



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Dirección de
Investigación y Posgrado

VOLUMEN XVIII | NÚMERO 3 | PUBLICACIÓN CONTINUA 2024



TECNOCIENCIA CHIHUAHUA

Revista de ciencia y tecnología



Crossref



DOAJ



LOCKSS



DORA

MIAR

Matriz de Información para el
Análisis de Revistas



UNIVERSITAT DE
BARCELONA





UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Directorio Institucional

Mtro. Luis Alfonso Rivera Campos

Rector

**C.P. Jesús Ignacio
Rodríguez Bejarano**

Secretario General

**Dr. Luis Carlos Hinojos
Gallardo**

*Director de Investigación y
Posgrado*

**Dra. Ruth del Carmen
Grajeda González**

*Directora de Extensión y
Difusión Cultural*

**Lic. Martha Lorena Mier
Calderón**

Directora Académica

**L.A.E. Alberto Eloy
Espino Dickens**

Director Administrativo

**M.A.P. Marcela Herrera
Sandoval**

*Directora de Planeación y
Desarrollo Institucional*



TECNOCIENCIA CHIHUAHUA
Revista de ciencia y tecnología

Equipo Editorial

Editor responsable

Dr. Armando Quintero Ramos, Universidad Autónoma de Chihuahua, México. (SNII III)

Asistente editorial

M.E.S. Nancy Karina Venegas Hernández, Universidad Autónoma de Chihuahua, México.

Co-editores

Dr. Rubén Francisco González Laredo, Instituto Tecnológico de Durango, Durango, México. (SNII, Nivel III)

Dr. Javier Tarango Ortiz, Universidad Autónoma de Chihuahua, México. (SNII, Nivel II)

Corrector de Estilo

Dr. Fidel González Quiñones, Universidad Autónoma de Chihuahua, México. (SNII, Nivel I)

COMITÉ CIENTÍFICO

- **Alimentos y Biotecnología**

Dr. Benjamín Ramírez Wong, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México. (SNII, Nivel III).

Dr. José Alberto Gallegos Infante, Instituto Tecnológico de Durango, Durango, México. (SNII, Nivel III)

Dr. José Rafael Minjares-Fuentes, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango, México. (SNII, Nivel I)

Dra. María Marcela Rodríguez, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Olavarría, Argentina.

Dra. Valeria Soledad Eim Iznardo, Universidad de las Islas Baleares, Islas Baleares, España.

Efrén Delgado, Ph.D., New Mexico State University, Las Cruces, NM. Estados Unidos de Norteamérica.

Dra. Elizabeth Carvajal Millán, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Hermosillo, Sonora, México. (SNII, Nivel III).

Dr. Fernando Martínez Bustos, CINVESTAV, Unidad Querétaro, Querétaro, México. (SNII, Nivel III)

Dr. León Raúl Hernández Ochoa, Universidad Autónoma de Chihuahua (SNII, Nivel I)

Dr. José de Jesús Zazueta Morales, Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán México. (SNII, Nivel I)

Dr. Diego Bautista Genovese, [PLAPIQUI] Planta Piloto de Ingeniería Química-CONICET, Bahía Blanca Argentina.

Dra. Aracely Ochoa Martínez, Instituto Tecnológico de Durango, Durango, México. (SNII, Nivel II)

Dra. Deborah Murowaniecki Otero, Universidade Federal da Bahia. Salvador, Bahía, Brasil.

Dr. René Renato Balandrán Quintana, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (SNII, Nivel I)

- **Agricultura y Agropecuaria**

Dr. Gerardo Méndez Zamora, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. (SNII, Nivel I)

Dr. Guillermo Fuentes Dávila, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México.

Dr. Víctor Arturo González Hernández, Colegio de Posgraduados. Estado de México, México (SNII, Nivel III)

Dra. Yolanda Salinas Moreno, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Departamento de Genética, México. (SNII, Nivel III)

- **Química y Biología**

Dr. Eleuterio Burgueño Tapia, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN. México. (SNII, Nivel II)

Nadezhda Traycheva Petkova, PhD., University of Food Technologies, Technological Faculty, Department of Organic Chemistry and Inorganic Chemistry, Bulgaria.

Dr. Ricardo Vázquez Juárez, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR), México. (SNII, Nivel II)

Dra. Carmen Oralía Meléndez Pizarro, Universidad Autónoma de Chihuahua. (SNII, Nivel II)

Dr. David Morales Morales, Universidad Nacional Autónoma de México (SNII, Nivel III).

Dr. René Rojas Guerrero, Pontificia Universidad Católica de Chile: Santiago, Metropolitana, CL

Prasenjit Ghosh, Ph.D. Indian Institute of Technology Bombay: Mumbai, Maharashtra, IN

Dr. Johan Mendoza Chacón, Universidad Autónoma de Chihuahua (SNII, Nivel I)

- **Salud y Cultura Física**

Dr. Julián Esparza Romero, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C (CIAD). Unidad Hermosillo, Sonora. México (SNII, Nivel II)

Dra. Carolina Jiménez Lira, Universidad Autónoma de Chihuahua.(SNII, Nivel I)

Dra. Jazmín Leticia Tobías Espinoza, Universidad Autónoma de Chihuahua. (SNII, Candidato a Investigador)

Dr. Arnulfo Ramos Jiménez, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. (SNII, Nivel I)

Dra. Silvia Giono Cerezo, Instituto Politécnico Nacional. (SNII, Nivel II)

Dra. América Chávez Martínez, Universidad Autónoma de Chihuahua. (SNII, Nivel I)

Dra. Susana Aideé González Chávez, Universidad Autónoma de Chihuahua. (SNII, Nivel II)

Dra. Mercedes Bermúdez Cortés, Universidad Autónoma de Chihuahua. (SNII, Nivel I)

• **Ingeniería y Recursos Naturales**

Dr. Francisco Paraguay Delgado, Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) Chihuahua, México. (SNII, Nivel III)

Dr. Vladimir Villarreal Contreras, Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá

Dr. Jesús Darío Landa Silva, School of Computer Science, University of Nottingham, Reino Unido.

Dr. Humberto González Rodríguez, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. (SNII, Nivel II)

Dra. Mérida Gutierrez, Missouri State University, Springfield, MO, USA.

Dr. Sergio Valle Cervantes, Instituto Tecnológico de Durango (SNII, Nivel I)

• **Tecnología**

M.C. Ricardo Talamás Abbud, Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México

CONTENIDO

Definición de la revista 2

Salud

e1592

Teenage Pregnancy and Micronutrient Deficiency: A Critical Review

Embarazo adolescente y deficiencia de micronutrientes: Una revisión crítica

Sunday S. Nupo, Viridiana Martínez-De la Fuente, Gabriela Ortiz-Cruz, José Lauro Cortés-Hernández

Detección de estrés por medio de redes neuronales artificiales en personal sanitario e1641

Stress Diagnosis by Means of Artificial Neural Networks in Healthcare Personnel

Carlos Eduardo Cañedo-Figueroa, Xóchitl Duque-Alarcón, María Teresa Silvia Tinoco-Zamudio

Ingeniería y Tecnología

Remoción de compuestos fenólicos contenidos en la vinaza mezcalera empleando polielectrolitos (PAM y PAC) y fotólisis UV/H₂O₂ e1582

Removal of phenolic compounds contained in mezcal vinasse using polyelectrolytes (PAM and PAC) and UV/H₂O₂ photolysis

Luis Armando De la Peña-Arellano, Judith Alejandra Alférez-Ibarra, Sergio Valle-Cervantes, María Dolores Josefina Rodríguez-Rosales, Luis Alberto Ordaz-Díaz

Ataques a celulares a través del uso de aplicaciones móviles: Una revisión narrative e1584

Attacks on Cell Phones Through the Use of Mobile Applications: A Narrative Review

Aldair Olguin-Romero, Julia Y. Arana-Llanes

El futuro es hoy: Industria 4.0 y su contribución al desarrollo productivo y social e1615

The future is now: Industry 4.0 and its contribution to productive and social development

Julio A. González-Sigala, Víctor Alonso Domínguez-Ríos, José René Arroyo-Ávila, Maria del Rosario de Fatima Alvírez-Díaz

Caracterización por ultrasonido de madera sólida y laminada de Fagus crenata e1636

Ultrasonic characterization of solid and laminated wood of Fagus crenata

Javier Ramón Sotomayor-Castellanos, Firas Hawasly, Koji Adachi, Sonia Correa-Jurado

Guía para Autores 94

DEFINICIÓN DE LA REVISTA

TECNOCIENCIA CHIHUAHUA, es una revista multidisciplinaria, de publicación continua, que publica artículos y notas científicas, así como artículos de revisión *por invitación* originales e inéditos, en español e inglés, en formato electrónico de acceso abierto.

El objetivo de TECNOCIENCIA CHIHUAHUA es divulgar los resultados y avances de investigación originales e inéditas en las áreas temáticas de Alimentos, Biológica, Salud, Agropecuaria, Cultura Física, Ingeniería y Tecnología, Química y Recursos Naturales, dirigidos a investigadores, académicos, estudiantes y público con interés científico.

El contenido científico y calidad de los artículos son evaluados a través de un proceso de arbitraje de forma anónima en la modalidad de doble ciego por al menos dos árbitros especializados en la materia.

La revista TECNOCIENCIA CHIHUAHUA es editada y financiada por la Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Chihuahua, México. La revista está adherida a la Declaración de San Francisco a través de DORA (Declaration on Research Assessment) se encuentra indexada en índices y portales especializados como DOAJ (Directory of Open Access Journals), MIAR (Matriz de Información para el Análisis de Revistas), Latindex 2.0, Periódica y en Redes Académicas como Biblat, Google Académico y Academia. La revista cuenta con el DOI (Digital Object Identifier) a través de la organización internacional Crossref.

Teenage Pregnancy and Micronutrient Deficiency: A Critical Review

Embarazo adolescente y deficiencia de micronutrientes: Una revisión crítica

Sunday Sedodo Nupo^{1*}, Viridiana Martínez-De la Fuente², Gabriela Ortiz-Cruz¹, José Lauro Cortés-Hernández²

¹ Universidad Autónoma de Coahuila, Centro de Investigación en Genética y Genómica (CIGEN), Calzada Francisco I. Madero 1291, Zona Centro, Segundo piso, HUS, 25000 Saltillo, Coah.

² Hospital Universitario de Saltillo "Dr. Gonzalo Valdés Valdés" (HUS). Calzada Francisco I. Madero 1291, Zona Centro, 25000 Saltillo, Coah.

*Correspondencia: Correo electrónico: sunday_nupo@uadec.edu.mx (Aldair Olguin-Romero)

DOI:

Recibido: 22 de julio de 2024; **Aceptado:** 12 de noviembre de 2024

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Editor de Sección: Dr. Julián Esparza-Romero

Abstract

Adolescence is a critical stage where growth is at its peak and when a pregnancy occurs in this period, it represents a greater nutritional risk for both the mother and the growing fetus. Young pregnant adolescents are more likely to give birth to babies with certain congenital anomalies, lower birth weight, and higher chances of infant mortality. Insufficient micronutrients in maternal nutrition during pregnancy can increase the risk of birth defects in newborns. This can be attributed to the fact that the developing fetus depends on the mother's nutrition for its proper growth, metabolic processes, and proper development. Malnutrition during pregnancy can lead to a variety of birth defects, including neural tube closure defects, cleft lip and palate, congenital heart defects, and increased fetal mortality. Iron deficiency early in pregnancy in the first and second trimesters could lead to premature birth or decreased birth weight and negatively impact the health of newborns. Most spontaneous abortions observed in adolescents during the first trimester could be attributed to nutritional deficiency of the mothers prior to conception. Few of the miscarriages observed in adolescents during the first trimester could be attributed to the nutritional deficiency of the mothers prior to conception.

Keywords: anaemia, teenagers, pregnancy, micronutrients.

Resumen

La adolescencia, etapa crítica donde el crecimiento está en su punto máximo y cuando un embarazo ocurre en este período, representa un mayor riesgo nutricional tanto para la madre como para el feto en crecimiento. Las jóvenes adolescentes embarazadas tienen una mayor tendencia de dar a luz a bebés con ciertas anomalías congénitas, menor peso al nacer y mayores posibilidades de mortalidad infantil. La insuficiencia de micronutrientes en la nutrición materna durante la gestación puede aumentar el riesgo de defectos congénitos en los recién nacidos. Esto se puede atribuir a que el feto en desarrollo depende de la nutrición de la madre para su adecuado crecimiento, procesos metabólicos y adecuado desarrollo. La desnutrición durante el embarazo puede provocar una variedad de anomalías congénitas, como defectos de cierre del tubo neural, labio y paladar hendido, defectos cardíacos congénitos y mayor mortalidad fetal. La deficiencia de hierro al inicio del embarazo en el primer y segundo trimestre podría provocar un parto prematuro o una disminución del peso al nacer y un impacto negativo en la salud de los recién nacidos. Pocos de los abortos espontáneos observados en adolescentes durante el primer trimestre podrían atribuirse a la deficiencia nutricional de las madres antes de la concepción.

Palabras clave: anemia, adolescentes, embarazo, micronutrientes.

1. Introduction

Malnutrition refers to an imbalance in nutrition within the human body, either in excess or deficit. This term is most associated with the latter form of malnutrition in the context of low and middle-income countries (LMICs) [Yimer and Wolde, 2022]. The high prevalence and serious implications of malnutrition including micronutrient deficiencies make the nutrition of teenage girls and young women in LMICs particularly crucial (Keats *et al.*, 2022). Malnutrition can manifest in different ways resulting in infections, noncommunicable diseases, disability, or death. It becomes a significant issue when observed in adolescents, who have specific nutritional requirements for their bodies, especially during pregnancy. Micronutrient deficiencies affect two billion people living in (LMICs). Micronutrient deficits deteriorate during pregnancy and have long-term effects on both the mother and the fetus. Women who receive micronutrient supplements throughout pregnancy and breastfeeding may be able to lessen these effects (Shinde *et al.*, 2022).

Supplementing with micronutrients during pregnancy is essential for promoting good growth and development and guarding against preterm birth and low birth weight (Bekele *et al.*, 2024). Depletion may result from the fetus' rapid growth and development throughout pregnancy as well as its enlarged vascular volume (Georgieff *et al.*, 2020). Research has indicated that inadequate intake of certain micronutrients during pregnancy can heighten the likelihood of low birth weight and premature deliveries (Georgieff *et al.*, 2020). The World Health Organization (WHO) advises all pregnant women to take a daily supplement of iron throughout their pregnancy to lessen these effects (WHO, 2016). The deficits of certain micronutrients such as iodine, selenium, iron, zinc, calcium, magnesium, and folate that are germane in the proper fetus formation in pregnancy and their effects on adolescent pregnancies are the main topics of this narrative review.

Firstly, the development of the cranium is one of the most intricate processes in the human body (Babai and Irving, 2023). Birth deformities that affect the mouth and face include cleft lip and palate.

When the tissues that make up the lip and palate don't fuse correctly during development, these abnormalities happen. Although the exact cause of cleft lip and palate is unknown, inadequate nutrition for expectant mothers has been associated with an increased incidence of the condition. Another birth issue that may be connected to inadequate nourishment for the mother is heart defect. The structure and function of the heart may be impacted by several disorders, which can range in severity. According to research, women who consumed more folic acid both before and throughout their first pregnancy were less likely to give birth to a baby who had a congenital heart abnormality. Pregnant women have long utilized folic acid (FA), a synthetic version of folate, as a dietary supplement. It has been established that supplementing with FA can prevent fetal neural tube abnormalities (NTDs) from occurring and from recurring. On the other hand, congenital heart disease (CHD) incidence has been rising globally in tandem (Cheng *et al.*, 2022).

Furthermore, micronutrient deficiencies during pregnancy can have long-term effects on the developing fetus. A prolonged period of severe nutrient shortage can result in several crises, including weakened immune function, redox signaling, wounds scarring, and the expression of genes that regulate the development of diseases (Zemrani and Bines, 2020). Moreover, iodine and iron deficits have been linked to harm to the fetus' neurodevelopment (Zemrani and Bines, 2020).

The fetus has a store of nutrients during the second and third trimesters of adolescent pregnancy that can be used after birth; as a result, children's growth during the first two years of life defined as the child's first 1000 days is accelerated in comparison to children without adequate store of nutrients (Beluska, 2019). This time frame is necessary for growth and development and is remarkably the result of the dietary standards provided; if these standards are not met, the baby may experience deficiencies in development, including brain function (Beluska, 2019). Most reviews on pregnancy that were done on adults concentrated on vitamin D and folate (Wilson *et al.*, 2018; Palacios *et al.*, 2019; Rajwar *et al.*, 2020).

Pregnant teens should be provided with a choice of nutrient-dense foods that will support their growth and their increased requirement for many nutrients should be highlighted. The months of pregnancy are crucial because during this time, the mother's and the fetus' growth and development depend more on several nutrients. The body requires the greatest amount of micronutrients at this time to support several functions, such as bone formation and metabolic functions. Women who start menstruating have considerably higher iron needs, and these needs only grow when they get pregnant. Also, their need for magnesium, vitamin A, and folate rises and resembles those of adults. Deficiencies of iron, iodine, and zinc are often neglected despite their major role in the health of pregnant adolescents. Thus, this review focuses on the effects of selected micronutrients that are vital to teenage pregnancy

2. Methods

This is a narrative review of studies published prior to August 2024 using "Pregnancy and Micronutrient Deficiency / Adolescent Pregnancy and Micronutrient Deficiency" in biomedical databases. The main inclusion criterion was that articles needed to have systematic reviews and meta-analyses of the micronutrient status of pregnant women, teenage pregnancy, and micronutrient deficiency. The following search strategy was applied: articles were extracted from PubMed, google scholar, web of Science, and grey literature using the terms "Pregnancy", "Adolescent pregnancy",

“micronutrients”, “micronutrients deficiency”, and in combination with “Teenage pregnancy micronutrients efficiency”. The most relevant and essential literature in the field was identified using expert knowledge on nutrition and incorporated into the article. These articles' titles and abstracts were screened to determine if they fulfilled the eligibility criteria. The articles included had to be related to pregnancy, teenage pregnancy, micronutrients, importance and deficiencies of micronutrients. Studies were excluded if: 1) subjects did not have micronutrients deficient status reported; 2) micronutrients status was not reported quantitatively using primary micronutrient markers; 3) the micronutrients status was not reported in association with prenatal/maternal/intrauterine; 4) full - length text was not available; 7) specific study types, including, dissertations, animal studies, correspondences, editorials, conference proceedings, and health letters.

3. Effects of minerals on teenage pregnancy and fetal development

3.1. Iodine (I)

This is a crucial part of the thyroid hormones thyroxine (T4) and triiodide-thyronine (T3), which regulate the thyroid gland and the immune system in several biological processes (Shahid *et al.*, 2024). Iodine deficiency exists throughout all life cycle but is more severe in pregnant teenagers, lack of iodine leads to hypothyroidism and other disorders, classified as iodine deficiency disorders (IDDs) [Zhou *et al.*, 2019]. Iodine supplementation can be recommended to fulfill individual needs, especially for juvenile expectant mothers, to prevent the potential impacts that its deficiency can have on the neural development of the fetus (Zhou *et al.*, 2019).

Teenagers who are pregnant need more nutrients during their pregnancy to meet the needs of both the mother and the developing fetus. In addition to giving the fetus iodine, the mother's thyroid hormones must be maintained at normal levels, especially during the first trimester. Furthermore, especially in the first trimester of pregnancy, this increase is necessary to supply iodine clearance by the kidneys (Zimmermann, 2016). Likewise, iodine deficiency can manifest in other forms such as oxidative stress, causing disturbances in trophoblastic cell function and the placental vascular net, and weakened redox balance since it can compete with free radicals or induce the action of enzymes with antioxidant activity (Olivo-Vidal *et al.*, 2016).

Due to its irreversible effects, iodine deficiency is particularly risky for teenage pregnancies, reproductive-age women, and women who are pregnant or nursing. This mineral increases the risk of irreparable damage because it is essential for neuron migration and myelination in the brain and causes hypothyroxinemia when levels are low (Olivo-Vidal *et al.*, 2016). The primary cause of the unavoidable mental delay during the embryonic phase is iodine deficiency, which can cause an IQ (Intelligence Quotient) decline of up to 20 points (Olivo-Vidal *et al.*, 2016).

3.2. Selenium (Se)

A mineral with antioxidant properties is selenium. It is an integral component of the antioxidant enzyme GSH-Px, which balances free radicals and prevents the body from producing more of them. It also maintains the body's natural defenses, controls growth and development,

activates the immune system, and guards against cancer and heart disease (Hofstee *et al.*, 2020). Foods high in selenium include cereals, vegetables, meat, and oilseeds such as nuts, but the amount of selenium in the diet varies depending on the climate. Selenium is easily absorbed from diets because of its high bioavailability (Olivo-Vidal *et al.*, 2016). For people aged 19 to 50, the recommended daily consumption quantities are 45 to 50 µg, 60 µg for women, and 70 µg for adults and for men and nursing moms, it is 75 µg (Stoffaneller and Morse, 2015). Selenium levels below 0.9 µmol/L have been associated with reduced thyroid hormone balance; this effect is more pronounced in older persons over 65 and youngsters. Significant amounts of selenium have been found in the thyroid gland, indicating that the mineral is necessary for regular biological activity.

More specifically, there has been a stronger correlation shown between decreased innate and adaptive immune system activity and the activity of selenium-containing proteins in the oxidative system, which eliminates free oxygen radicals produced during the synthesis of thyroid hormones. Selenium insufficiency is also associated with the development of cretinism because of its direct linkage with iodine during the body's conversion of hormones (Stoffaneller and Morse, 2015; Mao *et al.*, 2016; Nogales *et al.*, 2017).

A shortage in selenium during pregnancy can impact the T cells, leading to an increase in oxidant substance production and other issues that impact both the mother and the developing fetus. Pre-eclampsia, glucose intolerance, changes in the lipid profile, mental and psychomotor delay, and other diseases are some of the associated issues (Mao *et al.*, 2016; Amorós *et al.*, 2018; Jiang *et al.*, 2019).

3.3. Iron (Fe)

Iron is a necessary mineral for several biological processes, such as the production of erythrocytes and the transport of oxygen. It also co-occurs in the transport of enzymes, primarily those involved in the metabolism of lipids, and is vital for the immune system's upkeep (WHO, 2017; Rees *et al.*, 2019). When a pregnant teenager's iron requirements are out of balance and insufficient to maintain homeostasis, iron deficiency results (Georgieff, 2020). This is a global public health issue that mostly affects women of reproductive age, nursing mothers, and infants (Harvey and Boksa 2014; Saydam *et al.*, 2017; WHO, 2017).

Anemia is highly prevalent in several continents such as Africa, Asia, South America, and even Eastern Europe, especially in women of reproductive age (WHO, 2017, Saydam *et al.*, 2017). Anemia has been associated with inadequate ingestion of iron, deficiency of folate and vitamin B12, problems of low absorption, inefficient iron transport, parasite infections, and diseases, such as HIV, for example. The condition is characterized by a low level of hemoglobin in the blood, which interferes with the body's ability to transport oxygen (WHO, 2017). Anemia can be thought of as the last stage of iron deficiency (Georgieff, 2020). It is possible to notice symptoms like exhaustion and trouble completing everyday tasks. Measurements of serum ferritin and/or transferrin receptor levels, as well as hemoglobin concentration, are advised for diagnosis. Moreover, types of anemia: normocytic, macrocytic, and microcytic, each of which has a different etiology (WHO, 2017). When a teenager needs iron for proper development and growth is pregnant, one of the observed problems is the reduced activity of the immune system, especially a significant reduction in the number of T cells produced and available for use.

Thus, both innate and adaptative immune systems are weakened, exposing the mother and the fetus to bacteria, viruses, and other pathogens attacks. The immune system whose foremost function is to protect the mother and fetus from infections caused by several sorts of pathogens becomes weakened and compromised. Iron deprivation at the beginning of pregnancy can lead to premature birth or low birth weight and threaten the health of the newborn (Harvey and Boksa, 2014; WHO, 2017). Gestational anemia is related to a higher maternal mortality rate as well as interferes with the weight and health of the neonatal (Chikakuda *et al.*, 2018). It also can lead to miscarriage during the first trimester (Guo *et al.*, 2019).

3.4. Zinc (Zn)

One of the several metallic ions that are frequently present in the human brain is zinc. In the body, this mineral is essential. Approximately 90 % of this oligo element is found in the bones and skeleton muscles. It is absorbed in the small intestine through a mechanism mediated by transporters. Studies have indicated that different population groups absorb it at different rates depending on the type of diet and the molar proportion of phytate. The concentration of zinc in the gastrointestinal tract is the only factor that determines its absorption; it has been shown that people who consume high levels of zinc in their diet also tend to absorb zinc less readily (Galetti *et al.*, 2016). Teenagers who are pregnant may lose zinc through their gastrointestinal tract, urine, or skin, hair, or perspiration. Hexa and pentaphosphate of inositol should not be consumed simultaneously with phytic acid for optimal absorption. Phytic acid is the main dietary component that is known to impede zinc binding to transporter cells.

More than 50 % of preterm and severely premature neonates have cerebral white matter damage (WMI), the main component of the premature brain, which can be brought on by a zinc shortage (Volpe, 2019). Since the pre-oligodendrocyte (pre-OL), the progenitor of OLs that create mature myelin, is the target in the cellular core area of WML, its morphologic effects are subjacent to most documented future neurological impairments. Hypomyelination results from the preterm brain's pre-OL failing due to lesions (Volpe, 2019).

3.5. Calcium (Ca)

The mineral calcium (Ca), which depends on a number of genetic and environmental factors, is responsible for the development and upkeep of bone tissue. One of the most important indicators of bone health, bone mineral density (BMD), has a phenotypic manifestation that is known to be influenced by genetics to a degree of 60 % to 70 %. Furthermore, between 30 % and 40 % of BMD is influenced by environmental variables, including nutrition and lifestyle. The likelihood of changing these environmental elements and, therefore, improving bone tissue becomes crucial when describing their impact on the skeleton. Of these, the dietetic Ca content is the most pertinent to bone health (Bromage *et al.*, 2016).

The mother's and the fetus's bone health are greatly impacted by calcium deficiency. Severe Ca deficiency during adolescent pregnancy can be fatal to the mother, raising the possibility of pre-eclampsia, and detrimental to the fetus by increasing the likelihood of spontaneous preterm. Pre-eclampsia raises the risk of infant mortality by causing miscarriage or drug-induced preterm birth

(Weaver *et al.*, 2014). When it comes to preterm delivery, a shortage in calcium can limit intrauterine growth, cause low birth weight, and eventually have several physical and cognitive effects, such as greater atrophy. Pre-natal Ca ingestion can reduce the risk of premature birth and can be associated with its function in supporting fetal growth and maturity (Mosha *et al.*, 2017).

3.6. Magnesium (Mg)

This is the fourth cation present in the human body universally and it is the second most commonly found cation inside human cells. About 53 % of it is found in bones, approximately 27 % in muscles, 19 % present in soft tissues that are not muscles, and only 1 % in the extracellular liquid; the majority of it is bonded to different chelators in the intracellular space, including ATP, adenosine diphosphate, protein, RNA, DNA, and citrate (Altura *et al.*, 2016).

The parathyroid hormone (PTH) and vitamin D both affect its absorption. When calcitriol was given to uremic patients, the amount of magnesium absorbed through the jejunum returned to normal; in patients who were also malpositioned and had insufficient vitamin D, this absorption decreased (Conlon and Bird, 2015). This nutrient is widely available in all food sources; deficiencies in it are uncommon under normal circumstances and are typically associated with the presence of a concomitant illness (Altura *et al.*, 2016).

Magnesium deficiency manifests with diverse symptoms such as severe reduction in cognitive capacity, processing, and in particular decreased attention span, increased aggression, weariness, and lack of focus and concentration (Elbaz *et al.*, 2017). Other prevalent symptoms may include frequent irritation, anxiety, and fluctuating humor (Viktorinova *et al.*, 2016). Magnesium deficiency has been adversely implicated in maternal and perinatal settings, as it has been associated with risks, such as hypertensive pregnancy syndrome, leg cramps, and premature birth. Mg deficiency has also been associated with the highest Apgar scores among newborns and reduced occurrence of hypoxic-ischemic encephalopathy; however, as only 2 of the 10 randomized clinical trials were considered of the highest quality, the authors concluded that there was insufficient evidence to support oral Mg supplementation during pregnancy as beneficial for the mother and/or the fetus (Farias *et al.*, 2020).

Magnesium aids in the production of ATP and energy, the removal of ammonia from the brain associated with inattention, and the conversion of important fatty acids into DHA (docosahexaenoic acid), which is necessary for the healthy construction and operation of brain cells. It can help lessen oxidative stress associated with the physiopathology of attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) due to its antioxidant properties. Magnesium can also help with sleep disturbances associated with ADHD, which can negatively impact attention (de Araújo *et al.*, 2020).

3.7. Folate

Folate (vitamin B9) is one of the thirteen essential vitamins, present in food items, but folic acid is a synthetic supplement that is added to food for fortification. Metabolically inert, vitamin B9 (natural dietary folate) is sometimes referred to as folic acid which is the synthetic form (Jouanne *et al.*, 2021). Folic acid has a higher bioavailability and is chemically more stable than folate. Although there are differences in data on the bioavailability of food folate, food is thought to comprise 50 % of total bioavailable folic acid. Considering this variation in bioavailability, the notion of dietary folate

equivalents (DFEs) is employed: 0.6 µg of folic acid in fortified foods, 0.5 µg in supplements, or 1 µg of dietary folate are all comparable to 1 µg of DFE (Argyridis, 2019; Jouanne *et al.*, 2021). Folate deficiency is frequently caused by pregnancy, particularly in cases of multiple pregnancies or complex pregnancies with vomiting. Certain pregnancy issues, such as congenital heart disease, preeclampsia, intrauterine growth restriction, and neural tube abnormalities (NTD), such as spina bifida and anencephaly, can be caused by a folate shortage (Argyridis, 2019). It is also critical to stress that women with pregestational diabetes should take 5 mg of the medication daily (Jouanne *et al.*, 2021).

4. Conclusion

The effects of the micronutrients on teenage pregnancy are so crucial to the extent that if deficiency occurs in the juveniles, it causes congenital abnormalities, affects the mother's health, and the unborn babies and may eventually lead to maternal mortality and deaths of the fetus. If the babies survive the gestational period, the baby may develop diverse metabolic syndromes. Policymakers, physicians, nutritionists, and other health workers should focus more attention on the micronutrient status of adolescents. Therefore, it becomes paramount that proper education should be given to pregnant teenagers and more research should be focused on nutritional intervention for these vulnerable groups.

Acknowledgments

Special thanks to the management and staff of Universidad Autonoma de Coahuila Hospital, Mexico for their support and help.

Conflict of interest

There is no conflict of interest in the publication of these research notes.

References

- Altura B.M., Li W., Zhang A., Zheng T., Shah N.C., Shah G.J., & Altura B.T. (2016). Sudden Cardiac Death in Infants, Children and Young Adults: Possible Roles of Dietary Magnesium Intake and Generation of PlateletActivating Factor in Coronary Arteries. *J. Heart Health* 2:(2). <http://dx.doi.org/10.16966/2379-769X.121>
- Amorós R., Murcia M., Ballester F., Broberg K., Iñiguez C., Rebagliato M., Skróder H., González L., Lopez-Espinosa M.-J., & Llop S. (2018). Selenium status during pregnancy: Influential factors and effects on neuropsychological development among Spanish infants. *Sci. Total Environ.* 610:741–749. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.042>
- Argyridis, S. (2019). Folic acid in pregnancy. *Obstet. Gynaecol. Reprod. Med.* 29(4): 118–120. <https://doi.org/10.1016/j.ogrm.2019.01.008>

- Babai, A., & Irving, M. (2023). Orofacial Clefts: Genetics of Cleft Lip and Palate. *Genes (Basel)* 14(8):1603. <https://doi.org/10.3390/genes14081603>
- Bekele, Y., Gallagher, C., Batra, M., Vicendese, D., Buultjens, & M., Erbas, B. (2024). Is Oral Iron and Folate Supplementation during Pregnancy Protective against Low Birth Weight and Preterm Birth in Africa? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients* 16(16): 2801. <https://doi.org/10.3390/nu16162801>
- Beluska-Turkan, K., Korczak, R., Hartell, B., Moskal, K., Maukonen, J., Alexander, D.E., Salem, N., Harkness, L., Ayad, W., Szaro, J., Zhang, K., & Siriwardhana, N. (2019). Nutritional Gaps and Supplementation in the First 1000 Days. *Nutrients* 11(12): 2891. <https://doi.org/10.3390/nu11122891>
- Bromage S., Ahmed T., & Fawzi W.W. (2016). Calcium Deficiency in Bangladesh: Burden and Proposed Solutions for the First 1000 Days. *Food Nutr. Bull* 37(4): 475–493. <https://doi.org/10.1177/0379572116652748>
- Conlon, M.A., & Bird, A.R. (2014). The impact of diet and lifestyle on gut microbiota and human health. *Nutrients* 7(1):17–44. <https://doi.org/10.3390/nu7010017>
- Cheng, Z., Gu, R., Lian, Z., Gu, H.F. (2022). Evaluation of the association between maternal folic acid supplementation and the risk of congenital heart disease: a systematic review and meta-analysis. *Nutr J. Mar* 21(1):20. <https://doi.org/10.1186/s12937-022-00772-2>
- Chikakuda, A.T., Shin, D., Comstock, S.S., Song, S., & Song, W.O. (2018). Compliance to prenatal iron and folic acid supplement use in relation to low birth weight in Lilongwe, Malawi. *Nutrients* 10(9): 1275. <https://doi.org/10.3390/nu10091275>
- de Araújo, C.A.L., Ray, J.G., Figueiroa, J.N., & Alves, J.G. (2020). BRAZil magnesium (BRAMAG) trial: A double-masked randomized clinical trial of oral magnesium supplementation in pregnancy. *BMC Pregnancy Childbirth*.20:234. <https://doi.org/10.1186/s12884-020-02935-7>
- Elbaz, F., Zahra, S., & Hanafy, H. (2017). Magnesium, zinc and copper estimation in children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) *Egypt J. Med. Hum. Gen.* 18(2):153–163. <https://doi.org/10.1016/j.ejmhg.2016.04.009>
- Farías, P.M., Marcelino, G., Santana, L.F., de Almeida, E.B., Guimarães, R.C.A., Pott, A., Hiane, P.A., & Freitas, K.C. (2020). Minerals in Pregnancy and Their Impact on Child Growth and Development. *Molecules* 25(23): 5630. <https://doi.org/10.3390/molecules25235630>
- Galetti, V., Mitchikpè, C.E.S., Kujinga, P., Tossou, F., Hounhouigan, D.J., Zimmermann, M.B., & Moretti, D. (2016). Rural Beninese children are at risk of zinc deficiency according to stunting prevalence and plasma zinc concentration but not dietary zinc intakes. *J. Nutr.* 146(1): 114–123. <https://doi.org/10.3945/jn.115.216606>
- Georgieff, M.K. (2020). Iron deficiency in pregnancy. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 223(4): 516–524. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2020.03.006>
- Guo, Y., Zhang, N., Zhang, D., Ren, Q., Ganz, T., Liu, S., & Nemeth, E. (2019). Iron homeostasis in pregnancy and spontaneous abortion. *Am. J. Hematol.* 94(2): 184–188. <https://doi.org/10.1002/ajh.25341>

- Harvey, L., & Boksa, P. (2014). Additive effects of maternal iron deficiency and prenatal immune activation on adult behaviors in rat offspring. *Brain, Behavior, and Immunity* 40: 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2014.06.005>
- Hofstee, P., McKeating, D.R., Bartho, L.A., Anderson, S.T., Perkins, A.V., & Cuffe, J.S. (2020). Maternal selenium deficiency in mice alters offspring glucose metabolism and thyroid status in a sexually dimorphic manner. *Nutrients* 12(1): 267. <https://doi.org/10.3390/nu12010267>
- Jiang, S., Yang, B., Xu, J., Liu, Z., Yan, C., Zhang, J., Li, S., & Shen, X. (2019) Associations of Internal-Migration Status with Maternal Exposure to Stress, Lead, and Selenium Deficiency Among Pregnant Women in Shanghai, China. *Biol. Trace Elem. Res.* 190(2): 309–317. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1570-0>
- Jouanne, M., Oddoux, S., Noël, A., & Voisin-Chiret, A.S. (2021). Nutrient Requirements during Pregnancy and Lactation. *Nutrients* 13 (2): 692. <https://doi.org/10.3390/nu13020692>
- Keats, E.C., Akseer, N., Thurairajah, P., Cousens, S., Bhutta, Z.A., & Global Young Women's Nutrition Investigators' Group. (2022). Multiple-micronutrient supplementation in pregnant adolescents in low- and middle-income countries: a systematic review and a meta-analysis of individual participant data. *Nutr Rev.* 80(2): 141-156. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuab004>
- Mao, J., Vanderlelie, J.J., Perkins, A.V., Redman, C.W., Ahmadi, K.R., & Rayman, M.P. (2016). Genetic polymorphisms that affect selenium status and response to selenium supplementation in United Kingdom pregnant women. *Am. J. Clin. Nutr.* 103(1): 100–106. <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.114231>
- Mosha, D., Liu, E., Hertzmark, E., Chan, G., Sudfeld, C., Masanja, H., & Fawzi, W. (2017). Dietary iron and calcium intakes during pregnancy are associated with lower risk of prematurity, stillbirth and neonatal mortality among women in Tanzania. *Public Health Nutr.* 20(4): 678–686. <https://doi.org/10.1017/s1368980016002809>
- Nogales, F., Ojeda, M.L., Del Valle, P.M., Serrano, A., Murillo, M.L., & Carreras-Sánchez, O. (2017). Metabolic syndrome and selenium during gestation and lactation. *Eur. J. Nutr.* 56(2): 819–830. <https://doi.org/10.1007/s00394-015-1129-1>
- Olivo-Vidal, Z.E., Rodríguez, R.C., & Arroyo-Helguera, O. (2016) Iodine affects differentiation and migration process in trophoblastic cells. *Biol. Trace Elem. Res.* 169(2): 180–188. <https://doi.org/10.1007/s12011-015-0433-1>
- Palacios, C., Kostiuik, L.K., & Peña-Rosas, J.P. (2019). Vitamin D supplementation for women during pregnancy. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 7(7): CD008873. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd008873.pub4>
- Rajwar, E., Parsekar, S.S., & Venkatesh, B.T (2020). Effect of vitamin A, calcium and vitamin D fortification and supplementation on nutritional status of women: an overview of systematic reviews. *Syst. Rev.* 9: 248. <https://doi.org/10.1186/s13643-020-01501-8>
- Rees, W.D., Hay, S.M., Hayes, H.E., Stevens, V.J., Gambling, L., & McArdle, H.J (2020). Iron deficiency during pregnancy and lactation modifies the fatty acid composition of the brain of neonatal rats. *J. Dev. Origins Health Dis.* 11(3): 264–272. <https://doi.org/10.1017/s2040174419000552>

- Saydam, B.K., Genc, R.E., Sarac, F., & Turfan, E.C. (2017). Prevalence of anemia and related factors among women in Turkey. *Pak. J. Med. Sci.* 33(2): 433-438. <https://doi.org/10.12669/pjms.332.11771>
- Shinde, S., Wang, D., Yussuf, M.H., Mwanyika-Sando, M., Aboud, S., & Fawzi, W.W. (2022). Micronutrient Supplementation for Pregnant and Lactating Women to Improve Maternal and Infant Nutritional Status in Low-and Middle-Income Countries: Protocol for a Systematic Review and Meta-analysis. *JMIR Res Protoc.* 11(8): e40134. <https://doi.org/10.2196/40134>
- Shahid, M.A., Ashraf, M.A., & Sharma, S. (2024). Physiology, Thyroid Hormone. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK500006/>
- Stoffaneller, R., & Morse, N.L. (2015). A review of dietary selenium intake and selenium status in Europe and the Middle East. *Nutrients.* 7(3): 1494–1537. <https://doi.org/10.3390/nu7031494>
- Viktorinova, A., Ursinyova, M., Trebaticka, J., Uhnakova, I., Durackova, Z., & Masanova, V. (2016). Changed plasma levels of zinc and copper to zinc ratio and their possible associations with parent-and teacher-rated symptoms in children with attention-deficit hyperactivity disorder. *Biol. Trace Elem. Res.* 169(1): 1–7. <https://doi.org/10.1007/s12011-015-0395-3>
- Volpe, J.J. (2019). Iron and zinc: Nutrients with potential for neurorestoration in premature infants with cerebral white matter injury. *J. Neonatal. Perinatal. Med.* 12(4): 365–368. <https://doi.org/10.3233/npm-190369>
- Weaver, C.M., & Heaney, R.P. (2014). Calcium. In: Ross, A.C., Caballero, B., Cousins, R.J., Tucker, K.L., & Ziegler, T.R., editors. *Modern Nutrition in Health Disease*. 11th ed. Lippincott Williams & Wilkins; Baltimore, MD, USA: 2014. pp. 133–149.
- WHO (2016) Recommendations on Antenatal Care for a Positive Pregnancy Experience; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2016. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/259947/WHO-RHR-18.02-eng.pdf>
- WHO (2017). Nutritional Anaemias: Tools for Effective Prevention and Control. World Health Organization; Geneva, Switzerland <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/259425/9789241513067-eng.pdf>
- WHO (2018). Weekly Iron and Folic Acid Supplementation as an Anaemia-Prevention Strategy in Women and Adolescent Girls: Lessons Learnt from Implementation of Programmes Among Non-Pregnant Women of Reproductive Age. World Health Organization; Geneva, Switzerland. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/274581/WHO-NMH-NHD-18.8-eng.pdf>
- Wilson, R.L., Bianco-Miotto, T., Leemaqz, S.Y., Grzeskowiak, L.E., Dekker, G.A., & Roberts, C.T. (2018). Early pregnancy maternal trace mineral status and the association with adverse pregnancy outcome in a cohort of Australian women. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 46: 103–109. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.11.016>
- Yimer, B., & Wolde, A. (2022). Prevalence and predictors of malnutrition during adolescent pregnancy in southern Ethiopia: a community-based study. *BMC Pregnancy Childbirth* 22(1): 130. <https://doi.org/10.1186/s12884-022-04460-1>

- Zimmermann, M.B. (2016). The Importance of Adequate Iodine during Pregnancy and Infancy. *World Rev. Nutr. Diet.* 115:118–124. <https://doi.org/10.1159/000442078>
- Zemrani, B., & Bines, J.E. (2020). Recent insights into trace element deficiencies: Causes, recognition and correction. *Curr. Opin. Gastroenterol* 36(2): 110–117. <https://doi.org/10.1097/mog.0000000000000612>
- Zhou, S.J., Condo, D., Ryan, P., Skeaff, S.A., Howell, S., Anderson, P.J., McPhee, A.J., & Makrides, M. (2019). Association between maternal iodine intake in pregnancy and childhood neurodevelopment at age 18 months. *Am. J. Epidemiol.* 188(2): 332–338. <https://doi.org/10.1093/aje/kwy225>

2024 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Detección de estrés por medio de redes neuronales artificiales en personal sanitario

Stress Diagnosis by Means of Artificial Neural Networks in Healthcare Personnel

Carlos Eduardo Cañedo Figueroa^{1*}, Xóchitl Duque Alarcón², María Teresa Silvia Tinoco Zamudio³

^{1,2} Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Medicina y Ciencias Biomédicas. Circuito Universitario 31109, Campus II C.P. 31125, Chihuahua, Chihuahua, México.

² Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE), Ahuehuate 505, Ángel Trías, C.P. 31203, Chihuahua, Chihuahua, México,

^{1,3} Universidad Contemporánea de las Américas, Paseo de la República 3143, Las Américas, C.P. 58270, Morelia, Michoacán, México

*Correspondencia: ccanedo@uach.mx (Carlos Eduardo Cañedo Figueroa)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v18i3.1641>

Recibido: 05 de septiembre de 2024; Aceptado: 29 de noviembre de 2024

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

En el presente documento se describe un estudio sobre la detección de estrés en profesionales sanitarios mediante el uso de redes neuronales artificiales. Se generó un modelo de red neuronal para clasificar datos relacionados con la detección oportuna de problemas de estrés en personal sanitario. Para ello, se obtuvieron datos clasificados utilizando la referencia del instrumento ProQOL, seguido de la aplicación de un modelo matemático para incremento de datos de forma artificial. Posteriormente, se aplicó el entrenamiento de redes neuronales artificiales modificando hiperparámetros y funciones de activación de forma experimental mediante el lenguaje de programación de Python. Los resultados obtenidos muestran una estimación de la capacidad de clasificación (F1-score) del 85.3, 67.5 y 89.3 % para la detección de Burnout, fatiga por compasión y estrés traumático secundarios, respectivamente. Se advierte la posibilidad de mejorar el desempeño de estos resultados incrementando los datos de entrenamiento. Debe resaltarse que esta es una investigación que involucra datos únicamente del contexto del hospital del ISSSTE de la ciudad de Chihuahua.

Palabras clave: estrés psicológico, aprendizaje supervisado de máquinas, detección.

Abstract

This paper presents the findings of a study investigating the potential of artificial neural networks in detecting stress in healthcare professionals. A neural network model was constructed for the purpose of classifying data pertaining to the timely detection of stress issues among healthcare personnel. The classification of data was conducted with reference to the ProQOL document. Subsequently, a mathematical model was employed to artificially increase the data set. Subsequently, the training of artificial neural networks was conducted through the experimental modification of hyperparameters and activation functions using the Python programming language. The results demonstrate an estimated classification ability (F1-score) of 85.3, 67.5, and 89.3 % for the detection of Burnout, compassion fatigue, and secondary traumatic stress, respectively. These results indicate potential for improvement in performance, with the option to expand the training data available. It should be noted that this investigation is limited to data from the ISSSTE hospital in Chihuahua City.

Keywords: psychological stress, supervised machine learning, detection.

1. Introducción

El estrés laboral ha tenido un impacto significativo en la salud mental de los trabajadores (Gamero, 2022). El sector salud ejemplifica este fenómeno, ya que la constante exposición de emergencias sanitarias, la alta demanda de servicios, escasez de insumos, ambientes laborales comprometidos y la combinación con situaciones personales elevan la presencia de estrés en los trabajadores del sector sanitario (Barral-Coral y Albán-Pérez, 2021).

Aunque cada trabajador puede experimentar diferentes afecciones a causa del estrés, en general, se manifiestan reacciones psicológicas y conductuales como ansiedad, depresión, agotamiento emocional, irritabilidad y mal humor, así como dificultad para concentrarse, aumento en el consumo de sustancias nocivas como el alcohol u otras sustancias, lo cual puede llegar a tener consecuencias graves como el suicidio (Agüero-Moreira *et al.*, 2022; Magaña-Salazar *et al.*, 2023).

El estrés puede provocar reacciones físicas como dolor de cabeza, desde un nivel leve a uno intenso, dolor de espalda, extremidades y zona estomacal, mareos, estreñimiento o diarrea, cansancio excesivo y trastornos del sueño. Estas afectaciones disminuyen la capacidad de atención al paciente, la sensibilidad y el rendimiento durante el horario laboral, lo que puede resultar en diagnósticos y tratamientos erróneos, afectando negativamente la calidad de la asistencia médica (Cajamarca-Chicaiza *et al.*, 2023; Magaña-Salazar *et al.*, 2023).

Los problemas de estrés en el personal de salud se pueden agrupar en: Burnout, fatiga por compasión (CF) y estrés traumático secundarios (STS). Un trabajador puede presentar uno o más de estas condiciones, de acuerdo con su personalidad y rasgos psicológicos (Hinderer *et al.*, 2014).

El Burnout afecta entre el 35 y 50 % del personal de salud, manifestándose en agotamiento emocional, despersonalización y baja realización personal. Los factores de riesgo incluyen largas jornadas laborales, falta de apoyo en insumos, así como relaciones laborales negativas. La CF impacta al 25-30 %, esta se relaciona con el estrés por brindar ayuda a los pacientes y, finalmente, el STS, que presenta síntomas similares al trastorno de estrés postraumático, el cual afecta al 7-10 % del personal sanitario,

debido a la exposición indirecta al trauma de los pacientes. Si bien, la incidencia del STS es mucho menor al BO y CF, esta condición puede incapacitar laboralmente de forma temporal o permanente a quien lo presente (Meadors *et al.*, 2010; Hinderer *et al.*, 2014; Barone y Zakriževska-Belogrudova, 2022; Cajamarca-Chicaiza *et al.*, 2023).

Existen diversos métodos para la detección de problemas de estrés, tal como el análisis de variabilidad de la frecuencia cardíaca, medición de cortisol en saliva, termografía infrarroja, modelos de encuestas, inventario de síntomas y la intervención psicológica. Sin embargo, se vuelve complicado realizar un diagnóstico eficiente para todo el personal de una determinada zona laboral (Súarez-Carreño y Rosales, 2019). Con la llegada y uso cotidiano de algunos sistemas inteligentes como los dispositivos portátiles (relojes y pulseras de monitoreo fisiológico), en conjunto con los modelos de inteligencia artificial (IA) como las redes neuronales artificiales (ANN), algoritmos de regresión lineal (RL), algoritmos de agrupamiento de datos con el algoritmo KNN, entre otros, se han desarrollado modelos y dispositivos eficientes para la detección del estrés de forma genérica (Carreño y Rosales, 2019).

Se han desarrollado algunos dispositivos específicos para la detección de estrés basados en el estado mental. Campanella *et al.* (2023) describen el desarrollo de una banda a modo brazalete que tiene una eficiencia del 71 % de *F1 score* en la detección de estrés, lo cual se obtuvo mediante la implementación de algoritmos *random forest*, *svm* y regresión. Así como este caso, también se puede mencionar la detección de estrés mediante el análisis de señales EEG (Zhu *et al.*, 2023) y de visión (Siam *et al.*, 2023), en donde se muestra que se podría tener un rendimiento superior al 80 % en la detección de estrés, sin embargo, la implementación de estos sistemas involucra realizar la toma de muestras con dispositivos que puedan estar en contacto con la piel, o bien sistemas de cómputo con alto procesamiento de datos, como es el caso de algoritmos que trabajan con la toma de imágenes.

La necesidad de realizar clasificaciones dentro del espectro del estrés surge debido a que las afecciones pueden involucrar acciones contraproducentes si no se abordan de manera específica.

En el presente trabajo se describe un modelo de tres redes neuronales que clasifica datos obtenidos de una encuesta de 30 preguntas para determinar la presencia o ausencia de estrés a partir de la detección de Burnout, fatiga por compasión y/o estrés traumático secundario.

2. Materiales y métodos

Se generó una base de datos utilizando el instrumento “The Concise Manual for the Professional Quality of Life Scale” (Stamm, 2010), el cual consta de 30 preguntas (ver Tabla 1). El cuestionario se aplicó a 215 profesionales sanitarios del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE) Chihuahua, bajo consentimiento informado, cumpliendo con las normas de ética establecidas por la institución. Cada una de las preguntas se respondieron en escala de 1 a 5 según la percepción del participante, siendo 1 = nunca, 2 = en ocasiones, 3 = algunas veces, 4 = casi siempre y 5 = siempre. Se le pidió a cada participante que contestara las preguntas según las experiencias vividas en los últimos 30 días.

De los 215 participantes, 62 fueron de sexo masculino y 153 de sexo femenino, comprendiendo un rango de edades de los 18 a los 68 años. Los datos obtenidos de la encuesta se clasificaron mediante el instrumento de evaluación que se señala en Stamm (2010) (Ver Tabla 2).

Tabla 1. Preguntas de test obtenidas del documento ProQOL

Table 1. Test questions obtained from the ProQOL document.

#	Pregunta
1	¿Soy feliz?
2	¿Estoy preocupado por una o más personas a las que he ayudado o ayudo?
3	¿Estoy satisfecho de poder ayudar a la gente?
4	¿Me siento vinculado a otras personas, con ocasión de mi trabajo?
5	¿Me sobresaltan los sonidos inesperados?
6	¿Me siento fortalecido después de trabajar con las personas a las que he ayudado?
7	¿Encuentro difícil separar mi vida personal de mi vida profesional?
8	¿Pierdo el sueño por las experiencias traumáticas de las personas a las que he ayudado?
9	¿Creo que he sido afectado negativamente por las experiencias traumáticas de aquellos a quienes he ayudado?
10	¿Me siento 'atrapado' por mi trabajo?
11	¿Debido a mi profesión tengo la sensación de estar al límite en varias cosas?
12	¿Me gusta trabajar ayudando a la gente?
13	¿Me siento deprimido como resultado de mi trabajo?
14	¿Me siento como si fuera yo el que experimenta el trauma de alguien al que he ayudado?
15	¿Tengo creencias (religiosas, espirituales u otras) que me apoyan en mi trabajo profesional?
16	¿Estoy satisfecho por cómo soy capaz de mantenerme al día en las técnicas y procedimientos de asistencia médica?
17	¿Soy la persona que siempre he querido ser?
18	¿Mi trabajo me hace sentirme satisfecho?
19	¿Por causa de mi trabajo me siento agotado?
20	¿Tengo pensamientos de satisfacción acerca de las personas a las que he ayudado y sobre cómo he podido ayudarles?
21	¿Me siento abrumado por la cantidad y tipo de trabajo que tengo que afrontar?
22	¿Creo que puedo hacer cambiar las cosas a través de mi trabajo?
23	¿Evito ciertas actividades o situaciones porque me recuerdan a las experiencias espantosas de la gente a la que he ayudado?
24	¿Planeo continuar con mi trabajo por muchos años?
25	¿Como resultado de mi trabajo profesional, tengo pensamientos molestos, repentinos, indeseados?
26	¿Me siento 'estancado' (sin saber qué hacer) por cómo funciona el sistema sanitario?
27	¿Considero que soy un buen profesional?
28	¿No puedo recordar determinados acontecimientos relacionados con víctimas muy traumáticas?
29	¿Soy una persona demasiado sensible?
30	¿Estoy feliz por haber elegido hacer este trabajo?

Tabla 2. Escala de valoración según las respuestas del cuestionario de la tabla 1**Table 2.** Rating scale is based on the responses provided in Table 1.

La suma de las preguntas relacionadas con la satisfacción por compasión	Nivel de satisfacción por compasión
22 o menos	Bajo
Entre 23 y 41	Moderado
42 o superior	Alto
Las preguntas relacionadas a la satisfacción por compasión son 3, 6, 12, 16, 18, 20, 22, 24, 27 y 30.	
La suma de las preguntas relacionadas con el Burnout	Nivel de Burnout
22 o menos	Bajo
Entre 23 y 41	Moderado
42 o superior	Alto
Las preguntas relacionadas el Burnout son 1*, 4*, 8, 10 15*, 17*, 19, 21, 26, 29*.	
Las preguntas indicadas con asterisco (*) deben contemplar la puntuación a la inversa.	
En donde 0=0, 1=5, 2=4, 3=3, 4=2 y 5=1 (Lado izquierdo de la igualdad, respuesta del paciente, lado derecho, puntuación que le corresponde)	
La suma de las preguntas relacionadas con el estrés traumático secundario	Nivel de estrés traumático secundario
22 o menos	Bajo
Entre 23 y 41	Moderado
42 o superior	Alto
Las preguntas relacionadas con el estrés traumático secundario son 2, 5, 7, 9, 11, 13, 14, 23, 25 y 28.	

Por cada una de las clases (satisfacción por compasión, Burnout y estrés traumático secundario) se obtuvieron los datos que se indican en la Tabla 3.

Tabla 3. Niveles obtenidos pertenecientes a cada categoría.**Table 3.** Levels obtained for each category.

Clase	Alto	Moderado	Bajo
Burnout	0	110	105
STS	1	84	130
CS	119	93	3

2.1 Aumento de datos y conjuntos de entrenamiento

Se aplicó la segmentación de los datos tomando 30 vectores característicos de forma aleatoria, los cuales se utilizaron para el entrenamiento de las redes neuronales. Se generaron dos conjuntos de

datos, 30 para entrenamiento (E) y 185 que se utilizarán para validar los algoritmos (V). Si bien es posible entrenar algoritmos de *machine learning* con estos datos, se optó por incrementar los datos aplicando de forma aleatoria y experimental valores de 0.0015 hasta 0.999 a cada una de las características para el conjunto de entrenamiento, esto con la finalidad de incrementar la variabilidad que se tienen en los datos y no generar sobre ajuste por los vectores que se recabaron. Esto es necesario implementar debido a que la base de datos corresponde únicamente a la zona del ISSSTE Chihuahua, por lo que se busca implementar ruido en la señal para generalizar el procesamiento de datos en la red. Al seleccionar una cantidad pequeña de información, se planteó el tener solo dos clases, presencia o no presencia de cada uno de los tipos de estrés. Se obtuvo la cantidad de 234 datos para cada una de las clases, 117 con presencia del tipo de estrés y 117 sin presencia del mismo. A este conjunto de datos se le puede referenciar como (AE).

2.2 Diseño y desarrollo de redes neuronales

Las redes neuronales son modelos matemáticos que intentan simular el funcionamiento de la mente humana para la toma de decisiones. Pueden llegar a tener cierto criterio de razonamiento con base en diversos datos obtenidos del entorno. Estos modelos se basan en la teoría de la computación neuronal, que postula que la información se procesa en el cerebro a través de un sistema de neuronas interconectadas que pueden definir una o múltiples respuestas según los datos que se tengan como entradas al sistema algorítmico (García-Chávez y Cañedo-Figueroa, 2021; Valdez-Hernández *et al.*, 2022; Sarwar y Saadeh, 2023).

Para el desarrollo de este trabajo, se realizó una codificación binaria del estilo “One hot” para cada una de las salidas de los elementos del conjunto AE, tal como se muestra en la Tabla 4, esto debido a que se generó una red neuronal de tipo “totalmente conectada hacia adelante” (*feedforward*, por su terminología en inglés) para cada una de las clases definidas.

Tabla 4. Codificación modo “One hot” para la detección de problemas.

Table 4. “One hot” coding mode for problem detection.

Clase	Predicción	Codificación
Burnout (burnout)	Sin presencia de Burnout	[1, 0]
	Con presencia de Burnout	[0, 1]
Estrés traumático secundario (STS)	Sin presencia de STS	[1, 0]
	Con presencia de STS	[0, 1]
Estrés por satisfacción de la compasión (CS)	Sin presencia de CS	[1, 0]
	Con presencia de CS	[0, 1]

La codificación “One hot” generó la formación de un conjunto de vectores con la forma que se muestra en la Ecuación 1. En donde C corresponde a la clase a la que el vector pertenece, teniendo valores $C = \{\text{Burnout, STS, CS}\}$, i es la posición del ID según corresponda a la clase, teniendo valores de $i = \{1, 2, 3, \dots, I\}$, siendo I el número máximo de elemento por cada clase (117), α representa a la respuesta obtenida en el cuestionario aplicado, por lo que $\alpha = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ en la respuesta según corresponda el subíndice y $R = \{\text{respuesta según la codificación de la Tabla 7}\}$.

$$V_{C,i} = [\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_{30}, (R)] \quad (\text{Ec. 1})$$

Una vez teniendo cada uno de los datos de las encuestas con sus respectivas salidas ($V_{C,i}$) se desarrolló un conjunto de 3 redes neuronales mediante el lenguaje de programación de Python 3.9. Para ello, se utilizaron las librerías de *TensorFlow* y *Keras* (Hamil et al., 2022; Nath Mohalder et al., 2024). Las estructuras de las redes constaron de 30 neuronas de entrada según la cantidad de entradas, 5 neuronas en la capa intermedia con la función de activación *sigmoidal* y 2 neuronas de salida. Todas fueron configuradas en su entrenamiento mediante la función de activación *softmax* (Deng et al., 2023).

Esta estructura se constituyó para las tres redes neuronales (Fig. 9), en donde la capa de entrada corresponde a los datos obtenidos y ordenados de la encuesta de 30 preguntas, las capas ocultas siguen la estructura de la sumatoria de los pesos de cada neurona por la entrada. Posteriormente, pasa por la función *sigmoidal*, para después pasar por la función *softmax* y obtener los resultados mediante la codificación *One hot* (Ver Tabla 4).

Para el entrenamiento de las redes neuronales se utilizó el optimizador *Adam*, un factor de aprendizaje de 0.001, una función de pérdida *crossentropy*, 900 épocas y bloques de 130 para garantizar la toma de valores aleatorios en su entrenamiento mediante la técnica de retropropagación (*backpropagation*, por su traducción del inglés). Estos hiperparámetros se seleccionaron debido a que se iteraron las neuronas de la capa intermedia, incrementando y decrementando de 3 a 10 neuronas, realizando entrenamientos por 900 épocas en cada incremento o decremento, con manejo de pesos iniciales aleatorios en escala de 0 a 1. De igual manera, se realizaron pruebas con los factores de aprendizaje, variando ese valor de 0.0001 a 0.01. Se generó un ciclo de entrenamiento actualizando estos hiperparámetros de forma experimental en incrementos según los rangos experimentales establecidos. La estructura descrita fue la que mejores resultados mostró durante el entrenamiento.

La estructura general del entrenamiento utilizado se puede observar en la Fig. 2. En donde se indica que todas las entradas del conjunto entrenamiento de cada clase (CS, STS y Burnout) son multiplicadas por pesos aleatorios iniciales, los cuales originarían una respuesta obtenida del sistema neuronal. Posteriormente, estas respuestas se comparan con la respuesta que realmente se desea obtener por cada uno de los vectores característicos.

En caso de tener un error diferente de cero, se aplican las ecuaciones (2) y (3). En donde se describe que, para obtener los pesos nuevos de cada peso sináptico, se debe considerar el valor anterior y restar el resultado de la multiplicación del factor de aprendizaje η por el incremento dado por el error de cada una de las salidas de las neuronas, denotado por T y oculta o salida, siendo cada uno de los términos referenciales a las neuronas específicas de la capa oculta o capa de salida visto en la Fig. 1.

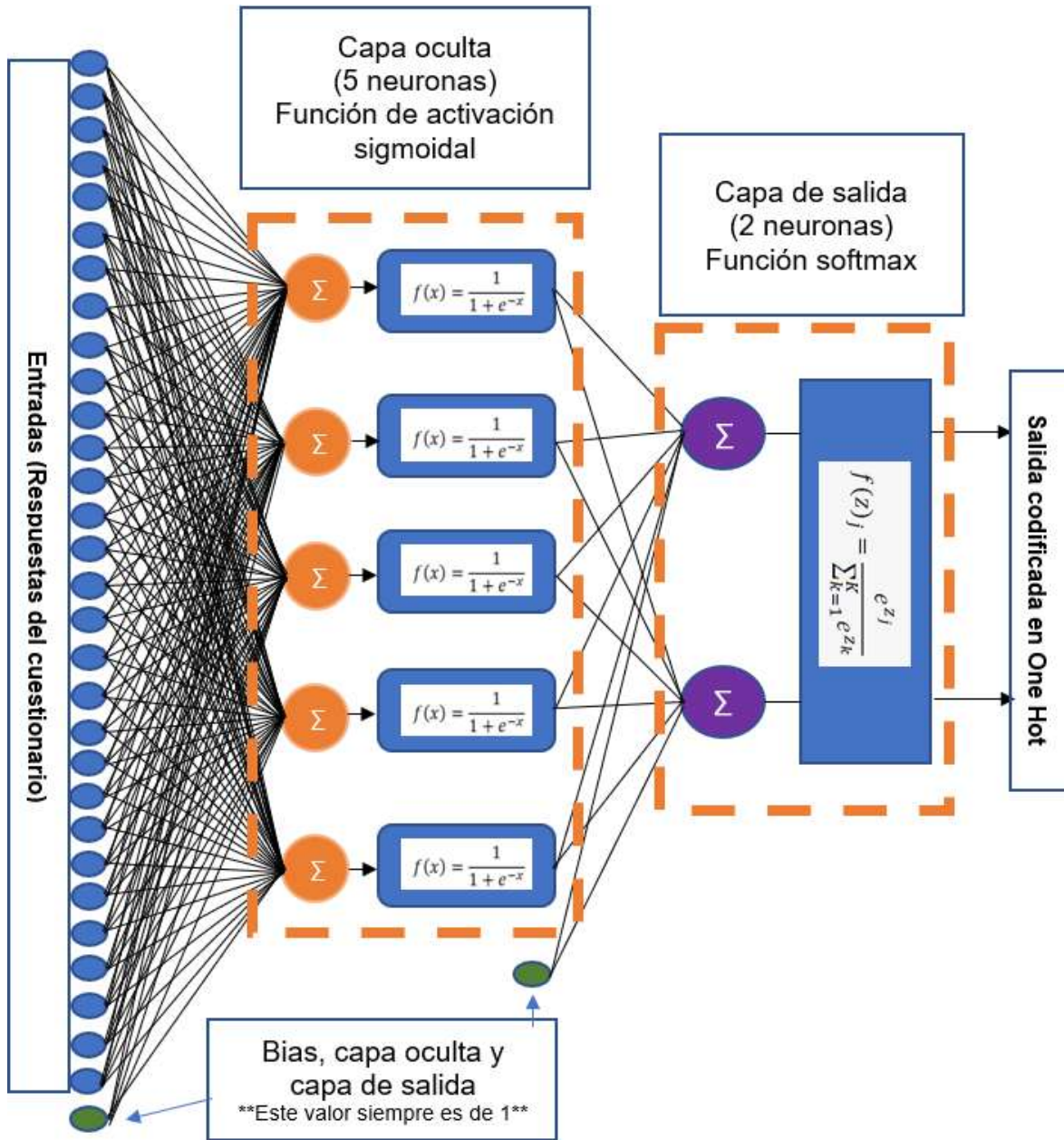


Figura 1. Estructura general de las redes neuronales generadas. Fuente: Esquema elaborado por el autor.

Figure 1. General structure of the generated neural networks. Source: Scheme drawn by the author.

$$nuevoW_{oculta_salida} = anteriorW_{oculta_salida} - \eta \Delta W_{oculta_salida} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\Delta W_{oculta_salida} = -E_{salida} * \phi(Z_{salida}) * (1 - \phi(Z_{salida})) * S_{oculta}^T \quad (\text{Ec. 3})$$

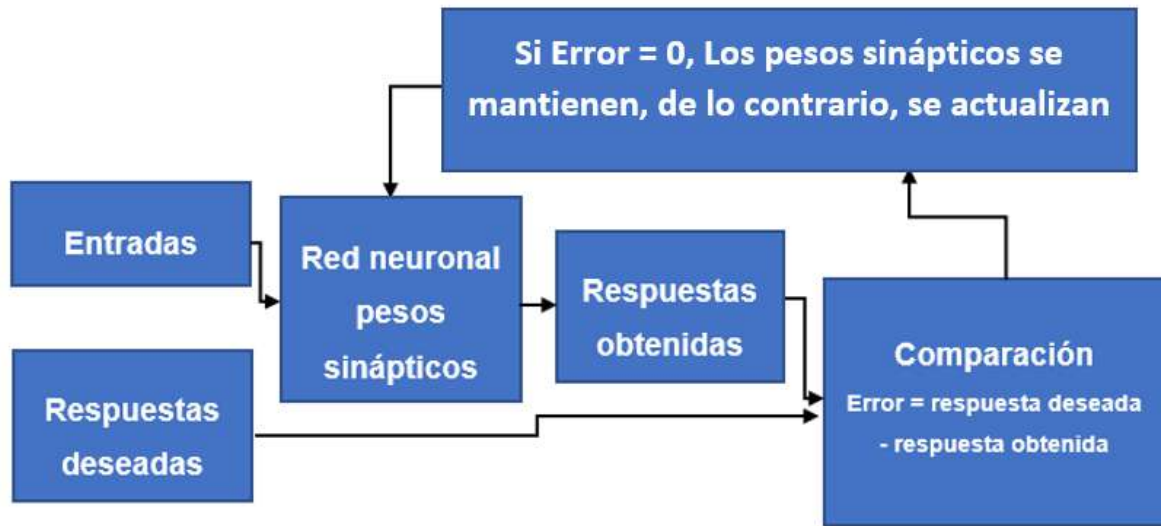


Figura 2. Estructura de entrenamiento de las redes neuronales. Fuente: Esquema elaborado por el autor
Figure 2. Training structure of a neural network. Source: Scheme developed by the author

2.3 Evaluación de algoritmos

Se examinó el desempeño de las tres redes neuronales diseñadas para clasificar datos en las tres categorías: síndrome de trauma secundario (STS), Burnout y satisfacción por compasión (CS). Para llevar a cabo esta evaluación, se recurrió a la implementación de métricas estándares como el *F1 score*, la precisión y la exhaustividad (*recall*), para lo cual se utilizaron los datos que se muestran en la Fig. 3.

Clase Burnout			Clase CS			Clase STS		
Predicción	90	1	Predicción	51	28	Predicción	100	12
	30	63		21	84		12	60
Real			Real			Real		

Figura 3. Matrices de confusión obtenidas por los tres algoritmos generados. Fuente: Esquema elaborado por el autor.

Figure 3. Confusion matrices obtained by the three generated algorithms. Source: Scheme developed by the autor.

Las métricas derivadas de las matrices de confusión proporcionan una evaluación cuantitativa del desempeño del modelo, por lo tanto, para esta investigación se utilizaron:

Precisión: Esta métrica (Ecuación 4) se calcula como la proporción de verdaderos positivos (VP) respecto al total de elementos clasificados como positivos (la suma de verdaderos positivos y falsos positivos (FP)). Proporciona una medida de la exactitud con la que el modelo realiza predicciones positivas.

$$Precisión = \frac{VP}{VP+FP} \quad (Ec. 4)$$

Exhaustividad (*recall*): También conocida como sensibilidad (Ecuación 5), mide la capacidad del modelo para identificar correctamente todas las instancias reales de la clase positiva. En donde FN se refiere a los falsos negativos obtenidos.

$$Recall = \frac{VP}{VP+FN} \quad (Ec. 5)$$

F1 Score: Esta métrica combina la precisión y el *recall* en un solo indicador que mide la precisión y la robustez del modelo (Ecuación 6). El *F1 score* es especialmente útil cuando las distribuciones de las clases son desiguales.

$$F1 = 2 * \frac{Precisión * Recall}{Precisión + Recall} \quad (Ec. 6)$$

En el desarrollo de este proyecto de investigación se logró generar un conjunto de tres redes neuronales artificiales para la detección de tres problemas de estrés predominantes en la población de trabajadores de la salud (Burnout, estrés traumático secundario y estrés de satisfacción por compasión). Sin embargo, los resultados obtenidos fueron evaluados tomando como referencia a 215 trabajadores sanitarios, por lo que es necesario realizar la intervención en un centro médico para corroborar lo planteado en este estudio.

Es importante resaltar que los datos obtenidos y utilizados para el entrenamiento y validación de los algoritmos generados fueron adquiridos en la unidad del ISSSTE de la ciudad de Chihuahua, México, por medio de consentimiento informado de los participantes, bajo el protocolo del comité de ética aprobado por la dirección de la Secretaría de Salud del Estado de Chihuahua. Por lo tanto, es posible que existan sesgos si se llegasen a comparar con algunas otras regiones del país o de instancias internacionales.

La aplicación generada se puede ejecutar en cualquier entorno de Windows que tenga instalado el software Python 3.9 y las librerías de *tkinter* y *TensorFlow*. Lamentablemente, el recurso generado no se ha logrado convertir en un programa ejecutable para usuario; sin embargo, en el siguiente enlace se puede descargar la aplicación, la base de datos utilizada y los modelos de redes neuronales pre entrenadas: https://github.com/eduarcan/Medical_estres.

3. Resultados y discusión

Utilizando las Ecuaciones 4, 5 y 6, se calcularon las métricas para cada una de las clases evaluadas, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 5, en donde se muestran variaciones significativas en el rendimiento entre las clases. La clase Burnout presenta una precisión de 0.989, lo que sugiere que la mayoría de las predicciones de Burnout son acertadas. Sin embargo, un menor nivel de *recall* (0.750) revela que el modelo falló en identificar un número significativo de casos reales de Burnout, impactando negativamente en su puntuación F1, dejando una métrica de 0.853.

En la categoría de CS se registran niveles moderados de precisión y recuperación, resultando con la métrica *F1 Score* de menor densidad de los algoritmos generados, quedando con 0.675. Este resultado refleja una eficiencia menor en el balance entre la exactitud de las predicciones y la habilidad del modelo para identificar todos los casos auténticos.

Finalmente, para la categoría de STS se demostró el rendimiento más equilibrado, alcanzando el valor de 0.893 en *F1 Score*. Esto demuestra la capacidad notable del modelo para predecir y reconocer condiciones STS de manera eficiente, manteniendo un equilibrio óptimo entre minimizar falsos positivos y detectar la mayoría de los casos verdaderos.

Tabla 5. Representación de los resultados obtenidos por las tres redes neuronales.

Table 5. Representation of the results obtained by the three neural networks.

Clase	VP	FP	FN	VN	Precisión	Recall	F1 Score
Burnout	90	1	30	63	0.989	0.750	0.853
CS	51	28	21	84	0.646	0.708	0.675
STS	100	12	12	60	0.893	0.893	0.893

En comparación, los estudios de otros autores (ver Tabla 6) han logrado métricas de rendimiento en aplicaciones especializadas utilizando técnicas como Redes Neuronales Artificiales, Redes Neuronales Convolucionales, y combinaciones de lenguaje natural con *Machine Learning*.

Es preciso destacar que, en la revisión de literatura, los autores investigados realizan la detección de estrés de forma general o únicamente de un tipo en específico; además, los datos utilizados involucran repositorios de Internet, incluyendo datos de sensores de contacto o imágenes.

Tabla 6. Resultados de otros investigadores con diversas bases de datos y métodos.**Table 6.** Results from other researchers with different databases and methods.

Autor	Clases	Modelos	Precisión	Recall	F1 Score	Datos
(Sarwar y Saadeh, 2023)	STS	Red neuronal artificial (ANN)	0.932		0.97	Fotopletiografía
(Li y Liu, 2020)	Estrés crónico	Red neuronal convolucional (CNN)	0.995		0.9766	Repositorio de machine learning utilizando rostros en video
(Nijhawan et al., 2022)	Estrés social	Árboles de decisión (<i>decision trees</i>)	0.94			Evaluación de emociones y sentimientos expresadas mediante sitios web
(Kumari y Das, 2023)	Detección de estrés	Modelo de lenguaje natural y técnicas de <i>machine learning</i>	0.90	0.94	0.92	Análisis de datos de plataformas sociales
(Sandoval Rodríguez-Bermejo, 2019)	Detección de estrés	Redes neuronales convolucionales	0.96			Imágenes térmicas
(Navarro Cantos, 2018)	Ansiedad	Máquina de soporte vectorial K. Vecinos más cercanos. Árboles de decisión	0.80 0.80 0.75			Resistencia cutánea mediante sensor GSR

4. Conclusiones

En este artículo se presenta el desarrollo de un conjunto de tres redes neuronales mediante el lenguaje de programación Python para la detección de estrés en personal sanitario mediante una encuesta, tomando todos los factores del manual ProQOL. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede observar que el hecho de tener límites rígidos en la detección de los tres tipos de estrés analizados (estrés traumático secundarios, Burnout y satisfacción por la compasión) involucra que pueda existir una detección ambigua, ya que al identificar cualquier tipo de estrés con una puntuación pequeña en la escala mostrada en la Tabla 2, puede desembocar en el avance del estrés. Por lo que el presente trabajo utiliza todos los elementos relacionados con los tres tipos de estrés.

Cabe resaltar la necesidad de adquirir una mayor cantidad de datos y contemplar diferentes regiones para mejorar las métricas obtenidas.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Autónoma de Chihuahua, a la Universidad Contemporánea de Las Américas y a los creadores del repositorio de la base de datos del ISSSTE Chihuahua.

Conflicto de interés

Los autores de este artículo declaran no tener ningún conflicto de interés.

5. Referencias

- Agüero-Moreira, M., Pérez-Fernández, T., & Troz-Parra, I.P. (2022). Principales patologías psíquicas que generó el estrés laboral durante la pandemia de COVID -19, en el personal de salud. *Revista Médica Sinergia*, 7(4): e793. <https://doi.org/10.31434/rms.v7i4.793>
- Barone, L., & Zakriževska-Belogrudova, M. (2022). PROFESSIONAL QULAITY OF LIFE AND BURN OUT AMONG PSYSIOTHERAPISTS IN LATAVIA. *Proceedings of CBU in Social Sciences*, 3: 7-12. <https://doi.org/10.12955/pss.v3.298>
- Barral-Coral, S., & Albán-Pérez, G. (2021). Impacto de los factores de riesgo psicosociales, estrés y síndrome de burnout sobre la satisfacción laboral en personal administrativo de nivel técnico-gerencial en salud. *UDA AKADEM*, 8: 268–293. <https://doi.org/10.33324/udaakadem.vi8.444>
- Cajamarca-Chicaiza, K. M., Aimara Guaita, L. V., Sánchez Ocaña, M. E., Acosta Yansapanta, E. A., & Llanos Gaibor, J. L. (2023). Estrés y manifestaciones psicosomáticas en el personal de salud: Stress and psychosomatic manifestations in health care personnel. *LATAM Revista Latinoamericana De Ciencias Sociales Y Humanidades*, 4(1), 2569–2582. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i1.438>
- Campanella, S., Altaleb, A., Belli, A., Pierleoni, P., & Palma, L. (2023). A Method for Stress Detection Using Empatica E4 Bracelet and Machine-Learning Techniques. *Sensors*, 23(7): 3565. <https://doi.org/10.3390/s23073565>
- Deng, Y., Li, Z., & Song, Z. (2023). Attention Scheme Inspired Softmax Regression. Cornell University <http://arxiv.org/abs/2304.10411>
- Gamero, M. (2022). SALUD MENTAL Y BIENESTAR PSICOLÓGICO EN TRABAJADORES MINEROS. UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA. *PSICOLOGÍA UNEMI*, 6(11): 192-207. <https://doi.org/10.29076/issn.2602-8379vol6iss11.2022pp192-207p>
- García Chávez, H., & Cañedo Figueroa, C. (2021). Diseño de algoritmo compuesto por Machine Learning y un modelo probabilístico para la detección de diabetes. Vol. 8 Núm. 1: Memorias del XLIV Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica. <https://memoriascnib.mx/index.php/memorias/article/view/828>
- Hamil, H., Zidelmal, Z., Azzaz, M. S., Sakhi, S., Kaibou, R., Djilali, S., & Ould Abdeslam, D. (2022). Design of a secured telehealth system based on multiple biosignals diagnosis and classification for IoT application. *Expert Systems (Special Issue)*, 39(4): e12765. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/exsy.12765>

- Hinderer, K. A., VonRueden, K. T., Friedmann, E., McQuillan, K. A., Gilmore, R., Kramer, B., & Murray, M. (2014). Burnout, compassion fatigue, compassion satisfaction, and secondary traumatic stress in trauma nurses. *Journal of Trauma Nursing*, 21(4): 160–169. <https://doi.org/10.1097/JTN.0000000000000055>
- Kumari, K., & Das, S. (2023). Stress Detection System using Natural Language Processing and Machine Learning Techniques. *CEUR Workshop Proceedings*, 3416, 45–55. https://ceur-ws.org/Vol-3416/paper_6.pdf
- Li, R., & Liu, Z. (2020). Stress detection using deep neural networks. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 20(11): 285. <https://doi.org/10.1186/s12911-020-01299-4>
- Magaña-Salazar, M. Y., Méndez de Robles, S. J., & Martínez-Díaz, S. (2023). Estrés laboral y salud mental del personal de primera línea en la atención de la COVID-19. *Alerta, Revista Científica Del Instituto Nacional de Salud*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:256490428>
- Meadors, P., Lamson, A., Swanson, M., White, M., & Sira, N. (2010). Secondary traumatization in pediatric healthcare providers: compassion fatigue, burnout, and secondary traumatic stress. *OMEGA - Journal of Death and Dying*, 60(2): 103–128. <https://doi.org/10.2190/om.60.2.a>
- Nath Mohalder, R., Alam Hossain, M., & Hossain, N. (2024). Classifying the Supervised Machine Learning and Comparing the Performances of the Algorithms. *International Journal of Advanced Research*, 12(01), 422–438. <https://doi.org/10.21474/ijar01/18138>
- Navarro Cantos, C. (2018). Detección de los niveles de estrés y ansiedad en pilotos aplicando técnicas de Machine Learning. (Trabajo Fin de Grado Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/84880>
- Nijhawan, T., Attigeri, G., & Ananthakrishna, T. (2022). Stress detection using natural language processing and machine learning over social interactions. *Journal of Big Data*, 9: 33. <https://doi.org/10.1186/s40537-022-00575-6>
- Sandoval Rodríguez-Bermejo, D. (2019). Diseño E Implementación De Un Sistema Para La Detección Del Estrés Mediante Redes Neuronales Convolucionales a Partir De Imágenes Térmicas. Tesis de maestría Ingeniería de Telecomunicación. UPM. <https://oa.upm.es/57804/>
- Sarwar, M. A., & Saadeh, W. (2023). Monitoring Blood Volume Decomposition State for Traumatic Stress-Induced Hemorrhage via Wearable Sensing and Ensemble Learning. 2023 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), 1–5. <https://doi.org/10.1109/ISCAS46773.2023.10181387>
- Siam, A. I., Gamel, S. A., & Talaat, F. M. (2023). Automatic stress detection in car drivers based on non-invasive physiological signals using machine learning techniques. *Neural Computing and Applications*, 35(17): 12891–12904. <https://doi.org/10.1007/s00521-023-08428-w>
- Stamm, B. H. (2010). The concise ProQOL manual. Pocatello, ID: ProQOL. Org, 78. <https://www.illinoisworknet.com/WIOA/Resources/Documents/The-Concise-ProQOL-Manual.pdf>
- Suárez-Carreño, F. M., & Dionisio-Rosales, L. (2019). Algoritmo para la evaluación del modelo dinámico del estrés. *Espiraes Revista Multidisciplinaria De investigación*, 3(31), 37–49. <https://doi.org/10.31876/er.v3i31.691>

- Valdez Hernández, K., Cano Villalobos, J., Castro Reyes, A., Gutiérrez Jurado, A., Moreno Terrones, S., Cañedo Figueroa, C. E., Guzmán Pando, A., & Sámano Lira, G. (2022). Design and Comparison of Artificial Intelligent Algorithms for Breast Cancer Classification. In: Trujillo-Romero, C.J., *et al.* XLV Mexican Conference on Biomedical Engineering. CNIB 2022. IFMBE Proceedings, vol 86: 46-54. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-18256-3_5
- Zhu, L., Spachos, P., Ng, P. C., Yu, Y., Wang, Y., Plataniotis, K., & Hatzinakos, D. (2023). Stress Detection Through Wrist-Based Electrodermal Activity Monitoring and Machine Learning. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 27(5), 2155–2165. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2023.3239305>

2024 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Remoción de compuestos fenólicos contenidos en la vinaza mezcalera empleando polielectrolitos (PAM y PAC) y fotólisis UV/H₂O₂

Removal of phenolic compounds contained in mezcal vinasse using polyelectrolytes (PAM and PAC) and UV/H₂O₂ photolysis

Luis Armando De La Peña-Arellano^{1*}, Judith Alejandra Alférez-Ibarra¹, María Dolores Josefina Rodríguez-Rosales¹, Sergio Valle-Cervantes¹, Luis Alberto Ordaz-Díaz²

¹ TecNM/Instituto Tecnológico de Durango. Maestría en Sistemas Ambientales. Blvd. Felipe Pescador 1830 Ote. Col. Nueva Vizcaya. CP 34080 Durango, Dgo. México

² Universidad Politécnica de Durango. Carretera Durango-México km 9.5 CP 34300 Durango, Dgo. México

*Correspondencia: aparellano@itdurango.edu.mx (Luis Armando De La Peña-Arellano)

DOI:

Recibido: 23 de junio de 2024; **Aceptado:** 10 de septiembre de 2024

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Editor de Sección: Dr. José Rafael Minjares-Fuentes

Resumen

Las vinazas son residuos altamente contaminantes que se generan en los procesos de elaboración del mezcal. Estos efluentes se caracterizan por tener una alta carga orgánica, un color marrón, pH ácido y un alto contenido de compuestos recalcitrantes, como son los compuestos fenólicos. Para investigar la reducción de estos compuestos presentes en las vinazas mezcaleras se implementó un tren de tratamiento donde se realizó, primeramente, la caracterización del efluente, seguido de un pretratamiento fisicoquímico (coagulación/floculación) y posteriormente se aplicó un proceso de oxidación avanzada (fotólisis UV/H₂O₂). Los resultados de la caracterización de la vinaza mezcalera mostraron altos valores de la demanda química de oxígeno (DQO) de 45,730 mg O₂/L, pH de 3.4 y contenido de fenoles totales de 3,000 mg AG/L. Para el pretratamiento se utilizó el policloruro de aluminio (PAC) como coagulante y poliacrilamida (PAM) como floculante, se lograron remociones de color del 67 %, turbidez del 95 %, fenoles totales del 40 % y DQO de 56 %, con las condiciones de pH 5 y dosificaciones de PAC de 10 mg/L y PAM de 3 mg/L. Para las pruebas de fotólisis UV/H₂O₂ se utilizó la vinaza cruda y coagulada, obteniendo remociones de fenol cercanas al 60 % en un tiempo de retención de 35 min y una concentración de H₂O₂ de 0.99 g/L.

Palabras clave: vinaza, coagulación/floculación, polielectrolitos, fotólisis UV/H₂O₂

Abstract

Vinasses are highly polluting residues that are generated in the mezcal production process. These effluents are characterized by a high organic load, a brown color, acid pH and a high content of recalcitrant compounds, such as phenolic compounds. To investigate the reduction of these compounds, present in the mezcal vinasse, a treatment train was implemented where, first, the effluent was characterized, followed by a physicochemical pretreatment (coagulation/flocculation) and then an advanced oxidation process (UV/H₂O₂ photolysis) was applied. The results of the characterization of the mezcal vinasse showed high chemical oxygen demand (COD) values of 45,730 mg O₂/L, pH of 3.4 and total phenol content of 3,000 mg AG/L. For pretreatment, aluminum polychloride (PAC) was used as a coagulant and polyacrylamide (PAM) as a flocculant. Color removal of 67 %, turbidity of 95 %, total phenols of 40 % and COD of 56 % were achieved at pH 5 and PAC dosages of 10 mg/L and PAM of 3 mg/L. For the UV/H₂O₂ photolysis tests, the raw and coagulated stillage was used, obtaining phenol removals close to 60 % in a retention time of 35 min and a H₂O₂ concentration of 0.99 g/L.

Keywords: vinasse, coagulation/flocculation, polyelectrolytes, UV/H₂O₂ photolysis

1. Introducción

La producción de bebidas alcohólicas en México se remonta a miles de años, siendo las más importantes y representativas el bacanora, el sotol, el tequila y el mezcal, incluso son reconocidas como bebidas nacionales de gran tradición (Chávez-Parga *et al.*, 2016). La producción del tequila en México ha generado una industria económicamente muy atractiva, y que ha posesionado al tequila como una bebida de alto prestigio en el mundo. Asociado a esto, en los últimos 10 años la producción de mezcal ha buscado acceder a los mercados nacionales e internacionales para su comercialización. Al año se generan cerca de 8 millones de litros de mezcal (CRM, 2023), los cuales van en aumento debido a su gran popularidad nacional e internacional. Sin embargo, la generación de los subproductos que se producen en el proceso de fermentación y destilación del agave también aumenta de manera constante, ya que se estima que por cada litro de mezcal se producen cerca de 10 a 12 L de vinaza (Rodríguez-Cortés, 2016), lo que significa que anualmente se viertan al medio ambiente, entre 45 y 54 millones de litros de vinaza. Cerca del 80 % de las vinazas no reciben el tratamiento adecuado para su disposición y son descargadas a los cuerpos de agua y suelo, provocando efectos nocivos en la flora y fauna acuática.

Estos efluentes se caracterizan por ser altamente contaminantes y poseer un color marrón, debido al contenido de compuestos recalcitrantes, como son los polifenoles y las melanoidinas, así como valores de pH ácidos (Robles-González *et al.*, 2018). Además, contienen una alta concentración de sales, compuestos aromáticos, alcoholes, ácidos orgánicos (acético, isobutírico, butírico, valérico, cáprico, enántico, caprílico, láurico, palmítico y otros), furanos, alcanos, aldehídos, ésteres, cetonas, y píranos (Rodríguez-Félix *et al.*, 2018). Estas características están muy relacionadas con los procesos de producción y la especie de agave que se utiliza para elaborar el mezcal, ya que cada etapa que forma parte de este proceso tiene el potencial de afectar la calidad sensorial y química del producto final, así como sus rendimientos, y como consecuencia también los subproductos generados (vinazas) resultan muy variados en su composición, lo que los hace muy difíciles de tratar por métodos biológicos aeróbicos, (Díaz-Barajas *et al.*, 2024).

Los tratamientos de las vinazas han sido objeto de estudio en los últimos años, ya que los contaminantes recalcitrantes que se encuentran en mayor presencia no pueden ser degradados mediante la utilización de métodos convencionales de tratamiento, es decir, los tratamientos físicos, químicos y biológicos por sí solos no pueden eliminar en su totalidad a estos compuestos. Es necesario aplicar una serie de tratamientos combinados como los procesos fisicoquímicos y de oxidación avanzada para poder mineralizar estos compuestos (Díaz-Barajas *et al.*, 2024).

Se han desarrollado muchos trabajos de investigación con las vinazas provenientes de la elaboración del tequila, ya que tiene mucha similitud con las vinazas mezcaleras, al utilizar las mismas etapas de producción: selección y corte de la materia prima, la cocción del agave, la molienda del mosto, la fermentación del jugo de fructosa, la destilación, la rectificación y la maduración del destilado (Pérez-Hernández *et al.*, 2016). Estos tratamientos se pueden aplicar a las vinazas mezcaleras.

Se han llevado a cabo tratamientos de vinazas provenientes del tequila mediante el proceso de coagulación/floculación, utilizando como floculante poliacrilamida (PAM) catiónica (Iñiguez y Hernández, 2010), para ello utilizaron una vinaza que contenía una alta carga orgánica, con valores de la demanda química de oxígeno (DQO) de 55,000 mg/L y de 38,000 mg/L de sólidos suspendidos totales (SST), así como un valor de pH de 3.5. Se demostró con esta investigación que la adición de PAM logró remover gran parte de la materia orgánica y los SST, pero en este trabajo no se cuantificaron los compuestos recalcitrantes contenidos en las muestras analizadas.

Se investigó la aplicación del proceso de oxidación avanzada (POA), empleando el uso de luz UV y H_2O_2 como agente oxidante y un sólido contenedor de hierro. La vinaza fue caracterizada mediante lo establecido en distintas normas y el fenol con la técnica de Folin-Ciocalteu. Se encontraron las condiciones óptimas de operación, las cuales resultaron con un tiempo de reacción de 120 min, un pH de 2.8 y una temperatura de 35 °C. Los resultados obtenidos con la implementación de este proceso fueron de 30 % de COT, 62 % de fenoles, 53 % de ligninas y 47 % de melanoidinas. Con los resultados obtenidos en este estudio, se llegó a la conclusión de que la aplicación de POA por sí sola no logra recuperar grandes cantidades de polifenoles; sin embargo, al utilizarlos en combinación con procesos fisicoquímicos, se lograron tasas de recuperación más altas (Gómez-Martínez, 2017).

Estudios realizados por Rodríguez-Arreola (2019) demostraron que con la combinación de los procesos de coagulación/floculación seguida de una fotocátalisis heterogénea se logró eliminar el 99 % de sólidos suspendidos totales (SST), 86 % de color, 70 % de DQO y 90 % de fenol contenidos en las vinazas mezcaleras. Para la aplicación de estos procesos se utilizó sulfato de aluminio y quitosano como agente coagulante y floculante, respectivamente, así como nanopartículas de óxido de titanio (TiO_2) en el proceso de fotocátalisis heterogénea.

La aplicación de los POA es muy prometedora para el tratamiento de estos efluentes. Este tipo de tratamientos se caracterizan por llevar a cabo la oxidación de los contaminantes a través de radicales hidroxilos, hasta convertirlos en CO_2 y H_2O o en compuestos menos peligrosos. El proceso de fotólisis UV/ H_2O_2 es uno de los más utilizados para la remoción de contaminantes recalcitrantes, ya que el peróxido de hidrógeno es un agente altamente oxidante, tiene la capacidad de producir radicales hidroxilos ya sea en presencia o en ausencia de radiación y es considerado un agente oxidante sustentable con el ambiente, ya que sus subproductos de oxidación son el oxígeno y agua. Estos procesos por sí solos no pueden modificar en su totalidad las características de la vinaza, por esta razón es necesaria la utilización de un proceso fisicoquímico primario como la

coagulación/floculación, la cual permitirá obtener grados de remoción más altos al trabajarse en conjunto con la oxidación avanzada.

Con base a lo anterior, el objetivo de esta investigación fue implementar una línea de tratamiento con los procesos de coagulación/floculación y fotólisis UV/H₂O₂ para determinar la remoción de compuestos fenólicos presentes en la vinaza mezcalera, iniciando con la caracterización de los compuestos fenólicos; color, turbidez y DQO contenidos en la vinaza, para evaluar la eficiencia de los polielectrolitos, policloruro de aluminio (PAC) y poliacrilamida (PAM), como agentes coagulantes/floculantes y el proceso de oxidación avanzada UV/H₂O₂.

2. Materiales y métodos

2.1 Vinaza

La vinaza para este estudio se obtuvo de la vinata denominada “Cuero viejo” que se localiza en el municipio de Nombre de Dios, Durango. La muestra de vinaza obtenida se almacenó en bidones plásticos de 20 L, los cuales se mantienen en refrigeración a 4 °C, esto con el objetivo de evitar el crecimiento de distintos microorganismos provenientes de las levaduras, los cuales crecen a temperatura ambiente. Al iniciar los tratamientos, la vinaza se condicionó hasta alcanzar una temperatura de 25 °C, para garantizar un manejo adecuado de los experimentos.

2.2 Caracterización fisicoquímica

La caracterización fisicoquímica de la muestra se llevó a cabo de manera periódica, esto mediante los métodos establecidos para el análisis de aguas y aguas residuales, y algunas normas mexicanas (NMX), las cuales se presentan en la **Tabla 1**.

Los sólidos totales se determinaron mediante el calentamiento y secado de muestras, calculándolos en mg/L al comparar el peso inicial con el final. Los valores de pH fueron determinados con un potenciómetro Hanna en escala de unidades estándar de 0 a 14. El color y la turbidez fueron determinados mediante un espectrofotómetro UV/Vis marca HACH, modelo DR 4000 (Loveland, CO, EUA) y la alcalinidad mediante el método de titulación con ácido sulfúrico. El valor de potencial zeta representa el carácter iónico de las vinazas, y se determinó empleando el analizador Zeta Meter 3.0+, Zeta-Meter Inc. (Staunton, VA, EUA) que consta de una celda de análisis donde se depositan las muestras y un microscopio con cámara de video para observar la dirección a la cual se desplazan (ánodo o cátodo) los coloides al momento de aplicar una corriente eléctrica. Se adaptaron también algunos métodos usando la bibliografía consultada respecto al tema de coagulación/floculación y oxidación avanzada.

Tabla 1. Métodos y técnicas de análisis para las muestras de vinaza mezcalera.**Table 1.** Methods and analysis techniques for mezcal vinasse samples.

Parámetro	Unidades	Equipo/Método	Norma/técnica
pH	UpH	Potenciómetro ST10	Potenciometría
Color	Pt-Co	Espectrofotómetro UV-Vis	Espectrometría
DQO	mg O ₂ /L	Reactor DQO, Hanna Mod. HI839800	NMX-AA-030-SCFI-2002
Turbidez	NTU	Espectrofotómetro UV-Vis	Espectrometría
Sólidos totales	mg/L	Estufa-mufla	NMX-AA-034-SCFI-2015
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	Potenciómetro	NMX-AA-036-SCFI-2021
Fenoles totales	mg AG/L	Espectrofotómetro UV-Vis	Folin-Ciocalteau
Potencial zeta	mV	Zeta meter 3.0+	Microelectroforésis

Los parámetros descritos en la **Tabla 1.** fueron monitoreados en cada uno de los experimentos realizados para determinar los porcentajes de remoción logrados, de este modo para la remoción de fenoles totales, color, turbidez, etc., se utilizó la Ec. (1):

$$\%Remoción = \frac{(Ci-Cf)}{Ci} * 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde **Ci** es la concentración inicial de cada parámetro analizado expresada en mg/L y **Cf** es la concentración final obtenida después de haber ejecutado cada uno de los experimentos en las mismas condiciones establecidas.

2.3 Equipos y reactivos utilizados

Los equipos y reactivos utilizados para la realización de cada una de las técnicas y métodos establecidos para realizar la caracterización de la vinaza y su tratamiento durante la experimentación se muestran en la **Tabla 1.**

Para la realización de las pruebas de coagulación/floculación se utilizó un equipo de agitación múltiple de cuatro paletas denominado prueba de jarras marca PHIPPS & BIRD, modelo PB-700 TM (Richmond, VA, EUA), para la determinación de turbidez, color y fenoles totales se empleó un

espectrofotómetro UV/Vis marca HACH, modelo DR 4000 (Loveland, CO, EUA) y para evaluar el carácter iónico (potencial zeta) de las muestras se dispuso de un analizador denominado Zeta Meter 3.0+, Zeta-Meter Inc. (Staunton, VA, EUA), equipado con cámara de video y microscopio de 20X. Para medir los valores de pH se usó un potenciómetro PH/EC/TDS marca Hanna, modelo HI98129, (CA, EUA) y un reactor DQO, Hanna modelo HI839800, (CA, EUA) se empleó para determinar la DQO.

Los reactivos utilizados fueron: Coagulante catiónico: policloruro de aluminio (PAC) $Al_2Cl(OH)_5$, peso molecular de 174.45 g/mol, floculante no aniónico: poliacrilamida (PAM) $(C_3H_5NO)_n$ peso molecular de 71.07 g/mol, ácido gálico, carbonato de sodio anhidro y reactivo de Folin-Ciocalteu 1N. Todos los reactivos utilizados fueron marca SIGMA ALDRICH, excepto el hidróxido de sodio 1M que fueron marca SUPELCO.

2.4 Cuantificación de fenoles totales

Para determinar la cantidad de fenoles totales presentes en las muestras de vinaza se empleó el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu (García-Becerra, 2019), usando el ácido gálico como material de referencia. Se preparó una disolución patrón de ácido gálico de 0.1 g/L, para lo cual se pesaron 25 mg de ácido gálico, se colocaron en un matraz aforado de 25 mL y se llevaron a volumen con agua destilada, enseguida se preparó una dilución 1:10 con agua destilada (siempre se utiliza una solución recién preparada). A partir de la disolución patrón de ácido gálico, en viales protegidos de la luz, se hicieron las diluciones necesarias con agua destilada para obtener concentraciones en un rango de 0 a 800 mg/L para la preparación de la curva de calibración. Esto se realizó tomando respectivamente alícuotas de 20, 40, 60, 80 y 100 μ L de la disolución patrón de ácido gálico de 0.1 g/L en viales ámbar de 3 mL, luego se adicionó a cada vial, 250 μ L de reactivo de Folin- Ciocalteu 1N, se agitó durante 5 min en el ultrasonido, posteriormente se adicionaron 1,250 μ L de la disolución de carbonato de sodio al 20 % a cada vial, se llevó a un volumen final de 2 mL con agua destilada y se dejó reposar por 2 h. También se preparó un blanco con todos los componentes excepto la disolución de ácido gálico. Finalmente, se leyó la absorbancia a 760 nm en el espectrómetro de UV/Vis.

2.5 Pruebas de coagulación/floculación

Las pruebas de coagulación-floculación se llevaron a cabo a temperatura ambiente entre 22 a 25 °C en un equipo para prueba de jarras marca PHIPPS & BIRD, modelo PB-700 TM (Richmond, VA., USA) provisto de 6 jarras de acrílico con capacidad de 1 L y control de agitación simultánea en las seis jarras. El procedimiento para la realización de estas pruebas fue el siguiente:

1. Para cada condición experimental el volumen de trabajo fue de 500 mL.
2. Primeramente, se ajusta el pH de la muestra con una solución de NaOH (1M) según el valor requerido de pH para los ensayos, los cuales se fijaron en un rango de 3 a 6.
3. Después se adiciona a cada jarra la dosis del coagulante (PAC) en concentraciones de 2 a 12 mg/L.
4. Luego se agrega a cada jarra la dosis de floculante (PAM) a diferentes concentraciones de 1.5 a 6 mg/L.

5. Finalmente, se someten las muestras a agitación rápida de 100 rpm por un tiempo de 5 min, luego se reduce la agitación a 40 rpm por 15 min y después se detiene la agitación durante un tiempo de 60 min para dejar sedimentar las muestras.
6. Tras finalizar el tiempo de sedimentación se toma una muestra representativa de cada jarra y se realizan los análisis correspondientes.
7. Los experimentos se realizaron por triplicado, teniendo como variable de respuesta el color, turbidez, DQO y fenoles totales, así como el pH al final en cada tratamiento.

2.6 Pruebas de fotólisis UV/H₂O₂

La radiación UV combinada con peróxido de hidrógeno (H₂O₂) es uno de los procesos de oxidación avanzada más apropiada para la remoción de compuestos orgánicos tóxicos. Este proceso combinado tiene la característica de acelerar la formación de radicales HO• los cuales son capaces de mineralizar los compuestos orgánicos presentes en el agua residual. En la **Fig. 1** se muestra el mecanismo de reacción de este proceso.

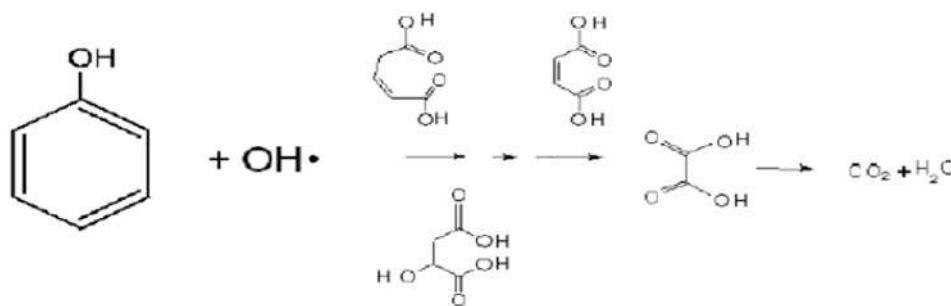


Figura 1. Mineralización del fenol a través de la oxidación por el radical hidroxilo. Fuente: Gómez-Martínez, 2017.

Figure 1. Phenol mineralization through oxidation by hydroxyl radical. Source: Gómez-Martínez, 2017.

Este proceso de oxidación avanzada consistió en la utilización de un reactor tubular de acero inoxidable equipado con lámparas de luz UV con las características que se muestran en la **Tabla 2**. y la utilización de una solución de H₂O₂ al 30% como agente productor de radicales HO•. El rompimiento o disociación de la molécula de H₂O₂ por fotones con energía genera un rendimiento el cual produce casi cuantitativamente dos HO• por cada molécula de H₂O₂. Los experimentos se llevaron a cabo en un proceso batch durante un tiempo de reacción de 60 min, con un volumen a tratar de 1 L de vinaza y variando la concentración del agente oxidante H₂O₂. Primeramente, se preparó una solución patrón de ácido gálico de 1,000 mg/L, para evaluar la efectividad de este sistema de fotólisis UV/H₂O₂. Para las pruebas de oxidación con la vinaza cruda se utilizaron

relaciones de H_2O_2 :Vinaza de 1:100, 2:100, 3:100, 4:100 y 5:100, con pH original de la vinaza, esto para determinar las mejores condiciones de remoción de los compuestos fenólicos y demás parámetros.

Tabla 2. Especificaciones de las lámparas UV marca AWT.

Table 2. UV lamp specifications. Model AWT.

Parámetro	Unidades	Equipo
Capacidad	L	1.3
Longitud de Onda	Nm	254
Voltaje	V	110
Potencia	W	25
Longitud/diámetro de la lámpara	cm	52.5/2.6

Referencia: AWT, 2018.

El funcionamiento de este reactor tubular tipo batch consta de un proceso de carga manual a través de la válvula de entrada, el fluido llena el espacio entre el tubo de vidrio y las paredes del reactor durante el tiempo de tratamiento simultáneamente se enciende la lámpara UV, una vez cumplido este tiempo se realiza la descarga a través de la válvula de salida. Para la determinación de la eficiencia del proceso se determinó tomando alícuotas de 10 mL cada 10 min, esto para observar los cambios significativos del efluente durante la fotólisis. En la **Fig. 2** se muestra la secuencia de los tratamientos realizados durante esta investigación.

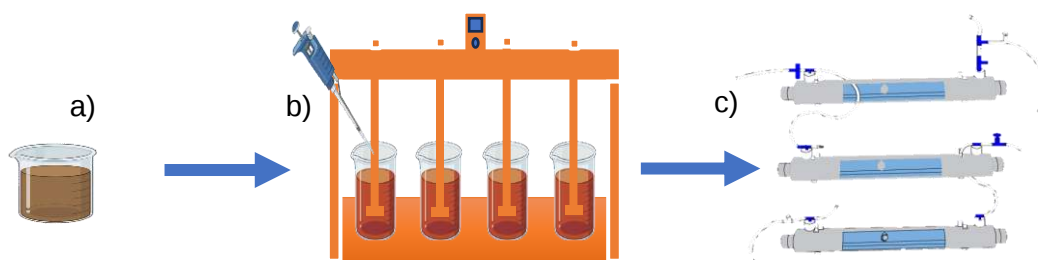


Figura 2. Sistema de tratamiento de coagulación/floculación y fotólisis UV/ H_2O_2 . a) Vinaza cruda, b) Prueba de Jarras y c) Lámparas UV.

Figure 2. UV/ H_2O_2 Coagulation/Flocculation and Photolysis Treatment System. a) Raw vinasse, b) Jar Test y c) UV lamp.

3. Resultados y discusión

I. Caracterización fisicoquímica de la vinaza mezcalera. Los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica de la vinaza mezcalera y los límites permisibles de la norma se presentan en la **Tabla**

3. Se observa una alta concentración de materia orgánica medida como DQO de 45,730 mg O₂/L, un valor de pH de 3.4, una concentración de sólidos totales de 20,700 mg/L y valores de color y turbidez muy por encima de los valores límites permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-2021. Especialmente se identifica una gran cantidad de compuestos fenólicos (3,000 mg AG/L) lo que demuestra la presencia de compuestos biopersistentes en este tipo de efluentes, así como altos valores de alcalinidad, ya que los valores establecidos por la Organización Mundial de la Salud para considerar un agua potable son de 20 a 200 mg CaCO₃/L. El valor de Potencial zeta de la vinaza cruda fue de -26.77 mV, lo que representa un valor muy negativo y favorable para el uso de coagulantes/floculantes catiónicos como el PAM y PAC para lograr la desestabilización de las partículas coloidales presentes en las muestras de vinazas y así obtener una mayor formación de flóculos compactos de rápida sedimentación. El valor negativo del potencial zeta representa una fuerte estabilidad de los coloides presentes en las muestras de vinaza analizada y se espera que se alcance su punto isoeléctrico (0 mV) con las dosificaciones de los coagulantes/floculantes catiónicos, para desestabilizar estos coloides y aglomerarlos en flóculos pesados para su posterior sedimentación (López-Maldonado *et al.*, 2014).

Tabla 3. Caracterización fisicoquímica de la vinaza mezcalera.

Table 3. Physicochemical characterization of mezcal vinasse.

Parámetro	Unidad	Valor*	LP Norma**
pH	UpH	3.4 ± 0.1	6 - 9
Color	Pt-Co	7,080 ± 35	7.0 ⁽¹⁾
Turbidez	NTU	1,120 ± 15	NA
Fenoles totales	mg AG/L	3,000 ± 275	NA
DQO	mg O ₂ /L	45,730 ± 1,000	210 ⁽²⁾
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	1,633.4 ± 20	NA
Sólidos totales	mg/L	20,700 ± 84	140 ⁽²⁾
Potencial zeta	mV	-26.77 ± 5	NA

NA, No Aplica

* Media ± desviación estándar, n=3.

**Límites Permisibles (LP) establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-2021

(1) Coeficiente de absorción máximo de valor de color verdadero, medido en m⁻¹ a 436 nm.

(2) Valores instantáneos (V.I) para la descarga por infiltración en suelos.

II. Pruebas de coagulación. Primeramente, se realizaron investigaciones en las pruebas de jarras para determinar el pH óptimo del proceso de coagulación, para ello se desarrolló un experimento con una dosificación a cada jarra de 10 mg/L de PAC, según lo establecido por Yen *et al.*, 2022, y variando el pH entre valores de 3 y 6. Los resultados obtenidos se presentan en la **Tabla 4**, donde se puede observar que a un valor de pH de 5, se obtuvieron los porcentajes más altos de remoción que fueron del 41 % de color, 66 % de turbidez, 30 % de DQO y destacando la eliminación del 21 % de los compuestos fenólicos presentes en las vinazas mezcaleras. Las pruebas de jarras se llevaron a cabo considerando primeramente una agitación rápida a 100 rpm durante 5 min, seguida de una agitación lenta de 30 rpm por 10 min y finalmente un tiempo de sedimentación durante 60 min.

Tabla 4. Porcentajes de remoción con variación de pH. Dosis de PAC (10 mg/L).**Table 4.** Removal percentages with pH variation. PAC dose (10 mg/L).

pH	% Remoción			
	Color	Turbidez	Fenoles totales	DQO
3	32.7	40.1	2.4	11.2
3.3	38.0	45.0	0.6	15.0
4	38.0	58.6	3.5	22.3
4.5	41.7	62.0	10.0	22.6
5	41.0	66.0	21.0	30.4
5.5	42.7	32.7	12.0	32.3
6	19.6	13.2	3.3	5.0

Una vez obtenido el pH óptimo de trabajo de 5, se varió la dosificación del PAC en un rango de 2 a 12 mg/L, encontrando que la dosificación óptima a la cual se obtuvieron los mayores porcentajes de remoción de todos los parámetros analizados fue de 10 mg/L, estos resultados se pueden observar en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Porcentajes de remoción con variación de dosificación de PAC a pH de 5.**Table 5.** Removal percentages with PAC dosage variation at pH 5.

Dosificación de PAC (mg/L)	% Remoción*			
	Color	Turbidez	Fenoles totales	DQO
2	21.5	21.8	3.7	20
4	28.9	39.7	4.8	26.2
6	32.15	45	15	21
8	35	52	17	25
10	42	61.2	20	32
12	35	45.6	13	25

Los resultados mostrados en la **Tabla 5**, indican que con la dosificación de 10 ppm se obtuvieron los mayores porcentajes de remoción en todos los parámetros analizados, sin embargo, para esta investigación se consideró solo el mayor porcentaje de remoción del fenol para elegir las condiciones óptimas de dosificación del PAM y PAC, así como para el tiempo de reacción y la dosificación del H₂O₂ en las pruebas de fotólisis UV/H₂O₂.

III.I Pruebas de floculación. Las pruebas de floculación se desarrollaron utilizando PAM como floculante, el cual fue agregado a cada jarra después del coagulante PAC y variando las dosificaciones en un rango de 1.5 a 6 mg/L. Los resultados presentados en la **Tabla 6**, se observa que con la dosificación de tan solo 3 mg/L de este floculante aumentan los porcentajes de remoción entre un 20 a 30 %.

Tabla 6. Porcentajes de remoción con variación de dosificación de PAM a pH de 5.**Table 6.** Removal percentages with PAM dosage variation at pH 5.

PAC (mg/L)	PAM (mg/L)	% Remoción			
		Color	Turbidez	Fenoles totales	DQO
10	1.5	51	73	21	48
	3	65.3	95	32	62
	4.5	59	86	25	63
	6	55	79	28	59

De igual manera en la **Fig. 2** se visualizan claramente los cambios obtenidos en el efluente después de cada tratamiento.

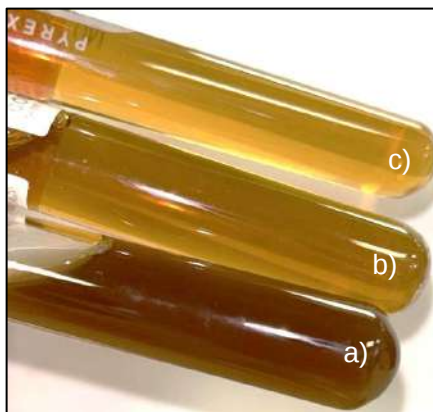


Figura 2. Coagulación-floculación de la vinaza; a) Vinaza sin tratamiento, b) Vinaza coagulada, c) Vinaza coagulada/floculada.

Figure 2. Coagulation-flocculation of vinasse; a) Untreated vinasse, b) Coagulated vinasse, c) Coagulated/flocculated vinasse.

III. Pruebas de fotólisis UV/H₂O₂. Para probar la efectividad del sistema en las pruebas de fotólisis se preparó una solución estándar de referencia de ácido gálico con una concentración de 1000 ppm. Se desarrolló el tratamiento de fotólisis en el reactor tubular durante 60 min y se tomaron alícuotas cada 10 min, aplicando una relación H₂O₂:Solución estándar de 1:100 y se removieron los compuestos fenólicos hasta en un 95 % a los 50 min de reacción, como se puede observar en la **Fig. 3**.

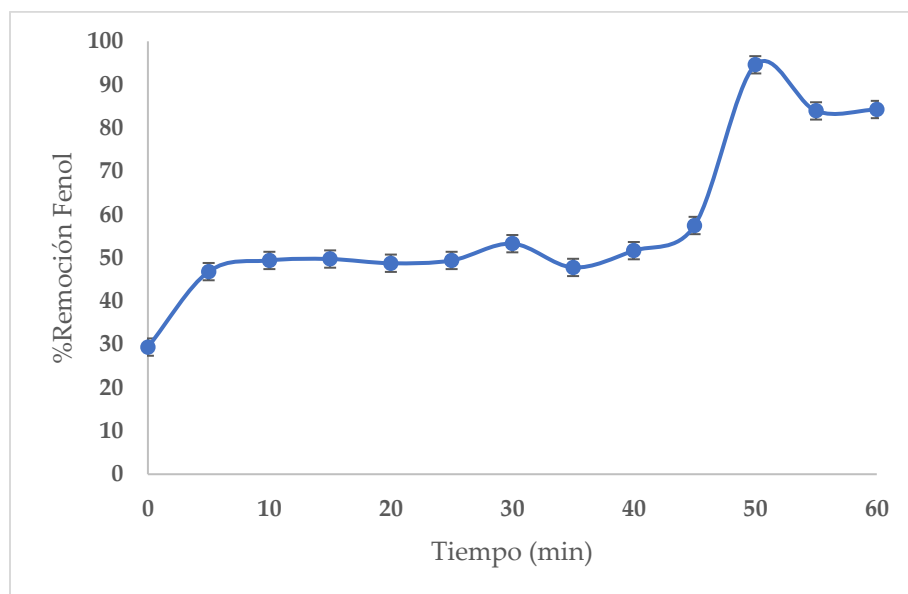


Figura 3. Proceso de fotólisis UV/H₂O₂ en solución de Ácido Gálico.

Figure 3. UV/H₂O₂ photolysis process in Gallic Acid solution.

Posteriormente, se evaluó la vinaza cruda (sin tratamiento previo) variando la relación H₂O₂:Vinaza de 1:100 (0.33 g/L), 2:100 (0.66 g/L), 3:100 (0.99 g/L), 4:100 (1.33 g/L) y 5:100 (1.66 g/L), obteniendo una remoción máxima de fenol del 56 % con una dosificación de 0.99 g/L de H₂O₂ en 35 min de tratamiento. En la **Tabla 7**, se muestran los resultados obtenidos de todas las dosificaciones de H₂O₂ en función del tiempo en el cual se obtuvo la máxima remoción del fenol.

Tabla 7. Variación de la dosificación de H₂O₂ en función del tiempo de reacción.

Table 7. Variation of H₂O₂ dosage as a function of reaction time.

Dosificación de H ₂ O ₂ (g/L)	Tiempo (min)	Remoción de fenol (%)
0.33	20	28.12
0.66	30	43.23
0.99	35	56.18
1.33	20	34.21
1.66	20	27.36

Posteriormente, se determinó la remoción de compuestos fenólicos presentes en la vinaza que quedaron después de realizar previamente la coagulación y floculación con PAC y PAM, respectivamente. Para ello se dosificaron 0.99 g/L de H₂O₂ al reactor tubular y se tomaron muestra cada 5 min durante un tiempo de reacción de 35 min. En la **Fig. 4** se muestra el comportamiento de los compuestos fenólicos en función del tiempo de reacción y en ella se puede observar que se logró remover un 25 % más de los compuestos fenólicos.

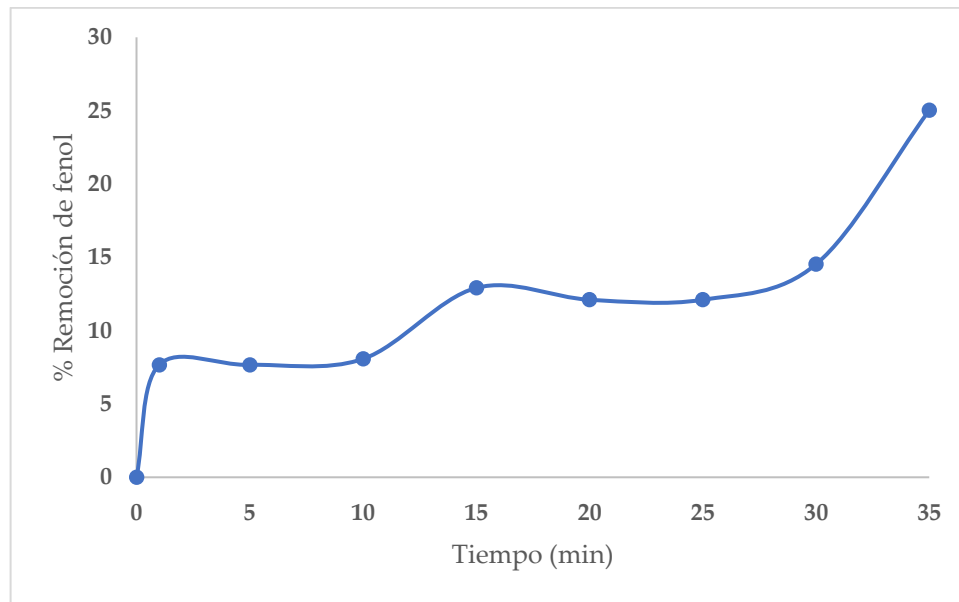


Figura 4. Proceso de fotólisis UV/H₂O₂ en vinaza cruda
Figure 4. UV/H₂O₂ photolysis process in raw vinasse

IV. Resultados de Coagulación/floculación y fotólisis UV/H₂O₂. Los valores acumulados de remoción de los compuestos fenólicos y demás parámetros en la aplicación a las vinazas mezcaleras de cada uno de los procesos de coagulación/floculación y la fotólisis UV/H₂O₂ se muestran en la **Tabla 8**. Los resultados indican que el proceso de coagulación/floculación es adecuado para realizar el pretratamiento de la vinaza al reducir hasta un 94 % la turbidez, más del 60 % del color y un 32 % de fenoles, lo cual nos garantiza que al aplicar la fotólisis UV/H₂O₂ se obtendrían mejores resultados. Sin embargo, la fotólisis UV/H₂O₂ aplicada a la vinaza coagulada-floculada logró remociones de fenoles cercanas al 65 %. Aunque esto muestra que el proceso tiene potencial para la remoción de fenoles, los resultados indican que es necesaria continuar con las investigaciones para alcanzar niveles de remoción más altos.

Tabla 8. Valores acumulados de remoción en la línea de tratamiento de las vinazas mezcaleras.
Table 8. Cumulative removal values in the mezcal vinasse treatment line.

Parámetro	Vinaza Cruda (mg/L) *	Vinaza C/F (mg/L) *	Remoción (%)	Fotólisis UV/H ₂ O ₂ (mg/L) *	Remoción Promedio** (%)
Color (Pt-Co)	7080±35	2430±25	66±0.3	4560±120	36±0.75
Turbidez (FAU)	1120±15	65±5	94±0.1	750±25	33±0.15
Fenoles totales (mg AG/L)	3000±275	2042±38	32±0.156	1050±10	65±0.24
DQO (mg/L)	45730±1000	17215±200	62±0.6	5350±140	88±0.17

* Media ± desviación estándar, n=3.

** Remoción acumulada.

4. Conclusiones

Con los resultados obtenidos en esta investigación se observó el alto poder contaminante que tienen las vinazas mezcaleras, en concordancia con otras investigaciones previas, al momento de realizar la caracterización, ya que los valores obtenidos superan por mucho los establecidos en la normatividad vigente. En especial, se detectó una alta concentración de fenoles, lo cual nos indicó que era necesario implementar técnicas eficientes de tratamiento para que pudieran ser desechadas o reutilizadas sin dañar al medio ambiente y disminuir sus impactos ambientales. Con el pretratamiento de coagulación-floculación se lograron remociones de turbidez, color, fenoles totales y DQO de 94, 66, 32 y 62 % respectivamente, verificando que con el uso de la poliacrilamida como floculante se aumentó entre un 20 y 30 %. Posteriormente, en la aplicación del proceso de fotólisis UV/H₂O₂ se comprobó la eficiencia de este proceso para llevar a cabo la mineralización de los compuestos fenólicos. Con un tiempo de 35 min se lograron eficiencias de remoción del 50 %, se espera que la aplicación en conjunto con la coagulación-floculación se logren resultados aún mejores. La eficiencia de la fotólisis UV/H₂O₂ podría incrementarse ajustando parámetros operativos como la dosis de H₂O₂, el tiempo de exposición y el pH del agua tratada. Una vez que sea tratada la vinaza por los procesos propuestos, se podría reutilizar en el mismo proceso de elaboración del mezcal o emplearse como agua de irrigación.

Contribuciones de los autores

Conceptualización, L.A.P.A. y J.A.A.I.; metodología, L.A.P.A. y J.A.A.I.; software, S.V.C.; validación, M.D.J.R.R.; análisis formal, S.V.C.; investigación, L.A.P.A.; recursos, L.A.P.A.; conservación de datos, J.A.A.I.; redacción-redacción del borrador original, J.A.A.I.; redacción-revisión y edición, L.A.P.A.; visualización, L.A.O.D., S.V.C y L.A.O.D; supervisión, L.A.P.A.; administración del proyecto, L.A.P.A.; obtención de financiación, L.A.P.A. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Agradecimientos

Se externa un agradecimiento al TecNM/Instituto Tecnológico de Durango por brindar las facilidades para el desarrollo de este proyecto de investigación que fue financiado por el Tecnológico Nacional de México (TecNM) a través de la Convocatoria 2023 de Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación.

Conflicto de interés

Los autores no tienen ningún conflicto de intereses que declarar en relación con el contenido de este artículo.

5. Referencias

- AWT (2018), https://ferisa.com.mx/wp-content/uploads/2024/01/Catalogo-America-Water-Treatment_compressed.pdf
- CRM, Consejo Regulador del Mezcal. (2023). El Mezcal. La cultura líquida de México. Número 2. Oaxaca de Juárez. http://www.crm.org.mx/periodico/PDF/Revista_El_Mezcal2.pdf.
- Cuero Viejo. (2024). <https://cueroviejomezcal.com/proceso/>
- Chávez-Parga M. D. C., Pérez-Hernández E. & González-Hernández J. C. (2016). Revisión del agave y mezcal. *Revista Colombiana de Biotecnología* 18(1), 148-164. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.49552>
- Díaz-Barajas, S., Moreno-Andrade, I., & Garzón-Zúñiga, M. A. (2024). Mezcal vinasses treatment: A review of assessed processes. *Tecnología Y Ciencias Del Agua* 15(2), 164–206. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-15-02-04>
- García-Becerra, M. (2019). Efecto de la disminución de compuestos fenólicos de vinazas tequileras sobre la producción de hidrógeno. (Tesis de maestría. *Centro de investigación y asistencia en tecnología y diseño del estado de Jalisco*). <http://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1023/597>
- Gómez-Martínez, J.J. (2017). Degradación de los principales compuestos recalcitrantes presentes en las vinazas tequileras mediante fotofenton heterogéneo. (Tesis de maestría. *Universidad de Guadalajara*). <https://hdl.handle.net/20.500.12104/90620>
- Iñiguez, G. & Hernández, R. (2010). Estudio para la rehabilitación de una planta de tratamiento de vinazas tequileras mediante un floculante polimérico de poliacrilamida (PAM). *Rev. Int. Contam. Ambient.* 26(4): 299-311. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992010000400005&lng=es&nrm=iso
- López-Maldonado, E. A., Oropeza-Guzmán, M. T., Jurado-Baizaval, J. L., & Ochoa-Terán, A. J. J. O. H. M. (2014). Coagulation–flocculation mechanisms in wastewater treatment plants through zeta potential measurements. *Journal of hazardous materials*, 279: 1-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.06.025>
- Pérez-Hernández, E., Chávez-Parga, M. C. & González-Hernández, J. C. (2016). Revisión del agave y el mezcal. *Revista Colombiana de Biotecnología* 18(1):148-164. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.49552>.
- Robles-González V., Poggi-Varaldo H.M., Galíndez-Mayer J. & Ruiz-Ordaz N. (2018) Combined treatment of mezcal vinasses by ozonation and activated sludge. *Water Environment Research* 90: 1985-1996. <https://doi.org/10.2175/106143017X15054988926433>
- Rodríguez-Arreola, A. (2019). Tratamiento de vinaza de tequila por medio de coagulación-floculación y fotocátalisis heterogénea empleando nanopartículas de TiO₂. (Tesis Doctoral. *Universidad de Guadalajara*). <https://hdl.handle.net/20.500.12104/98309>
- Rodríguez-Cortés, A. (2016). Fermentación anaerobia de la vinaza mezcalera para la obtención de productos de valor industrial. (Tesis Maestría. *BUAP*). <https://hdl.handle.net/20.500.12371/9309>

- Rodríguez-Félix E., Contreras-Ramos S., Davila-Vazquez G, Rodríguez-Campos J, & Marino-Marmolejo E.N. (2018) Identification and quantification of volatile compounds found in vinasses from two different processes of Tequila production. *Energies* 11: 490. <https://doi.org/10.3390/en11030490>
- Yao B., Zhao D., Guo J., Yan Ch., & Zheng C. (2022) Preparation and performance evaluation of hybrid polymer flocculants (PAC-PAM), and comparison experiments with other flocculants. *Environmental progress & Sustainable energy*. 41(4). <https://doi.org/10.1002/ep.13829>

2024 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Ataques a celulares a través del uso de aplicaciones móviles: Una revisión narrativa

Attacks on Cell Phones Through the Use of Mobile Applications: A Narrative Review

Aldair Olguin-Romero*¹, Julia Arana-Llanes¹

¹ Licenciatura en Ingeniería de Software | Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Escuela Superior de Tlahuelilpan. Ex Hacienda de San Servando, Av. Universidad s/n Centro, Tlahuelilpan, Hgo., México.

*Correspondencia: Correo electrónico: ol434947@uaeh.edu.mx (Aldair Olguin-Romero)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v18i3.1584>

Recibido: 25 de junio de 2024; **Aceptado:** 17 de octubre de 2024

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

Algunas aplicaciones móviles se pueden utilizar para ataques a teléfonos móviles. Estos programas maliciosos pueden robar la información personal, como contraseñas e información financiera, o instalar *malware* en su dispositivo. Los ataques se pueden llevar a cabo mediante la descarga de software fraudulento, mensajes de texto y correos electrónicos con enlaces maliciosos y comprometiendo el sistema operativo. Los usuarios deben tener cuidado al descargar aplicaciones de fuentes desconocidas, mantener sus dispositivos actualizados y utilizar medidas de seguridad como instalar aplicaciones desde las apps store oficiales o proveedores confiables, revisar y ajustar los permisos de las aplicaciones para proteger sus dispositivos de amenazas. Estudios sobre ciberseguridad indican que, si bien el número de intrusiones a teléfonos móviles han aumentado, inversamente dichos ataques se han sofisticado y su capacidad destructiva o de afectación se ha incrementado.

Palabras clave: aplicaciones, dispositivos, información, seguridad, amenazas

Abstract

Some mobile apps can be used for attacks on mobile phones. These malicious programs can steal personal information, such as passwords and financial information, or install malware on your device. Attacks can be carried out by downloading fraudulent software, text messages, and emails with malicious links, and compromising the operating system. Users should be careful when downloading apps from unknown sources, keep their devices up to date, and use security measures such as installing apps from official app stores or trusted providers, reviewing and adjusting app permissions to protect their devices from threats. Studies on cybersecurity indicate that, although the number of intrusions to mobile phones has decreased, conversely these attacks have become more sophisticated and their destructive or affecting capacity has increased.

Keywords: applications, devices, information, security, threats

1. Introducción

Los móviles son dispositivos electrónicos versátiles que van más allá de las llamadas, permitiendo fotografías, mensajería, juegos, lectura y diseño. Equipados con sistemas operativos evolucionados, son comparables en potencia a los ordenadores y portátiles (Morte, 2019).

Sin embargo, es extraordinario el hecho de que sólo ha pasado una década desde que se comenzó a prestar atención al uso y abuso de los teléfonos inteligentes, y sólo en tiempos recientes se ha empezado a prestar atención a los problemas que el uso excesivo de los teléfonos móviles puede causar en nuestra vida diaria, así como en el desempeño laboral, social y familiar, afectando las prácticas sociales básicas, con los otros individuos (Ceberio, 2019).

Las intrusiones de tipo *hackeo* a los móviles, se encuentran entre los mayores peligros de seguridad. Esto sucede cuando la información de suscripción a las cuentas de las aplicaciones contenidas se ve comprometida o robada, lo cual implica una gran pérdida de información debido a que estos dispositivos son el lugar desde donde se gestiona y almacena información de casi cualquier propósito, como acceder a cuentas bancarias, realizar pagos, enviar mensajes y más. Si un intruso logra acceder al dispositivo, puede suplantar la identidad del usuario, infectar a otros contactos y robar datos (Jiménez, 2024).

Para entender la gravedad de este problema, es crucial examinar tanto las características de las aplicaciones como los métodos utilizados por los atacantes para poner en riesgo la información de los usuarios. Por ello, este documento se ha basado en analizar investigaciones recientes, los cuales han revelado un aumento en la cantidad y complejidad de estos ataques, lo que subraya la importancia de abordar este tema con seriedad. En este contexto, es fundamental explorar las acciones de protección y prevención que los usuarios pueden adoptar para salvaguardarse de estos ataques.

Con la creciente facilidad de uso de los dispositivos móviles, tanto las organizaciones como los usuarios están cada vez más inclinados a comprar y utilizar estos dispositivos en lugar de computadoras de escritorio. Asimismo, el acceso inalámbrico a Internet se vuelve más común, lo que provoca que se vuelvan más vulnerables a ataques.

Hoy en día los criminales cibernéticos han demostrado contar con habilidades suficientes para atacar cámaras de vigilancia, monitores para bebés y dispositivos médicos implantados, entre otros, lo que los convierte en una seria amenaza a la seguridad en cualquier ámbito. Se proyecta que para 2025, más de 75 mil millones de dispositivos estarán conectadas a Internet (IoT) *Internet of things* entre las que se podrían incluir cámaras, televisores inteligentes, monitores de salud y muchos otros dispositivos similares según el informe sin fecha de International Business Machines Corporation (IBM, s.f.).

El *malware* (*Software malicioso*, *Adware: publicidad intrusiva*) móvil va en aumento, ya que los atacantes han pasado a dedicar sus esfuerzos a los smartphones y tabletas. Para lograr evitar o mitigar dichas amenazas es necesario reconocer los riesgos existentes y la forma de los ataques, así como siempre seguir los consejos y buenas prácticas de los especialistas (Kaspersky, s.f.).

Las vulnerabilidades más frecuentes en los dispositivos móviles con sistema Android, son ocasionadas por la descarga de aplicaciones libres desde fuentes no seguras, en lugar de usar la tienda oficial Play Store de Google, es necesario que los usuarios tengan conciencia de hasta qué grado vulneran su información sensible al instalar estas aplicaciones, ya que pueden tener acceso a navegadores, galería, mensajes, llamadas, ubicación, entre otras. Las aplicaciones cuando se instalan solicitan una serie de permisos y entre ellos se encuentran los que facilitan el ingreso a las funciones mencionadas, es donde se ven expuestos y vulnerables a cualquier tipo de ataque informático o de uso no autorizado (ASPRILLA, 2021).

2. Metodología

Se hizo una revisión metodológica de textos especializados en los diferentes métodos de ataques a dispositivos móviles, dichos textos han sido basados de análisis de datos obtenidos por sistemas de antivirus como Kaspersky, así como las medidas más efectivas para prevenir y mitigar estos ataques.

Es importante conocer e identificar los métodos de ataque y sus consecuencias, ya que los atacantes emplean una diversidad de técnicas para ingresar en nuestros dispositivos mediante aplicaciones móviles, incluidos el *phishing*, el *malware* y los puntos débiles del sistema. Por medio de estudios de casos reales, se han examinado las consecuencias devastadoras para los usuarios y las empresas.

3. Población de estudio

Según Kaspersky, en información citada por Kivva (2023), los dispositivos móviles que utilizan su antivirus están expuestos a la detección de tráfico malicioso durante la navegación en internet, cabe destacar que este estudio consideró a toda la población en edad de poseer y con capacidad de operar teléfonos celulares o dispositivos móviles, según (INEGI, 2023) en México para el año 2023, 97.2 millones de personas utilizaban dispositivos móviles, lo que implica rangos de edad de apartir de 6 años y superando los 64 años, sin distinción de género, raza o posición social, entre otros. Este tráfico puede originarse en diversas aplicaciones móviles, que abarcan desde redes sociales y mensajería hasta banca móvil y servicios de salud. La proliferación de aplicaciones en las plataformas móviles genera un entorno en el que cualquier dispositivo puede ser vulnerable al tráfico

malicioso, lo que resalta la importancia de implementar soluciones de seguridad efectivas para identificar y mitigar estos riesgos en tiempo real.

4. Revisión de literatura para la identificación de ciberataques

Como usuario, es de suma importancia conocer el crecimiento y existencia de los ataques cibernéticos a teléfonos móviles y con esto evitar seguir cayendo en este tipo de estafas e intrusiones, así como conocer el su impacto y posibles consecuencias (Medina, 2024), debido a que pueden provocar pérdidas de información o ataques de robo de identidad. Según (García García, 2020) dice que los problemas han incrementado debido a la evolución y el impacto del uso de los smartphones en la sociedad actual, ya que dicha evolución sucede basada en las necesidades de los usuarios y las posibilidades de procesos a realizar por dichos dispositivos.

Por otra parte, es conocido que los usuarios solo requieren cubrir la necesidad del uso de este tipo de dispositivos, sin tomar en cuenta los riesgos que esto puede conllevar tal y como no los explica (Córdoba Cadena, s.f.), donde analiza las vulnerabilidades a las que se exponen los usuarios durante el uso de dispositivos móviles, poniendo en riesgo información de los mismos y teniendo como principal ataque el malware como el riesgo más común detectado, también la existencia de conexiones inseguras y phishing. Dentro de (Vargas Santana, 2023) se destaca que, los dispositivos móviles se han convertido en gran necesidad para las personas en ámbitos laborales y personales. Así mismo se menciona que el sistema operativo Android se ha convertido en el más utilizado al nivel mundial, y por tal motivo, crece de manera rápida la generación y uso de millones de aplicaciones disponibles en la Play Store, lo que provoca que los usuarios realicen varias descargas sin conocer los riesgos que estas apps pueden traer.

Finalmente, (Vargas Santana, 2023) destaca que ninguna red es segura al igual que, (Kaspersky, s.f.) menciona, que las amenazas de seguridad móvil están en aumento, siendo las principales amenazas la filtración de datos, redes Wi-Fi no seguras, suplantación de redes, ataques de phishing, ataques de spyware, criptografía quebrada y mala gestión de sesiones. Lo anterior se ha debido a la gran cantidad de datos que almacenan y la vulnerabilidad que esto representa, destacando como un caso notable a Pegasus, el ataque a WhatsApp en 2019, y el malware Joker en Android.

Por otro lado, debido a que los teléfonos móviles se han vuelto cruciales y cada vez más utilizados en las actividades diarias, ha ocasionado que tengan que tomarse algunas medidas de seguridad para la protección de dichos dispositivos, ya que (Lab, 2024) reporta un aumento del 50% en amenazas móviles, alcanzando casi 33.8 millones de ataques, dejando al adware como la amenaza más común con un 40.8%.

Finalmente, es notable señalar que las amenazas a menudo se distribuyen a través de aplicaciones maliciosas en tiendas oficiales y no oficiales, por ello (Kaspersky, s.f.) recomienda descargar aplicaciones solo de tiendas oficiales, revisar permisos, usar soluciones de seguridad confiables y mantener las aplicaciones actualizadas.

5. Clasificación de los tipos de amenazas

A partir de la información recopilada mediante la literatura para este estudio, es posible identificar los ataques preferidos contra teléfonos móviles por los ciberdelincuentes, los cuales son descritos a continuación.

1. *Malware*:

- *Troyanos*: Aplicaciones que parecen legítimas pero que contienen software malintencionado que puede extraer información, enviar mensajes SMS premium, o tomar control del dispositivo.
- *Spyware*¹: Software malicioso diseñado para obtener datos de las actividades del usuario, como ubicaciones, mensajes y contraseñas.
- *Adware*: Aplicaciones que muestran anuncios de manera excesiva y obtienen información del usuario para mostrar publicidad dirigida.

2. *Phishing*²

- Aplicaciones falsas: Imitan aplicaciones legítimas con el propósito de confundir a los que usen la aplicación y obtener sus Credenciales de acceso, información bancaria u otros datos sensibles.
- Links maliciosos: Enlaces incluidos en aplicaciones que te redireccionan a sitios de internet fraudulentos diseñados para adquirir información personal.

3. *Ransomware*:

- Aplicaciones que bloquean el acceso al teléfono móvil o cifran la información del usuario, exigiendo un rescate para devolver el acceso.

4. *Exploits*³:

¹ *Spyware*: Es una forma de software perjudicial que se instala en un dispositivo sin el permiso del usuario para recoger información de manera clandestina, a menudo con la intención de espiar o robar datos.

² *Phishing*: El phishing es una estrategia engañosa empleada por delincuentes cibernéticos para inducir a los usuarios a revelar información personal confidencial, como contraseñas, números de tarjetas de crédito o datos bancarios.

³ *Exploit*: Se refiere a un programa informático o conjunto de instrucciones utilizadas por personas malintencionadas para aprovechar debilidades en sistemas o software, permitiéndoles llevar a cabo acciones no autorizadas o dañinas.

- Vulnerabilidades de día cero: Ataques que aprovechan vulnerabilidades desconocidas en el software para obtener acceso no autorizado o control del dispositivo.
 - Rooting/Jailbreaking: Técnicas utilizadas para obtener acceso administrativo completo al sistema operativo del dispositivo, permitiendo la instalación de aplicaciones maliciosas que pueden eludir las medidas de seguridad estándar.
5. Ataques de hombre en el medio (MitM):
- Aplicaciones que interceptan y manipulan las comunicaciones entre el móvil y los servidores, pudiendo robar información o modificar datos sin que la persona lo sepa.
6. Ataques de suplantación (*Spoofing*):
- Suplantación de identidad (*Spoofing* de aplicaciones): Aplicaciones que se hacen pasar por otras para engañar a los usuarios y robar información.
7. *Backdoors*⁴:
- Aplicaciones que instalan puertas traseras en el equipo, permitiendo a los intrusos entrar al dispositivo y sus datos sin el conocimiento del usuario.
8. Ataques vía librerías y *SDKs*⁵:
- Muchas aplicaciones utilizan librerías de terceros y *SDKs* que cuentan con fallos o código malicioso que compromete la seguridad del dispositivo.
9. Ataques por permisos excesivos:
- Aplicaciones que solicitan más permisos de los requeridos para poder llevar a cabo su ejecución, y luego utilizan estos permisos para obtener datos sensibles u operaciones del dispositivo.

⁴ *Backdoor*: es una entrada secreta en un sistema informático, permitiendo el acceso sin seguir los procedimientos normales de autenticación, lo cual puede ser utilizado tanto para fines legítimos como para actividades ilegales.

⁵ *SDKs*: Kits de Desarrollo de Software.

6. Datos e interpretación

El aumento en la incidencia de ciberataques es un fenómeno alarmante que se ha visto impulsado, en gran parte, por la amplia disponibilidad de aplicaciones en tiendas oficiales y no oficiales. Esta accesibilidad permite que los usuarios descarguen programas sin ser plenamente conscientes de los riesgos que pueden conllevar. A medida que los dispositivos móviles continúan evolucionando y sus capacidades se expanden, la cantidad de datos sensibles almacenados, se convierten en objetivos atractivos para los ciberdelincuentes. En este contexto de creciente vulnerabilidad. Por lo anterior es crucial implementar medidas de seguridad efectivas y educar a los usuarios sobre los peligros asociados con el uso de aplicaciones móviles. A continuación, se presentarán datos relevantes e interpretaciones que arrojarán luz sobre esta problemática y su impacto en la seguridad digital.

En 2021, los productos y tecnologías móviles de Kaspersky detectaron:

- 3.464.756 archivos de instalación con intenciones maliciosas;
- 97.661 nuevas variantes de software malicioso destinado a robar información bancaria de dispositivos móviles.;
- 17.372 nuevos troyanos extorsionadores (*ransomware*) para dispositivos móviles.

Por otra parte, en el año 2022, se registraron 22,255,956, dato que en 2023 pasó a registrar 33,790,599 casos, documentándose así un incremento del 52% en la incidencia (Lab, 2024).

En el primer trimestre de 2023 con información de Kaspersky Security:

- Se reprimieron 4 948 522 ataques con *software* ⁶ móvil malicioso, *adware* o no deseado.
- Por otra parte, el *adware* o publicidad fue el peligro más usual para los móviles, siendo un 34,8% de los riesgos detectados.
- También, fueron identificados 307,529 paquetes maliciosos, de los cuales
 - 57,601 eran troyanos bancarios móviles;
 - 1,767 eran troyanos extorsionadores móviles.

⁶ Software: Programa informático

A pesar de que los intentos de intrusión a dispositivos celulares mediante malware, adware o software no deseado persisten, Kaspersky reporta que logró evitar más de 4,9 millones de ataques (Kivva, 2023).

Al mismo tiempo, se identificó que los tipos de ataques pueden variar en su naturaleza y alcance, incluyendo malware que se propaga con apps falsas o comprometidas, como lo es el phishing que solicita a los usuarios acceder a un correo, enlace o sitio, con el fin de que revelen información personal. Por otra parte, también existen los ataques de ingeniería social que manipulan a los usuarios para llevar a cabo acciones no deseadas como revelación de datos personales como contraseñas, números de tarjetas de crédito entre otros.

Por otra parte, los atacantes a menudo buscan explotar vulnerabilidades en el sistema o en las propias aplicaciones para obtener acceso no autorizado al equipo o a los datos almacenados en él.

Los usuarios afectados por estos atacantes suelen enfrentar una serie de consecuencias negativas, que van desde el robo de datos personales y financieros hasta la usurpación de identidad.

Por esta razón detectar y mitigar estos ataques puede ser desafiante debido a la rápida evolución de las técnicas utilizadas por los atacantes y el elevado número de aplicaciones disponibles en las plataformas de aplicaciones.

Por otra parte, la conciencia y la educación del usuario son fundamentales para contribuir a evitar estos ataques. Los usuarios deben ser conscientes de los peligros vinculados al descargar aplicaciones de fuentes poco fiables y deben estar capacitados para reconocer indicadores de alerta de posibles ataques, como solicitudes de privilegios exagerados o comportamiento inusual.

Además, la innovación en seguridad debe ser constante debido a la evolución de los peligros, y así lograr que las mejoras en seguridad también avancen. Es crucial seguir innovando en métodos de identificación de amenazas, examinar el comportamiento y herramientas de seguridad móvil para estar al tanto de los últimos riesgos.

Es fundamental que los usuarios solo descarguen aplicaciones de tiendas autorizadas, verifiquen las revisiones y los permisos requeridos por las mismas y actualicen sus aplicaciones para protegerse contra estas amenazas.

Dentro de la Fig. 1, es posible observar los principales ataques en el lapso reportado por Kivva (2023), así como el tipo de virus o ataques principales.

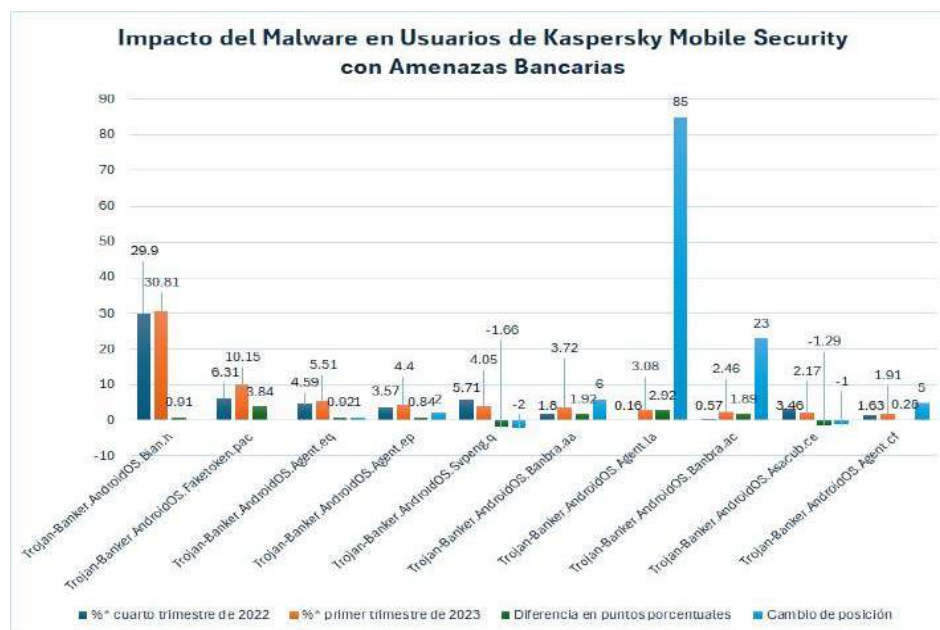


Figura 1. Impacto del malware en los usuarios de Kaspersky Mobile Security con amenazas bancarias. Tomado de Securelist (Kirva, 2023).

Figure 1. Impact of malware on Kaspersky Mobile Security users with banking threats. Taken from Securelist (Kirva, 2023).

7. Conclusiones y recomendaciones

Los ataques a dispositivos móviles mediante aplicaciones son una grave amenaza en el contexto de la ciberseguridad. La dependencia creciente de los dispositivos móviles en nuestra vida cotidiana, junto con la sofisticación de las recurrentes amenazas, han creado un entorno vulnerable para los ataques y extracción de datos de los usuarios de celulares.

La prevención contra estos ataques necesita una perspectiva integral que involucre a usuarios, desarrolladores, empresas y reguladores trabajando juntos. Los usuarios deben ser educados sobre las amenazas vinculadas con la utilización de aplicaciones móviles y practicar acciones de protección digital, como descargar aplicaciones solo de sitios oficiales y mantener actualizados sus dispositivos.

Además, la colaboración entre la industria tecnológica y los reguladores gubernamentales es crucial para abordar los fallos de seguridad y promover medidas de protección adecuadas en el ecosistema móvil.

En definitiva, defenderse de amenazas por aplicaciones móviles es un esfuerzo continuo que requiere vigilancia y cooperación en los distintos niveles. Únicamente teniendo una mezcla de concienciación, educación y acción proactiva podemos mitigar eficazmente esta creciente amenaza. Por lo anterior se ha definido un grupo de recomendaciones que se muestran en la Figura 1 lo cual ayudara a reducir el problema de ciber ataques a dispositivos móviles.

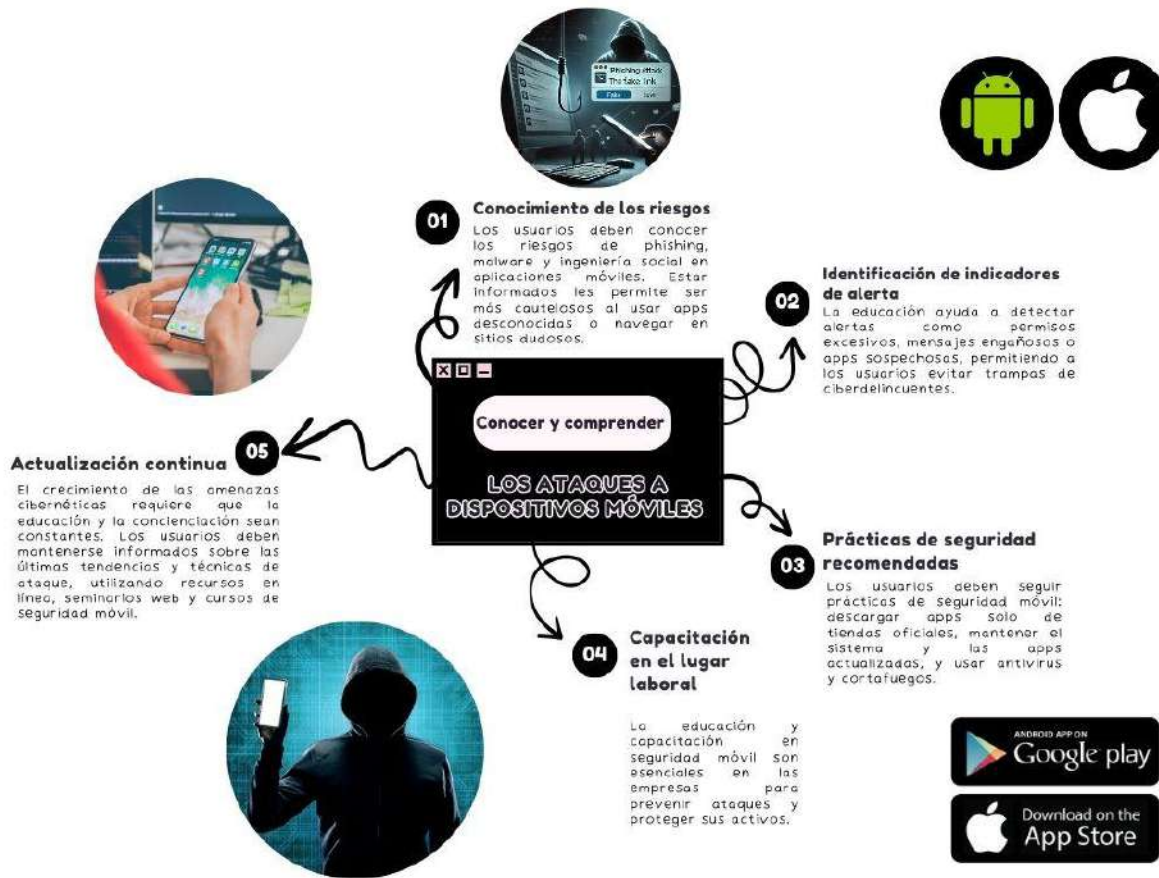


Figura 2. Prevención de ataques a dispositivos móviles.

Figure 2. Preventing mobile device attacks.

Implementando estas recomendaciones, se pueden fortalecer la defensa contra los ataques a dispositivos móviles y así asegurar datos personales y profesionales.

Conflicto de interés

El autor declara que no existe ningún conflicto de interés relacionado con la investigación y publicación de este artículo sobre los ataques a teléfonos móviles a través del uso de aplicaciones móviles.

Referencias

- Lab, A. K. (2024). Los ataques a dispositivos móviles aumentaron más del 50% en 2023. <https://goo.su/3TVUdVF>
- Ceberio, D. M. (2019). ADICCIÓN Y USO DEL TELÉFONO CELULAR. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-21612019000200001
- Córdoba Cadena, J. E. (s.f.). Vulnerabilidad En Dispositivos Móviles. <https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/bd16b591-9260-4579-bf63-14e77e51b7c5>
- ASPRILLA, O. E. (2021). ANÁLISIS DE RIESGO DE SEGURIDAD EN LOS DISPOSITIVOS MÓVILES. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD: <https://goo.su/08RGfy>
- Garcia Garcia, M. (01 de 2020). Seguridad en dispositivos móviles: Análisis de riesgos, de vulnerabilidades y auditorías de dispositivos. <http://hdl.handle.net/10609/107326>
- IBM. (s.f.). ¿Qué es la seguridad móvil? <https://www.ibm.com/mx-es/topics/mobile-security>
- INEGI. (2023). Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares. <https://goo.su/EUWE>
- Jiménez, J. (5 de 1 de 2024). RZ. <https://www.redeszone.net/tutoriales/seguridad/que-hacer-hackeado-movil/>
- Kaspersky. (s.f.). Amenazas a la seguridad móvil para Android. <https://www.kaspersky.es/resource-center/threats/mobile>
- Kivva, A. (2023). Evolución de las amenazas informáticas en el primer trimestre de 2023. Estadísticas de amenazas móviles. Kaspersky. <https://securelist.lat/it-threat-evolution-q1-2023-mobile-statistics/97916/>
- Medina, H. B. (2024). Análisis de vulnerabilidades en dispositivos móviles con sistema operativo Android. <https://caoba.sanmateo.edu.co/ojs/index.php/sistemas/article/view/192>
- Morte, D. G. (2019). Estudio de dispositivos móviles, vulnerabilidades y auditoría de seguridad de aplicaciones móviles. <https://goo.su/IWkd>
- Vargas Santana, L. L. (2023). Análisis de vulnerabilidades críticas del sistema operativo móvil Android mediante Pentesting. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/38132>

2024 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

El futuro es hoy: Industria 4.0 y su contribución al desarrollo productivo y social

The future is now: Industry 4.0 and its contribution to productive and social development

Julio Alejandro González-Sigala¹, Víctor Alonso Domínguez-Ríos^{2*}, José René Arroyo-Ávila², y María del Rosario de Fátima Alvídrez-Díaz²

¹ Instituto de Estudios Avanzados SYSCOM. Calle Ignacio Ramírez #1003, Col. Santa Rosa, C.P. 31000, Chihuahua, Chih.

² Universidad Autónoma de Chihuahua. Av. Escorza #900, Col. Centro, C.P. 31000, Chihuahua, Chih.

*Correspondencia: vdomingu@uach.mx (Víctor A. Domínguez Ríos)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v18i3.1615>

Recibido: 20 de agosto de 2024; Aceptado: 13 de diciembre de 2024

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

El desarrollo tecnológico que se ha presentado durante principios del siglo XXI ha revolucionado los sistemas industriales y empresariales con la adopción masiva de sistemas inteligentes y automatizados. La convergencia de nuevas tendencias tecnológicas, como el internet de las cosas, big data, robótica e inteligencia artificial ha creado un entorno interconectado, donde las tareas pueden llevarse a cabo de manera autónoma, aumentando la eficiencia y productividad, fenómeno denominado Industria 4.0. A pesar de sus atractivas y prometedoras ventajas, la implementación de la Industria 4.0 también ha dado lugar a implicaciones sustantivas en los ámbitos económico, social y cultural. Algunos temas como la sustitución de trabajadores por máquinas han generado preocupaciones sobre el desempleo y la desigualdad económica. Otro escenario similar surge al hacer cuestionamientos éticos sobre la privacidad de los datos y el uso responsable de la inteligencia artificial en decisiones críticas. Es por ello que, para aprovechar al máximo las ventajas de la Industria 4.0 y minimizar sus desafíos, es esencial realizar un análisis profundo de estas implicaciones y buscar un equilibrio en el que se tomen en cuenta criterios de aprendizaje, viabilidad técnica y conocimiento del medio en el que se pretende poner en práctica dicha tecnología.

Palabras clave: industria 4.0, inteligencia artificial, internet de las cosas, robótica, big data.

Abstract

The technological evolution of the early 21st century has revolutionized industrial and business systems with the mass adoption of intelligent and automated systems. The convergence of new technological trends such as the Internet of Things, big data, robotics and artificial intelligence has created an interconnected environment where tasks can be performed autonomously, increasing efficiency and productivity, a phenomenon known as Industry 4.0. Despite its attractive and promising benefits, the implementation of Industry 4.0 has also led to significant economic, social and cultural implications. Issues such as the replacement of workers by machines have raised concerns about unemployment and economic inequality. A similar scenario arises when ethical questions are raised about data protection and the responsible use of artificial intelligence in critical decisions. In order to maximize the benefits of Industry 4.0 and minimize its challenges, it is therefore essential to carry out a thorough analysis of these implications and to seek a balance that considers criteria such as learning, technical feasibility and knowledge of the environment in which the technology is to be implemented.

Keywords: Industry 4.0, artificial intelligence, IoT, robotics, big data.

1. Introducción

La economía y el sector productivo a nivel global pasan por una etapa de automatización que cada día crece de manera considerable. El surgimiento de nuevas tendencias como el internet de las cosas, computación en la nube, big data, inteligencia artificial, entre otros, han creado una brecha para que la industria de la manufactura pase a un plano en el que la tecnología crea soluciones cada vez más potentes y efectivas para atender tareas que originalmente eran complejas y repetitivas para ser ejecutadas por el ser humano.

Las nuevas tendencias tecnológicas no solo suponen un cambio en el panorama científico e industrial, sino que han forzado a la sociedad a adaptarse a los abruptos cambios que esto ha supuesto con el paso del tiempo. Se ha creado una dependencia sobre esta tecnología, constituyéndose como una pieza fundamental en el entorno competitivo actual; muchas organizaciones buscan dominar y comprender a fondo esta tecnología para usarla como una ventaja o valor agregado (Basco *et al.*, 2018).

Un claro ejemplo de lo anterior es planteado por Yandar Lobon y Moreno Ospina (2019), quienes describen cómo es que las tecnologías de la información han tenido una amplia contribución no solo en la industria manufacturera, sino también en los sistemas empresariales. Este efecto ha impulsado a directivos y colaboradores de diversos sectores a estudiar cuidadosamente la manera en que las nuevas tecnologías pueden ser utilizadas para mejorar sus procesos internos y dar una retroalimentación concreta y diversificada para intervenir en el proceso de toma de decisiones organizacionales. Es así que las nuevas propuestas tecnológicas han creado una revolución en la forma en que los individuos gestionan tareas de distinta complejidad y naturaleza.

En el campo de las ciencias y la tecnología, se emplea el término “revolución” para describir a todo aquello que crea un impacto y plantea ideas o métodos innovadores para satisfacer alguna necesidad. Desde una perspectiva más concreta, Schwab (2016) describe la revolución como un cambio abrupto y radical que se produce a lo largo de la historia, marcando un hito en la forma en

que la tecnología influye en las estructuras sociales y en los procesos que se llevan a cabo en la industria. Cabe destacar que la notoriedad de estos cambios puede tardar años en desplegarse, siguiendo un proceso gradual de evolución.

Por su parte, en un contexto productivo se considera como una revolución industrial a un proceso de cambio desencadenado por nuevas reglas en la repartición de poder y riqueza, hacia aquellos que proponen nuevas alternativas tecnológicas que generan un impacto notable en los procesos y métodos empleados en la industria. Esto no solo supone la creación de nuevos dispositivos, procesos o mecanismos, sino también incluye la innovación o adaptación de los ya existentes (Blanco *et al.*, 2019).

A lo largo de la historia se han presentado cuatro revoluciones industriales, las cuales han marcado notablemente el desarrollo y crecimiento de la industria contemporánea. En la Fig. 1 se puede visualizar el impacto tecnológico que ha supuesto cada revolución industrial desde el siglo XVIII hasta la actualidad.

Para cada revolución industrial se plantearon algunas barreras de entrada *ad hoc* a la época en que cada una se desarrolló, especialmente la resistencia al cambio que puede suponer innovar sobre procesos que dieron resultado durante décadas.

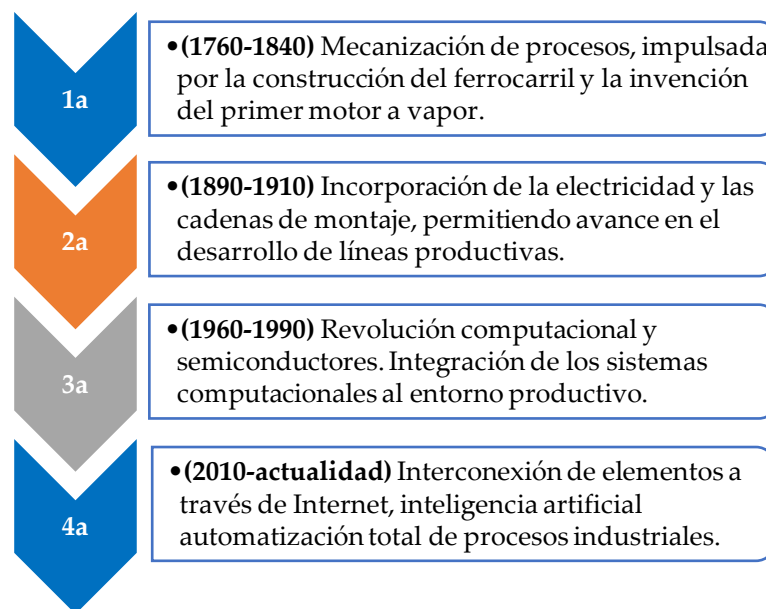


Figura 1. Línea evolutiva de las revoluciones industriales a través de la historia.

Figure 1. Evolutionary line of industrial revolution through history.

Referencia: (Schwab, 2016).

La primera revolución industrial refleja las primeras intenciones del hombre para aprovechar su ingenio en el diseño de nuevas máquinas/herramientas para facilitar su vida cotidiana. Dichas herramientas, a pesar de ser primitivas y simples, sirvieron como referente para las posteriores

revoluciones industriales, en donde se añadieron los primeros procesos semiautomáticos gracias a la integración de la electricidad y al desarrollo computacional, que se manifestaron durante la segunda y tercera revolución industrial, respectivamente.

Por su parte, la cuarta revolución industrial, también conocida como “Industria 4.0” recopila elementos de sus predecesoras, pero a su vez integra tecnologías y procesos que estuvieron en desarrollo y maduración durante décadas. Es conocida como la revolución en donde los elementos convergen y se interconectan entre sí, en un entorno automatizado e inteligente.

2. Metodología

Por lo anterior, el objetivo de este documento es realizar un estudio sobre la Industria 4.0, abordando las principales tendencias utilizadas para contribuir el desarrollo productivo y social mediante la aplicación de técnicas actuales y novedosas surgidas en la cuarta revolución industrial, para lo cual se emplea una metodología de revisión de literatura, recopilando y analizando estudios recientes sobre las características de diversos avances tecnológicos, desde su surgimiento hasta su implementación, permitiendo identificar tendencias clave, ventajas y desafíos en la adopción de la Industria 4.0 y observar la manera en la que pueden influir en los sistemas productivos y sociales.

3. Industria 4.0

El concepto de “Industria 4.0” se dio a conocer por primera vez en Alemania a principios de la década del 2010, cuando se expuso en la feria de Hannover de 2011 por una serie de especialistas, quienes, a través de diversos estudios realizados en el sector industrial de dicho país, abordaron la viabilidad de incorporar las nuevas tecnologías emergentes al ámbito productivo (Basco *et al.*, 2018).

La idea fundamental del concepto de Industria 4.0 es la digitalización de sistemas y procesos industriales, aunado a la interconexión de sistemas a través de herramientas de última generación, como: internet de las cosas, big data, inteligencia artificial, aprendizaje de máquina, robótica, entre otros. Industria 4.0 implica crear un entorno en el que la productividad sea maximizada, generando una independencia de la mano de obra humana, pero a su vez buscando una sinergia entre sistemas físicos y virtuales.

Pese a que la idea nace principalmente de un entorno enfocado a la industria, el concepto ha llegado a expandirse al punto de sentar las bases para la creación de casas y ciudades inteligentes que emplean el mismo tipo de tecnología (Joyanes Aguilar, 2017).

Reiterando en el contexto industrial, de acuerdo con Marr (2018), para que un sistema o fábrica pueda ser considerado como Industria 4.0 debe incluir cuatro características fundamentales:

- Interoperabilidad: haciendo referencia a máquinas, sensores, dispositivos y personas comunicándose entre ellos.
- Transparencia en la información: en donde los sistemas crean una referencia virtual del entorno físico, a través de la información que les es retroalimentada mediante sus sensores o periféricos.

- Asistencia técnica: refiriéndose a la manera en que los sistemas presentan la información de manera estructurada para ayudar a los humanos a tomar decisiones y resolver problemáticas, así como el relevo que pueden prestar en el desarrollo de tareas complejas o peligrosas para los mismos.
- Toma de decisiones descentralizada: en la que los sistemas toman decisiones por sí mismos, generando una autonomía.

La columna vertebral de un mecanismo de esta magnitud son los objetos conectados entre sí, convertidos en objetos inteligentes. Cada uno de los objetos anexos a esta red de interconexión debe aportar información al sistema principal para poder desencadenar alguna acción, ya sea humana o mecanizada. Para Joyanes Aguilar (2021) existen tres elementos fundamentales que marcan la pauta de un sistema 4.0:

- Controlador: se refiere al sistema electrónico o computacional que permite procesar la información acorde a la programación o instrucciones que recibe. Es fundamental que cuente con una integración a aplicaciones de Internet para permitir la interconexión entre plataformas.
- Sensor: es un dispositivo que permite convertir variables físicas del entorno en datos que sean procesables a nivel digital; generalmente captan información como: temperatura, velocidad, movimiento, proximidad, entre otros. A manera de analogía, si un sistema de control fuera el cuerpo humano, los sensores equivaldrían a los sentidos.
- Actuador: se refiere a cualquier dispositivo, ya sea electrónico, mecánico o incluso un híbrido, que permita generar un efecto físico sobre el entorno, por ejemplo: motores, luces o altavoces. Son el eslabón final en un sistema de control.

3.1 Internet de las cosas (IoT)

De esta manera, los sensores se encargan de comunicar el entorno físico con la Internet y brindan información digital al controlador, mismo que, con base en su programación interna, dará una instrucción a los actuadores para atender alguna necesidad en el entorno. La idea que se plantea sobre tener múltiples dispositivos conectados entre sí como sensores, controladores y actuadores, está estrictamente relacionada con el crecimiento de la Internet, sin embargo, existe un concepto que correlaciona estrechamente la conexión del entorno físico con el virtual a través de Internet, al cual se le denomina internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés).

Este concepto se introdujo por primera vez en el año 2009 por el profesor Kevin Ashton del Instituto Tecnológico de Massachusetts, quien, debido a las circunstancias de crecimiento tecnológico de la época, nombró de esta manera al fenómeno de interconexión de dispositivos a través de Internet. Después de ello, otros autores y especialistas en la materia han elaborado conceptos cada vez más complejos sobre el IoT, un ejemplo de ello son Cruz-Vega *et al.* (2015), quienes lo nombran como un paradigma tecnológico que define la conectividad a Internet de cualquier objeto sobre el que se permita medir parámetros físicos o actuar, así como las aplicaciones y tratamiento de datos inteligentes relacionados con los mismos.

Por su parte, la empresa de tecnologías de información y comunicación *Cisco Systems* define el concepto de IoT como la manera de reunir personas, procesos, datos y cosas para conseguir que las

conexiones a la red sean más efectivas para convertir la información en nuevas capacidades y experiencias para las empresas y personas (López Suba, 2019).

El internet de las cosas ha permitido una gran evolución, no solo en aspectos industriales, sino también en la vida cotidiana de las personas por medio del concepto *smart homes*, que propone viviendas totalmente automatizadas, en donde los individuos pueden conocer y manipular casi cualquier parámetro a través de Internet, por ejemplo, la temperatura de sus habitaciones, el nivel de iluminación de sus viviendas, el riego y estado de salud de sus plantas, entre otros. El monitoreo de aspectos de la salud humana también se ha facilitado gracias a la gran cantidad de sensores incorporados en accesorios como relojes, pulseras y teléfonos móviles. Con estos dispositivos es posible conocer sobre el estilo de vida de los individuos y sus tendencias metabólicas. Un equipo simple, como el reloj inteligente, o *smart watch*, puede dar lecturas en tiempo real del ritmo cardíaco, presión, cantidad de pasos recorridos durante el día, entre otras (Villa Crespo y Morales Alonso, 2023).

Más allá del plano individual, también se ha hecho notar esta aceptación cotidiana del IoT con el surgimiento de las primeras ciudades inteligentes. Joyanes Aguilar (2021) describe el siglo XXI como el siglo de las ciudades, puesto que la mitad de la población mundial vive en ellas y se prevé que esto aumente cada vez más. Se espera que las ciudades desarrollen una esencia hiperconectada y colaborativa, cambiando radicalmente la interacción entre sus habitantes.

Se pueden abordar diversas nociones del concepto de ciudad inteligente, la Unión Internacional de Telecomunicaciones las define como ciudades innovadoras que aprovechan las tecnologías de la información y comunicación (TIC's) para optimizar los servicios urbanos, mejorando la calidad de vida de sus habitantes desde una perspectiva económica, social y medioambiental.

3.2 Telecomunicaciones

No obstante, no solo el desarrollo de la Internet y sus conceptos derivados, como el IoT, han sido relevantes en el desarrollo de la Industria 4.0. Un factor fundamental en el impulso de los procesos digitalizados ha sido el destacable progreso en el ámbito de las telecomunicaciones, específicamente hablando de los distintos protocolos de conectividad inalámbrica a corto alcance, como el *WiFi* y *Bluetooth*, el constante crecimiento de anchos de banda y la expansión territorial que ha permitido que cada vez más puntos del planeta tengan interconexión (Gilchrist, 2016).

Lo anterior se puede visualizar en la Tabla 1, haciendo una retrospectiva de cómo las redes de telefonía móvil han evolucionado en las últimas cinco décadas, permitiendo el tráfico de volúmenes de información cada vez más grandes, así como un aumento exponencial en la velocidad de transmisión de los mismos.

Tabla 1. Evolución de las redes de telefonía celular.**Table 1.** Evolution of cellular telephone networks.

Generación	Año	Tipo de tráfico	Velocidad
1G	1980	Protocolo analógico. Solo voz.	2.4 Kbit/s
2G	1990	Protocolo digital. Voz y SMS.	64 Kbit/s
3G	2003	Multimedia. Voz y datos.	2 Mbit/s
4G	2009	Protocolo IP. Datos y video.	100 Mbit/s
5G	2020	Banda ancha móvil. IoT.	1 Gbit/s

Referencia: (Garrell y Guilera, 2019).

En la actualidad, las redes 4G y 5G se encuentran en mayor crecimiento, sin embargo, sus predecesoras no han desaparecido por completo, pues aún son usadas en aplicaciones donde no se requiere un gran volumen de datos o velocidad de transmisión de información.

La red 4G ha sido un gran propulsor para la interconexión de equipos, pues se basa completamente en el protocolo IP (*Internet Protocol*) permitiendo así la convergencia entre redes cableadas e inalámbricas. Por su parte, la red 5G ha hecho una importante aportación al crecimiento de la Industria 4.0, debido a que está estrechamente relacionada con el concepto de IoT, la cual permitió que para el año 2020 hubieran más de 50,000 millones de dispositivos inteligentes conectados a Internet (Fig. 2) (Garrell y Guilera, 2019). Por otro lado, Yañez (2022) prevé que la red 5G será el precursor de nuevos paradigmas tecnológicos, como una mejor educación a distancia, monitoreo médico e incluso ciudades inteligentes e interactivas para sus habitantes.

3.3 Big data

Al concretarse la interconexión y comunicación de dispositivos (a través de cualquier medio, ya sea físico o inalámbrico) se hace posible una de las condiciones más importantes en materia de Industria 4.0, pues esto provoca la aparición de una gran variedad de datos y en grandes volúmenes. Esta información plasmada en forma de datos es de suma importancia, pues es el elemento de entrada que se procesa para generar alguna acción o tomar una decisión.

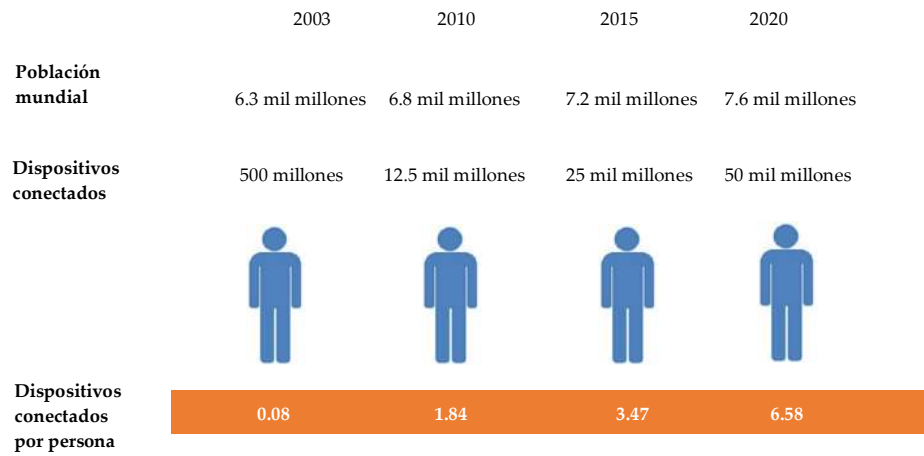


Figura 2. Proyección de equipos interconectados a la red por habitante.

Figure 2. Projection of equipment interconnected to the network per inhabitant.

Referencia: (López Suba, 2019).

De la información presentada en la Fig. 2, analizando la cantidad de dispositivos conectados por persona en cada uno de los años señalados, es posible ajustar un modelo de regresión logarítmico el cual tiene la forma:

$$y = a + b \ln(x) \quad \text{Ec. (1)}$$

donde:

- y es la cantidad de dispositivos conectados por persona,
- x es el año,
- a es la intersección (o el valor de y cuando $x=1$),
- b es la pendiente (la tasa de cambio en y en función del cambio en x).

Lo anterior con la intención de predecir la cantidad de dispositivos conectados en el 2025 y 2030, dando como resultado la información presentada en la Fig. 3, la cual sugiere una desaceleración para los años siguientes.

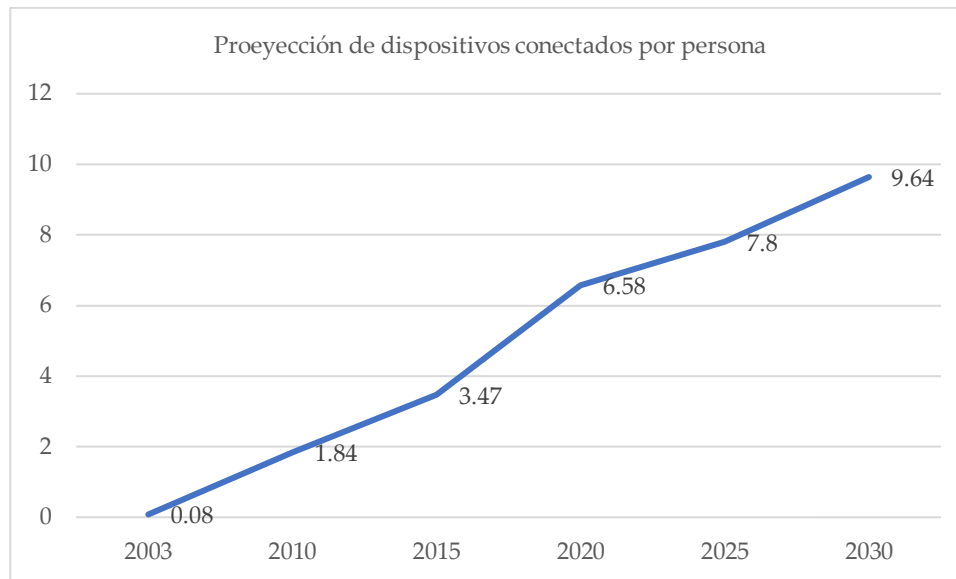


Figura 3. Proyección de dispositivos conectados por persona con un modelo de regresión logarítmica.

Figura 3. Projection of connected devices per person with a logarithmic regression model
Referencia: (Propia del autor).

Desde la perspectiva de Fernandez-Lasquetty Quintana (2020) los datos son como “el petróleo del siglo XXI”, por ello, una vez que son adquiridos y almacenados, es de suma importancia contar con sistemas que sean capaces de procesarlos, lo cual supone un gran reto para las herramientas de software convencional, pues su capacidad se ve cada vez más limitada cuando los datos adquieren mayor volumen.

En este escenario, nace el concepto de *big data* para dar nombre a grandes volúmenes y diversos tipos de datos que no pueden ser tratados adecuadamente por herramientas de software tradicionales, por lo que precisan de otro tipo de técnicas y algoritmos para tener una correcta gestión. *Big data* tiene implicaciones en la Industria 4.0 por la forma en que se lleva a cabo la recopilación de datos a través de distintos sensores y elementos de entrada, así como en la capacidad de emplear estos datos en beneficio de un entorno productivo; de ahí que los datos se convierten en la materia prima de la inteligencia artificial (Marr, 2018).

3.4 Inteligencia Artificial (IA)

Por su parte, la inteligencia artificial (IA) es una rama de la informática que estudia la inteligencia humana y busca replicarla en máquinas físicas o virtuales. Algunos autores, como Teigens *et al.* (2018) han llegado a proyectar la inteligencia artificial al futuro como “el contenedor” de la sabiduría humana. Si bien la IA aún no ha logrado replicar la conciencia del ser humano, sí ha podido replicar e incluso superar considerablemente la estructura del pensamiento y la lógica humana.

La IA ha sido una herramienta tan versátil que ha podido ser implementada en múltiples aplicaciones, a tal punto que las personas desconocen que muchos de los procesos industriales o de la vida cotidiana ya tienen intervención de IA. Blanco *et al.* (2019) enlistan los campos de aplicación más destacables para la inteligencia artificial:

- **Generación de lenguaje natural:** consiste en generar texto a partir de datos obtenidos a manera de comunicar ideas con congruencia y precisión, facilitando las tareas de redacción para las personas. Estos mecanismos se encuentran en herramientas como servicio automático al cliente y generación de informes.
- **Reconocimiento de voz:** son sistemas que tienen la capacidad de analizar la acústica y la fonética de la voz humana, y entenderla para poder ejecutar acciones o brindar información. Estos sistemas se emplean principalmente en motores de búsqueda o en asistentes de voz para casas inteligentes.
- **Agentes virtuales:** consiste en aplicaciones capaces de interactuar con humanos y dar una respuesta natural, un ejemplo de ello son los *bots* que se manejan en sistemas de servicio al cliente y soporte técnico que pretenden dar al usuario una experiencia similar a la que tendría al tratar con un agente humano.
- **Plataformas de aprendizaje de máquina:** es una rama de la IA que busca, a través de técnicas avanzadas de proceso de información y análisis del entorno, que las máquinas creen su propio conocimiento, sin necesidad de haberlo precargado.
- **Aprendizaje profundo:** es un tipo especial de aprendizaje de máquina basado en redes neuronales, tiene como principal objetivo replicar la estructura del cerebro humano para la toma de decisiones y pensamiento lógico.
- **Biométrica:** se trata de un tipo de tecnología que estudia la identificación y procesamiento de características físicas de rasgos humanos y de composición del cuerpo. Permite identificar huellas, rostros, voz, lenguaje corporal, entre otros.
- **Automatización robótica:** se refiere a la integración de elementos mecánicos, electrónicos e informáticos para lograr el cumplimiento de tareas de manera automatizada, buscando sustituir la intervención humana en entornos donde se requiere una máxima productividad o bien, donde las tareas a realizar sean repetitivas o impliquen algún riesgo para la integridad física de las personas.

3.5 Robótica

Pese a que los conceptos descritos anteriormente han mostrado una evolución notable, y han tenido un impacto en la tecnología moderna, la robótica es uno de los campos más alusivos al concepto de Industria 4.0, ya que recopila de una manera integral elementos de otras áreas para el desarrollo de sus productos finales. La fusión de la robótica con el uso y análisis de grandes volúmenes de datos, la integración con internet industrial de las cosas y las estrategias de ciberseguridad, han marcado una pauta en los procesos de fabricación de la industria moderna.

Las innovaciones de la robótica, en conjunto con el crecimiento de la demanda en el sector productivo, han fomentado que la incorporación de este tipo de tecnología a las líneas de producción sea cada vez más notable. Según el estudio realizado en 2017 por la Federación Internacional de Robótica (FIR por sus siglas en inglés) se proyectó que solo entre los años 2014 y 2016 habría un aumento de 1.4 millones de robots involucrados en el sector productivo industrial, en donde el mayor porcentaje de participantes corresponde al sector automotriz, seguido por las industrias eléctrica/electrónica y metal mecánica. Para el caso de los sectores de alimentos y química, caucho y plástico, así como los dos restantes (otro y sin especificar), aunque no tienen números altos, resalta que ninguna de ellas ha tenido una reducción en el stock durante ese periodo; lo anterior se ilustra en la Fig. 4 (Basco *et al.*, 2018).

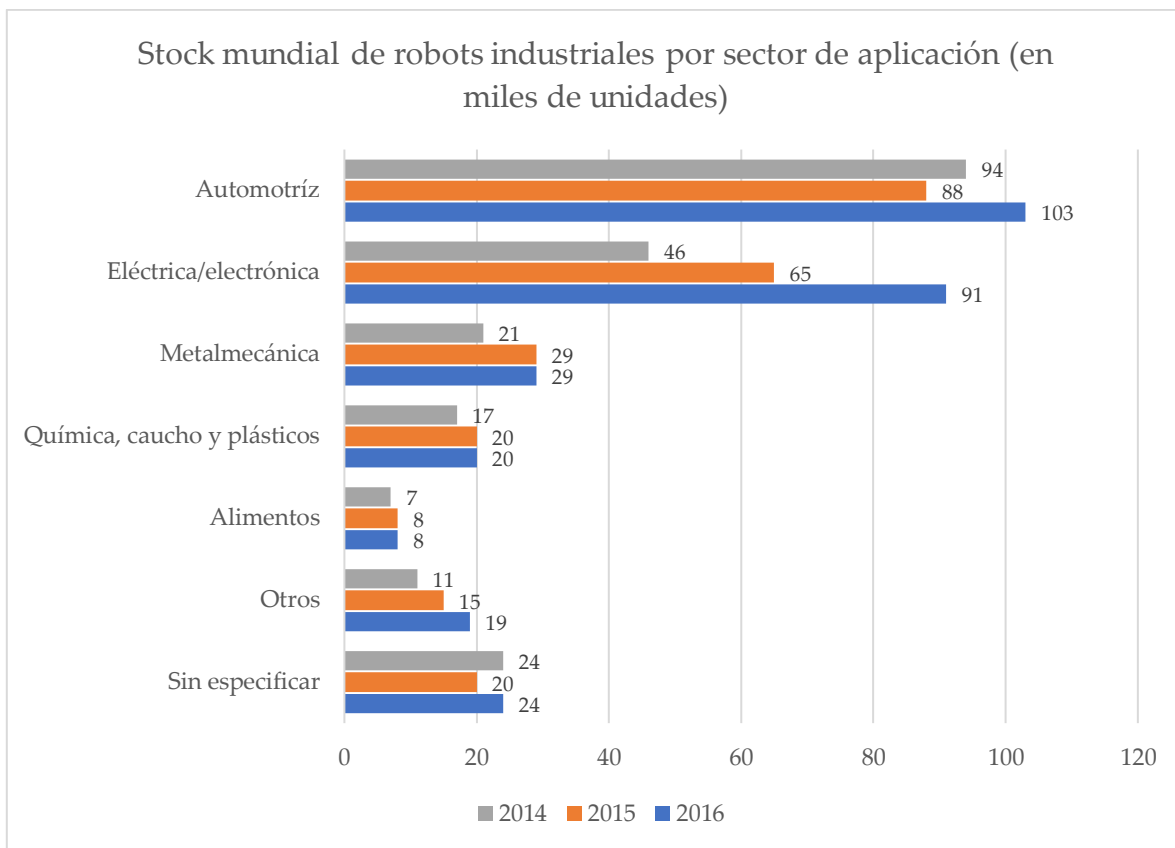


Figura 4. Crecimiento del stock mundial de robots industriales por sector de aplicación.

Figure 4. Growth in the global stock of industrial robots by application sector.

Referencia: (Basco *et al.*, 2018).

De la Fig. 4, resulta interesante obtener el porcentaje de crecimiento del stock mundial de robots en cada uno de los sectores enmarcados, del 2014 al 2016. En la Tabla 2 se puede observar que aún y cuando el sector automotriz es el que cuenta con un stock más amplio, su crecimiento es el menor en comparación con los otros rubros claramente especificados. El sector con un notable crecimiento es

el de eléctrica/electrónica, logrando casi duplicar la cantidad en existencia en los años referenciados. Independientemente de los incrementos, todos los rubros detallados tienen una tendencia al alza.

Tabla 2. Incremento porcentual en el stock de robots a nivel mundial (miles de unidades).
Table 2. Percentage increase in the global stock of robots (thousands of units).

Sector	2014	2016	Incremento porcentual
Automotriz	94	103	10 %
Eléctica/electrónica	46	91	98 %
Metalmecánica	21	29	38 %
Química, caucho y plásticos	17	20	18 %
Alimentos	7	8	14 %
Otros	11	19	73 %
Sin especificar	24	24	0 %

Referencia: (Propia del autor).

4. La expansión tecnológica

Si bien la robótica ha tenido un crecimiento y aceptación notables, existe una contraparte que propone la idea de limitar la robótica solo a aquellas acciones que sean imprescindibles, y justifiquen su uso al salvaguardar la vida humana. En la perspectiva de Basco *et al.* (2018), el uso desmedido de esta tecnología puede llevar a una destrucción del empleo para aquellos que prestan mano de obra en la industria, ya que, desde el punto de vista de un empleador, la inversión a largo plazo de un robot puede ser lo suficientemente redituable para poder prescindir de la colaboración humana.

Un contraste de lo anterior es presentado por Martínez Aguiló (2019) quien defiende la expansión tecnológica que ha generado la Industria 4.0. Si bien algunos puestos de trabajo primarios han desaparecido por causa de la tecnología, también es un hecho que su integración requiere de expertos que diseñen, pongan en marcha y den mantenimiento a estos sistemas, lo cual supone nuevas oportunidades para quienes se capacitan en este sector. El término “Trabajador 4.0” hace alusión a esta fuerza de trabajo capacitada en la tecnología de la Industria 4.0.

En este sentido, Escalante Ferrer y Mendizábal Bermúdez (2019) señalan seis competencias emergentes que debe poseer un Trabajador 4.0:

- Pensamiento crítico y solución de problemas complejos
- Competencias digitales laborales
- Competencias lingüísticas
- Competencias de aprendizaje permanente (saber reaprender)
- Competencias socioemocionales para el trabajo 4.0
- Competencias para el trabajo transdisciplinar

Es así que la tecnología no pretende sustituir el trabajo humano, sino que genera un cambio de plano donde las personas pueden enfocarse en realizar tareas de menor riesgo y, a su vez, asegurar la correcta aplicación de la tecnología. Si bien estos sistemas pueden ser autosuficientes hasta cierto punto, para que pueda existir un robot realizando un trabajo o un algoritmo computacional en marcha, debe haber trabajo e intervención humana de por medio, por lo cual la tecnología aún depende de las personas.

Basco *et al.* (2018) resaltan que en el ámbito global se observa una tendencia que empieza a tomar forma en la búsqueda de estrategias de los gobiernos para promover la incorporación de las tecnologías 4.0; sin embargo, son muy pocos los países que han redefinido sus políticas con base en este tema. Por su parte, México organiza su iniciativa al respecto sobre tres pilares:

- Promover la creación de clústers sobre las capacidades territoriales existentes.
- Potenciar la aplicación de IoT para que México se convierta en un líder regional de soluciones digitales y análisis de *big data*, a fin de aumentar la complejidad de las exportaciones.
- Consolidar a México como líder regional en la oferta de recursos humanos calificados para gestionar la producción y generación de negocios en el contexto de la Industria 4.0.

Lo anterior conlleva, en primera instancia, a un replanteamiento en el sistema educativo nacional, con la intención de que las nuevas generaciones desarrollen competencias para atender esta situación y que, al incorporarse al mercado laboral, cuenten con una capacitación acorde a las necesidades y demandas de la Industria 4.0. De igual forma, las empresas deberán incluir en su visión la formación y capacitación continua, de forma que sus empleados desarrollen habilidades con la intención de que puedan incorporarse a nuevas funciones según lo exija el desarrollo tecnológico de la empresa. Adicionalmente, la legislación mexicana debe ser adaptada para que contemple todos los aspectos laborales, sociales y culturales que una revolución de tal magnitud trae consigo, lo que generará reformas, generación de políticas públicas y adaptación de la legislación actual.

De una manera u otra, la Industria 4.0 aún cuenta con un largo camino por recorrer, pues la pérdida de empleos no es la única limitante actual. Un estudio realizado por *NTT Data* y el Observatorio de la Industria 4.0 en España durante el 2021, describe una serie de factores que las empresas reportan y que han constituido un estancamiento en el crecimiento y propagación de esta tecnología en el sector industrial de dicho país (Fig. 5) (Fundación Telefónica, 2023).

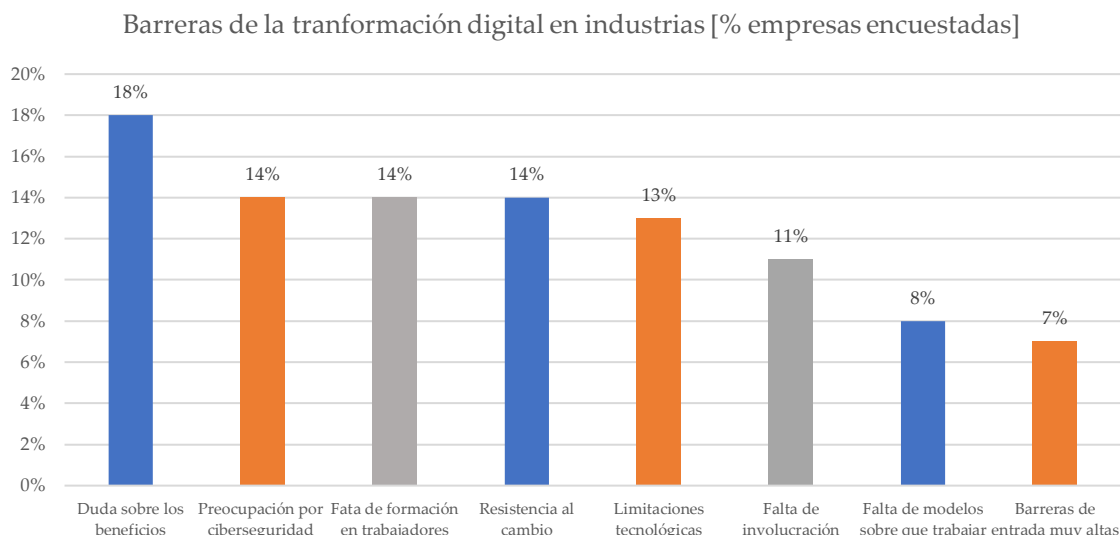


Figura 5. Factores limitantes en el crecimiento de la Industria 4.0 en España durante el 2021.

Figure 5. Limiting factors in the growth of Industry 4.0 in Spain during 2021.

Referencia: (Fundación Telefónica, 2023).

En el caso de México, el concepto de Industria 4.0 ha mostrado un notable desfase en cuanto a progreso, si se compara con países desarrollados. Según lo expuesto en el Foro de Industria 4.0: Retos de México 2018, el impacto de este tema en la economía de nuestro país es del 0.6 % del producto interno bruto (PIB), mientras que en otros países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD) ronda un 2.4 %, dejando ver el gran reto que la comunidad tecnológica de este país debe asumir para aumentar su competitividad (Abraham *et al.*, 2018).

Ante la creciente necesidad de procesos inteligentes, en contraste con el rezago tecnológico que presentan diversos países, es la innovación tecnológica la pieza fundamental que une la cadena de engranes de la transformación 4.0. La innovación debe ser asumida por las industrias como una actividad permanente en la que todos sus departamentos estén suscritos, con una perspectiva abierta a adoptar y compartir ideas con otras culturas y entornos. Los planes estratégicos basados en innovación tecnológica encaminarán, de manera gradual, a las empresas a incorporar las herramientas de vanguardia que se dispongan en ese momento (Lázaro, 2019).

La idea de adoptar la tecnología deberá ir más allá de un proceso, y convertirse en una filosofía y estilo de vida para todos aquellos involucrados en el ámbito. Es por ello que el concepto de Industria 4.0 es mucho más que solo factores orientados a máquinas y líneas de producción, y ha trascendido a un plano sociocultural en el que diversos autores, entre los que destacan Garrell y Guiler (2019), definen el concepto de “Sociedad 4.0”. Esta idea describe el radical cambio que ha experimentado la sociedad tras la integración de tecnologías de vanguardia a la vida cotidiana, hace alusión a una fuerte dependencia a la tecnología por parte de las personas, ya que la caída de algún sistema o red, incluso por un par de horas, genera pérdidas millonarias y un estado de paranoia por parte de los usuarios que se quedan incomunicados.

Otro factor destacable de la Sociedad 4.0, es el nivel de información al que se puede acceder, pues debido a la facilidad de medios disponibles es cada vez más difícil que una persona permanezca aislada al conocimiento de algún dato o suceso. Sin embargo, esto también abre una brecha a la desinformación dado que la información puede ser fácilmente manipulada, o bien, ser comunicada de manera errónea. De esta manera, es común que, al tener acceso a grandes volúmenes de información, las personas decidan solo hurgar sobre la capa superficial de la misma, evitando que exista un enriquecimiento de otras fuentes o recursos. Es así que surge el planteamiento de preguntas éticas y responsabilidades relacionadas con el uso de inteligencia artificial, haciendo necesario establecer marcos éticos y regulaciones adecuadas para guiar el desarrollo y la implementación de estas tecnologías de manera responsable.

La Industria 4.0 trae consigo un conjunto de implicaciones tecnológicas, pero también modifica el entorno de una manera sociocultural, económica y ética. Las próximas revoluciones industriales deberán buscar la manera de romper con las limitantes que la actual revolución trae consigo, así como proponer nuevas tendencias y estilos de innovación que tengan como principal directriz mejorar la calidad de vida de las personas (Jumbo González, 2021).

5. Conclusiones

La Industria 4.0 representa una revolución tecnológica que está transformando profundamente la economía y el sector productivo a nivel global. A través de la incorporación de tecnologías como el internet de las cosas, big data, robótica e inteligencia artificial, se ha generado un gran sector de oportunidades en la industria manufacturera, permitiendo que la tecnología brinde soluciones cada vez más potentes y efectivas para tareas complejas y repetitivas que antes eran ejecutadas por humanos.

Es de esperar que al introducir nueva tecnología y al crear una fuerte dependencia sobre ella, habrá opiniones diversas sobre sus implicaciones económicas y sociales. Es de suma importancia para los impulsores de dichas soluciones tecnológicas, el saber exponer sus beneficios y lograr hacerlos tangibles para aquellos que pudieran verse amenazados por ellas. Si bien es cierto que algunas actividades humanas pueden llegar ser remplazadas por máquinas y robots, esto no supone un relevo de las personas, sino que invita a que aquellos que desempeñaban labores que podían comprometer su salud o su integridad, a que apuesten por capacitarse y adquirir el conocimiento necesario para diseñar, implementar y dar mantenimiento a equipos de alta tecnología.

A poco más de una década desde el surgimiento del concepto de Industria 4.0, existen numerosos casos de éxito. Las empresas buscan alinear sus procesos a entornos digitalizados e interconectados entre sí; esto demuestra que muchas de ellas han logrado que su puesta en marcha sea redituable, pese a que la inversión en adquisición, capacitación y mantenimiento puedan ser elevados en un principio.

A pesar de lo remota que pueda parecer la idea, la próxima revolución industrial puede llegar mucho antes de lo pensado, pues el desarrollo tecnológico avanza a pasos agigantados. Se espera así, que la siguiente generación de tecnología tome elementos de sus predecesoras y los mejore. Aún existen distintos aspectos tecnológicos, sociales y éticos que trazan una barrera en el panorama actual de la Industria 4.0, pero que serán antecedentes útiles para mejorar las tecnologías emergentes.

Como trabajos futuros, se plantea la necesidad de analizar cada una de las tecnologías de la Industria 4.0, con la finalidad de determinar el impacto de cada una de ellas, ampliando el panorama y encaminado el rumbo hacia la cuarta revolución industrial.

Conflicto de interés

Los autores no tienen conflicto de interés que declarar.

6. Referencias

- Abraham, A., Gandhi, N., & Pant, M. (2019). *Innovation on Bio-Inspired Computing and Applications*. Kochi: Springer. <https://goo.su/U6DDtjD>
- Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., & Garero, P. (2018). *Industria 4.0: Fabricando el futuro*. Buenos Aires: Inter-American Development Bank. <https://publications.iadb.org/es/industria-40-fabricando-el-futuro>
- Blanco, F., Castro, J. M., Gayoso, R. A., & Santana, W. (2019). *Las Claves de la Cuarta Revolución Industrial*. Barcelona: Libros de cabecera. pp. 1-20. <https://goo.su/Gze10X>
- Cruz-Vega, M., Oliete-Vivas, P., Morales-Ríos, C., González, C., Cendón Martín, B., & Hernández Seco, A. (2015). *Las tecnologías IoT dentro de la industria conetada 4.0*. Madrid: Fundación EOI. <https://goo.su/3cxALx4>
- Escalante Ferrer, A. E., & Mendizábal Bermúdez, G. (2019). *Formación universitaria, trabajo y género en la Cuarta Revolución Industrial* (Primera ed.). Morelos, Mex.: Porrúa, UAEM. <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/1284>
- Fernandez-Lasquetty Quintana, J. (2020). Hacia un modelo para la economía de datos. *TELOS*, 113: 128. <https://goo.su/kG2aei>
- Fundación Telefónica. (2023). *Sociedad digital en España 2023*. Madrid: Penguin Random House Editorial. <https://goo.su/J600C1X>
- Garrell Guiu, A. (2019). *La Industria 4.0 en la sociedad digital*. España: ICG Marge, SL. <https://goo.su/K8kACve>
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: The industrial internet of things*. Bang Khen: Apress. <https://goo.su/cgjNb>
- Joyanes-Aguilar, L. (2017). *Industria 4.0: La cuarta revolución industrial*. Ciudad de México: Alfaomega. <https://goo.su/cTxLb>
- Joyanes-Aguilar, L. (2021). *INTERNET DE LAS COSAS*. Ciudad de México: Alfaomega. <https://goo.su/cUaEuC>
- Jumbo-González, W. (2021). *Filosofía, tecnociencia e industria 4.0: Una mirada desde el medioambiente*. Editorial Universitaria Abya-Yala. <https://goo.su/wVz48Qg>
- Lázaro, J. (2020). *Gestión de la innovación*. Ciudad de México: Universo de Letras. <https://goo.su/LCDkfAQ>

- López-Suba, M. (2019). Internet de las cosas: Transformación digital de la sociedad. Madrid: Ra-Ma Editorial. <https://goo.su/xjh9X5s>
- Marr, B. (2018). Data strategy: Cómo beneficiarse de un mundo de big data, analytics e internet de las cosas: Como beneficiarse de un mundo de big data, analytics e internet de las cosas. Colombia: Ecoe Ediciones. <https://goo.su/HYitIA>
- Martínez-Aguiló, J. (2019). Industria 4.0: la transformación digital en la industria. Barcelona: Editorial UOC. <https://goo.su/xQqcaT>
- Schwab, K. (2016). La cuarta revolución industrial. España: Penguin Random House Grupo Editorial España. <https://goo.su/xZVabnI>
- Teigens, V., Skalfist, P., & Mikelsten, D. (2018). Inteligencia artificial: la cuarta revolución industrial. Stanford: Cambridge Stanford Books. <https://goo.su/knHxzry>
- Villa-Crespo, E., & Morales-Alonso, I. (2022). Ciberseguridad IoT y su aplicación en ciudades inteligentes. Madrid: Ra-Ma. <https://goo.su/rxRn71U>
- Yandar-Lobon, M. A., & Moreno-Ospina, J. M. (2019). La industria 4.0 desde la perspectiva organizacional. Bogotá: Editorial Universitario Servand Garcés. <https://alinin.org/wp-content/uploads/2020/07/La-industria-40.pdf>
- Yañez, F. (2022). Mundo 4.0: El futuro de la sociedad tecnológica. Madrid: Marcombo. <https://goo.su/RGukETu>

2024 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Caracterización por ultrasonido de madera sólida y laminada de *Fagus crenata*

Ultrasonic characterization of solid and laminated wood of *Fagus crenata*

Javier Ramón Sotomayor Castellanos^{1*}, Firas Hawasly², Koji Adachi², Sonia Correa Jurado¹

¹ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.

² Universidad Prefectoral de Akita, Japón.

*Correspondencia: javier.sotomayor@umich.mx (Javier Ramón Sotomayor Castellanos)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v18i3.1636>

Recibido: 30 de agosto de 2024; Aceptado: 08 de noviembre de 2024

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Editor de Sección: Dr. Humberto González-Rodríguez

Resumen

El objetivo de la investigación fue determinar la densidad, la velocidad del ultrasonido y el módulo dinámico de la madera de *Fagus crenata* sólida y laminada. Se realizaron mediciones de la velocidad del ultrasonido en nueve posiciones en la dirección radial y tres en las direcciones tangencial y longitudinal en seis probetas de madera sólida y seis de laminada, empleando resina de melamina-urea formaldehído como adhesivo. Se diseñó un experimento completamente al azar. La densidad de la madera laminada experimentó un incremento del 18 % en comparación con la de la madera sólida. El laminado de la madera de *F. crenata* incrementa tanto la velocidad como el módulo dinámico de la madera laminada en las direcciones radial 70 % y longitudinal 1 %, mientras que disminuye en la dirección tangencial 19%. El proceso de laminación de madera reduce la variabilidad natural de la velocidad del ultrasonido en un 2 % y del módulo dinámico en un 5 %. Los resultados de la investigación se ven limitados por el uso de probetas de pequeñas dimensiones. Es recomendable realizar experimentos con probetas de dimensiones similares a las dimensiones reales del trabajo para el cálculo ingenieril de elementos estructurales.

Palabras clave: velocidad del ultrasonido, módulo dinámico, melamina-urea formaldehído, densidad de la madera, probetas de pequeñas dimensiones.

Abstract

The objective of the research was to determine the density, ultrasound velocity, and dynamic modulus of solid and laminated *Fagus crenata* wood. Measurements of ultrasound speed were taken at nine positions in the radial direction and three in the tangential and longitudinal directions on six solid wood samples and six laminated samples using melamine-urea formaldehyde resin as the adhesive. A completely randomized experiment was designed. The density of laminated wood experienced an 18 % increase compared to solid wood. The lamination of *F. crenata* wood increases both the speed and the dynamic modulus of the laminated wood in the radial direction by 70 % and in the longitudinal direction by 1 %, while it decreases in the tangential direction by 19 %. The wood lamination process reduces the natural variability of ultrasound speed by 2 % and the dynamic modulus by 5 %. The results of the research are limited by the use of small-sized specimens. It is advisable to conduct experiments with similar specimens to the actual dimensions in the field for the engineering calculation of structural elements.

Keywords: ultrasound velocity, dynamic modulus, melamine-urea formaldehyde, wood density, small specimens.

1. Introducción

Dadas las características morfológicas y dimensionales de los árboles, las dimensiones de las secciones transversales y la longitud de la madera aserrada son restringidas, lo que obstaculiza su aplicación en productos utilitarios. Este problema puede ser abordado mediante la reconstitución de componentes fabricados a partir de placas de madera, orientadas en dirección longitudinal y unidas con un adhesivo apropiado para un uso específico (Kandler *et al.*, 2015). Los beneficios primordiales de esta tecnología incluyen la reducción de la heterogeneidad natural de la madera, la diversificación de dimensiones y formas de diseño, así como la utilización de especies que no son altamente valoradas tecnológicamente (López *et al.*, 2013).

La madera laminada proporciona a los ingenieros y diseñadores la posibilidad de trabajar con un material más homogéneo, minimizando la variabilidad intrínseca de las propiedades mecánicas de la madera aserrada. La finalidad de esta tecnología es la fabricación de elementos de uso estructural elaborados a partir de láminas consolidadas con adhesivos apropiados que conserven una resistencia análoga o superior a la de la madera utilizada en su fabricación (Hussin *et al.*, 2022). En diversas aplicaciones, la madera laminada se emplea en la producción de vigas y columnas para estructuras de madera (Icimoto *et al.*, 2016).

La resistencia mecánica de un componente de madera laminada es influenciada por diversos factores, entre los que se incluyen la especie, el número, la disposición de las placas y el tipo de adhesivo empleado (Koutsianitis *et al.*, 2021, Park *et al.*, 2021, Bhkari *et al.*, 2023). La resina de melamina-urea formaldehído, un adhesivo ampliamente utilizado en la producción de madera laminada, ha evidenciado que optimiza las propiedades físicas y mecánicas de la madera (Altun y Tokdemir, 2017).

La determinación del módulo de elasticidad de los componentes de madera laminada con dimensiones de uso se realiza a través de procedimientos experimentales normalizados (Slabohm y Militz, 2014). Por otro lado, estudios que examinan diversos adhesivos en madera laminada de

pequeñas dimensiones han evidenciado la influencia de factores de variación en el desarrollo de nuevos productos a través de la utilización de muestras de pequeña escala (Lee y Oh, 2023). El módulo dinámico se determina mediante ensayos de carácter no destructivo. Los ejemplos incluyen vibraciones (Brémaud *et al.*, 2012) y ultrasonido (Bachtar *et al.*, 2017). La determinación del módulo dinámico en la madera o materiales compuestos requiere una evaluación caso por caso y especie por especie debido a la amplia gama de especies y configuraciones experimentales disponibles (Sotomayor y Correa, 2016).

La madera de *Fagus crenata* se emplea extensivamente en la producción de mobiliario, en el sector de la construcción y en otros productos de madera de valor añadido (Naruse, 2003; Sotomayor *et al.*, 2020). Los módulos de elasticidad establecidos bajo condiciones estáticas, tal como se exponen en la literatura académica, son: $E_R = 882 \text{ MN m}^{-2}$, $E_T = 588 \text{ MN m}^{-2}$ y $E_L = 11760 \text{ MN m}^{-2}$; los módulos de rigidez son: $G_{LR} = 980 \text{ MN m}^{-2}$, $G_{LT} = 637 \text{ MN m}^{-2}$ y $G_{RT} = 196 \text{ MN m}^{-2}$ para una densidad de 740 kg m^{-3} y un contenido de humedad de 8 % (Naruse, 2003). Los módulos dinámicos por ultrasonido (us) son: $E_{us R} = 2644 \text{ MN m}^{-2}$, $E_{us T} = 1949 \text{ MN m}^{-2}$ y $E_{us L} = 13992 \text{ MN m}^{-2}$ para una densidad de 629 kg m^{-3} y un contenido de humedad de 11% (Sotomayor *et al.*, 2020). Los subíndices indican la dirección radial (R), tangencial (T) y longitudinal (L) de la madera. No se detectó información acerca del módulo dinámico de madera laminada.

La hipótesis de investigación postula que la densidad, la velocidad del ultrasonido y el módulo dinámico de la madera sólida de *F. crenata* experimentan un incremento como consecuencia del proceso de laminación. El propósito de la investigación consistió en establecer estos parámetros de la madera de *F. crenata* en estado sólido y laminado con el fin de corroborar la hipótesis planteada. Para alcanzar este objetivo, se elaboraron muestras de tamaño reducido y se implementó un protocolo original para la realización de pruebas por ultrasonido.

2. Materiales y métodos

2.1 Materiales

El material experimental consistió en dos grupos de probetas preparadas de un mismo segmento de la parte baja del fuste de un árbol de *F. crenata*. El ejemplar fue recolectado durante el periodo de marzo 2022 a febrero de 2023 en la prefectura de Akita ($39^{\circ}43'07''\text{N}$; $140^{\circ}06'09''\text{E}$), Japón. El primer grupo consistió en seis placas de madera sólida con dimensiones de 21 mm por 150 mm por 150 mm orientadas en las direcciones radial, tangencial y longitudinal de la madera. El segundo grupo consistió en seis probetas de madera elaborada con 21 láminas de espesor de 1 mm. Sus dimensiones fueron similares a las de la madera sólida. Las láminas se acomodaron en forma paralela a la dirección longitudinal. La madera sólida y laminada fueron elaboradas por la empresa Kitanihon-Board Industries (Akita, Japón).

Para confeccionar la madera laminada se utilizó como adhesivo resina de melamina-urea formaldehído extendida 200 kg m^{-2} (Oshika resin PWP-73, 3, Oshika Corporation, Japan). Para su consolidación se aplicó presión de 10 kg m^{-2} y temperatura de 110°C . Las probetas se almacenaron en una cámara de acondicionamiento con temperatura de 20°C y una humedad relativa del aire de 65 %, hasta que alcanzaron un contenido de humedad en equilibrio de 9 %. El contenido de humedad

de la madera se determinó con la diferencia de pesos al momento del ensayo y en estado seco (International Organization for Standardization, 2014a). La densidad de la madera se determinó con la relación peso/volumen (International Organization for Standardization, 2014b).

2.2 Métodos

Las pruebas de ultrasonido consistieron en medir el tiempo de transmisión de la onda mecánica a través de la distancia entre dos sensores posicionados en la probeta empleando el aparato Sylvatest® con frecuencia de 22 kHz (Fig. 1). La probeta se colocó en el dispositivo fabricado en la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera (Sotomayor *et al.*, 2011) para realizar pruebas no destructivas en probetas de pequeñas dimensiones adaptando los procedimientos reportados en Sotomayor (2020). La velocidad del ultrasonido se calculó con la relación distancia/tiempo de transmisión. Las mediciones se realizaron en nueve posiciones en la dirección radial y tres en las direcciones tangencial y longitudinal. Los promedios de las mediciones en cada dirección se consideraron para análisis posterior (Fig. 2).

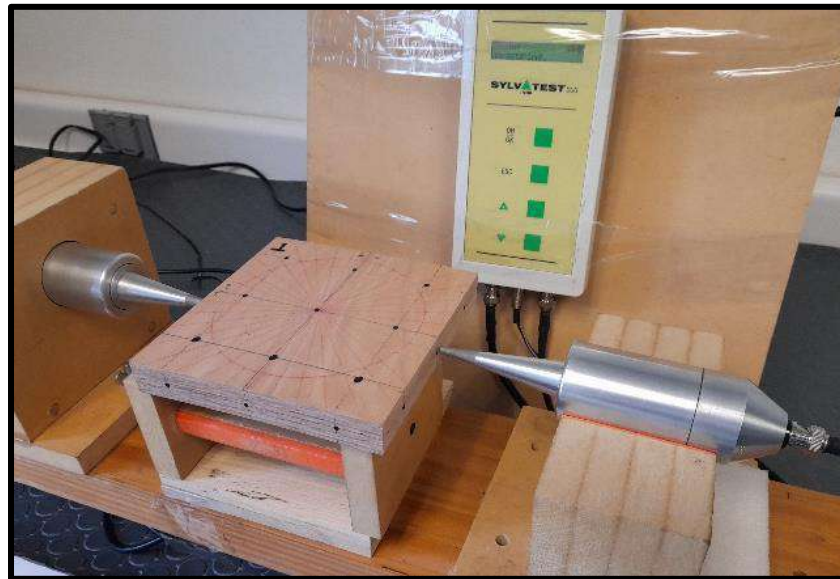


Figura 1. Prueba de ultrasonido en una probeta de madera laminada de *Fagus crenata*

Figure 1. Ultrasound test on a specimen of *Fagus crenata* laminated wood

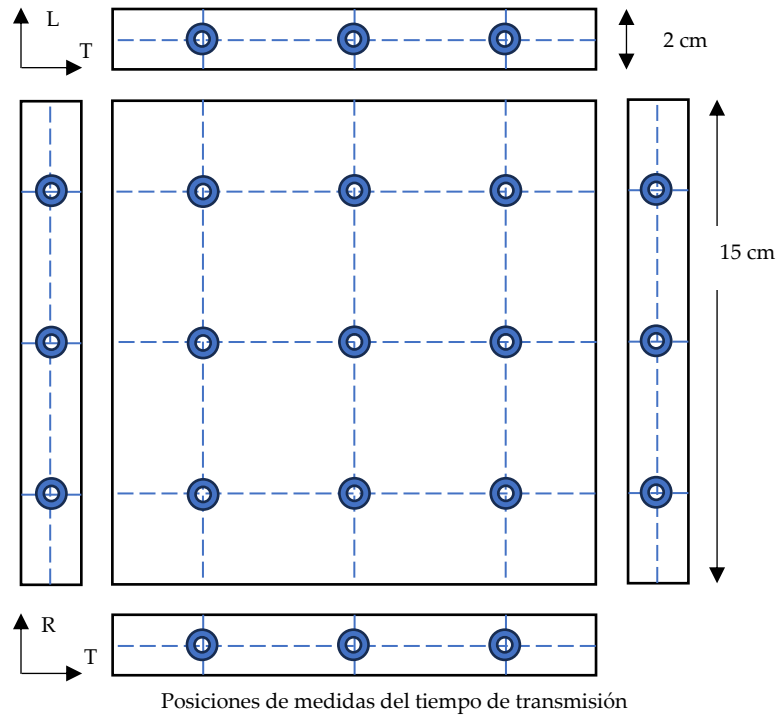


Figura 2. Esquema de la probeta de *Fagus crenata* y las posiciones donde se tomaron las medidas del tiempo de transmisión del ultrasonido. R = Dirección radial; T = Dirección tangencial; L = Dirección longitudinal

Figure 2. Diagram of the *Fagus crenata* specimen and the positions where the ultrasound transmission time measurements were taken. R = radial direction; T = tangential direction; L = longitudinal direction.

La probeta se considera constituida de madera idealizada como un material sólido, de medio continuo, elástico y macroscópicamente homogéneo. Conforme a las hipótesis de que su momento de inercia y sección transversal son uniformes a lo largo de la probeta, así como que su módulo dinámico y de rigidez son igualmente constantes respecto a su volumen, los teoremas del análisis dinámico pueden ser utilizados y así, proponer la ecuación de movimiento (Ec. 1) para la probeta en vibraciones longitudinales (Brancheriau y Bailleres, 2002):

$$E \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

E = Módulo dinámico

ρ = Densidad

u = Desplazamiento

x = Coordenada espacial

t = Tiempo

La ecuación (1) se puede reescribir como:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0 \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

v = Velocidad de propagación de la onda

Con:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (\text{Ec. 3})$$

El módulo dinámico se determinó con la Ecuación (4) (Bachtar *et al.*, 2017):

$$E_{us} = \rho_{CH} \times v_{us}^2 \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

E_{us} = Módulo dinámico (N m^{-2})

ρ_{CH} = Densidad (kg m^{-3})

v_{us} = Velocidad del ultrasonido (m s^{-1})

2.3 Diseño experimental

Se diseñó un experimento completamente al azar. Dos grupos formaron la unidad experimental. Un primer grupo de madera sólida y un segundo grupo de madera laminada, ambos de *F. crenata*. La densidad (ρ_{CH}), la velocidad del ultrasonido (v_{us}) y el módulo dinámico de la madera sólida (E_{us}) fueron las variables de entrada. Las variables de salida fueron la densidad, la velocidad del ultrasonido y el módulo dinámico de la madera laminada. El laminado se consideró el tratamiento con tres niveles: radial, tangencial y longitudinal. Por lo tanto, se formaron catorce muestras con seis replicas cada una. El contenido de humedad (CH) se consideró parámetro de referencia. Su media (μ), desviación estándar (σ) y coeficiente de variación ($CV = \sigma/\mu$) se determinaron. Se realizaron pruebas de normalidad de distribución de datos en cada muestra (Kolmogorov-Smirnov). Valores del sesgo estandarizado (SE) y del apuntamiento estandarizado (AE) en el intervalo $[-2, +2]$ fueron el criterio de demarcación para aceptar una distribución normal de la muestra.

Para contrastar la hipótesis nula $H_0: \sigma_1 - \sigma_2 = 0$ con la hipótesis alterna $H_A: \sigma_1 - \sigma_2 \neq 0$, donde los subíndices 1 y 2 representan las variables a cotejar, se realizaron pruebas de verificación de varianza (Ver-var) y análisis de varianza (Anova). El criterio de demarcación para aceptar diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95 % fue un valor $P_{(\alpha = 0,05)} < 0,05$. Se llevaron a cabo pruebas en grupos homogéneos. El criterio de demarcación para negar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre niveles fue que comparten una misma columna de X. Los cálculos estadísticos se realizaron utilizando el programa informático Statgraphics XVI®.

3. Resultados y discusión

3.1 Densidad

La densidad de la madera laminada aumentó en comparación con la de la madera sólida. Este resultado coincide con el propósito de incrementar artificialmente la densidad de una especie de madera en particular, al emplear el tratamiento de laminado. Esta estrategia se respalda en uno de los paradigmas vigentes en Ciencias, Tecnología e Ingeniería de la Madera, el cual propone que las características de resistencia mecánica de la madera, en este caso el módulo dinámico, aumentan proporcionalmente a la densidad (Niklas y Spatz, 2010). Comparada con la madera sólida, la madera laminada tiene una densidad mayor de 18 % (Tabla 1) lo cual es consistente con el resultado del análisis estadístico ($P_{(\alpha=0.05)} < 0.05$) que indica una diferencia estadística entre las densidades de estas maderas (Tabla 2). Este incremento refleja la incorporación del peso del adhesivo en la madera laminada, así como el efecto de la compactación de sus láminas. De tal forma que la madera laminada es más homogénea y compacta.

Tabla 1. Densidad, contenido de humedad, velocidad del ultrasonido y módulo dinámico de madera sólida y laminada de *Fagus crenata*

Table 1. Density, moisture content, ultrasound velocity and dynamic modulus of solid and laminated *Fagus crenata* wood

	ρ_{CH} (kg m ⁻³)	CH (%)	$v_{us} R$ (m s ⁻¹)	$E_{us} R$ (MN m ⁻²)	$v_{us} T$ (m s ⁻¹)	$E_{us} T$ (MN m ⁻²)	$v_{us} L$ (m s ⁻¹)	$E_{us} L$ (MN m ⁻²)
Madera sólida de <i>Fagus crenata</i>								
μ	695	9	1709	2033	1748	2127	4900	16732
σ	8	0,43	62	145	63	168	240	1813
CV	(1)	(5)	(4)	(7)	(4)	(8)	(5)	(11)
Madera laminada de <i>Fagus crenata</i>								
μ	822	9	2906	6945	1424	1669	4949	20141
σ	14	0,34	66	315	16	46	48	470
CV	(2)	(5)	(2)	(5)	(1)	(3)	(1)	(2)

ρ_{CH} = Densidad para un contenido de humedad CH; CH = Contenido de humedad; v_{us} = Velocidad del ultrasonido; E_{us} = Módulo dinámico; R = Dirección radial; T = Dirección tangencial; L = Dirección longitudinal; μ = Media; σ = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación en por ciento y entre paréntesis

Tabla 2. Análisis estadístico**Table 2.** Statistical analysis

<i>Fagus crenata</i> Material	SE [-2, +2]	AE [-2, +2]	Ver-var $P_{(\alpha = 0.05)}$	Anova $P_{(\alpha = 0.05)}$	Grupos homogéneos
Densidad					
Sólida	0.670	-0.849	0.608	<0.001*	X
Laminada	0.128	0.282	-	-	X
Velocidad del ultrasonido					
Sólida radial	0.577	-0.587	0.788	<0.001*	X
Laminada radial	-1.017	0.456	-	-	X
Sólida tangencial	-0.759	-0.204	0.078	<0.001*	X
Laminada tangencial	-0.127	-1.180	-	-	X
Sólida longitudinal	0.809	0.102	0.017*	0.635	X
Laminada longitudinal	0.110	-0.915	-	-	X
Módulo dinámico					
Laminada radial	0.366	-0.831	0.069	<0.001*	X
Sólida tangencial	-0.830	-0.175	-	-	X
Laminada tangencial	-0.784	-0.407	0.057	<0.001*	X
Sólida longitudinal	0.450	-0.633	-	-	X
Laminada longitudinal	0.959	0.181	0.036*	0.001*	X
Laminada radial	-0.424	-0.909	-	-	X

SE = Sesgo estandarizado; AE = Apuntamiento estandarizado; Ver-var = Verificación de varianza; Anova = Análisis de varianza; * = Existe una diferencia significativa para $P_{(\alpha = 0.05)} < 0.05$. En los niveles que comparten una misma columna de X no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

Con respecto al coeficiente de variación de la densidad, el de la madera sólida es de 1 %, mientras que el de la madera laminada aumenta al 2 %. Estos porcentajes son pequeños respecto a los descritos en la literatura (Kallarackal y Ramírez, 2024), lo que indica que las probetas de madera sólida y laminada tienen una densidad uniforme al interior de las muestras, pero diferente entre ellas.

En el caso del cálculo de la densidad de probetas pequeñas, la contribución de la proporción del peso del adhesivo es evidente, a diferencia de los resultados de trabajos con vigas laminadas donde no se hace mención particular al respecto. Para el caso de la presente investigación, el aumento de la densidad en la madera laminada, al ponderarlo con la velocidad del ultrasonido (Ec. 1), se verá reflejado en el incremento del módulo dinámico. De esta forma, la primera aseveración de la

hipótesis de la investigación se confirma: el laminado aumenta la densidad de la madera sólida de *F. crenata*.

El valor promedio para el contenido de humedad de la madera sólida y en la laminada fue de 9 % con un coeficiente de variación promedio de 5 %. El rango de valores medios y el de los coeficientes de variación del contenido de humedad indican que la madera puede ser considerada en estado seco, con una variación mínima en el contenido de humedad. Este resultado favorece la propuesta del diseño experimental al considerar el contenido de humedad de la madera como un parámetro de referencia que no interviene en el fenómeno estudiado.

Los hallazgos de la bibliografía varían según la especie en estudio y las especificaciones para la fabricación de la madera laminada. Por ejemplo, Keskin (2009) reporta un incremento en la densidad de la madera laminada con respecto a la madera sólida de 3.4 % para *Fagus orientalis* y de 4.2 % para *Quercus pétrea*. En cambio, Komariah et al. (2015) reportan una disminución de densidad en la madera laminada de 16.8 % para *Acacia mangium*, al mismo tiempo que determinan un aumento de 23.2 % para *Maesopsis eminii* y de 7 % para *Falcataria moluccana*. Este resultado sugiere la observación de este fenómeno caso por caso, es decir, especie por especie en seguimiento al paradigma en investigación de las características físicas de la madera y sus productos compuestos (Sotomayor y Correa, 2016): "... es necesario caracterizar el comportamiento mecánico de la madera con un enfoque de experimentación de caso por caso de una especie en particular. Cada procedimiento debe estar referido a las variables de referencia de las condiciones de ensayo, por ejemplo, la densidad y el contenido de humedad de la madera, y con datos derivados de un tamaño de muestra observada estadísticamente representativa. Una vez teniendo observaciones integrantes y estadísticamente representativas, se pueden proponer tendencias en el comportamiento general para una especie en específico, o por agrupamiento de varias de ellas que denoten una tendencia similar".

3.2 Velocidad del ultrasonido

La velocidad del ultrasonido en la dirección radial en la madera laminada es mayor 70 % respecto a la velocidad de la madera sólida. En cambio, en la dirección tangencial disminuye 19 % (Tabla 1). Estas diferencias numéricas se confirman con los resultados del análisis estadístico. En efecto, el análisis de varianza indica diferencias para las direcciones radial y tangencial. Por su parte, los resultados de las pruebas de grupos homogéneos igualmente coinciden (Tabla 2). Estos resultados se presentan de manera gráfica en la Fig. 3a.

En la dirección longitudinal se nota un incremento de 1 % en la madera laminada. Empero, no se percibe una variación estadísticamente significativa $P_{(\alpha = 0.05)} = 0.635$. Sin embargo, la prueba de verificación de varianza indica un valor $P_{(\alpha = 0.05)} = 0.017$, lo que implica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar. Esto viola uno de los supuestos en el análisis de varianza e invalidará la prueba anova. Este resultado puede ser explicado por la repetitividad en las mediciones del tiempo de transmisión del ultrasonido en las probetas de madera laminada, las cuales varían en un rango de 112 m s^{-1} (para una media de 4900 m s^{-1}) lo que resulta en un coeficiente de variación de 1 % en comparación a las mediciones en la madera sólida con un rango de 653 m s^{-1} (para una media de 4949 m s^{-1}), el cual resulta en un coeficiente de variación de 5 %. Aceptando esta particularidad estadística, se puede aceptar la diferencia mínima entre los módulos señalada anteriormente.

Respecto a la variabilidad de la velocidad del ultrasonido, expresada por el coeficiente de variación, para la madera sólida fluctúa entre 4 y 5 %. En cambio, para la laminada se observa una disminución que va de 1 a 2 %. Esta diferencia se puede interpretar como una mejora tecnológica en la madera laminada al disminuir la fluctuación de las magnitudes de la velocidad en la madera confeccionada con laminillas de *F. crenata* y consolidada con adhesivo de melamina-urea formaldehído (Altun y Tokdemir, 2017).

Estos resultados particulares para las direcciones radial y longitudinal respaldan la conjetura de que el tratamiento de laminado de madera sólida de *F. crenata* aumenta la velocidad del ultrasonido. No obstante, esta hipótesis no se verifica en la dirección tangencial.

Las condiciones del laboratorio se mantuvieron bajo control, las pruebas se llevaron a cabo de la misma manera y se identificaron las principales fuentes que podrían haber causado variaciones en los resultados. Es decir, el tipo de adhesivo que se usa para hacer madera laminada, la forma, las dimensiones y el contenido de humedad de la madera. Los coeficientes de variación entre la madera sólida y la madera laminada disminuyeron. El resultado para el módulo dinámico fue idéntico.

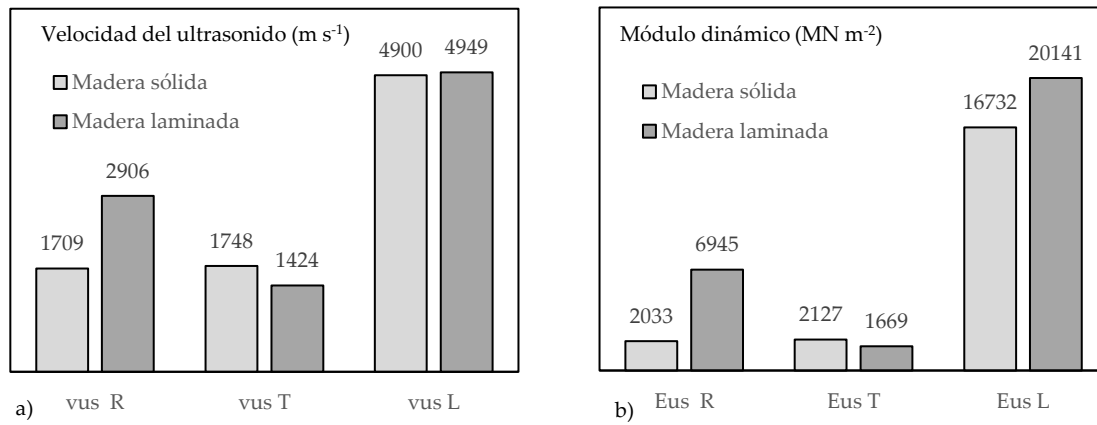


Figura 3. Comparativos: a) de la velocidad del ultrasonido (v_{us}); b) del módulo dinámico (E_{us}). R =

Dirección radial, T = Dirección tangencial, L = Dirección longitudinal

Figure 3. Comparatives: a) of the speed of ultrasound (v_{us}); b) of the dynamic modulus (E_{us}). R = Radial

direction, T = Tangential direction, L = Longitudinal direction

3.3 Módulo dinámico

El módulo dinámico de la madera laminada en la dirección radial se incrementa 242 % respecto al de la madera sólida. Por su parte, el módulo longitudinal aumenta 20 %. En el sentido opuesto y coincidiendo con la disminución de la velocidad tangencial, el módulo en esta dirección disminuye 22 % (Tabla 1). Estas variaciones son confirmadas por el análisis de varianza y las pruebas de grupos homogéneos, los cuales diferencian los módulos dinámicos entre la madera sólida y

laminada en las tres direcciones de anisotropía (Tabla 2). Estos resultados se presentan de manera gráfica en la Fig. 3b.

Uno de los objetivos de fabricar madera laminada es la homogenización de sus propiedades mecánicas (Daoui *et al.*, 2011). Los resultados de la Tabla 1 muestran que los coeficientes de variación del módulo dinámico de la madera sólida oscilan entre el 7 % en la dirección radial y el 11 % en la dirección longitudinal. En la madera laminada, este orden de valores disminuye con coeficientes de variación del 2 % en la dirección longitudinal y del 5 % en la dirección radial.

Estos resultados y su relevancia para la validación de la hipótesis son similares a los de la velocidad del ultrasonido: se ha demostrado que el laminado de madera sólida mejora su módulo dinámico tanto en las direcciones radiales como longitudinales. Sin embargo, este corolario no es aplicable a la dirección tangencial (Macedo y Sotomayor, 2021).

4. Conclusiones

Se calculó el módulo dinámico de probetas de pequeñas dimensiones tanto de madera sólida como laminada de *F. crenata* y se determinó experimentalmente la densidad. Así, se logró comparar estos parámetros y los coeficientes de variación entre los dos tipos de materiales.

La densidad aparente y su variabilidad aumentan como efecto del tratamiento de laminado. En cambio, el laminado de la madera disminuye la variabilidad de la velocidad del ultrasonido y del módulo dinámico.

Los resultados de la investigación se ven limitados por el uso de probetas de pequeñas dimensiones. Es recomendable realizar experimentos con probetas de dimensiones similares a las dimensiones reales del trabajo para el cálculo ingenieril de elementos estructurales.

Contribuciones de los autores

J.R.S.C., F.H., K.A. y S.C.J. participaron en la concepción de la investigación, en los trabajos de laboratorio, en el análisis de resultados y en la redacción-revisión del artículo. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Agradecimientos

La investigación fue patrocinada por el Instituto de Tecnología de la Madera de la Universidad Prefectoral de Akita, en Japón y por la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en México.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses en la publicación de sus hallazgos en este artículo, el cual se creó para fines académicos y científicos.

5. Referencias

- Altun, S., & Tokdemir, V. (2017). Modification with Melamine Formaldehyde and Melimine-Urea Formaldehyde Resin to Improve the Physical and Mechanical Properties of Wood. *BioResources*, 12(1):586-596. <https://doi.org/10.15376/biores.12.1.586-596>
- Bachtiar, E. V., Sanabria, S. J., Mittig, J. P., & Niemz, P. (2017). Moisture-dependent elastic characteristics of walnut and cherry wood by means of mechanical and ultrasonic test incorporating three different ultrasound data evaluation techniques. *Wood Science and Technology*, 51:47-67. <https://doi.org/10.1007/s00226-016-0851-z>
- Bhkari, N. M., Chen, L. W., Nordin, M. S. Zainal, N. S. Za'ba, N. I. L., & Ahmad, Z. (2023). Mechanical Properties of Laminated Veneer Lumber (LVL) Fabricated from Three Malaysian Hardwood Species. *International Journal of Integrated Engineering*, 15(1):377-390. <https://doi.org/10.30880/ijie.2023.15.01.034>
- Brancheriau, L., & Bailleres, B. (2002). Natural vibration analysis of clear wooden beams: a theoretical review. *Wood Science and Technology*, 36(4):347-365. <https://doi.org/10.1007/s00226-002-0143-7>
- Brémaud, I., El Kaïm, Y., Guibal, D., Minato, K., Thibaut, T., & Gril, J. (2012) Characterization and categorization of the diversity in viscoelastic vibrational properties between 98 wood types. *Annals of Forest Sciece*, 69(3):373-386. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0166-z>
- Daoui, A., Descamps, C., Marchal, R., & Zerizer, A. (2011). Influence of veneer quality on beech LVL mechanical properties. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 13(1):69-83. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2011000100007>
- Hussin, M. H., Latif, N. H. A., Hamidon, T. S., Idris, N. N., Hashim, R., Appaturi, J. N., Brosse, N., Ziegler-Devin, I., Chrusiel, L., Fatriasari, W., Syamani, F. A., Iswanto, A. H., Hua, L. S., Al Edrus, S. S. A. O., Lum, W. C., Antov, P., Savov, V., Lubis, M. A. R., Kristak, L., Reh, R., & Sedliačik, J. (2022). Latest advancements in high-performance bio-based wood adhesives: A critical review. *Journal of Materials Research and Technology*, 21:3909-3946. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.10.156>
- Icimoto, F. H., Calil, N., C., Ferro, F. S., Borges de M., L., Christoforo, A. L., Rocco L., F. A., & Calil J., C. (2016). Influence of Lamellar Thickness on Strength and Stiffness of Glued Laminated Timber Beams of Pinus oocarpa. *International Journal of Materials Engineering*, 6(2):51-55. <https://doi.org/10.5923/j.ijme.20160602.05>

- International Organization for Standardization. (2014a). ISO 13061-1:2014. Physical and mechanical properties of wood. Test methods for small clear wood specimens. Part 1: Determination of moisture content for physical and mechanical tests. Geneva, Switzerland. <https://www.iso.org/standard/60063.html>
- International Organization for Standardization. (2014b). ISO 13061-2:2014. Physical and mechanical properties of wood. Test methods for small clear wood specimens. Part 2: Determination of density for physical and mechanical tests. Geneva, Switzerland. <https://www.iso.org/standard/60064.html>
- Kandler, G., Füssl, J., Serrano, E., & Eberhardsteiner, J. (2015). Effective stiffness prediction of GLT beams based on stiffness distributions of individual lamellas. *Wood Science and Technology*, 49(6):1101-1121. <https://doi.org/10.1007/s00226-015-0745-5>
- Kallarackal, J., & Ramírez, F. (2024). Wood Density Variations. In: *Wood Density*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61030-1_4
- Keskin, H. (2009). Impact of impregnation chemical on the bending strength of solid and laminated wood materials. *Materials and Design*, 30(3):796-803. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.05.043>
- Komariah, R. N., Hadi, Y. S., Massijaya, M. Y., & Suryana, J. (2015). Physical-Mechanical Properties of Glued Laminated Timber Made from Tropical Small-Diameter Logs Grown in Indonesia. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 43(2):156-167. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2015.43.2.156>
- Koutsianitis, D., Ninikas, K., Mitani, A., Ntalos, G., Miltiadis, N., Vasilios, A., Taghiyari, H. R., & Papadopoulos, A. N. (2021). Thermal Transmittance, Dimensional Stability, and Mechanical Properties of a Three-Layer Laminated Wood Made from Fir and Meranti and Its Potential Application for Wood-Frame Windows. *Coatings*, 11:304. <https://doi.org/10.3390/coatings11030304>
- Lee, I., & Oh, W. (2023). Flexural Modulus of Larch Boards Laminated by Adhesives with Reinforcing Material. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 51(1):14-22. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2023.51.1.14>
- López, Y., F. N., Polanco, T., C., & Bermúdez, E. J. C. (2013). Caracterización mecánica estructural para veinte combinaciones de madera laminada encolada. *Colombia Forestal*, 16(2):138-157. <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3918/6982>
- Macedo-Alquicira, I., & Sotomayor-Castellanos, J. R. (2021). Densidad, velocidad del ultrasonido y módulo dinámico de madera sólida y laminada de *Pinus pseudostrobus*. *Madera y Bosques*, 27(3):1-14. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2732235>
- Naruse, K. (2003). Estimation of shear moduli of wood by quasi-simple shear tests. *Journal of Wood Science*, 49(6):479-484. <http://dx.doi.org/10.1007/s10086-003-0515-0>

- Niklas, K. J., & Spatz, H. C. (2010). Worldwide correlations of mechanical properties and green wood density. *American Journal of Botany*, 97(10):1587-1594. <https://doi.org/10.3732/ajb.1000150>
- Park, S., Jeong, B., & Park, B-D. A. (2021). Comparison of Adhesion Behavior of Urea-Formaldehyde Resins with Melamine-Urea-Formaldehyde Resins in Bonding Wood. *Forests*, 12:037. <https://doi.org/10.3390/f12081037>
- Slabohm, M., & Militz, H. (2024). Bonding performance and surface characterization of cold-bonded acetylated beech (*Fagus sylvatica* L.) laminated veneer lumber. *Scientific Reports*, 14:4083. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48224-z>
- Sotomayor-Castellanos, J. R. (2020). Efecto del preservado de la madera con boro sobre el módulo dinámico (evaluación por medio de ultrasonido). *Revista Científica*, 24(1):67-76. <https://doi.org/10.46842/ipn.cien.v24n1a08>
- Sotomayor-Castellanos J. R., & Correa-Jurado, S. (2016). Retención de sales de boro en la madera y su efecto en el módulo de elasticidad dinámico. *Revista Científica*, 24(1):67-76. <https://doi.org/10.14483/10.14483/udistrital.jour.RC.2016.24.a9>
- Sotomayor-Castellanos, J. R., García-Mariscal, J. L., Hernández-Maldonado, S. A., Moya-Lara, C. E., & Olguín-Cerón, J. B. (2011). Dispositivo de usos múltiples para pruebas no destructivas en madera y materiales compuestos de madera. Ultrasonido, ondas de esfuerzo y vibraciones transversales. *Investigación e Ingeniería de la Madera*, 7(3):20-33. <https://goo.su/zzOisN>
- Sotomayor-Castellanos, J. R., Macedo-Alquicira, I., & Chávez-García, H. L. (2020). Variabilidad en las densidades, las velocidades del ultrasonido y los módulos dinámicos en tres maderas mexicanas y tres maderas japonesas. *Ingeniería y Desarrollo*, 38(2):282-299. <https://doi.org/10.14482/inde.38.2.624.15>
- StatPoint Technologies. (2010). STATGRAPHICS® Centurion XVI User Manual. 305 p. <https://www.statgraphics.net/wp-content/uploads/2015/03/Centurion-XVI-Manual-Principal.pdf>

2024 TECNOCIENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Guía para autores



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

| Dirección de Investigación y Posgrado

Política editorial

Son bienvenidos manuscritos originales e inéditos de tipo científico y tecnológico, los cuales deberán estar escritos con un lenguaje accesible a lectores con formación profesional o de interés científico en forma lógica y clara. TECNOCENCIA CHIHUAHUA, publica artículos de investigación, notas científicas y artículos de revisión actualizados *por invitación*. Todo manuscrito recibido es revisado en primera instancia por el Comité Editorial para asegurar que cumpla con el formato y contenido establecido por las normas editoriales de TECNOCENCIA CHIHUAHUA. El equipo editorial revisará que el envío cumpla con todos los requisitos de postulación, incluyendo su revisión bajo el software antiplagio iThenticate donde el porcentaje de similitud con otros trabajos deberá ser menor al 10 %. Los artículos serán enviados a revisión y una vez revisado y consideradas las sugerencias y cambios al manuscrito, los editores asociados determinarán su viabilidad para ser publicado; notificándose la aceptación o rechazo al autor. Si el manuscrito es aceptado la revista enviará el manuscrito al proceso de edición, cuyo responsable se contactará con el autor de correspondencia para la revisión y aprobación de las pruebas de galera. Así mismo, se le solicitará un resumen gráfico que describa en forma visual el contenido del artículo, además de cuatro o cinco aspectos relevantes del trabajo a publicar.

Para la evaluación de manuscritos se aplican los criterios de: rigor científico, calidad y precisión de la información, relevancia del tema y la claridad del lenguaje. Los árbitros prestarán especial atención a la originalidad de los escritos, es decir, revisarán que el manuscrito sea producto del trabajo directo del autor o autores y que no haya sido publicado o enviado algo similar a otras revistas. Los artículos de investigaciones deben presentar: un análisis detallado de los resultados originales, así como un desarrollo metodológico riguroso, resaltando los aportes científicos logrados. Las notas científicas o comunicación corta, deberán mostrar resultados novedosos, modificaciones de técnicas o desarrollo de técnicas emergentes innovadoras. Asimismo, los artículos de revisión deberán abordar temáticas novedosas y fundamentar el estado del arte en una revisión de literatura actualizada sobre temas actuales y de interés para el lector.

La revista TECNOCENCIA CHIHUAHUA proporciona un acceso abierto e inmediato a su contenido, con el principio de ofrecer al público un acceso libre a información científica original e inédita y a revisiones críticas actualizadas que favorezcan una mayor difusión global de conocimiento y cumplir así, con la normativa de acceso abierto de DOAJ.

Arbitraje

El proceso de evaluación de manuscritos es el siguiente: Un editor evaluará cada contribución, y podría rechazar trabajos en esta etapa por razones tales como: carecer de originalidad, tener serias deficiencias científicas, un uso inadecuado del lenguaje y de la gramática en general, o que el contenido esté fuera de los alcances de la revista. Los autores deberán proporcionar los datos de contacto completos de cuando menos tres árbitros potenciales adscritos a una institución distinta a la del autor, sin embargo,

la asignación de los árbitros para revisión del manuscrito será una decisión de la revista. La revista opera bajo un sistema de doble ciego y favorecerá la participación de revisores externos a la institución y al país de la revista. Tras el proceso de arbitraje, el editor emitirá un dictamen respecto a la evaluación del trabajo a los autores el cual puede ser: aceptado, aceptado con revisiones menores, aceptado con revisiones mayores o rechazado.

En caso de controversia, el Editor podrá solicitar una evaluación adicional con un tercer árbitro o dictaminar el manuscrito.

Derechos de autor

Una vez aceptado el manuscrito, se solicitará al Autor enviar el formato de cesión de derechos de autor para la difusión del artículo a TECNOCIENCIA CHIHUAHUA. Los autores concederán por escrito a la revista TECNOCIENCIA CHIHUAHUA, la propiedad de los derechos de autor, lo que permite que su artículo y materiales puedan ser reproducidos, publicados, editados, fijados, comunicados y transmitidos públicamente en cualquier forma o medio, así como su distribución en el número de ejemplares que se requieran y su comunicación pública, en cada una de sus modalidades, incluida su puesta a disposición del público a través de medios electrónicos, ópticos o de cualquier otra tecnología, para fines exclusivamente científicos, culturales, de difusión y sin fines de lucro.

Los artículos publicados en TECNOCIENCIA CHIHUAHUA, se distribuirán amparados bajo la [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional](#)

Costo y tiempo de publicación

La Revista TECNOCIENCIA CHIHUAHUA es gratuita y está financiada por la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH). Se solicita a los autores se inscriban a la Revista para estadísticas de acceso y autoría.

El tiempo para la recepción y envío a revisión será en un máximo de tres días. El tiempo promedio para la primera respuesta de los árbitros es de cuatro semanas. El tiempo estimado para la aceptación del artículo es de tres meses y su publicación dependerá de la cantidad de trabajos que estén en espera de publicación.

Contribuciones

1. Tipos de contribuciones

Las contribuciones se clasifican en artículos de investigación, notas científicas, así como artículos de revisión en español e inglés. Se aceptarán para su evaluación artículos de revisión, únicamente con *previa invitación* por parte del comité editorial de TECNOCIENCIA CHIHUAHUA.

No se aceptan contribuciones que se limiten a reportar información general sin fundamento estadístico, encuestas, composición química, u optimización de formulaciones (superficie de respuesta). Debe haber una aportación científica, tecnológica o ingenieril original, inédita y que no esté siendo considerada para su publicación simultánea en otro medio. Una descripción de los envíos se encontrará en el siguiente apartado.

2. Áreas de las contribuciones

Las áreas que abarca la Revista TECNOCIENCIA CHIHUAHUA son las siguientes: Alimentos, Biológica, Salud, Agropecuaria, Cultura Física, Ingeniería y Tecnología, Química y Recursos Naturales. Al someter su contribución se deberá indicar la categoría que le corresponde. De no ser esto posible, es responsabilidad del autor proporcionar el área sugerida de su contribución.

3. Idioma de las contribuciones

El idioma de las contribuciones será inglés o español. Se recomienda que los autores lleven a cabo una cuidadosa revisión del correcto uso del lenguaje para que los revisores puedan evaluar los méritos científicos del trabajo. Los editores podrán rechazar cualquier contribución que no cumpla los estándares.

4. Preparación y envío de las contribuciones

Es indispensable que el autor se registre para postular el manuscrito a la revista. Se recomienda que el autor complete en su totalidad todos los datos solicitados en su perfil incluyendo su identificador [ORCID](#).

¿No está registrado? [Regístrese aquí](#)

¿Ya está registrado? [Ingresa aquí](#)

Los autores, deberán seguir las directrices del sitio web de la revista para el envío de las contribuciones.

Lineamientos generales para envío de manuscritos

[Guía práctica para subir un envío a la plataforma](#)

Las contribuciones deben ir acompañadas de una carta al editor ([Carta de presentación del artículo](#)) en donde explícitamente se describirá la relevancia del trabajo, manifestando que el trabajo no ha sido publicado o está siendo considerado para

publicación en otra parte. Así mismo, se hará de manifiesto que la publicación ha sido aprobada por todos los autores y que el manuscrito una vez aceptado no será publicado de la misma forma en otra revista, en inglés, español, o cualquier otra lengua, ni electrónicamente, sin el consentimiento de la revista. Las secciones que integrarán a cada una de las contribuciones se muestran a continuación:

1) **Artículos científicos**

Se constituirán de los resultados parciales o finales de investigaciones originales fundamentadas en metodologías científicas. Los artículos de investigaciones deben presentar: un análisis detallado de los resultados, así como un desarrollo metodológico original, resaltando los aportes científicos logrados. Estos artículos se conforman de las siguientes secciones:

- a) Título del artículo
- b) Resumen/Abstract
- c) Introducción
- d) Materiales y métodos
 - Materiales
 - Métodos
 - Métodos fisicoquímicos
 - Métodos biológicos
 - Métodos estadísticos
- e) Resultados y discusión
- f) Conclusiones
- g) Agradecimientos
- h) Conflicto de interés
- i) Referencias

En la descripción de la sección de Materiales y métodos y Resultados y discusión, puede redactarse y presentarse en una sola sección o estructurarse con subtítulos para una mejor descripción. Deberá tener una extensión de 18 cuartillas como máximo, incluyendo Resumen y Referencias

2) **Notas científicas**

Es una comunicación corta, sobre resultados novedosos, modificaciones de técnicas o desarrollo de técnicas emergentes innovadoras, informes novedosos de investigaciones en el área de agropecuaria, salud, deportes o ingeniería. Para la presentación de este documento, se incluirán las secciones.

- a) Título del artículo
- b) Resumen/Abstract
- c) Texto
- d) Conclusiones
- e) Agradecimientos

- f) Conflicto de interés
- g) Referencias

El texto de las notas científicas, se presentará en forma corrida, pero en forma clara y con coherencia, que permita su fácil comprensión. Deberá tener una extensión máxima de 9 cuartillas, incluyendo Resumen y Referencias

3) Artículos por invitación

Artículos de revisión

Se conformarán, de revisiones críticas actualizadas de un tópico en especial novedoso de las áreas temáticas de la revista. El objetivo de estos artículos, es presentar al lector una perspectiva de un tema en específico, a través de su análisis de la información, discusión y tendencias. La estructura de este artículo se conformará de las secciones:

- a) Título del artículo
- b) Resumen/Abstract
- c) Introducción
- d) Texto
- e) Conclusiones
- f) Agradecimientos
- g) Conflicto de interés
- h) Referencias

El texto deberá ser coherente con el objetivo y podrá redactarse con los subtítulos que sean necesarios, para una mayor comprensión del tema. Deberá tener una extensión máxima de 20 cuartillas, incluyendo Resumen y Referencias.

Plantillas de los artículos

La descripción de las secciones están incluidas en la siguiente sección de esta Guía para Autores, además de en la plantilla para cada tipo de artículo: Artículo de Investigación: [Plantilla de Artículo de Investigación](#); Notas científica: [Plantilla de Notas Científicas](#); Artículo de Revisión: [Plantilla Artículo de Revisión](#). En estas se consideran sus especificaciones, las cuales deben ser acatadas por el autor. Asimismo, en cada una de las plantillas vienen las especificaciones del formato de texto (tamaño y tipo de fuente, márgenes, interlineado, etc.) el cual debe estar a una columna. Todas las páginas deben ser numeradas secuencialmente.

Descripción de los elementos de un artículo

Título

Deberá incluir versiones en español e inglés, ser conciso y explicar la naturaleza del trabajo. Este deberá tener una extensión máxima de 20 palabras. La plantilla incluye la sección de autores, los cuales deberán ser correctamente descritos, incluyendo su afiliación. En caso de existir varios autores, deberá indicarse con un asterisco el autor para la correspondencia, así como la cuenta de correo electrónico del mismo.

Resumen/Abstract

Éste deberá presentarse en español e inglés, respectivamente. Con la extensión máxima de palabras como se muestra en la plantilla. Este debe de incluir en forma clara el objetivo, descripción breve de la metodología, resultados y discusión relevantes conclusiones y aporte del trabajo. En éste se incluirán cinco palabras claves, en español e inglés, que permitan ligar informáticamente el contenido del artículo.

Introducción

La introducción describe el estado actual del conocimiento sobre el tópico de investigación abordado, su justificación e importancia, así como la inclusión de la hipótesis y el objetivo del trabajo. Esta sección no deberá ser mayor a dos cuartillas.

Materiales y métodos

Materiales

En esta sección se describen los materiales o sustancias empleadas para el desarrollo de la investigación. Especificando las características y fuentes de obtención, condiciones de manejo, almacenamiento y grado de pureza de sustancia o reactivos si ese es el caso. Señalando el nombre de compañías, ciudad y país donde los materiales y sustancias fueron adquiridos.

Métodos

Descripción de técnicas y procedimientos, así como el análisis de datos de los resultados obtenidos. En el caso de metodologías novedosas, estas se describirán detalladamente y cuando sean métodos comunes, se indicará la referencia correspondiente.

Ética: Cuando el artículo incluya estudios, experimentos con animales y evaluación sensorial de alimentos se deberá de incluir la sección ética correspondiente, la cual deberá describir los procedimientos seguidos y su apego a las normas, asimismo adjuntar un documento con la aprobación por el comité de bioética que corresponda.

Resultados y discusión

Los resultados y discusión se presentarán en una sola sección. Los resultados podrán presentarse en tablas, figuras, fotografías o datos, los cuales se describirán y se justificarán con base a conocimientos o fundamentos existentes. En esta sección se contrastan los resultados obtenidos con la hipótesis planteada y sus semejanzas o

diferencias con resultados de investigaciones previamente realizadas y publicadas. El empleo de tablas y figuras deberá ser en forma complementaria del texto de la sección.

Conclusión

Es una generalización de los resultados obtenidos y representan las aportaciones concretas del estudio. Incluyen magnitudes relativas o absolutas de las respuestas sin argumentación complementaria. Resaltando los aspectos novedosos e importancia de los resultados obtenidos, especificando mejores condiciones o parámetros finales del estudio. Debe mostrar congruencia con el título, resumen y objetivo del trabajo.

Agradecimientos

Esta sección es opcional y tendrá un máximo de cuatro renglones para expresar agradecimientos a personas o instituciones que hayan contribuido a la realización del trabajo.

Conflicto de Interés

Escribir un párrafo señalando la inexistencia de conflicto de intereses, en la publicación de estos resultados.

Referencias

Las referencias que se incluyan en el texto deberán ser pertinentes, originales y modernas; se citarán acorde al formato sistema Harvard, en el cual se incluye el apellido de los autores y año de la publicación entre paréntesis. En el caso de que sean dos autores irán unidos por “y” (Choi y Garza, 2020). Cuando sean más de dos autores, se citará el apellido del primero seguido por “et al.,” (en cursiva) y el año de publicación (Gu *et al.*, 2019). Si se citan varias referencias, éstas se separarán por punto y coma y en orden cronológico ascendente (Gu *et al.*, 2019; Choi y Garza, 2020). La relación de autores en la sección de referencias será por orden alfabético de acuerdo al formato APA.

IMPORTANTE: Toda vez que la referencia cuente con el registro internacional DOI debe incluirlo utilizando el siguiente formato **<http://doi.org/XXXXXX>**

A continuación, se muestran algunos ejemplos:

Artículos de revistas científicas

Braber, N. V., Vergara, L. D., Rossi, Y. E., Aminahuel, C. A., Mauri, A. N., Cavaglieri, L. R., & Montenegro, M. A. (2020). Effect of microencapsulation in whey protein and water-soluble chitosan derivative on the viability of the probiotic *Kluyveromyces marxianus* VM004 during storage and in simulated gastrointestinal conditions. *LWT*, 118, 108844. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108844>

Capítulos de libros

Ho, Y. C., Chua, S. C., & Chong, F. K. (2020). Coagulation-Flocculation Technology in Water and Wastewater Treatment. In *Handbook of Research on Resource Management for Pollution and Waste Treatment* (pp. 432-457). IGI Global.

Libros

Low, I. M. (Ed.). (2018). *Advances in ceramic matrix composites*. Woodhead Publishing.

Patnaik, A., & Patnaik, S. (Eds.). (2019). *Fibres to Smart Textiles: Advances in Manufacturing, Technologies, and Applications*. CRC Press.

Patentes

Götz, M. R., Holmgren, K., Larsson, N., Fiebich, B., & Wade, W. (2019). *U.S. Patent Application No. 16/478,514*.

Tesis

Rios, E. A. (2018). *Incidencia y control de tipos patógenos de Escherichia coli (STEC y EPEC) en leche de vaca y quesos derivados en Castilla y León* (Tesis doctoral, Universidad de León).

Boletín

Kirk, M. D., Angulo, F. J., Havelaar, A. H., & Black, R. E. (2017). Diarrhoeal disease in children due to contaminated food. *Bulletin of the World Health Organization*, 95(3), 233.

Páginas electrónicas

Inegi. (2017). <https://www.inegi.org.mx/temas/agricultura/>

Base de datos

Wishart, D. S., Feunang, Y. D., Marcu, A., Guo, A. C., Liang, K., Vázquez-Fresno, R., ... & Sayeeda, Z. (2017). HMDB 4.0: the human metabolome database for 2018. *Nucleic acids research*, 46(D1), D608-D617.

Citas la abreviación de la revista TECNOCENCIA CHIHUAHUA en los índices internacionales es *Rev. TECNOCENCIA CHIH*.

Tablas, figuras y ecuaciones, las tablas y figuras deben enviarse en un archivo adjunto al manuscrito; de preferencia en un archivo Word. O bien, crear un archivo comprimido (.zip o .rar) que contenga los archivos de tablas y figuras. Adicionalmente, las tablas y figuras del manuscrito, se colocarán dentro del texto principal en el lugar indicado por

los autores, con títulos en español e inglés. El título de la figura debe presentarse como Fig. 1. Título de la figura.

Es recomendable que las figuras se preparen con software específico. Tome en cuenta que el tamaño de las figuras se ajustará en el proceso de edición para ajustarse a los márgenes de impresión. Por ello, se recomienda hacer ejes, cuadros, etc., suficientemente grandes para que resulten legibles aún al reducir el tamaño. Las extensiones aceptables para las figuras son JEPG y TIF, considerando las siguientes características de calidad (en puntos por pulgadas):

- 300 ppp para imágenes a escala de grises o color.
- 600 ppp para combinaciones imagen texto.
- 1,200 ppp para imágenes a línea.

Las tablas deben presentar tres bordes horizontales completos (en la fila de encabezados y al final), cualquier otro borde horizontal debe ser parcial, no deben tener bordes verticales y no se aceptarán en forma de imágenes.

Las ecuaciones deben estar escritas con un editor de ecuaciones y deben aparecer en el manuscrito numeradas con el formato de número arábigo. Las ecuaciones insertadas como imágenes no son aceptables.

En el texto del manuscrito, al referirse a una ecuación debe escribirse de la siguiente manera: Ec. (1) o bien Ecs. (1) -(4), al referirse a una figura, seguir la misma regla, por ejemplo: Fig. 1, o bien Figs. (1) -(5) y al referirse a una tabla, por ejemplo: Tabla 1 o bien Tablas (1) -(3).

Figuras y cuadros (versión para producción)

Las figuras y gráficos deben proporcionarse en el texto principal y numerarse consecutivamente con números arábigos y sus subtítulos respectivos deben incluirse dentro del texto principal en el lugar indicado por los autores.

Cuando se incluyan figuras que contengan fotografías o micrografías, asegurarse que sean de alta resolución para que cada foto tenga al menos 300 ppp para imágenes a escala de grises o color. Todas las fotografías deben contener el nombre del autor.

Tablas (versión para producción)

Las tablas deben proporcionarse en el texto principal y como archivo adjunto, y numerarse con números arábigos. Deben estar incrustados en el texto del manuscrito, en el lugar indicado por el autor. Las tablas deben prepararse con Microsoft Word® 2007 o posterior; no deben importarse de Excel® o Powerpoint®, y deben:

- a) Tener un número y un título (en inglés y en español)
- b) Sea auto-explicable

- c) Tener los dígitos significativos con la desviación estándar definidos de acuerdo con el criterio estadístico
- d) Mostrar datos que no se muestran en los gráficos
- e) Tener el formato más simple posible; no está permitido el uso de sombras, color o filas verticales y diagonales
- f) Solo tienen letras minúsculas en el superíndice que indiquen notas al pie de tabla (abreviaturas, unidades, diferencias estadísticas, etc.). Un ejemplo de tabla se muestra en los formatos de "[Plantillas de artículos](#)"

Abreviaturas, los nombres científicos se escribirán en cursivas, el género de la especie podrá abreviarse después de que se mencione por primera ocasión en el texto. Las unidades de cualquier dato científico o de laboratorio deberán seguir el sistema internacional de medidas y usar las abreviaturas o símbolos recomendados por las normas internacionales. No deberá usarse punto en las abreviaciones Ej.: kg (NO kg.). Se utilizará espacio entre la cantidad y la unidad o símbolo Ej. 8 cm, 100 %. Las notas a pie de página deberán ser evitadas.

Material adicional, si los autores lo desean, pueden proporcionar material adicional o complementario como soporte al artículo (texto, tablas, figuras o multimedia), el cual estará disponible en la página web de la revista una vez que sea publicado. Si el manuscrito ha sido aceptado, también se le solicitará al autor un resumen gráfico y los puntos relevantes del trabajo. El resumen gráfico debe describir en forma general el contenido del artículo, este resumen debe tener las siguientes características: archivo editable en diapositiva de Powerpoint, NO usar datos, tablas o figuras contenidos en el artículo, contener figuras libres de restricciones de derechos de autor, debe incluir un resumen que incluya de dos a tres enunciados donde se describe los antecedentes, como fue realizado el trabajo y los principales resultados. Los puntos relevantes del trabajo, deberán ser cuatro aspectos alcanzados, presentados en forma de enunciado con un máximo de 80 caracteres con espacios.

Los archivos que el autor deberá preparar para el envío serán:

([Formatos](#))

El texto principal del manuscrito debe presentarse de la siguiente manera:

1) El manuscrito en Word para producción

Este archivo, corresponde a las "[Plantillas de artículos](#)" presentadas en esta guía de autores, cuyas características de formato se muestran a continuación.

- Formato Microsoft Word® 2007 (o posterior)
- 10 puntos Palatino Linotype
- Espaciado especificado en la plantilla

- Texto completo del manuscrito (extensión de acuerdo al tipo de manuscrito)
- Las figuras, cuadros, tablas, ecuaciones y sus respectivos títulos deben estar incorporados en el texto principal en el lugar indicado por los autores
- Las páginas deben estar numeradas secuencialmente
- La carta de presentación debe presentarse por separado
- La página principal debe incluir los nombres e instituciones de los autores
- El archivo deberá llamarse “**Apellidos autor producción**”.doc.

2) En el manuscrito en Word para revisión

Este archivo es una copia del **manuscrito en Word para producción** pero se editará **sin** los nombres de los autores e Instituciones para enviar este archivo cegado a revisión con los árbitros.

Este archivo deberá ser nombrado “**Apellidos de autor revisión**”.doc: versión para evaluación del revisor. Las características de formato incluyen las siguientes especificaciones:

- Las líneas del texto al igual que las páginas deben estar numeradas secuencialmente
- **No debe incluir** los nombres e instituciones de los autores ni en la página principal del manuscrito, ni en la información del archivo

3) Carta de presentación de artículo o autoría.

La carta de presentación del manuscrito ([Carta de presentación del artículo](#)) debe incluir la relevancia e importancia del trabajo (un breve texto que describa la relevancia del trabajo de investigación o artículo de revisión de manera concisa (con no más de 100 palabras). Además, incluirá la declaratoria de que el documento presentado no ha sido publicado (parcial o totalmente) ni ha sido sometido a arbitraje simultáneamente en otra revista. Haciendo constar que cuenta con la aprobación para su publicación por los autores y coautores.

4) Los archivos de Tablas y Figuras para producción (especificaciones que se describen en la **sección de Tablas, figuras y ecuaciones** en esta guía)

5) Resumen gráfico (características descritas en la **sección de Material adicional** en esta guía)

Después de verificar el estilo de formato (acorde a la plantilla y especificaciones en esta guía de autores) y crear los archivos de acuerdo a las especificaciones presentadas, continúe con el envío en línea.

¿No está registrado? [Regístrese aquí](#)

¿Ya está registrado? [Ingresa aquí](#)

Una vez registrado en la plataforma de la revista, entrar y dar clic en 'Nuevo envío', después seguir las instrucciones y completar cada una de las 5 pestañas del envío.



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Dirección de
Investigación y Posgrado



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA
ESTADIO OLÍMPICO UNIVERSITARIO
'JOSÉ REYES BAEZA'



TECNOCENCIA CHIHUAHUA
Revista de ciencia y tecnología