup>2</sup>Centro de Atención Médica y Beneficencia IS-DOOR A. C.:

<sup>3</sup>División Académica de Ciencias Básicas, Laboratorio de Bioquímica y Biología Molecular, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Cunduacán, Tabasco, México, Cuerpo Académico Bioquímica y Biología Molecular

\*ismaelcarrilloh@gmail.com

---

#### **Resumen**

**Objetivo:** Identificar conductas que influyen en los hábitos de sueño, ya sean negativas o positivas, lo que permitirá comprender su impacto en el desempeño biopsicosocial durante el aislamiento social por COVID-19.

**Material y métodos:** Se realizó una revisión bibliográfica sistemática de 50 fuentes científicas (SciELO, Elsevier, PubMed, Redalyc y Google Académico), utilizando palabras clave como “salud mental”, “aislamiento social”, “hábitos de sueño” y “COVID-19”. Algunos estudios fueron descartados por no abordar directamente la relación entre aislamiento y sueño.

**Resultados:** La revisión reveló respuestas psicológicas como ansiedad, miedo, ira y confusión, además de hábitos perjudiciales como el insomnio, derivados del confinamiento.

**Conclusiones:** El aislamiento social por COVID-19 se asocia consistentemente con alteraciones en los hábitos de sueño y manifestaciones psicológicas adversas, lo que evidencia la necesidad de estrategias de intervención en salud mental durante contextos de confinamiento.

**Palabras claves:** pandemias; aislamiento social; hábitos de sueño, covid-19

#### **Abstract**

**Objective:** Identifying behaviors that influence sleep habits, whether negative or positive, will allow us to understand their impact on biopsychosocial performance during social isolation due to COVID-19.

**Material and methods:** A systematic literature review of 50 scientific sources (SciELO, Elsevier, PubMed, Redalyc, and Google Scholar) was conducted, using keywords such as "mental health," "social isolation," "sleep habits," and "COVID-19." Some studies were discarded because they did not directly address the relationship between isolation and sleep.

**Results:** The review revealed psychological responses such as anxiety, fear, anger, and confusion, as well as harmful habits such as insomnia, resulting from confinement.

**Conclusions:** Social isolation increases the risk of sleep disturbances. Surveys are proposed to identify habits resulting from confinement and their direct relationship with the pandemic.

**Keywords:** pandemics; social isolation; sleep habits; covid-19

## 1. Introducción

El sueño es un fenómeno fisiológico esencial que ocurre de manera circadiana en la mayoría de los seres vivos, definido como un estado temporal de inconsciencia reversible mediante estímulos [1]. Entre sus funciones destacan el restablecimiento de energía, la eliminación de radicales libres, la homeostasis sináptica y la regulación de la actividad eléctrica cortical. Los hábitos de sueño, entendidos como el conjunto de prácticas que favorecen un descanso reparador, se desarrollan a lo largo de la vida y varían según la edad, salud, ocupación y entorno social [2]. Sin embargo, las exigencias académicas, laborales y sociales pueden alterar estas rutinas, provocando una higiene inadecuada del sueño y afectando negativamente la calidad del descanso.

La Organización Mundial de la Salud recomienda dormir al menos seis horas diarias, advirtiendo que la falta de sueño puede generar problemas de salud a corto, medio y largo plazo, como alteraciones gastrointestinales y trastornos del sueño, siendo el insomnio el más frecuente [1]. Este último se define como la insatisfacción con la cantidad o calidad del sueño [3], y puede surgir ante eventos estresantes como enfermedades, separaciones o pérdidas. La pandemia por SARS-CoV-2, que provocó la enfermedad COVID-19, representó una emergencia sanitaria global que obligó al aislamiento social, generando un impacto significativo en los hábitos de sueño, alimentación y rutinas diarias [4].

Aunque el aislamiento fue una medida eficaz para reducir contagios, también constituyó un factor estresante agudo que afectó la salud mental de la población mundial. Las respuestas individuales ante esta situación variaron según las estrategias de afrontamiento, pero en general se evidenció una alteración en los ritmos de vida [4]. A pesar del creciente interés en la salud mental postpandemia, persisten vacíos en la comprensión del vínculo entre el confinamiento y los hábitos de sueño [5]. Por ello, el presente estudio tiene como objetivo analizar, a partir de una revisión bibliográfica, el impacto del aislamiento por COVID-19 en la salud mental, con énfasis en las alteraciones del sueño, contribuyendo al entendimiento de sus consecuencias psicosociales y a la promoción de estrategias de intervención.

## 2. Metodología

Se realizó una revisión bibliográfica entre mayo y junio de 2022 en las bases de datos PubMed, SciELO, Elsevier, Redalyc y Google Académico. La búsqueda se llevó a cabo mediante estrategias de tamizaje utilizando las palabras clave: “salud mental”, “aislamiento social”, “hábitos de sueño” y “COVID-19”, así como sus equivalentes en inglés.

La búsqueda inicial permitió identificar 50 artículos potencialmente relevantes. Como criterios de inclusión, se consideraron documentos originales publicados en los últimos cinco años y que abordaran de manera directa la relación entre aislamiento social y hábitos de sueño. Posteriormente, los estudios fueron sometidos a un análisis crítico narrativo, considerando su diseño metodológico, población de estudio y consistencia de resultados. Finalmente, se seleccionaron 20 artículos que cumplían con los criterios establecidos y aportaban información pertinente al objetivo del estudio.

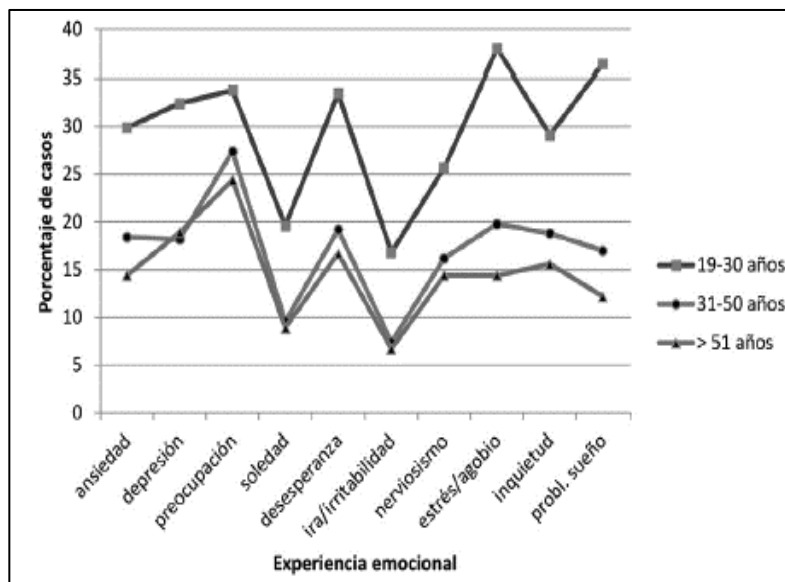
## 3. Resultados

La aparición de una epidemia genera diversos efectos en la salud mental y emocional de las personas. Un ejemplo de esto es Taiwán donde después del brote de SARS-CoV-2, se observó que cerca del 10% de la población comenzó a tener una visión más pesimista de su vida conforme pasaban los meses a partir del inicio de la enfermedad, además la morbilidad psiquiátrica se registró un 11.7% [5]. En este mismo sentido, en Singapur, los profesionales de la salud reportaron síntomas relacionados con afectaciones psicológicas

durante este mismo periodo del 27% [5]. Asimismo, se halló que el 20% de los médicos y enfermeras sufrieron TEPT (trastorno de estrés postraumático) [2]; el análisis mostró que aquellos que percibieron apoyo de supervisores y colegas fueron menos propensos al desarrollo de insomnio, trastornos del sueño y TEPT [2].

Un estudio del personal del hospital que podría haber estado en contacto con el SARS-Cov-2 encontró que, tras la finalización del período de cuarentena (9 días), el confinamiento fue el factor más predictivo de los síntomas del trastorno de estrés agudo. En el mismo estudio, el personal en cuarentena fue significativamente más propenso a reportar agotamiento; desapego de los demás; ansiedad al tratar con pacientes febriles; irritabilidad; trastornos de hábito de sueño, principalmente insomnio; poca concentración e indecisión; deterioro del desempeño laboral, renuencia al trabajo o abandono laboral [6].

Las personas que estuvieron en cuarentena a raíz del contacto cercano con aquellos que potencialmente tenían SARS-Cov-2 informaron varias respuestas negativas durante el período de confinamiento: más del 20% (230 de 1057) informaron temor, 18% (187) expresaron nerviosismo, 18% (186) informaron tristeza y 10% (101) manifestaron culpabilidad. Únicamente el 5% (48) indicaron sentimientos de felicidad y el 4% (43) expresaron sentimientos de alivio. Los estudios cualitativos también identificaron una variedad de otras respuestas psicológicas a la cuarentena, como confusión, miedo, ira, pena, entumecimiento, ansiedad, malos hábitos de sueño que tenían como consecuencia el insomnio [3,4].



**Figura 1.** Se presenta el perfil emocional asociado al aislamiento social por COVID-19 de acuerdo con los grupos de edad [4].

A partir del Cuestionario de Impacto Psicológico del Coronavirus (CIPC), desarrollado por los autores de un estudio en España, se evaluó el impacto y las principales consecuencias asociadas a la pandemia de COVID-19. Entre las características sociodemográficas que influyeron en el estudio, se encontró que un porcentaje relevante de participantes vive con alguna persona que padece una condición de enfermedad crónica grave (18.2%) o una persona dependiente que requiere elevada atención (7.8%). La mayoría de los sujetos no han tenido que salir a trabajar fuera de casa (75.6%), mientras que un porcentaje menor (9%) trabaja fuera de casa como personal sanitario [4]. Mediante la Escala del Miedo por Coronavirus, se examinó el impacto en la salud mental que genera esta contingencia. Más del 40% considera como principal temor el contagio, la enfermedad o la muerte, mientras que casi la mitad (49%) manifiesta preocupación

por la muerte de un familiar. Asimismo, la Figura 1 muestra una alta prevalencia de experiencias emocionales negativas y problemas de sueño en función de los grupos de edad [4].

Las emociones, al influir en el bienestar personal, pueden desencadenar trastornos de la salud mental, como la ansiedad o la depresión. Dichos trastornos afectan las rutinas de un individuo y pueden generar hábitos poco saludables [8,9]. Por ejemplo, una persona con depresión puede presentar alteraciones en sus hábitos, dada su desesperanza y la percepción de que su esfuerzo es en vano [10].

El sueño, como hábito personal, es un aspecto que impacta directamente en la salud. Se calcula que más del 30% de los pacientes que acuden a una clínica del sueño presentan una higiene del sueño inadecuada, manifestada en dormir pocas horas o presentar insomnio. Este tipo de insomnio suele estar asociado a situaciones generadoras de ansiedad, como cambios laborales, separaciones o la pérdida de una persona cercana, entre otras circunstancias estresantes, como ocurrió durante la pandemia por COVID-19. Generalmente, es de corta duración y desaparece cuando se resuelve el problema o el individuo se adapta al estresor [5,11].

En la actualidad, la pandemia y la sobrecarga de información inconsistente y contradictoria sobre el virus han favorecido el incremento de la ansiedad. La ansiedad y el miedo no solo constituyen una respuesta ante situaciones abrumadoras y estresantes, sino que también cumplen una función adaptativa al permitir evaluar la amenaza y estimar el grado de control sobre ella [9]. Sin embargo, cuando el individuo percibe una pérdida de control, la ansiedad se intensifica y el estresor en este caso, el COVID-19, puede generar un aumento significativo del estrés, afectando no solo la calidad del sueño, sino también la salud mental en general. [5]. Otros estudios centrados en el aislamiento social no relacionado con pandemias han investigado las respuestas psicológicas y psicosociales ante situaciones estresantes, como el aislamiento social y la privación del sueño [12-13].

Se analizó un grupo de veinte hombres adultos (18 a 30 años) quienes fueron sometidos de manera aleatoria a 72 horas de aislamiento social (AS) y privación del sueño (PS) bajo condiciones experimentales. Tras este periodo, los participantes presentaron aumento en la frecuencia cardíaca, disminución de la variabilidad del ritmo cardíaco, reducción de las emociones positivas y aumento del mal humor. Los resultados demostraron que, aunque ambas condiciones generan efectos adversos, estos se observan con mayor intensidad durante la privación del sueño [14-15].

Otro estudio involucró a 18 adultos saludables. Se establecieron como condiciones experimentales una noche de sueño normal y otra en la que los participantes fueron sometidos a privación del sueño. Los individuos privados de sueño mostraron un aumento significativo en el distanciamiento social. Como referencia, esta magnitud equivale aproximadamente a un tercio de la observada en personas diagnosticadas con trastornos sociales graves, como el autismo o la esquizofrenia. Los resultados indicaron que la falta de sueño conduce a los individuos a evitar la interacción social y a mantener una mayor distancia física respecto a otras personas [16-17].

El estudio también señala las complicaciones que el aislamiento social puede generar para la salud, especialmente cuando se asocia con hábitos de sueño inadecuados. El aislamiento social tiene múltiples consecuencias negativas, entre ellas la disminución de la capacidad del sistema inmunológico para enfrentar enfermedades, el deterioro en la calidad y duración del sueño, y el aumento de la morbilidad y mortalidad general [18]. Asimismo, se ha propuesto que la activación crónica de la respuesta a proteínas desplegadas (UPR), un mecanismo relacionado con el estrés celular y la homeostasis proteica podría constituir un factor implicado en estos efectos durante el aislamiento [17].

## 5. Discusión

El presente análisis bibliográfico tuvo como objetivo examinar el impacto del confinamiento o aislamiento social como consecuencia de la pandemia de COVID-19. De manera específica, se analizó el efecto del confinamiento en la salud mental, la aparición de hábitos de sueño inadecuados derivados de la alteración de las rutinas y la presencia de experiencias emocionales negativas en la población.

En relación con los objetivos planteados, los hábitos de sueño pueden clasificarse como adecuados o inadecuados según las conductas adoptadas a lo largo del día. Estos pueden verse influenciados por diversos factores, como el consumo de sustancias psicoactivas tanto legales como ilegales, así como por situaciones de estrés o miedo, entre otros. La relación entre el aislamiento social y los hábitos de sueño podría estar estrechamente vinculada con la respuesta fisiológica individual. Si bien los grupos jóvenes (niños, adolescentes, adultos jóvenes) tienden a presentar una mayor capacidad de adaptación ante diversas situaciones, los adultos mayores pueden experimentar respuestas fisiológicas más lentas asociadas al proceso de envejecimiento, lo que podría influir en la regulación del sueño en determinadas etapas de la vida.

En la figura 1 se observa que los principales grupos afectados por el aislamiento social se encuentran entre los 19 y 30 años, donde los problemas de sueño y otras experiencias negativas alcanzan niveles superiores en comparación con otros grupos etarios [4]. Este elevado porcentaje de casos podría asociarse con la pérdida de la rutina habitual y la reducción del contacto social y físico con otras personas [4]. Los grupos más jóvenes suelen mantener una mayor interacción vinculada a actividades educativas, laborales y recreativas; por ello, las restricciones en la movilidad y la limitación de la circulación impactaron con mayor intensidad en su estilo de vida cotidiano.

El aislamiento social puede alterar los hábitos de sueño, especialmente en niños y jóvenes, provocando pesadillas, angustia y miedo antes de dormir, e incluso la aparición de terrores nocturnos. A medida que avanza la edad y el desarrollo del sistema nervioso central, estas alteraciones pueden favorecer la aparición de trastornos como el insomnio. La modificación de los horarios de descanso impacta la calidad de vida del individuo y puede contribuir a la presencia de signos y síntomas como fatiga, dolores musculares entre ellos tortícolis y dorsalgia, alteraciones en los hábitos alimenticios y síntomas depresivos.

Cabe señalar que son escasos los estudios que documentan de manera directa las alteraciones del sueño derivadas del aislamiento social, ya que la mayoría se enfoca en las consecuencias asociadas a la modificación de los hábitos del sueño. De los 20 artículos consultados, únicamente 7 establecen una relación clara entre el aislamiento social y los hábitos de sueño. Otros estudios centran su análisis en el impacto sobre la salud mental y en los estados emocionales negativos ocasionados por la contingencia sanitaria, tales como la incertidumbre, la ansiedad y, principalmente, el miedo.

Los demás estudios relacionan el efecto psicológico del aislamiento social, no necesariamente vinculado a pandemias, con alteraciones en los hábitos de sueño y con diversos indicadores de deterioro en la salud. Entre los principales efectos reportados se encuentran la disminución de la variabilidad de la frecuencia cardíaca, el aumento del mal humor y el descenso en las emociones positivas. Estas alteraciones pueden favorecer el desarrollo de psicopatologías como el insomnio y la depresión, e incluso incrementar el riesgo de conducta suicida. Se ha demostrado que el aislamiento social reduce la duración del sueño y provoca estrés celular, lo que compromete la regulación fisiológica [19]. Estos cambios, sumados a las consecuencias derivadas de hábitos de sueño inadecuados, disminuyen la capacidad del sistema inmunológico para enfrentar enfermedades, la cual también puede verse influenciada por factores sociales, físicos y orgánicos [20].

Asimismo, se considera necesario que las autoridades sanitarias promuevan una cultura de prevención y promoción de la salud mediante el uso de los medios de comunicación masiva. Las consecuencias

psicológicas derivadas de la contingencia pueden manifestarse a mediano y largo plazo en la población. Además, ante la posibilidad de nuevos brotes de la enfermedad y la eventual implementación de medidas sanitarias restrictivas, resultará fundamental brindar información clara y accesible sobre el cuidado de la salud mental [21-22].

## **6. Conclusiones**

El aislamiento social derivado de la pandemia de COVID-19 incrementa el riesgo de mortalidad prematura, ya que afecta la salud mental y emocional de la población y favorece el desarrollo de trastornos con consecuencias a corto, mediano y largo plazo. En general, esta revisión sugiere que el impacto psicológico del aislamiento social es amplio y potencialmente duradero, debido a que altera los hábitos cotidianos y las rutinas establecidas.

Los hallazgos de esta revisión pueden resultar relevantes para el diseño e implementación de programas de intervención y prevención orientados a mitigar los efectos psicológicos asociados al coronavirus y, particularmente, a la situación de confinamiento. Asimismo, se recomienda que las autoridades sanitarias impulsen la realización de entrevistas y estudios enfocados en la alteración de los hábitos de sueño, con el fin de identificar las principales modificaciones derivadas del aislamiento social y sus posibles repercusiones. Finalmente, resulta necesario continuar investigando otras consecuencias directas del aislamiento social por COVID-19, con la finalidad de prevenir e intervenir oportunamente sobre efectos futuros que puedan afectar la calidad de vida de la población.

## **7. Agradecimientos**

Agradezco al Centro de Atención Médica y Beneficencia IS-DOOR A.C. por el apoyo para la recopilación de la información.

## **8. Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

## **9. Declaratoria de uso de Inteligencia Artificial**

Los autores declaran que no han utilizado ninguna aplicación, software, páginas web de inteligencia artificial generativa en la redacción del manuscrito, en el diseño de tablas y figuras, ni en el análisis e interpretación de los datos.

10. Resumen Gráfico

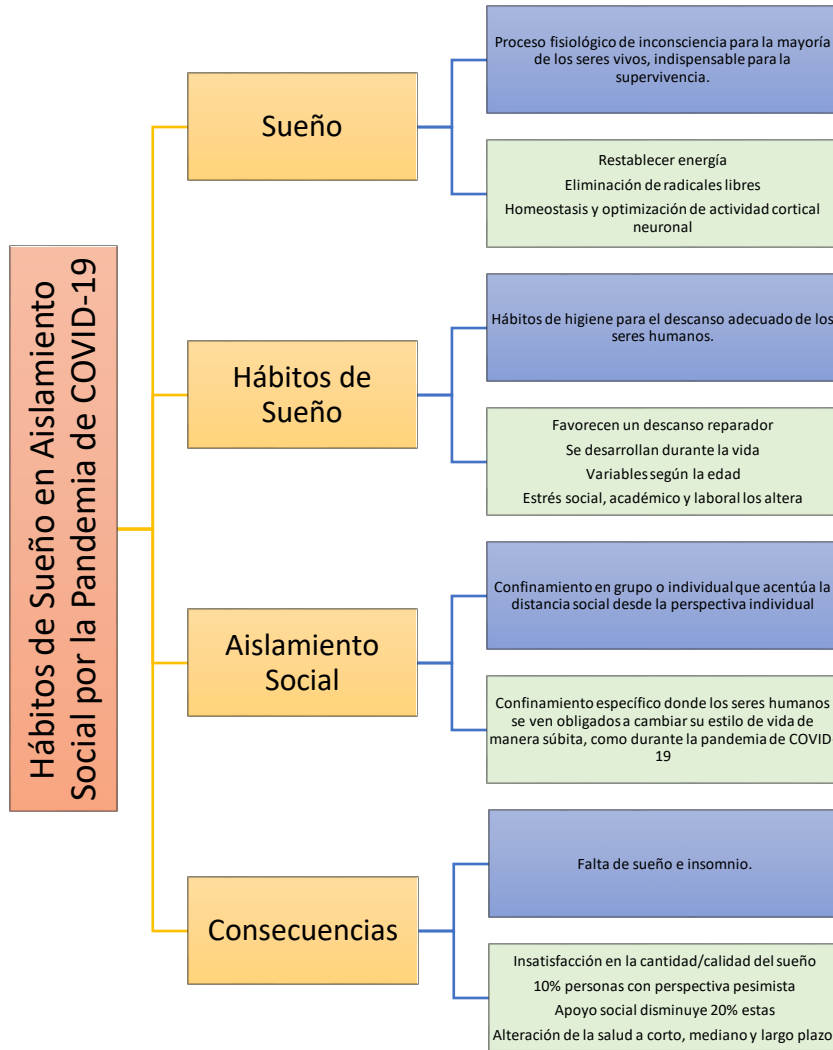


Figura. 3. Resumen gráfico de Hábitos de Sueño en Aislamiento Social.

## 11. Roles de contribución

ROL	AUTORES(AS)
Conceptualización	Carrillo Hidalgo I., Rincón Benavides D. E., Murillo Collado E.
Curación de datos	Méndez Cházaro E. S., Rincón Benavides D. E., Murillo Collado E., Carrillo Hidalgo I.
Análisis formal	Carrillo Hidalgo I., González Garrido J. A.
Adquisición de fondos	
Investigación	Méndez Cházaro E. S., Rincón Benavides D. E., Murillo Collado E.
Metodología	Carrillo Hidalgo I., González Garrido J. A.
Administración del proyecto	Carrillo Hidalgo I.
Recursos	Carrillo Hidalgo I. González Garrido J. A., López Victorio C. J.
Software	Méndez Cházaro E. S., Rincón Benavides D. E.,
Supervisión	Carrillo Hidalgo I., Rincón Benavides D. E.
Validación	González Garrido J. A.; López Victorio C. J.
Visualización	Méndez Cházaro E. S., Rincón Benavides D. E., Murillo Collado E.
Escritura-borrador-original	Méndez Cházaro E. S.
Escritura-revisión-edición	Carrillo Hidalgo I., González Garrido J. A.

Nota. Taxonomía de roles de contribución (CRediT)

## 12. Referencias

- [1] L. Fabres and P. Moya, “Sueño: conceptos generales y su relación con la calidad de vida,” *Revista Médica Clínica Las Condes*, vol. 32, no. 5, pp. 527–534, 2021.
- [2] A. Fakhari, N. Kheradmand, and N. Dolatkah, “Sleep duration the night before an exam and its relationship to student's exam scores,” *British Journal of Medicine & Medical Research*, vol. 15, no. 8, pp. 1–6, 2016.
- [3] American Psychiatric Association, *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*, 5th ed. Washington, DC: American Psychiatric Publishing, 2013.
- [4] A. Brunetti and P. R. Gargoloff, “Impacto de la pandemia por COVID-19 en la salud mental, con especial foco en personas con trastornos mentales severos y persistentes,” *Questión*, pp. 1–14, 2020.

- [5] S. K. Brooks, R. K. Webster, L. E. Smith, L. Woodland, S. Wessely, and N. Greenberg, “The psychological impact of quarantine and how to reduce it: Rapid review of the evidence,” *The Lancet*, vol. 395, no. 10227, pp. 912–920, 2020.
- [6] B. Sandín, R. M. Valiente, J. García-Escalera, and P. Chorot, “Impacto psicológico de la pandemia de COVID-19: Efectos negativos y positivos en población española asociados al periodo de confinamiento nacional,” *Revista de Psicopatología y Psicología Clínica*, vol. 25, no. 1, pp. 1–22, 2020.
- [7] O. Prospéro, “El insomnio y su tratamiento en los tiempos del COVID-19,” *El Salar*, no. 4, pp. 2–9, 2020.
- [8] J. Gené-Badia, M. Ruiz-Sánchez, N. Obiols-Masó, L. Oliveras, and E. Lagarda Jiménez, “Aislamiento social y soledad: ¿Qué podemos hacer los equipos de atención primaria?,” *Atención Primaria*, vol. 48, no. 9, pp. 604–609, 2016.
- [9] J. P. Espada, M. Orgilés, J. A. Piqueras, and A. Morales, “Las buenas prácticas en la atención psicológica infanto-juvenil ante el COVID-19,” *Clínica y Salud*, vol. 31, no. 2, pp. 109–113, 2020.
- [10] J. Huarcaya-Victoria, “Consideraciones sobre la salud mental en la pandemia de COVID-19,” *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, vol. 37, no. 1, pp. 327–334, 2020.
- [11] M. Gallegos et al., “Cómo afrontar la pandemia del coronavirus (COVID-19) en las Américas: Recomendaciones y líneas de acción sobre salud mental,” *Revista Interamericana de Psicología*, vol. 54, no. 1, pp. 1–28, 2020.
- [12] P. Vera-Villaruel, “Psicología y COVID-19: Un análisis desde los procesos psicológicos básicos,” *Panamerican Journal of Neuropsychology*, vol. 14, no. 1, pp. 10–18, 2020.
- [13] A. Urzúa, P. Vera-Villaruel, A. Caqueo-Urizar, and R. Polanco-Carrasco, “La psicología en la prevención y manejo del COVID-19: Aportes desde la evidencia inicial,” *Terapia Psicológica*, vol. 38, no. 1, pp. 103–118, 2020.
- [14] M. C. Johnson, L. Saletti-Cuesta, and N. Tumas, “Emociones, preocupaciones y reflexiones frente a la pandemia del COVID-19 en Argentina,” *Ciência & Saúde Coletiva*, vol. 25, no. 1, pp. 2447–2456, 2020.
- [15] A. Lozano-Vargas, “Impacto de la epidemia del coronavirus (COVID-19) en la salud mental del personal de salud y en la población general de China,” *Revista de Neuro-Psiquiatría*, vol. 83, no. 1, pp. 51–56, 2020.
- [16] C. Ribot Reyes, N. Chang Paredes, and A. González Castillo, “Efectos de la COVID-19 en la salud mental de la población,” *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, vol. 19, no. 1, pp. 1–11, 2020.
- [17] Q. Liu, R. Zhou, L. Liu, and X. Zhao, “Effects of 72 hours total sleep deprivation on male astronauts' executive functions and emotion,” *Comprehensive Psychiatry*, vol. 61, pp. 28–35, 2015.
- [18] E. B. Simon and M. P. Walker, “Sleep loss causes social withdrawal and loneliness,” *Nature Communications*, vol. 9, p. 3146, 2018.
- [19] M. Brown, E. Strus, and N. Naidoo, “Reduced sleep during social isolation leads to cellular stress and induction of the unfolded protein response,” *Sleep*, vol. 40, no. 7, 2017.
- [20] J. Torales, M. O’Higgins, J. M. Castaldelli-Maia, and A. Ventriglio, “The outbreak of COVID-19 coronavirus and its impact on global mental health,” *International Journal of Social Psychiatry*, vol. 66, no. 4, pp. 317–320, 2020.
- [21] E. Altena et al., “Dealing with sleep problems during home confinement due to the COVID-19 outbreak: Practical recommendations from a task force of the European CBT-I Academy,” *Journal of Sleep Research*, vol. 29, no. 4, 2020.
- [22] D. S. Charney, “Psychobiological mechanisms of resilience and vulnerability: Implications for successful adaptation to extreme stress,” *American Journal of Psychiatry*, vol. 161, no. 2, pp. 195–216, 2015.