



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Dirección de
Investigación y Posgrado

VOLUMEN XV | NÚMERO 1 | PUBLICACIÓN CONTINUA 2021



TECNOCIENCIA CHIHUAHUA

Revista de ciencia y tecnología

Indizada en





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

Directorio Institucional

M.E. Luis Alberto Fierro Ramírez

Rector

M.A.V. Raúl Sánchez Trillo

Secretario General

M.E.A. Alfredo Ramón Urbina Valenzuela

Director de Investigación y Posgrado

M.A. Herik Germán Valles Baca

Director Académico

M.L. Ramón Gerónimo Olvera Néder

Director de Extensión y Difusión Cultural

M.C. Francisco Márquez Salcido

Director Administrativo

M.I. Ricardo Ramón Torres Knight

Director 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. (SNI 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. (SNI III)

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

ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

Dr. Benjamín Ramírez Wong

Dr. José Alberto Gallegos Infante

Dr. José Rafael Minjares-Fuentes

Dra. María Marcela Rodríguez

Dra. Valeria Soledad Eim Iznardo

Efrén Delgado, Ph.D.

Dra. Elizabeth Carvajal Millán

Dr. Fernando Martínez Bustos

Dr. León Raúl Hernández Ochoa

Dr. José de Jesús Zazueta Morales

Dr. Diego Bautista Genovese

Dra. Aracely Ochoa Martínez

Dra. Deborah Murowaniecki Otero

Dr. René Renato Balandrán Quintana

Nancy Flores Ph.D.

Universidad de Sonora

Instituto Tecnológico de Durango

Universidad Juárez del Estado de Durango

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Universidad de las Islas Baleares, Islas Baleares, España

New Mexico State University, Las Cruces, NM USA

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.

CINVESTAV, Unidad Querétaro

UACH

Universidad Autónoma de Sinaloa

Planta Piloto de Ingeniería Química-CONICET, Bahía Blanca Argentina

Instituto Tecnológico de Durango

Universidade Federal da Bahia. Salvador, Bahía, Brasil.

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo

New Mexico State University, Las Cruces, NM USA

AGRICULTURA Y AGROPECUARIA

Dr. Gerardo Méndez Zamora

Dr. Iván Adrián García Galicia

Dr. Guillermo Fuentes Dávila

Dr. Víctor Arturo González Hernández

Dra. Yolanda Salinas Moreno

Dr. Concepción Luján Álvarez

Dra. Daniela D. Herrera Balandrano

Universidad Autónoma de Nuevo León

UACH

INIFAP

Colegio de Posgraduados

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

UACH

Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, China

QUÍMICA Y BIOLOGÍA

Dr. Eleuterio Burgueño Tapia

Dra. Luz Estela González de Bashan

Dra. Blanca Gladiana Beltrán Piña

Nadezhda Traycheva Petkova, Ph.D.

Dr. Ricardo Vázquez Juárez

Dra. Carmen Oralia Meléndez Pizarro

Dr. Alejandro A. Camacho-Dávila

Dr. David Morales Morales

Prasenjit Ghosh, Ph.D.

Dr. René Rojas Guerrero

Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

UACH

Department of Organic Chemistry and Inorganic Chemistry, Bulgaria.

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

UACH

UACH

Universidad Nacional Autónoma de México

Indian Institute of Technology Bombay, India

Pontificia Universidad Católica de Chile

SALUD Y CULTURA FÍSICA

Dr. Julio Cesar Guedea Delgado

Dr. Julián Esparza Romero

Dra. Carolina Jiménez Lira

Dra. Irene Leal Solís

Dra. Jazmín Leticia Tobías Espinoza

Dr. Arnulfo Ramos Jiménez

Dra. Silvia Giono Cerezo

UACH

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C

UACH

UACH

UACH

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Instituto Politécnico Nacional

INGENIERÍA Y RECURSOS NATURALES

Dr. Francisco Paraguay Delgado

Dr. Vladimir Villarreal Contreras

Dr. Jesús Darío Landa Silva

Dr. Aldo Jonathan Muñoz Vázquez

Dr. Humberto González Rodríguez

Centro de Investigación en Materiales Avanzados

Universidad Tecnológica de Panamá

School of Computer Science, University of Nottingham, UK

Texas A&M University, College Station, USA

Universidad Autónoma de Nuevo León

Dra. Mélida Gutiérrez

Missouri State University, USA

Dr. Luis Fernando Gaxiola Orduño

UACH

Dr. Roberto Narro García

UACH

TECNOLOGÍA

M.C. Ricardo Talamás Abbud

UACH

TECNOCENCIA CHIHUAHUA. (Vol. 15 Núm. 1 Enero-Abril, 2021) Es una publicación continua, editada por la Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Chihuahua. (C. Escorza núm. 900, Col. Centro, Chihuahua, Chihuahua, México. C.P. 31000, <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia>, tecnociencia.chihuahua@uach.mx) Editor responsable: Armando Quintero Ramos. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2018-070312595700-203, ISSN 1870-6606, ISSN-e: En trámite otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Dirección de Investigación y Posgrado.

Fecha de la última modificación: abril de 2021. Teléfono: (614) 4 39 18 22. Ext. 2222



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA



CONTENIDO

Definición de la revista

6

Salud

Diagnosis of health and safety at work in a Fire Station located in Chihuahua, Mexico

e 754

Diagnóstico de salud y seguridad en el trabajo en una Estación de Bomberos ubicada en Chihuahua, México

Sergio González-González, Rosa O. Ramírez-Fraire, Adriana Chávez-Calderón, Eduardo Santellano-Estrada, Blanca Gladiana Beltrán-Piña

Methanol detection in commercial sanitizing gels, during the COVID-19 Pandemic

e 761

Detección de metanol en geles desinfectantes comerciales, durante la pandemia COVID-19

Luis de la Torre-Sáenz, Daniel Lardizábal-Gutiérrez, Ivanovich Estrada-Guel, Francisco Paraguay-Delgado

Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable

Síntesis quimioenzimática de ésteres metílicos de ácidos grasos a partir de aceite residual y cálculo de sus parámetros fisicoquímicos

e 755

Chemoenzymatic synthesis of fatty acid methyl esters from residual oil and its physicochemical parameters calculation

Alejandro Sustaita-Rodríguez, Martha Graciela Ruiz-Gutiérrez, Víctor Hugo Ramos-Sánchez, Blanca Gladiana Beltrán-Piña, León Hernández-Ochoa, David Chávez-Flores

Agropecuaria

Producción de Kale en diferentes sustratos bajo condiciones de invernadero

e 757

Production of Kale in different substrates under greenhouse conditions

Jordan Ordaz-Gallegos, Julio Sánchez-Escudero, Jonathan Edilberto Marquez-de la Cruz, Iván Cabanzo-Atilano, María De Las Nieves Rodríguez-Mendoza

Cultura Física

HIIT in a treadmill for people with overweight or obesity: a systematic review

e 789

HIIT en banda sinfín para personas con sobrepeso u obesidad: una revisión sistemática

Claudia I. Herrera-Covarrubias, Lidia G De León, Ramón Candia-Luján, Briseidy Ortiz-Rodríguez, Claudia E. Carrasco-Legleu

DEFINICIÓN DE LA REVISTA

TECNOCENCIA 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 TECNOCENCIA 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 TECNOCENCIA 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 Latindex, Periódica. La revista cuenta con el DOI (Digital Object Identifier) a través de la organización internacional Crossref.

Artículo Científico

Diagnosis of health and safety at work in a Fire Station located in Chihuahua, Mexico

Diagnóstico de salud y seguridad en el trabajo en una Estación de Bomberos ubicada en Chihuahua, México

Sergio González González¹, Rosa O. Ramírez Fraire², Adriana Chávez Calderón², Eduardo Santellano Estrada³ y Blanca G. Beltrán^{2*}

¹Pondercel S.A. de C.V., Anáhuac Mill/Grupo Copamex, Anáhuac, Chihuahua, México. C.P. 31600.

²Department of Occupational Health, Faculty of Nursing and Nutriology, Autonomous University of Chihuahua, Chihuahua, Campus UACH II, Chihuahua, México. C.P. 31125.

³Faculty of Zootechnics and Ecology, Autonomous University of Chihuahua, Periférico Francisco. R. Almada Km 1. Chihuahua, Chihuahua, México. C.P. 33820.

*Correspondencia: Correo Electrónico bbeltran@uach.mx (Blanca G. Beltrán)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i1.754>

Recibido: 15 de enero de 2021; **Aceptado:** 03 demayo de 2021

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

Abstract

This research presents a diagnosis of safety and health at work based on the Italian Worker's Model, for the identification of occupational risk factors of 10 firefighters from Chihuahua, Mexico. The study variables were: noise, hearing threshold (UA by its acronyms in Spanish), suspended particles, weight, and body mass index (BMI). The REBA method was employed to detect ergonomic risks in ascending-descending to the fire unit. Psychosocial demands were evaluated through DAAS 21 instrument. The level of correlation among hearing threshold (UA), seniority, age, and BMI were analyzed. The noise exceeded the Maximum Permissible Level (MPL) established by the Mexican standard. Firefighters with mild to moderate hearing loss were detected. All the firefighters except one were overweight and obese (BMI = 23 to 30). There was no correlation between BMI and UA, which indicates the condition of overweight and obese are not associated with the firefighters' hearing loss. The concentration of PM_{2.5} and PM₁₀ particles was found within the MPL. The ergonomic risk was categorized from medium to very high. The results of the DASS 21 for each worker showed the presence of moderate stress, moderate anxiety, and severe anxiety. The research provides scientific evidence that shows occupational risk factors and helps to take preventive measures.

Key words: Italian Worker's Model, firefighters, occupational risk factors, working conditions, safety and health at work.

Resumen

Esta investigación presenta un diagnóstico de seguridad y salud en el trabajo basado en el Modelo Obrero Italiano, para identificación de factores de riesgo ocupacional en 10 bomberos de Chihuahua, México. Las variables de estudio fueron: ruido, pérdida auditiva, partículas en suspensión, peso e índice de masa corporal (IMC). Se empleó el método REBA para evaluar riesgos ergonómicos. Las demandas psicosociales se valoraron mediante el DAAS 21. Se analizó el nivel de correlación entre umbral de audición (UA), antigüedad, edad e IMC. El ruido excedió el Máximo Nivel Permitido (MPL) establecido por norma mexicana. Se detectaron bomberos con hipoacusia leve a moderada. Todos los bomberos, excepto uno, tenían sobrepeso y obesidad (IMC = 23 a 30). No existió correlación entre IMC y UA, lo que indicó que la condición de sobrepeso y obesidad no está asociada a la hipoacusia de los bomberos. La concentración de PM_{2.5} y PM₁₀ estuvo dentro del MPL. El riesgo ergonómico se categorizó de medio a muy alto. Los resultados del DASS 21 para cada trabajador mostraron la presencia de estrés moderado, ansiedad moderada y severa. La investigación brinda evidencia científica que muestra factores de riesgo ocupacional y coadyuva a la toma de medidas de prevención.

Palabras clave: Modelo Obrero Italiano, bomberos, factores de riesgo ocupacional, condiciones de trabajo, seguridad y salud en el trabajo.

1. Introduction

In occupational health, firefighting is classified as a high-risk activity because it takes place in dangerous environments and conditions. It might cause a permanent disability, injuries in different parts of the body, hearing loss, burns, and muscle contractions, respiratory damages due to exposures to leaks of hazardous chemical compounds, combustion, and deadly gases (Guidotti & Clough, 1992; Díaz *et al.*, 2016; Prell *et al.*, 2020). More than 50% fire-related deaths are due to the exposure to smoke not due to burns. There are mortal accidents of firefighters caused by the collapse of architectural elements that sometimes block the possible evacuation routes during a disaster (Barr *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2014). The firefighter's brigade, between the general working population, frequently shows symptoms related to stress, headache, sleep disorders, fatigue, and irritability (Duran *et al.*, 2018). The working conditions of firefighters are most distinctive among the working population because of the 24-hour work shifts, the quasi-military work organization, and the pattern of generally routine firehouse-based activities interspersed with unpredictable calls for emergency medical care or to fight structural or wildland fires.

In addition to the factors mentioned above, obesity is a firefighter's risk factor, which has been linked to increased hearing thresholds. The body mass index (BMI) is a measure of body composition. Overweight and obesity are associated with an increased risk of hearing loss, and metabolically unhealthy obesity may confer additional risk (Choi *et al.*, 2011; Hu *et al.*, 2020). Hearing loss contributes to social isolation, depression, and possibly dementia risk (Croll, 2019). Firefighters are exposed to other demands such as disaster missions, rescue services, as well as firefighting in extremely hot and hostile environments (Prell *et al.*, 2020). Due to the firefighter's brigade, before the general working population, they frequently show symptoms related to stress, headache, sleep disorders, fatigue, and irritability (Duran *et al.*, 2018). The Depression, Anxiety, and Stress Scale (DASS 21), evaluates these negative effects.

Due to health and safety implications in firefighting, new research needs to be conducted to examine how firefighters' task characteristics and their work demand influence the development of work-related musculoskeletal disorders (Kodom-Wiredu, 2019). Currently, research models are used to contribute to the knowledge base about the ergonomics of firefighting, in particular to find the multi-variate demands of the job and the attributes and capabilities of operators to cope with these demands (Gentzlez, 2010). The work-related musculoskeletal disorders imply a wide range of inflammatory and degenerative conditions affecting muscles, tendons, ligaments, joints, peripheral nerves, and supporting blood vessels (Kodom-Wiredu, 2019). Regarding ergonomy, the method Rapid Entire Body Assessment (REBA), allows the analysis of adopted positions by upper body limbs (arm, forearm, wrist), trunk, neck, and legs.

Firefighters are exposed to a wide range of toxic chemicals due to combustion (volatile organic compounds, semi-volatile organic compounds, and metals) (Engelsman *et al.*, 2020). On the other hand, firefighters may be exposed to diesel exhaust, which is classified as a Group 1 carcinogen by the International Agency for Research on Cancer (IARC) and particulate matter (PM) from vehicles and off-gas (volatile organic compounds (VOCs), formaldehyde, among others) emitted from idling vehicles and firefighting equipment, such as clothes, boots, and gloves, from the fire scene (Kim *et al.*, 2019).

Due to the complexity in the administrative organization and its work processes, it is hard to evaluate the multiple risks and demands to which firefighters are exposed. There are discrepancies between the international standard and the health and safety regulations of each country (Ehlers *et al.*, 2015; Alvarez *et al.*, 2016; Duran *et al.*, 2018; Cohen *et al.*, 2019; Prell *et al.*, 2020).

From this point of view, the objective of this research was to perform a diagnosis of safety and health at work based on the Italian Worker's Model, for risk identification and the determination of physiological and psychological demands in a fire station in Chihuahua, Mexico.

2. Materials and Methods

2.1. Subjects and design

This was an exploratory, cross-sectional study. It involved ten firefighters from a fire station located in the city of Chihuahua, Mexico. All of them aged between 27-47 years old having a traditional or rotating work schedule. The study protocol was evaluated by the Institutional Review Board of the Faculty of Nursing and Nutriology, at the Autonomous University of Chihuahua, Chihuahua, Mexico, according to the Declaration of Helsinki. The data was recollected in the year 2019.

2.2. Instruments and evaluations

2.2.1 Italian Worker's Model and the PROESSAT survey

The Italian Worker's Model, recognizes the collective intelligence of the workers as experts regarding to working conditions and it operates under three fundamental values: working experience, consensual validation and the non-delegation (Marín & Pico, 2004). The risks are studied in three groups: physical (I), chemical and biological (II), and mechanical (V); and the demands in two groups: physiological (III) and psychological (IV) (Noriega, 1995). They originate from the different compound elements that make up the process work: in work environments, objects, activity, organization, and work division (Voguel, 2016). The Italian Worker's Model has two basic instruments: I) Collective survey: it collects information, elements, and organization, through the guide for the study of the labor process and the group questionnaire; II) Risk map: it is

the visual representation through drawings, schemes, diagrams or any similar form of the results from the research (Zarate-Amador, 2013).

Its application began with the recognition of the work process and some of the places where the workforce carried out their activities. The homogeneous group was conformed. A deep interview based on the questionnaires that make up the instrument within the working hours, was conducted, using a PowerPoint presentation to visually present the questionnaires. The participations were audio recorded to ease the analysis of the information. The procedure included eight sessions of three hours each within the working day and with informed consent, being the recordings eliminated after their capture.

An epidemiological type survey such as the "Workers' Health Evaluation and Monitoring Program" in Mexico (PROESSAT by its acronyms in Spanish), was used to capture the demographic, social, risks, demands, and health issues (Balderas-López, 2019). The PROESSAT survey identifies the presence of symptoms that allow make up presumptive diagnoses of various health damages, including mental, psychic, psychosomatic disorders, and musculoskeletal. The printed form of the PROESSAT survey was given to the firefighters who voluntarily participated in its filling.

2.2.2 DASS 21 instrument

The DASS 21 instrument has the advantage of being a self-report instrument; short, easy to answer with valuable psychometric properties (alpha values from 0.87 to 0.88 for depression, between 0.72 and 0.79 for anxiety and from 0.82 to 0.83 to stress) in several studies (Elbay et al., 2020; Jian et al., 2020). It was done in writing, each item is answered according to the presence and intensity of each symptom, on a Likert-type response scale of 0 to 3 points. Each scale has seven items and its total score varies between 0 and 21 points to know the levels of stress, anxiety, and depression (Elbay et al., 2020).

2.2.3 Noise Measurements

The noise coming from the Ford Model 1982 extinguishing class was evaluated, in its different sirens; truck in moto-pump phase (in areas of the control panel and water intakes); fan noise and hydraulic tool motor. A total of 180 measurements were executed by generating source. The integrating sound level meter was used (SoundPro™ Datalogging, 3 M brand, US) following the recommendations of the Mexican regulation (NOM-011-STPS-2001).

2.2.4 Audiometry study and BMI calculations

It was carried out based on the method of American Medical Association (AMA), to know the auditory sensitivity of the firefighters. The auditory canal was examined with a stethoscope, to verify that the ducts were free and there was not any inflammation or pathology. The participant had to stay 15 minutes previous to the trial, outside of a noisy environment and without making major physical efforts. It was played only the audiometry tone in a cabin with an INVENTIS instrument (model Bell basic/plus AU1D-31, US). The data was processed by a DAISY Inventis Software computer. The firefighter responded to the auditory impulses he perceived by pressing a button. The frequencies evaluated were 250, 500, 1000, 2000, 4000, 6000, 8000 Hz. Then, it was proceeded to weigh and measure the participant's height, to calculate their body mass index (BMI).

2.2.5 Measurements of gases and suspended particles

It was performed in three different areas: machines room, out-of-room station, and the living room. In the mobile unit 871, three measurements of 15 minutes were executed, placing the environmental monitor at 1.5 meters from the exhaust of the mobile unit, simulating the distance and height at which the personnel are at the time of work. The instrument used was a 3M™ EVM-7 air and particle quality monitor, US. The density of the evaluated particles was 2.5 and 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ and the toxic gases selected for the environmental measurements were: dioxide and monoxide carbon (CO_2

and CO), acetaldehyde, propaldehyde and volatile organic compounds (VOC), such as: chlorobenzene, formaldehyde, toluene, and benzene. Based on what is established in the Mexican regulations NOM-010-STPS-2014 and NOM-025-SSA1-2014 (NOM-025-SSA1-2014 & NOM-010-STPS-2014), the data analysis was carried out.

2.2.6 Ergonomics analysis

The REBA applications are related to preventing injury risks, which are associated with the posture, mainly of the musculoskeletal type, indicating corrective actions. It is the result of cooperative work carried out by teams of ergonomists, physiotherapists, and nurses after identifying/analyzing around 600 working postures (Hita-Gutiérrez *et al.*, 2020).

Two work activities were considered: approaching the unit and rolling hoses, which are carried out regularly for the workday and marked as potentially harmful by the worker, due to uncomfortable positions adopted and repetitiveness. It was observed the ascent-descent of the personnel to the unit and techniques of rolling hose in the ground, during 72 hours to be registered and evaluated in photos and video. The information was processed in an Excel spreadsheet, the degrees of inclination of joints, extra loads, and sudden movements were evaluated to quantify the level of risk in the adopted positions. The risk factors evaluated are: static muscular works, important postural changes, repetitive movements, obtaining punctuation, level of action, risk and required action.

2.3. Statistical analysis

Data were presented characterized in their central tendency and dispersion through the mean $\pm$ SD (standard deviation), respectively. Additionally, and assuming the data distribution was normal the Pearson correlation between pairs of variables was obtained. The most frequently used α values are: 0.01, 0.05, and 0.10 (Wayne, 2005). The p-value or significance level of 0.1 was stipulated at the authors' discretion. The SAS 9.1 (SAS, 2006) software was used in the analysis.

3. Results and Discussion

3.1. Diagnosis of safety and health at work

In México, there is not much information available in this regard, partly because firefighters only have initial medical assistance (medical consultation) within the services allowed by the Mexican Institute of Social Security (IMSS by its acronyms in Spanish), but workplace risks and accidents are addressed by the State Health Department, as this institution is not obliged to generate statistics for occupational diseases, it is difficult to have concrete figures (Meléndez-López *et al.*, 2018).

Other relevant problems are the lack of financial resources for the payment of salaries similar to purchase and equipment, and more training. All of the above affects fire departments with very few personnel, since, in certainty, this public service becomes an altruistic endeavor rather than a job (Bárcenas-Castro & Aguilera, 2012). The subjective identification of the risks and demands through the Italian Worker's Model questionnaires, are presented in Figure 1. The application of the PROESSAT survey allowed describing the generalities of the study population and allows the calculation of a risk percentage. The age range was around 27-44 years old, with an average of 37 years. The working seniority varies around 4-23 years, 50% of the firefighters present a high domestic load index and 100% is identified and proud of their work. Both methodologies were in agreement with the individual characterization of the physical risks (sudden changes in temperature, poor lighting, and humidity), chemical risks (dusts, fumes, and gases or vapors), and physiological demands (awkward positions and musculoskeletal disorders) and psychosocial

demands (high concentration, meticulous tasks, night work, strict supervision, rescue of people in danger). Regarding worker's health it was identified damages to the musculoskeletal and respiratory system and other symptoms such as physical fatigue, depression and anxiety, sleep disorder, migraine, and low back pain were identified. Most of the activities of the firefighters are carried out outside the facilities, which makes it difficult to graphically represent the risks and demands in a static and geographically located plane. Therefore, it was not possible to design a risk map.

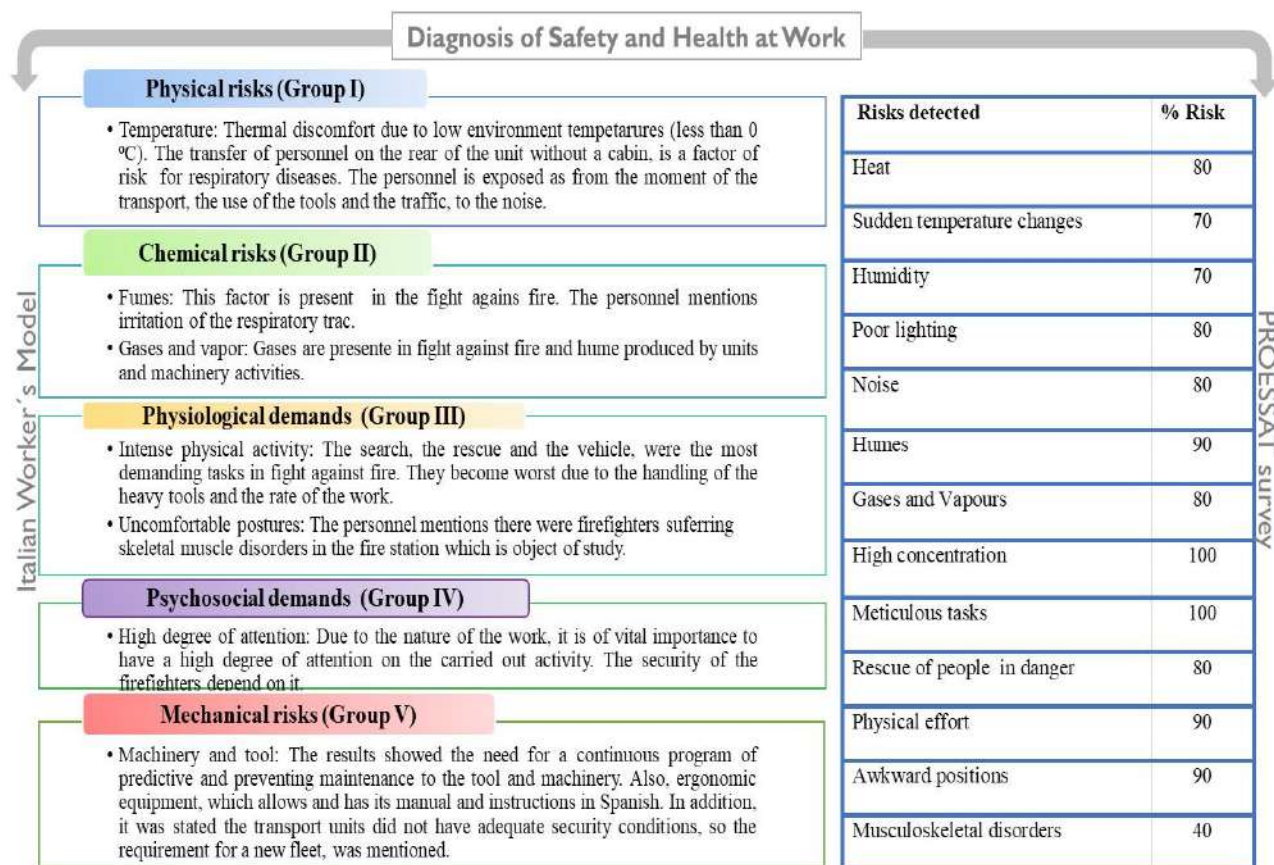


Figure 1. Subjective identification of risks and demands through the Italian Worker's Model and PROESSAT survey.

Figura 1. Identificación subjetiva de riesgos y demandas mediante el Modelo Obrero Italiano y la encuesta PROESSAT.

This research performed a diagnosis of safety and health at work based on the Italian Worker's Model and PROESSAT survey for the identification of risks at a fire station in Chihuahua, Mexico. The main risks and demands found are related to other studies, where five large risk areas for firefighters are mentioned: exposure to hazardous substances, ergonomic factors and of physical load, exposure to noise, psychosocial aspect and exposure to biological and chemical risks (Duran *et al.*, 2018; Prell *et al.*, 2020).

3.2. The DAAS 21 results

The DASS21 measurements were realized as follows: The instrument has 21 items, with four response alternatives in Likert format, which range from 0 ("It does not describe anything that happened to me or I felt during the week") to 3 ("Yes, this happened to me a lot, or almost always"). To answer, the slogan establishes to indicate to what extent the sentence describes what happened or felt the person during the last week. This instrument has the advantage of being a self-reporting scale, short, easy to administer and answer, and its interpretation is simple. The obtained results for stress (6.9-10.4), anxiety (5.3-5.4) and depression (2.5-2.8), are within the normal range for the three scales (0-14, 0-7, 0-9 for stress, anxiety, and depression, respectively) in a general analysis. However, six of the participants presented moderate stress, three mild anxieties and another one severe anxiety. These results were similar to those obtained with the PROESSAT in its section Assessment of Risk and Demands. The psychosocial risk assessment was carried out by a student with a master's degree in Occupational Health and he is not a specialist in the administration of psychological tests, which requires making recommendations that are not of such a specialized interpretation. The results must be expressed simply and clearly to the company management since psychosocial risks related to working concern aspects of work management, social and organizational contexts, with the ability to generate psychological or physical damage. Psychosocial risks cannot, analysed as environmental measurements rather than individual measurements (psychological attributes). The individual results for each worker's DASS 21 scale show the fact that six firefighters had moderate stress, three firefighters had moderate anxiety and one firefighter had severe anxiety, that is to say, these three pathologies are present even though the DASS-21 general analysis scale does not detect them. Besides, health damage analysis (PROESSAT survey) also showed physical fatigue, depression, stress, anxiety, sleep disorder, and migraine. From these points of view, it was possible to determine that psychosocial risks were present in the firefighters' sample. This fact was important due to these pathologies: stress, anxiety, and depression. Their consequences are the core point of interest for understanding psychosocial risk factors because their repercussions on both health and productivity (Vilchis-Rea & López-Hernández, 2017; Balderas-López *et al.*, 2019; Uribe *et al.*, 2020).

3.3. Noise

The results of the measurements made to unit 875 with a normal operation management, where the sound levels and the different sirens of the engine were evaluated, are shown in Table 1. The exposure time will depend on the distance of the service and the number of the emergencies required during the day. The exposure to the noise is considerable inside and outside the cabin. The noise results for the unit 871 with the revolutionized engine and the water pressure pump activated was 83.7 ± 0.2 dB (A), evaluated at the floor level in water intake area. In the control panel it was 81 ± 0.8 dB (A), areas where the machinist operator does his work. The evaluation of the noise generated by the fan, used in the cooling or extraction of air, is performed both, indoors and outdoors, the results were 95.3 ± 2.3 dB (A) and 93.2 ± 2.8 dB (A), respectively. The hydraulic tool motor for extraction generates 81.3 ± 0.7 dB (A).

Table 1. Noise measurements performed to the unit 871.**Tabla 1.** Mediciones de ruido realizadas en la unidad 871.

Measurement area	Running engine dB(A)	Sirens Wail dB(A)	Sirens Yelp dB(A)
Inside the cabin	73.8 ± 4.9	94.3 ± 1.6	94.3 ± 1.6
Outside seats	75 ± 4	94.7 ± 1.4	94.5 ± 1.1

Note: Results were expressed as the average of 180 replicas ± Standard Deviation.

The results of noise measurements are consistent with what has been reported in other researches where it is indicated firefighters are frequently exposed to high levels of noise from various sources: vehicle sirens, horns, machine and tool motors. Levels of more than 100 dB (A) can be reached in the response to emergencies (Alvarez *et al.*, 2016; Cohen *et al.*, 2019). In this research, the noise values exceeded the maximum limits allowed by the Mexican standard (NOM-011-STPS-2001). Exposure to noise at work can be harmful to health from the workers. The best-known effect of noise at work is hearing loss. However, it can also increase stress and multiply the risk of an accident.

3.4. Audiometry

Choi *et al.*, (2011) presented a theoretical framework describing the relationship between working conditions, health behaviors, and obesity in firefighters. However, the associations between working conditions of firefighters and obesity, and the relationships between working conditions and health behaviours for obesity in firefighters remain to be clarified.

There are diverse factors such as overweight, obesity, age, and time of exposure to noise appears, that influence the hearing loss. Table 2 shows the results of the audiometry (applied to nine firefighters) their age, BMI, labor seniority, the hearing threshold obtained and their categorization according to the World Health Organization (WHO). The results of the measurements showed that there is hearing loss among the studied firefighters and a low hearing of the personnel in the frequencies of 4000–6000 Hz. This phenomenon shows that the ear has a higher difficulty for a post occupational recovery. On the other hand, the level of linear association between the measured variables was analyzed, considering a significant correlation at a level of 0.1, since, the sample of firefighters is small. Table 3 shows coefficients correlation between the hearing threshold (UA), seniority, age and BMI.

Table 2. Results of the audiometry study.**Tabla 2.** Resultados del estudio de audiometría.

Firefighter	Age (years)	BMI*	Seniority (years)	UA* dB (A)	Hearing loss levels WHO
1	46	22.3	25	40	mild
2	42	32.1	18	65	severe
3	42	30.4	9	25	normal
4	40	26.8	4	15	normal
5	42	27.4	13	35	mild

6	42	29.1	13	35	mild
7	27	42.8	4	20	normal
8	35	29.7	4	20	normal
9	44	31.8	6	45	moderate

*BMI= body mass index; UA= hearing threshold.

There was a strong direct linear association ($r = 0.65$, $p = 0.0574$), between the labor seniority of firefighters and UA. It means, being firefighters as their years of service increases their auditory level decreases in a high proportion, being that their UA are increasing. Likewise, a positive correlation between the variables "Age" and "Seniority" was found ($r = 0.72$, $p = 0.074$). As firefighter's age increases, so will their seniority. Moreover, there is not enough statistical evidence, but it does exist a trend between the correlation of the variables "Age" and "UA" ($r = 0.53$, $p = 0.14$). Which suggests that for this study and under the conditions, in which the same is carried out, age can be or not, a risk factor for suffering hearing loss. A similar behaviour ($r = 0.54$, $p = 0.13$) occurs between the variables "BMI" and "seniority," that is to say, the younger firefighters with a less seniority present a higher BMI.

Table 3. Correlation Analysis.

Tabla 3. Análisis de correlación.

Ratio of Variables	Significance Level (p)	Correlation Coefficient (r)	Linear Association
Seniority-*UA	0.058	0.65	yes
Age-UA	0.14	0.53	Tendency
BMI-UA	0.76	-0.11	no
Age-Seniority	0.074	0.62	yes
BMI-Seniority	0.13	-0.54	Tendency
Age-BMI	0.0085	-0.80	yes

*BMI= body mass index; UA= hearing threshold.

Finally, it did not exist a linear correlation between the "BMI" and the "UA" ($r = 0.11$, $p = 0.76$). Which indicates that the condition of overweight and obesity (BMI) is not associated with the firefighters' hearing loss.

The firefighters show hearing loss and low hearing at frequencies of 4000 and 6000 Hz. Researchers agree on the fact there is a greater hearing loss after the sixth year of exposure and a loss in hearing acuity at the highest frequencies between 3000 Hz and 6000 Hz, in particular, around 4000 Hz (Bufano, 2013), that is, as firefighters increases their years of service, their hearing level decreases.

In this study and under the conditions in which it takes place, age can be or not a factor of risk for suffering hearing loss (there was a trend between age and UA variables). Despite this, the natural aging of the ear by age must be taken into account, which will affect each individual in a different way (Hong *et al.*, 2013), because, the hearing loss related to aging is a biological phenomenon of the ear which no one can escape, beginning around 20 to 30 years of age and it appears symptoms at 50 to 60 years of age. Therefore, it could be considered as a natural condition that increases its prevalence with age (Díaz *et al.*, 2016).

The BMI was calculated and used as an indicator for obese and overweight, conditions can affect the metabolism of glucose in the body causing internal ear dysfunction with damage to hearing and

balance (Fernández *et al.*, 2011). Due to obesity has a significant effect on vascular function, and this may have an impact on highly vascular organs such as the auditory system (Dhanda and Taheri, 2017). According to the results, all the firefighters in the study, except one, were overweight (BMI=23) and obese (BMI=30). However, the correlation analysis showed for this study, the variable of BMI and auditory threshold, does not correlate, which indicates the condition of overweight and obesity are not associated with the firefighters' hearing loss. However, in order to prevent the obesity risk factor a nutritional intervention program for firefighters was recommended. These programs often include personal diet, hereditary factors, psychological evaluations, and physical activation (Choi *et al.*, 2011). Nutritional Intervention Program is considered to improve the variables of BMI and weight. Reduction of overweight and obese in firefighters is promoted. Besides, these two conditions are strongly associated with other non-communicable diseases such as diabetes and high blood pressure.

3.5. Measurements of gases and suspended particles

At the scene of a fire, firefighters are frequently exposed to CO, CO₂ and VOC, among others (Guidotti & Clough, 1992). The values found for benzene, VOC, propaldehyde, acetaldehyde, were 3.7, 4.2, 7.7, 24.2 ppm, respectively (Table 4 and Figure 2). The concentration of benzene (3.7 ppm) exceeds the MPL established by NOM-010-STPS-2014 (2.5 ppm). Acetaldehyde was found near the MPL (25 ppm). The same regulation establishes an MPL of 30,000 ppm for CO₂. The values found (912.5 ppm), are within the MPL (working day of eight hours a day and a working week of forty hours). The CO was found at a concentration of 19.44 ppm, a value below the 200 ppm for CO, established by the Institute of Occupational Health and Safety (NIOSH) (Ehlers *et al.*, 2015).

Table 4. Comparison between VOCs obtained values and MPL's by the NOM-010-STPS-2014.

Tabla 4. Comparación entre los valores obtenidos y los MPL permitidos por la NOM-010-STPS-2014

VOCs	^a Obtained values (ppm)	MPL's by NOM-010 (ppm)
VOCs (total)	4.2 ± 0.3	*
Benzene	37 ± 0.5	25
Propaldehyde	7.7 ± 0.1	20
Acetaldehyde	24.2 ± 0.5	25

^a*Results were expressed as the average of 3 replicas ± Standard Deviation.

*Value not found.

In this research, measurement of gases and particles were carried out in the transport unit, where it was found benzene concentrations were higher than the MPL by the regulation consulted. These compounds represent a chemical risk, especially due to combustion fumes and the difficulty of analyzing them, since their concentration varies depending on the stage of the fire, and their emission continues even after the fire extinguishes (Vilchis-Rea, 2017). This implies the firefighters' exposure to these chemical substances, which cause effects such as deterioration and affection of the lung tissue some pass into the bloodstream and other parts of the body, preventing the red blood cells from carrying oxygen. Besides, breathing them can cause loss of consciousness, suffocation, poisoning, even death. The symptoms will depend on the dose and the time of exposure.

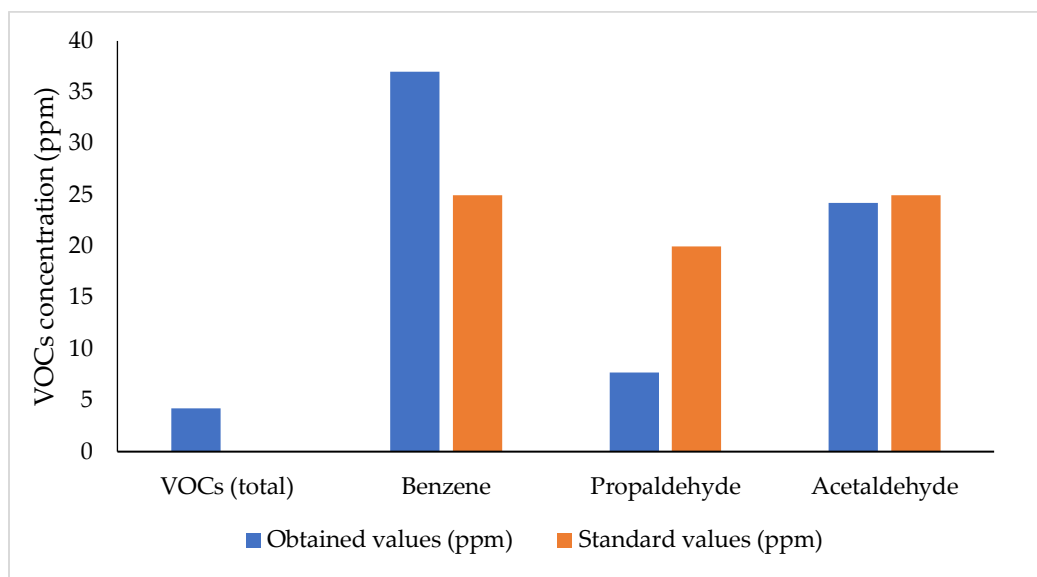


Figure 2. Comparison between VOCs obtained values and MPL's by the NOM-010-STPS-2014.

Source: Table 4.

Figura 2. Comparación entre los valores obtenidos y los MPL permitidos por la NOM-010-STPS-2014.

Fuente: Tabla 4.

The measurements obtained for PM_{10} and $PM_{2.5}$, were of a density of $4.13 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ and $1.88 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively. Values that were within the corresponding normativity (NOM-025-SSA1-2014). $PM_{2.5}$ and PM_{10} particles are associated with health problems (respiratory and cancer) (Prell *et al.*, 2020), however, in this investigation, the concentration of these particles was within the MPL by NOM-025-SSA1-2014, the USEPA ($35 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ and $150 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ for PM_{10} and $PM_{2.5}$, respectively) and WHO regulation ($50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ and $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ for PM_{10} and $PM_{2.5}$, respectively) (Kim *et al.*, 2018).

3.6. Ergonomic analysis

The analysis carried out through REBA method showed a very high risk in the ascending and descending activity to the fire unit, as it does not have any stirrup. The punctuation calculated for this activity was 13, with a "very high" level of risk, which suggest immediate action. On the other hand, hose winding activity had a punctuation of 7, with a "medium" level of risk, indicating that it is necessary to implement the action. Due to this, it is possible that some back injuries, muscular strains and injuries caused by falls are shown.

The results of the ergonomic measurements through the REBA, showed a categorization of risk between "very high" and "medium" in the analyzed postures. The risk was high enough for these tasks to warrant modification and changes. The suggested recommendations given included creating new mechanical and technical devices, modifying existing devices, and making workers aware of associated risks to reduce the threat of injury (Hita-Gutiérrez *et al.*, 2020). Then carry out a re-evaluation using the REBA to obtain elements would make the authorities aware of the investment in infrastructure and equipment of fire stations.

4. Conclusions

Occupational health in firefighters is a subject studied insufficiently at an international level. In this research work was possible to realize a diagnosis of safety and health at work based on the Italian Worker's Model, for risk identification and the determination of physiological, and psychological demands in a fire station in Chihuahua, Mexico. The methodology employed included the Italian Worker's Model and PROESSAT survey, both are widely used to diagnose occupational health in our country. Exposure to noise is unavoidable, difficult to assess and prevent, so the following measures are necessary to adopt such as: the elimination of risk, acquisition of more closed cabin transport units with air conditioning system so that personnel can be transported with closed windows, pneumatic and modern hydraulic tool, engineering measures, implement established predictive and preventive maintenance programs, the application of a hearing conservation program, audiometry studies on a regular basis (at least once a year), personal protective equipment. Future biomonitoring studies recognizing and assessing the range of firefighter's chemical exposure would be beneficial. This study provided some data to understand the relationship between obesity and hearing loss in the firefighters' sample. The individual results for each worker's DASS 21 scale show the fact that six firefighters had moderate stress, three firefighters had moderate anxiety and one firefighter had severe anxiety, that is to say, these three pathologies are present even though the DASS-21 general analysis scale does not detect them. The correlation analysis showed for this study that the variable of BMI and auditory threshold were not correlated, which indicates the condition of overweight and obese is not associated with the firefighters' hearing loss. The results of the ergonomic measurements through the REBA, showed a categorization of risk between "very high" and "medium" in the analysed postures. The risk was high enough for these tasks to warrant modification and changes. Firefighters knew the risk factors. However, they not knew the magnitude of negative health effects. The main contribution of this research was the evaluation of risk factors and the dissemination of its results in the firefighting community. Changes in the transport unit and personal protective equipment, a calisthenics program to improve firefighters' physical strength, agility, coordination, and flexibility, were made.

Acknowledgements

Sergio Gonzalez thanks to the Council of Science and Technology (CONACYT) and to the Autonomous University of Chihuahua (UACH), for the grant awarded to obtain a Master's Degree in Health in the Workplace. The authors would like to thank Firefighters department and Civil Protection of the city of Chihuahua, México for offering raw dates to fill the IWM's questionnaires and PROESSAT survey.

Conflicts of interest

All authors have no conflicts of interest to declare.

5. References

- Álvarez, C., Romero, M., & Prieto, A. (2016). Epidemiological evaluation of noise exposure in local police and firefighters. *Asociación Española de Especialistas en Medicina del Trabajo*, 25(2), 50-112. <https://bit.ly/3FPxsTg>
- Balderas-López, M., Zamora-Macorra, M., & Martínez-Alcántara, S. (2019). Musculoskeletal disorders in workers of tire manufacturing: analysis of the work process and. *Acta Universitaria*, 29: 1-16. <https://www.actauniversitaria.ugto.mx/index.php/acta/article/view/1913>
- Bárceñas-Castro, M., & Aguilera, A. (2012). Análisis del servicio de bomberos y riesgos de siniestros en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez. *Revista de El Colegio de San Luis*, 2(3), 88-105. <http://dx.doi.org/10.21696/rcsl032012515>
- Barr, D., Gregson, W., & Reilly, T. (2010). The thermal ergonomics of firefighting reviewed. *Applied Ergonomics*, 41(1), 161-172. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2009.07.001>
- Bufano, P. (2013). New research in firefighters' underscores need for innovative hearing protection. *Hear Journal*, 66(9), 1-2.
- Choi, B., Schnall, P., Dobson, N., Israel, L., Landsbergis, P., Galassetti, P., Kojaku, S., & Baker, D. (2011). Exploring occupational and behavioural risk factors for obesity in firefighters: A theoretical framework and study design. *Safety and Health at Work*, 2(4), 301-312. <https://dx.doi.org/10.5491%2FSHAW.2011.2.4.301>
- Cohen, H. W., Zeig-Owens, R., Joe, C., Hall, C. B., Webber, M. P., Weiden, M. D., Cleven, K. L., Jaber, N., Skerker, M., Yip, J., Schwartz, T., & Prezant, D. J. (2019). Long-term cardiovascular disease risk among firefighters after the World Trade Centre Disaster. *JAMA network open*, 2(9), e199775. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2019.9775>
- Croll, P. H. (2019). The association between obesity, diet quality and hearing loss in older adults. *Aging*, 11(1), 48-62. <https://dx.doi.org/10.18632%2Faging.101717>
- Dhanda, N., Taheri, S. (2017). A narrative review of obesity and hearing loss. *International Journal Obesity*, 41, 1066-1073. <https://doi.org/10.1038/ijo.2017.32>
- Díaz, C., Goycoolea, M., & Cardemil, F. (2016). Hipoacusia: Trascendencia, Incidencia y Prevalencia. *Hearing loss: Transcendence, incidence and prevalence. Revista Médica Clínica Las Condes*, 27(6), 731-739. <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2016.11.003>
- Duran, F., Woodhams, J., & Bishopp, D. (2018). An interview study of the experiences of firefighters in regard to psychological contract and stressors. *Employee Responsibilities and Rights Journal*, 1-24. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1007/s10672-018-9314-z>
- Ehlers, J., McCammon, J., O'Brien, D., Earnest, S., Leroy, R., Woebkenberg, M., & Flesch, J. (2015). Prevención de envenenamiento con monóxido de carbono producido por herramientas y equipos con motores pequeños de gasolina. https://www.cdc.gov/spanish/NIOSH/docs/96-118_sp/
- Elbay, R., Kurtulmuş, A., Arpacioğlu, S., & Karadere, E. (2020). Depression, anxiety, stress levels of physicians and associated factors in Covid-19 pandemics. *Psychiatry Research*, 290(113130), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.113130>
- Engelsman, M., Toms, L.M., Banks, A., Wang, X., & Mueller, F. (2020). Biomonitoring in firefighters for volatile organic compounds, semivolatile organic compounds, persistent organic pollutants, and metals: A systematic review. *Environmental Research*, 188, 109562. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109562>
- Fernández, L., Suárez, R., & Labarta, A. (2011). Hypoacusia and metabolic disorders. *CCM*, 15(4), 1-11. <http://www.cocmed.sld.cu/no154/pdf/rev01.pdf>

- Gentzler M, Stader S. (2010). Posture stress on firefighters and emergency medical technicians (EMTs) associated with repetitive reaching, bending, lifting, and pulling tasks. *Work*, 37(3), 227-239. <https://doi.org/10.3233/wor-2010-1075>
- Guidotti, T., & Clough, V. (1992). Occupational health concerns of firefighting. *Annual Review of Public Health*, 13, 151-171. <https://bit.ly/3wfULTh>
- Hita-Gutiérrez, M., Gómez-Galán, M., Díaz-Pérez, M., & Callejón Ferrer, A. (2020). An Overview of REBA method applications in the world. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 1-22. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082635>
- Hong, O., Chih, D., & Samo, D. (2013). Hearing loss and use of hearing protection among career firefighters in the United States. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 55, 960-965. <https://doi.org/10.1097/jom.0b013e318293aee0>
- Hu, H., Tomita, K., Kuwahara, K., Yamamoto, M., Uehara, A., Kochi, T., Eguchi, M., Okazaki, H., Hori, A., Sasaki, N., Ogasawara, T., Honda, T., Yamamoto, S., Nakagawa, T., Miyamoto, T., Imai, T., Nishihara, A., Nagahama, S., Murakami, T., & Shimizu, M. Japan Epidemiology Collaboration on Occupational Health Study Group (2020). Obesity and risk of hearing loss: A prospective cohort study. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 39(3), 870-875. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2019.03.020>
- Jiang, L. C., Yan, Y. J., Jin, Z. S., Hu, M. L., Wang, L., Song, Y., Li, N. N., Su, J., Wu, D. X., & Xiao, T. (2020). The Depression Anxiety Stress Scale-21 in Chinese Hospital Workers: Reliability, latent structure, and measurement invariance across genders. *Frontiers in Psychology*, 11, 247. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00247>
- Kim, S.J., Kang, J., Kang, S.K., & Ham, S. (2019). Evaluation of the effect of an exhaust reduction system in fire stations. *Sustainability*, 11(22), 6358. <https://doi.org/10.3390/su11226358>
- Kim, H., Kang, K., & Kim, T. (2018). Measurement of particulate matter (PM2.5) and health risk assessment of cooking-generated particles in the kitchen and living rooms of apartment houses. *Sustainability*, 10(843), 1-13. <https://doi.org/10.3390/su10030843>
- Kodom-Wiredu, J. K. (2019). The Relationship between Firefighters' work demand and work-related musculoskeletal disorders: The moderating role of task characteristics. *Safety and Health at Work*, 10(1), 61-66. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2018.05.004>
- Marín, M., & Pico, M. (2004). Italian Worker Model. In M. Marín, M. Pico, & L. Escobar (Ed.), *Fundamentals of Occupational Health* (pages: 28-31). Universidad de Caldas, Ciencias para la salud.
- Meléndez-López, J.M.A., González-Muñoz, E.L., & González-Baltazar, R. (2018). Fatiga laboral, mediante la aplicación del SOFI-SM en bomberos mexicanos. *Revista Colombiana de Salud Ocupacional*, 8(1), e-5104. https://doi.org/10.18041/2322-634X/rc_salud_ocupa.1.2018.5104
- Diario Oficial de la Federación. (2014). *Chemical agents polluting the work environment-Recognition, evaluation and control*. (NOM-010-STPS-2014). <https://bit.ly/3PoyHx8>
- Diario Oficial de la Federación. (2001). *Conditions of safety and hygiene in work centres where noise is generated*. (NOM-011-STPS-2001). <https://bit.ly/3NhAHFD>
- Diario Oficial de la Federación. (2014). (2014). *Permissible limit values for the concentration of suspended PM10 and PM2.5 particles in the ambient air and criteria for their evaluation*. (NOM-025-SSA1-2014). <https://bit.ly/3NfV4TI>
- Noriega M. (1995). La realidad latinoamericana frente a los paradigmas de investigación en salud laboral. *Salud de los Trabajadores*. 3(1):13-20. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6480868>

- Prell, R., Opatz, O., Merati, G., & Gesche, B. (2020). Heart rate variability, risk-taking behaviour and resilience in firefighters during a simulated extinguish-fire Task. *Frontiers in Psychology*, 11(482), 1-12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00482>
- SAS. (2006). SAS Institute Inc. 2006. Statistical Analysis System 9.1.3 User's guide. CARY, NC, USA. <https://bit.ly/3FYkjaO>
- Uribe, P., Gutiérrez-Amador, J., Chantal, J., & Amézquita-Pino, J. (2020). Crítica a las propiedades psicométricas de una escala de medición de factores de riesgo psicosocial propuesta en la NOM 035 de la STPS en México. *Contaduría y administración*, 65(1), e147. <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2019.1569>
- Vilchis-Rea, M., & López-Hernández, E. (2017). Occupational risk factors in Mexican firefighters of four stations: participatory action-research. *RCSO*, 6(4), 124-131. <https://bit.ly/3lhbHCp>
- Voguel, L. (2016). The current status of the Italian Worker Model for the fight for health in the workplace. *Laboreal*, 12(2), 10-17. <http://dx.doi.org/10.15667/laborealxii0216lv>
- Wayne, D. (2005). Bioestadística: base para el análisis de las ciencias de la salud. 4a ed., México: Limusa-Wiley. <https://bit.ly/38rpBzl>
- Yang, L., Kang, B., Wang, T., & Zhao, T. (2014). An Ergonomic study of firefighters' postural comfort evaluation based on EMG Method. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 58(1), 2310-2312. <http://doi.org/10.1177/1541931214581481>
- Zárate-Amador, A., Aguilar-Madrid, G., Colunga-Rodríguez, C., Haro-García, L.C., & Juárez-Pérez, C. (2013). Perfil salud-enfermedad en los trabajadores de una empresa en el valle de México. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 59(233), 405-416. <https://dx.doi.org/10.4321/S0465-546X2013000400005>

2021 TECNOCIENCIA CHIHUAHUA.

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



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

Artículo de Revisión

Methanol Detection in Commercial Sanitizing Gels, During the COVID-19 Pandemic

Detección de metanol en geles desinfectantes comerciales, durante la pandemia COVID-19

Luis de la Torre-Sáenz, Daniel Lardizábal-Gutiérrez, Ivanovich Estrada-Guel, Francisco Paraguay-Delgado*

Centro de Investigación en Materiales Avanzados SC (CIMAV), Av. Miguel de Cervantes 120.
Complejo Industrial Chihuahua. Chihuahua, Chihuahua, México. C.P. 31136.

*Correspondencia: francisco.paraguay@cimav.edu.mx (Francisco Paraguay-Delgado)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i1.761>

Recibido: 11 de febrero de 2021; Aceptado: 10 de mayo de 2021

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

Abstract

Some antibacterial gels, used for commercial sanitizing, containing ethanol (active) and methanol (toxic) were quantified. The health emergency caused by the COVID-19 epidemic has motivated the production of sanitizing gels to cover higher demand. The analytical composition of 24 commercial gels is reported (15 produced by national and transnational companies, and nine collected from public areas – in use). The chemical analysis results found that only one brand of 15 gels meets the quality requirements regarding 70% (wt./wt.) of ethanol content. Concerning the collected gels, none of them contains the minimum active compound required. The non-compliance of this requirement means that these gels present their sanitizing action diminished. A striking result is that 25% of commercially packaged gels contain methanol - a toxic substance - in alarming amounts, hundreds of times more than the FDA upper limits requirement.

Keywords: methanol; ethanol; sanitizer gels; sars Cov-2; Covid-19.

Resumen

El contenido de sustancias etanol (activo) y metanol (tóxico) se cuantificó para geles desinfectantes comerciales. La emergencia sanitaria provocada por la epidemia de COVID-19 ha motivado la producción de geles desinfectantes para cubrir la mayor demanda. Se reporta la composición analítica de 24 geles comerciales (15 producidos por empresas nacionales y transnacionales, también nueve geles recolectados que estuvieron en uso desde áreas públicas). De los resultados del análisis químico, se encontró que solo una marca de 15 geles cumple con los requisitos de calidad con respecto al 70% (peso/peso) del contenido de etanol. En cuanto a los geles recolectados de zonas públicas, ninguno de ellos contiene el compuesto activo mínimo requerido. El incumplimiento de este requisito hace que estos geles presenten disminuida su acción sanitizante. Un resultado

sorprendente es que el 25% de los geles empacados comercialmente contienen metanol, una sustancia tóxica, en cantidades alarmantes, cientos de veces más que los límites superiores regulados por la FDA.

Palabras Clave: metanol; etanol; geles sanitizantes; sars Cov-2; Covid-19.

1. Introduction

The ethanol-based sanitizing gels production increased markedly in 2020, mainly caused by the recent COVID-19 pandemic (March 2020). The purpose of its disinfecting action makes this product available in almost all public facilities, such as banks, supermarkets, hospitals, offices, etc. The advantage of this product is its use in some places where there is no access to soap and water, and its sale doesn't require a prescription (Paulson, 1999). Before the present pandemic, this product was in low demand. However, as it became a product promoted by health institutions as a preventive product (Alvarez, 2020), with high antimicrobial efficiency, the people increased its usage considerably, which is why many companies began their mass production. Even part of the people made their formulations based on videos and online tutorials on the websites. This activity generated a problem since there is no precise regulation of established requirements. The production is currently carried out with various chemical compounds, but several of them could be toxic. Some formulations could harm users, starting from a simple dryness or skin irritation, even severe poisoning. Antibacterial gels are defined as liquid disinfectants for applications on hands and surfaces. Its main component must be 60-80% (wt./wt.) Isopropyl alcohol or 70% ethanol. The last one is the most commercially used, due mainly to the fact that being cheaper than Isopropyl alcohol. The 70% ratio is cited by several studies, such as those carried out by Guilhermetti *et al.* (2010), where they used 12 alcohol-based gels produced in Brazil, according to the European standard EN1500. This study concluded that the gels have an effective disinfecting action equal to that obtained using 70% ethanol. Its antiviral activity was demonstrated in the studies carried out by Pandejpong *et al.* (2012).

They determined that there is effective when it is using antibacterial gel to reduce influenza by studying 1,437 preschool children. This evidence showed that the mandatory use of ethanol-based gel as classroom hand disinfection could significantly reduce school absenteeism rates by influenza. The ethanol-based gel is also currently used in hospitals; as mentioned in the studies carried out by Chávez *et al.* (2010), they recommend that hospital staff working in places such as intensive care units (ICUs), neonatal wards, and emergency services. They must have their hand hygiene by carrying out a wash with soap and water, alternating with ethanol and glycerin-based gel to keep their hands moisturized.

Currently, there is no legal regulation in México for the manufacture and evaluation of these products. The European community uses the UNE EN 1500 standard, which sets the antimicrobial evaluation procedures of sanitizing products. Still, it does not mention the banning of possibly toxic substances in its preparation. Due to the COVID-19 disease pandemic, the US Food and Drug Administration (FDA) issued guidelines to communicate its policy regarding the chemical composition of certain ethanol-based hand sanitizers by pharmacists in establishments licensed by the state or federal facilities. They also published a guide, "Temporary Policy for Manufacture of Alcohol for Incorporation into Alcohol-Based Hand Sanitizer Products during the Public Health

Emergency (COVID-19) Guidance for Industry". This document contains guidelines for using ethyl alcohol as an active pharmaceutical ingredient (API) to prepare and distribute hand sanitizer as a product for public use. This document, issued in March 2020, will be temporarily allowed respect to certain impurities at levels that can be tolerated for a short time, thought out the COVID-19 public health emergency.

Table 1. FDA recommended a maximum limit for impurities in ethyl alcohol for sanitizers, in weigh percent (%), and parts per million (ppm).

Tabla 1. Límite máximo recomendado por la FDA para las impurezas en el alcohol étlico para desinfectantes, porcentaje en peso (%) y partes por millón (ppm).

Impurities	Maximum limit	
	%	ppm
Methanol	0.063	630
Benzene	0.0002	2
Acetaldehyde	0.005	50
Acetyl (1,1-diethoxyethane)	0.005	50
Sum of other impurities	0.03	300

Values in Table 1 shows methyl alcohol (methanol) as the primary contaminant. Ethanol used to make sanitizers could contain methanol as a contaminant in two ways: the first could be due to the ethanol decomposition by heating. The second is due to a deliberate addition to save costs since methanol is cheap. Methanol is metabolized in the liver, much slower than ethanol, by the enzyme alcohol dehydrogenase activity, producing formaldehyde and formic acid, as shown in Figure 1. Both metabolites cause severe metabolic acidosis and other organ damage. The produced cellular acidosis increases by accumulating lactic acid due to secondary cellular hypoxia (UNAM, 2014).

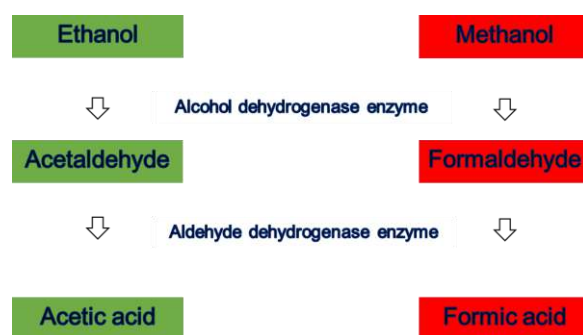


Fig 1. Ethanol and Methanol metabolism diagram. Ethanol produces non-toxic byproducts compared to methanol (UNAM, 2014).

Fig 1. Diagrama de metabolismo de etanol y metanol. El etanol produce subproductos no tóxicos en comparación con el metanol (UNAM, 2014).

A Material Safety Data Sheet (MSDS) of methanol indicates that skin contact generates moderate irritation. It can be absorbed through the skin in harmful amounts. Prolonged and or repetitive contact can cause dry skin and dermatitis. Methanol can be absorbed through the skin, producing systemic effects that include visual disturbances (Fisher. 2020).

This work focuses on the qualitative and quantitative composition analysis of commercial and collected sanitizing gels using infrared spectrometry and gas chromatography (CG) to evaluate their ethanol and methanol content percentage for each one.

2. Experimental

2.1 Samples

Fifteen (new and sealed) commercial sanitizing gels produced by national and international companies were purchased in different stores and they made chemical analyses. In addition, nine gels samples were analyzed too; they were collected from public areas such as banks, factories, convenience stores, and shopping centers in Chihuahua City, Mexico, in June 2020. About the public places collected samples; their brands were not recorded because this information was not visible. To analyzed gels acquired in the store, they were opened and shaken for 10 minutes before the analysis. The sealed commercial sanitizing gels were numbered (1 to 15) and, the collected samples, were labeled by letters (A to I); it was made due to the confidential protocols.

2.2 Chemical reagents

High purity methanol (JT Baker 99.8%) and ethanol (JT Baker 99.8%) were used as a reference to instrument calibration and also to corroborate their detection limit furthermore optimal operation of the infrared spectrometer and gas chromatograph.

2.3 Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy

For the FTIR analysis, a Shimadzu model IR Affinity 1S spectrometer was used. The spectra were obtained by reflectance using the accessory called ATR (Total Attenuated Reflectance by its acronym in English), Smiths brand, Quest model, with a single reflection diamond window (bounce) with 20 scans to obtain each spectrum. It was used to qualitatively identify the presence of the alcohol type present in the gels. FTIR spectra were recorded in the interval between 900 and 1200 cm^{-1} .

2.4 Gas Chromatography

For GC analysis, a Perkin Elmer equipment, model Auto system XL, with a Porapak Q packed column with 6 feet length and 1/8 inch in diameter, was used. The used chromatographic procedure temperature was: injection 220 °C, detector: TCD 220 °C, the carrier gas was helium at 30 mL/min (Praxair 99.99%), the oven program was an initial temperature of 105 °C/min with 10 °C/min ramp up to 200 °C and a holding isothermal of 5 min. The quantification procedure was carried out, preparing calibration curves with a reactive grade of ethanol and methanol. The samples for analysis were injected directly from the container without previous preparation.

3. Results and discussion

In this part, the qualitative analysis by FTIR infrared spectroscopy of the mixtures used for calibration can be noticed. Then, the spectra of the purchased and collected sanitizing gels sets are shown. Finally, the comparative graphs with the quantitative values obtained by gas chromatography are presented.

3.1 Qualitative analysis by FTIR spectroscopy

The detection of different alcohols (methanol, isopropanol, and ethanol) contents in the sanitizing gels were determined, comparing with the standard mixtures' spectra. Their fingerprints spectra were taken in the FTIR spectra between 1200 and 900 cm^{-1} , identifying specific wavenumbers at 1020 and 1115 cm^{-1} for methanol, at 1046 and 1088 cm^{-1} for ethanol, at 966, 1015 and 1053 cm^{-1} for propanol also at 950 and 1129 cm^{-1} for isopropanol, they were present at Figure 2a. These results are identical to those reported by Coldea *et al.* (2013).

The spectra for sealed commercial sanitizing gels are shown in Figure 2b. This figure shows the comparison among the set of spectra acquired for each sample. Most of them contain ethanol and methanol, but it can be noticed that samples 8, 9, and 13 present methanol in considerable high amounts. Based on this qualitative analysis, some samples contents toxic compound (methanol).

The spectra for collected sanitized gels samples are shown in Figure 2c. These spectra show evident the presence of the different types of alcohols. For the set, there is no methanol presence, it does not appear, but other types of alcohols such as propanol and isopropanol were detected. In this case, these alcohols are allowed for disinfecting purposes too.

With the FTIR technique, their qualitative identification was carried out. It is also possible to make a rough quantification by detecting the intensities variation because the intensity of the signals is proportional to the content (but the precision has low accuracy).

3.2 Quantitative analysis by GC

Through this analytical technique, ethanol, methanol, isopropanol, propanol, and water were determined quantitatively (in weight percent). Table 2 shows the quantified values for the 15 sealed commercial samples. It is noticeable that only one trademark meets the minimum requirement of ethanol content (70 %) and another one is close, as indicated on its labels and the guidelines established by the FDA. The implication of these results is; if commercial products do not contain the minimum active ingredient (ethanol or isopropanol), the required antimicrobial function will be diminished with the consequent increase of infected people. It can be noticed; approximately 47% of studied products (7 samples) do not even meet 50% of ethanol content (in contrast with 70% required). In the most severe cases, some commercial brands replaced ethanol with methanol, with the consequent harmful absorption problem in the skin and its possible health consequences mentioned above (intoxication). In addition, these products do not have a disinfectant function, but they cause the spread of the virus.

In the case of quantification for collected sanitizers (Table 3), methanol was not found, but it was found in the commercial gels; none met the optimal ethanol content. For gels that don't meet the concentration standards, they accelerate the virus spread, which has severe consequences for public health by increasing the spread of COVID-19.

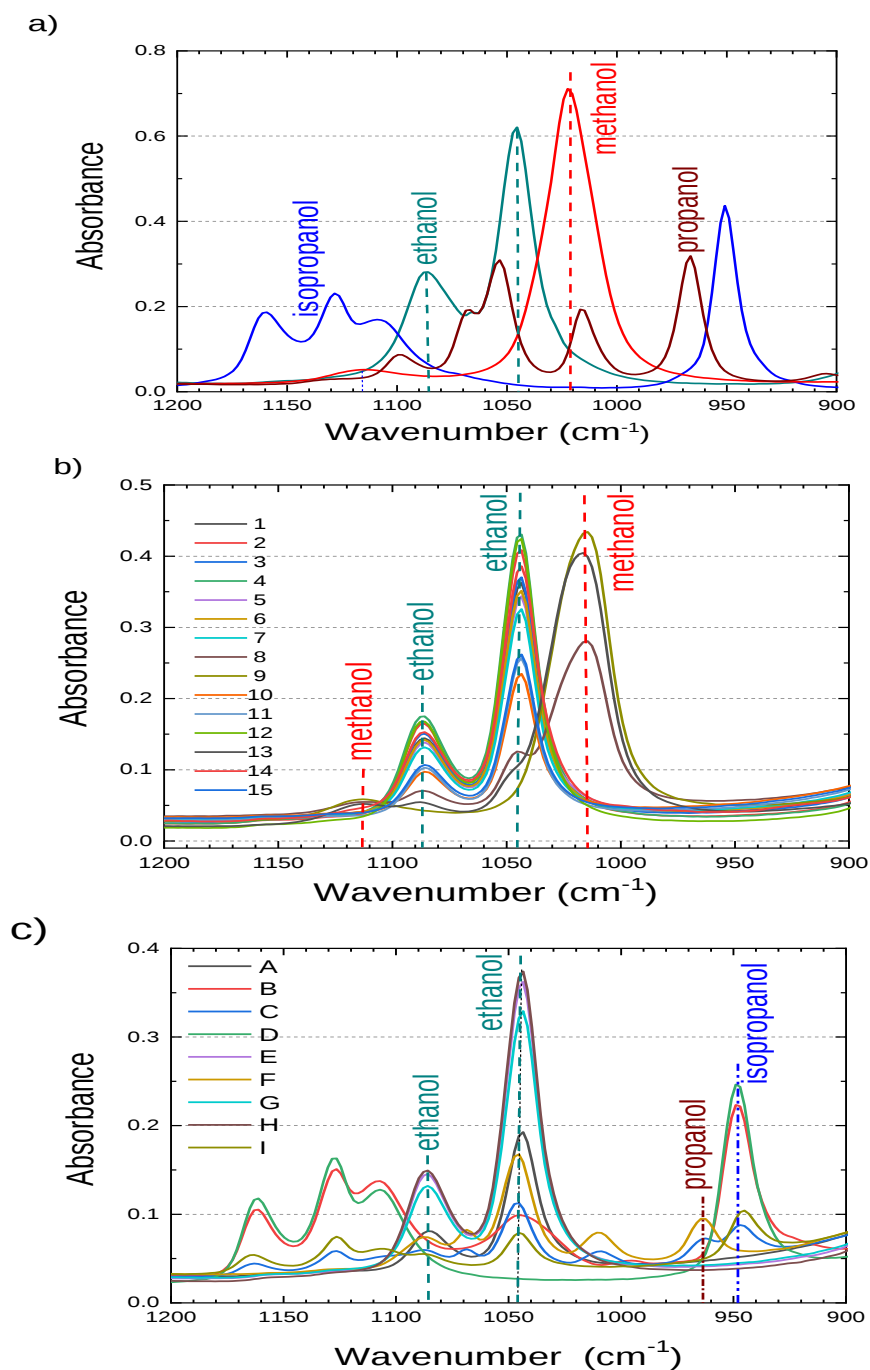


Fig. 2 FTIR spectra for a) reagent grade ethanol, methanol, isopropanol, and propanol - calibration samples, b) sealed commercial sanitizing gels, and c) collected sanitizing gels (from public facilities places).

Fig. 2 Espectros FTIR para a) etanol, metanol, isopropanol y propanol de grado reactivo - muestras de calibración, b) geles desinfectantes comerciales sellados y c) geles desinfectantes colectados (desde instalaciones públicas).

Table 2. Summary chart with ethanol, water, and methanol content determinate by GC in sealed commercial sanitizers (in weight percent).**Tabla 2.** Resumen del contenido de etanol, agua y metanol determinado por GC en desinfectantes comerciales sellados (en porcentaje en peso).

Sample	Ethanol	Water	Methanol
1	55.3*	44.7	ND
2	64.4*	35.6	ND
3	56.2*	43.8	ND
4	68.7*	31.3	ND
5	51.2*	48.1	0.6**
6	52.8*	47.2	ND
7	48.8*	51.2	ND
8	14.6*	55.1	30.3**
9	0.8*	40.3	58.9**
10	32.0*	67.7	0.3**
11	36.0*	64.0	ND
12	70.0	30.0	ND
13	12.6*	35.6	51.8**
14	57.7*	42.3	ND
15	38.1*	61.9	ND

* Does not meet to 70% ethanol specification

** Methanol content is higher than the maximum allowed by the FDA and ND means not detected.

Table 3. Summary chart with ethanol, water, isopropanol, and propanol quantitative determination in collected sanitizers (in weight percent).**Tabla 3.** Cuadro resumen con determinación cuantitativa de etanol, agua, isopropanol y propanol en desinfectantes recolectados (en porcentaje en peso).

Sample	Ethanol	Water	Isopropanol	Propanol
A	59.7*	40.2	0.1	ND
B	59.1*	40.9	ND	ND
C	55.7*	44.3	ND	ND
D	54.9*	45.1	ND	ND
E	49.6*	50.4	ND	ND
F	25.3*	74.7	ND	ND
G	16.0*	64.6	19.4	ND
H	9.5*	69.0	10.7	10.8
I	6.5*	75.7	ND	17.7

Does not meet 70% ethanol specification and ND means not detected.

To notice better the comparison between both sets of samples, data from Tables 2 and 3 were plot. Figure 3a shows the values plotted for sealed commercial sanitizers. This figure clearly shows the variation in the quantitative compositional content. The presence of the toxic substance (methanol) is seen in three brands in alarming amounts (30 to 60%), with a complement of water as the missing percentage, for sanitizers that contain ethanol but do not meet the proper amount (the remainder is water). Thus, these gels do not fulfill their prevention effectiveness; these products play the role of spreading the virus further. Hence, this is important that these products must meet the appropriate requirements. On the other hand, samples 5 and 10 also contain 0.6 and 0.3% methanol, respectively; they do not visualize on their FTIR spectra, this technique is not suitable to determine amounts lesser than 10% (wt./wt.)

Figure 3b shows the graphed values for the sanitizers collected from public places. As can be seen, the presence of propanol and isopropanol does not agree with the minimum recommended content that must have to avoid the virus spread. Consequently, these gels would also be spreading the virus because they do not fulfill the requirements to inhibit the spread. These are even more dangerous since they are being used in public places, where traffic of people is higher.

4. Conclusions

The gas chromatography technique is a valuable tool to perform analytical quantification for quality purposes in sanitizing gels by quantifying the alcohol content quickly and accurately. Appropriate ethanol or isopropanol content is essential for correct hand sanitization purpose. The analyzes carried out show a severe flaw in the formulation of the sealed commercial gels and those collected from public facilities because they do not meet the minimum ethanol content (14 samples of 15) and (9 samples of 9), respectively. Even when they mark an active content of 70% on their labels, this creates false confidence in the consumer, causing them to become infected by not complying with the appropriate sanitizing action of the gel. Analytical techniques also showed that 25% of the studied gels contain methanol in amounts that could cause public health problems. The COVID-19 pandemic has regulatory agencies out of work, creating this type of adulterations in sanitizing gels. Thus, the implicated companies should self-regulate for social good in a state of sanitary emergency. It is clear that during this health crisis, these products will continue to be used regularly, so it is a priority to establish norms and guidelines on their composition.

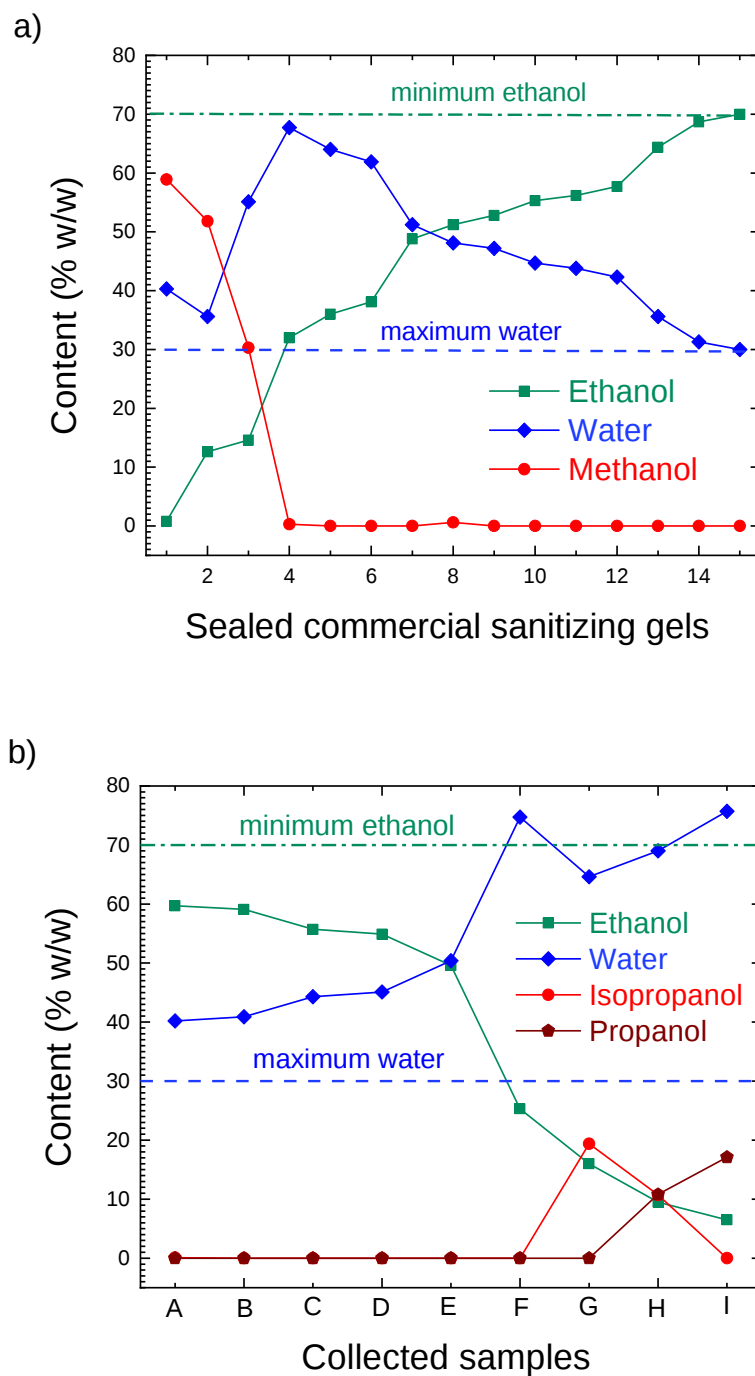


Fig. 3 Graph with the content distribution of components in a) sealed commercial sanitizing gels and b) collected samples from public places. They were ordered from the lowest to highest content of ethanol and isopropanol, respectively.

Fig. 3 Gráfica con la distribución del contenido de componentes en a) geles desinfectantes comerciales sellados y b) muestras recolectadas de lugares públicos. Se ordenaron del menor al mayor contenido de etanol e isopropanol, respectivamente.

5. References

- Chávez, N. P. S., Reyes Gómez, U., Hernández, U. R., Hernández, D. R., Ponce, B. R., Valencia, H. S., ... & Palacios, E. S. (2010). Evaluación de la higiene de manos, su impacto después de un programa de mejora continua en el Hospital Regional del ISSSTE en Oaxaca. *Revista de Enfermedades infecciosas en Pediatría*, 23(92), 116-123. <https://bit.ly/3NjhbIV>
- Coldea, T. E., Socaciu, C., Fetea, F., POP, R. M., & FLOREA, M. (2013). Rapid quantitative analysis of ethanol and prediction of methanol content in traditional fruit brandies from Romania, using FTIR spectroscopy and chemometrics. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 41(1), 143-149. <http://dx.doi.org/10.15835/nbha4119000>
- Balderas-López, M., Zamora-Macorra, M., & Martínez-Alcántara, S. (2019). Musculoskeletal disorders in workers of tire manufacturing: analysis of the work process and. *Acta Universitaria*, 29. <https://doi.org/10.15174/au.2019.1913>
- Fisher. <https://fscimage.fishersci.com/msds/14280.htm>). Consulted Jun 2020.
- Garduño-López AL, Guido-Guerra RE, Guizar-Rangel MT, Acosta-Nava VM, Domínguez-Cherit G, Alvarez-Bobadilla G. (2020). Manejo perioperatorio del paciente con COVID-19. *Revista Mexicana de Anestesiología*, 43(2), 109-120. <https://dx.doi.org/10.35366/92869>
- Guilhermetti, M., Wiirzler, L. M., Facio, B. C., da Silva Furlan, M., Meschial, W. C., Tognum, M. B., ... & Cardoso, C. L. (2010). Antimicrobial efficacy of alcohol-based hand gels. *Journal of Hospital Infection*, 74(3), 219-224. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2009.09.019>
- Ma, Q. X., Shan, H., Zhang, H. L., Li, G. M., Yang, R. M., & Chen, J. M. (2020). Potential utilities of mask-wearing and instant hand hygiene for fighting SARS-CoV-2. *Journal of medical virology*. 92(9):1567-1571. <https://doi.org/10.1002/jmv.25805>
- Pandeipong, D., Danchaivijitr, S., Vanprapa, N., Pandeipong, T., & Cook, E. F. (2012). Appropriate time-interval application of alcohol hand gel on reducing influenza-like illness among preschool children: a randomized, controlled trial. *American journal of infection control*, 40(6), 507-511. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2011.08.020>
- Paulson, D. S., Fendler, E. J., Dolan, M. J., & Williams, R. A. (1999). A close look at alcohol gel as an antimicrobial sanitizing agent. *American journal of infection control*, 27(4), 332-338. [https://doi.org/10.1016/s0196-6553\(99\)70053-2](https://doi.org/10.1016/s0196-6553(99)70053-2)
- UNAM. Congreso Estudiantil de Investigación del SI 2014 Proyecto CIN2014A10215 <https://bit.ly/3FQMGHT>
- 2021 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

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



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

Artículo Científico

Síntesis quimioenzimática de ésteres metílicos de ácidos grasos a partir de aceite residual y cálculo de sus parámetros fisicoquímicos

Chemoenzymatic synthesis of fatty acid methyl esters from residual oil and its physicochemical parameters calculation

Alejandro Sustaita-Rodríguez¹, Martha Graciela Ruiz-Gutiérrez¹, Víctor Hugo Ramos-Sánchez¹, Blanca Gladiana Beltrán², León Hernandez-Ochoa¹ y David Chávez-Flores^{1*}.

¹ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Circuito Universitario, Chihuahua, México 31125.

² Facultad de Enfermería y Nutriología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Circuito Universitario, Chihuahua, Chihuahua, México 31125.

*Correspondencia: dchavezf@uach.mx (David Chávez Flores)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i1.755>

Recibido: 19 de enero de 2021; Aceptado: 20 de abril de 2021

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

Resumen

Mediante el desarrollo de un diseño factorial 2k se evaluó la temperatura y concentración del catalizador en la reacción para la obtención de ésteres metílicos de ácidos grasos utilizando aceite residual como sustrato metanol como aceptor de acilo *Candida antarctica* Lipasa B como catalizador y tamices moleculares como agente secante. Los datos experimentales se analizaron con un análisis de varianza. Las relaciones óptimas de catalizador-temperatura se determinaron a 13% -30 ° C, 14,5% -34 ° C y 14% -35 ° C. No se detectó ningún efecto de los tamices moleculares en el rendimiento de la reacción. Por el contrario, se registró para la acidez del producto, que mostró una disminución significativa, de 0,79 a 0,40 mg KOH / g. Aplicando las reglas de mezcla, se calcularon las propiedades fisicoquímicas de los esteres etílicos de ácidos grasos (densidad, gravedad API, viscosidad cinemática, punto de enturbiamiento, presión de vapor, índice de cetano y capacidad calorífica). Los resultados establecieron que el biocombustible es apto para uso comercial y cumple con las regulaciones para biocombustibles: ASTM D6751 y EN-14214. Se determinó que el terc-butanol es el disolvente óptimo para la recuperación y reutilización de la lipasa.

Keywords: ésteres, combustibles, aceite, residual, biodiesel, biocatálisis, ácidos grasos

Abstract

By the development of a 2k factorial design, the temperature and catalyst concentration were evaluated in the reaction for obtaining fatty acid methyl esters using residual oil as substrate, methanol as acyl acceptor, *Candida antarctica* Lipase B as catalyst and molecular sieves as drying agent. Experimental data was analyzed with an analysis of variance. Optimal catalyst-temperature

ratios were determined at 13%-30°C, 14.5%-34°C, and 14%-35°C. No effect of molecular sieves was identified in the reaction yield. Contrary, was recorded for the acidity of product, which showed a significant decrease, from 0.79 to 0.40 mg KOH/g. Applying the mixing rules, the physicochemical properties of the fatty acids methyl esters (density, API gravity, kinematic viscosity, cloud point, vapor pressure, cetane number and heat capacity) were calculated. Results established that the biofuel is suitable for commercial use and meets the regulations for biofuels: ASTM D6751 and EN-14214. Tert-butanol was determined as the optimum solvent for the recovery and the reuse of the lipase.

Palabras Clave: ester, fuel, oil, residual, biodiesel, biocatalyst, fatty acid

1. Introducción

El biodiesel es un combustible líquido semisintético conformado por mono alquil ésteres de ácidos grasos que se derivan de lípidos naturales y el cual constituye una opción que ha atraído la atención durante la última década como recurso renovable, biodegradable, no tóxico y respetuoso con el ambiente. Se produce generalmente mediante la modificación de triglicéridos de aceites y grasas vegetales o animales a través de la reacción de transesterificación (Saqib y col., 2012) que involucra alcoholes de cadena corta como metanol o etanol en presencia de un catalizador. El biodiesel se puede producir a través de medios químicos y biológicos. La vía química por lo general incluye dos tipos de catalizador: alcalinos y ácidos. En el caso del proceso alcalino tiene la desventaja de que si el aceite utilizado tiene alta concentración de ácidos grasos libres es probable que se formen jabones lo que crea dificultades en la recuperación del biodiesel. La transesterificación catalizada con ácidos/bases minerales es adecuada para una materia prima con ácidos grasos con alto contenido de agua, pero tiene el inconveniente de que los ácidos/bases minerales podrían causar daños a los equipos y las velocidades de reacción son muy lentas (Du y col., 2008). Debido a esto, la producción enzimática de biodiesel ha recibido especial atención, ya que tiene ventajas sobre diversos métodos químicos. En la actualidad, se está investigando el uso de lipasas inmovilizadas (Salazar-Leyva y col., 2014), enzimas que pueden servir como aceleradores de la reacción de transesterificación para la obtención de este biocombustible ya que su uso hace la reacción menos sensible a grandes cantidades de ácidos grasos libres. (Baeza-Jiménez y col., 2014). Enormes cantidades de aceites de cocina residuales y grasas animales están disponibles en todo el mundo, especialmente en los países desarrollados. El manejo de estos aceites y grasas suponen un reto importante debido a sus problemas de eliminación y la posible contaminación de los recursos hídricos y de tierras. A pesar de que algunos de estos aceites se utilizan para la producción de jabón, gran parte de ellos, son vertidos al ambiente (González y col., 2013), por lo que recientemente se ha estudiado el uso de este tipo de aceites para la producción de biodiesel debido a que no presenta competitividad contra el cultivo de plantas productoras para la industria alimentaria y posibilita la aplicación de estos desechos. Es por eso que en este artículo de investigación se estudió el uso de lipasa de *Cándida antártica* como biocatalizador para la producción de biodiesel a partir de aceite de cocina residual y utilizando ecuaciones calcular sus propiedades como combustible.

2. Materiales y métodos

Se utilizó aceite residual de un comedor industrial de la ciudad de Chihuahua, metanol grado cromatografía de líquidos de alta resolución HPLC por sus siglas en inglés High Performance Liquid Chromatography, con 99.8% de pureza de la marca J.T. Baker, lipasa tipo B de *Cándida*

antártica inmovilizada en resina de acrílico (Novozym 435) de Amano Enzymes Co. y algunos otros solventes todos ellos grado HPLC. Las reacciones fueron llevadas a cabo generando un medio anhidro a partir de la adición de tamices moleculares de tamaño de poro de 3 Å adquiridos de Sigma-Aldrich.

2.1. Caracterización de las materias primas

La composición de los ésteres metílicos de ácidos grasos FAME (por sus siglas en inglés, Fatty Acid Methyl Esters) fue calculada a través de la técnica de normalización de áreas mediante el uso del cromatógrafo de gases Agilent technologies 7890A acoplado a un espectrómetro de masas, utilizando KOH como catalizador para metilar el aceite. El índice de acidez, porcentaje de ácidos grasos libres (FFA), índice de peróxido, agua y sedimentos y densidad fueron calculados de acuerdo con la Tabla 1.

Tabla 1. Variables y niveles utilizados para el diseño factorial 2k.

Table 1. Variables and levels used for the 2k factorial design.

Variables independientes	Variables codificadas	Niveles		
		-1	0	1
Novozym 435 [%p/p]	X ₁	3	9	15
Temperatura (°C)	X ₂	30	45	60

2.2. Diseño experimental y análisis estadístico.

Se utilizó un diseño factorial 2k compuesto por dos niveles y un punto central (Tabla 2), mediante el programa Minitab versión 16. Las variables investigadas fueron temperatura (°C) y concentración del catalizador en porcentaje pesos/peso (%p/p) basado en el peso del aceite como variable dependiente. La variable de respuesta seleccionada fue el rendimiento de ésteres metílicos de ácidos grasos expresada como el % FAME.

Tabla 2. Propiedades y composición de aceite residual de la materia prima utilizada en la producción de FAME.

Table 2. Properties and composition of residual oil of the raw material used in the production of FAME.

Parámetros	Valor*	Unidad	Referencia
Acidity index	2.74±0.005	mg KOH/g	Pancreac
FFA	1.93±0.003	%	Araújo, 1995
Density	0.88±0.001	g/mL	EN-14214
Water and sediments	1±0.007	%	ASTM, 2008
Peroxide index	2.91±0.04	meq O ₂ /Kg	Araújo, 1995
Composición de ácidos grasos (%p/p)*			
Palmitic acid C16: 0	13.654±0.675		
Linoleic acid C18: 2	31.602±0.047		
Elaidic acid C18: 1	36.563±0.788		
Vaccenic acid C18: 2	5.236±0.064		
Oleic acid C18: 1	7.652±0.268		
Esteric acid C18: 0	5.294±0.180		

* Mean ± standard deviation

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante un modelo de regresión (Ec. 1), con un índice de confianza del 95% y para evaluar la significancia estadística de cada factor, los resultados fueron examinados mediante un análisis de varianza ANOVA (por sus sigloides en inglés, ANalysis Of VAriance) con una significancia del 5%.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \varepsilon \dots\dots\dots \text{Ec. (1)}$$

2.3 Reacciones de transesterificación.

Todas las reacciones fueron llevadas a cabo en viales conteniendo 3.5 g de aceite residual en relación molar metanol/aceite 4:1, agitadas a 300 rpm durante 24 h a diferentes concentraciones de catalizador y temperatura y de acuerdo al diseño de la matriz experimental de la (Tabla 3). Se utilizó una modificación de la metodología de Samukawa y col., (2000) que consistió en incubar la lipasa durante 24 horas en el aceite residual y posterior, se generó el medio anhidro adicionando la cantidad necesaria de tamices moleculares. Para evitar la inhibición de la lipasa, se utilizó una adaptación de la metodología propuesta por Shimada y col., (2002), y Azócar (2010), la cual consistió en adicionar el metanol en un protocolo de dos pasos. En el primer paso se adicionó 1/3 de la de la relación molar metanol/aceite y transcurridas 8 horas de reacción, en un segundo paso, se adicionaron los 2/3 remanentes. Se determinó el rendimiento de reacción mediante una modificación del método propuesto en la norma EN-14214 empleando como estándar interno laurato de metilo de concentración conocida y una modificación del método de normalización de áreas, mediante cromatografía de gases.

Tabla 3. Respuestas obtenidas en el diseño experimental y respuestas pronosticadas según el modelo de regresión para cada tratamiento.

Table 3. Responses obtained in the experimental design and predicted responses according to the regression model for each treatment.

No. De experimento	Niveles de variables		Rendimiento de FAME (%)	
	X ₁	X ₂	Experimental	Predicho
1	3	60	64.5	68.73
2	15	30	92.19	95.32
3	3	60	69.47	68.73
4	9	45	88.89	86.73
5	15	60	85.96	86.67
6	15	30	96.43	95.32
7	9	45	85.84	86.73
8	9	45	85.46	86.73
9	3	30	83.83	77.49
10	15	30	97.33	95.32
11	3	30	74	77.49
12	3	30	74.63	77.49
13	15	60	88.64	86.67
14	15	60	85.4	86.67
15	3	60	72.21	68.73

X₁=Concentración del catalizador, X₂= Temperatura.

2.4 Determinación de las propiedades fisicoquímicas del FAME.

El cálculo de las propiedades fisicoquímicas de los ésteres metílicos se fundamentó en las reglas de mezclado aplicadas a mezclas líquidas, es decir, se emplearon modelos matemáticos para evaluar las propiedades de la mezcla en función del porcentaje en masa de FAME. Esto involucró las propiedades críticas de cada metil éster, ya que a partir de estas propiedades es posible predecir otras (densidad, capacidad calorífica, presión de vapor, etcétera). En la Tabla 4 se presentan las propiedades calculadas y las Ecs. (3)-(12) utilizadas en este experimento.

Tabla 4. Ecuaciones de las reglas de mezcla para la determinación de las propiedades fisicoquímicas del FAME obtenido a partir de aceites residuales.

Table 4. Equations of the mixing rules for the determination of the physicochemical properties of the FAME obtained from residual oils.

Propiedad	Unidad	Valor	Ecuación	No.	Fuente
Factor acéntrico (ω_m)	-	0.91	$\omega_i = \frac{3}{7} \left[\frac{\theta}{(1-\theta)} \right] \log P_c - 1$	2	Reid <i>et al.</i> , (1977)
Volumen crítico (V_{cm})	cm ³ /mo l	1098.85	$V_{cm} = \sum_i \sum_j y_i y_j V_{cij}$	3	Rochaya, (2007)
Presión crítica (P_{cm})	Bar	11.85	$P_{cm} = \frac{(0.2905 - 0.085\omega_m)RT_{cm}}{V_{cm}}$	4	Rochaya, (2007)
Temperatura crítica (T_{cm})	C	463.07	$T_{cm} = \frac{1}{V_{cm}^{1/4}} \sum_i \sum_j y_i y_j V_{cij}^{1/4} T_{cij}$	5	Rochaya, (2007)
Densidad (ρ)	Kg/m ³	886.19	$\rho = \frac{\rho_R}{Z_{RA}\phi}$	6	Romano y Blangino, 2004).
Gravedad API (°API)	°API	28.17	$°API = \frac{141.5}{\rho_{rel}} - 131.5$	7	Rivera, (2013).
Viscosidad cinemática (η)	Cst	5.14	$\eta = (\sum_{i=1}^n X_i \eta_i)^{1/3}$	8	Zhmud, (2014).
Punto de nube (P.N)	°C	1.5690	$PN(C) = -0.576x + 48.225$	9	Sarin, (2009).
Presión de vapor (P_v)	Bar	Expresa da en función de T	$P_v = \exp\{f^{(0)}(Tr) + \omega_m f^{(1)}(Tr)\}$	10	Metha et al., (2011).
Número de cetano (CN_{FAME})	-	61.87	$CN = X_i CN$	11	Chieh, (2011)
Capacidad calorífica (C_p)	J/gK	2.21	$C_p = 0.000001M^2 + 0.0009M + 1.9291$	12	Metha et al., (2011).

2.5 Recuperación y reutilización de Lipasa B de *Candida Antártica*.

Una vez transcurrido el tiempo de reacción, se aisló la lipasa de la mezcla de FAME/glicerina/tamices, en un sistema de filtración al vacío. La enzima fue retenida en el filtro y fue lavada con tert-butanol. Para separar la enzima de los tamices moleculares, se empleó un tamiz con tamaño de malla de 0.850 mm.

3. Resultados y discusión

El análisis de varianza (ANOVA) para el modelo de regresión mostró un valor de p ($0.000 < 0.05$), lo cual indicó que dicho modelo representó con precisión la relación entre las respuestas y las variables (Tabla 5). Además, al analizar la influencia de dichas variables, se obtuvo un valor de p ($0.000 < 0.05$), para la concentración de la enzima (X_1) y un valor de p ($0.001 < 0.05$), para la temperatura (X_2), con lo cual se establece que una modificación de éstas afecta significativamente el porcentaje de obtención FAME's, siendo la concentración del catalizador la que presenta mayor efecto en la variable de respuesta (Rendimiento de FAME).

Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA) para el modelo de regresión.

Table 5. Analysis of variance (ANOVA) for the regression model.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Mínimos cuadrados	F	P	α
Modelo	4	1239.54	309.886	25.99	0.000	0.05
Lineal	2	1186.95	593.475	49.77	0.000	0.05
X_1	1	959.62	959.620	80.48	0.000	0.05
X_2	1	227.33	227.331	19.06	0.001	0.05
X_1X_2	1	0.01	0.009	0.00	0.979	0.05
Error	10	119.24	52.584	-	-	0.05
Total	14	1358.79	-	-	-	0.05

$S = 5\%$, $R^2 = 91.22\%$, $R^2_{aj} = 87.71\%$

Sin embargo, el valor de p ($0.979 > 0.05$) obtenido para la interacción enzima*temperatura (X_1X_2), resultó ser no significativo ($P > 0.05$), esto es, que no existe interacción entre estas variables ya que el efecto de un factor no depende de los niveles del otro factor.

De acuerdo con el análisis ANOVA (Tabla 5), el valor de R^2 señala que los resultados experimentales presentados en la Tabla 3 se ajustaron en un 91.22% al modelo propuesto (Ec. 1), mientras que el valor de R^2_{aj} muestra un ajuste del 87.71% al modelo de regresión. En base a esto, el modelo final entregado por el diseño factorial 2k en términos de las variables no codificadas puede ser escrito según la (Ec. 13). Sin embargo, como el ANOVA también mostró que no existe interacción entre los factores, el modelo propuesto en términos de las variables no codificadas puede ajustarse a la Ecuación 14, en donde se desprecia el efecto de la interacción Enzima*Temperatura.

$$\text{FAME (\%)} = 81.82 + 1.477 X_1 - 0.293 X_2 + 0.0003 X_1X_2 + 4.68 \dots \text{Ec. (13)}$$

$$\text{FAME (\%)} = 81.82 + 1.477 X_1 - 0.293 X_2 + 4.68 \dots \text{Ec. (14)}$$

A través del modelo ajustado (Ec. 14) y de acuerdo al criterio límite de la máxima respuesta obtenida en el rendimiento de FAME, fue posible predecir diversas condiciones óptimas de reacción, esto con la finalidad de reducir costos de producción y la concentración de enzima. Las condiciones óptimas de reacción predichas fueron empleando 13% de catalizador y 30°C, 14.5% de catalizador y 34°C, y 14% de catalizador y 35°C.

Además de las condiciones óptimas predichas por el modelo, éste permitió predecir condiciones óptimas en un rango de temperaturas inferior a 30°C. Sin embargo, debido a la naturaleza de los aceites residuales, cuando son incorporados a un sistema de reacción con bajas temperaturas, estos presentan dificultad para dispersarse en el medio por la tendencia que tienen de ser sólidos o semisólidos, lo cual dificulta la transferencia de masa.

3.1 Efecto del medio anhidro.

Se analizó el rendimiento del FAME generado en el medio anhidro bajo las condiciones del punto central del diseño factorial 2k y fueron comparados con un medio de control, al cual no se le adicionaron tamices moleculares. La Fig.1 mostró que cada condición evaluada (con y sin tamices), describía un comportamiento similar, por lo que fue necesario realizar comparaciones de Tukey. Dicho análisis permitió establecer que la presencia de tamices moleculares no favoreció el rendimiento de la reacción de obtención de FAME. Una posible explicación para esto, es que el medio de control se vio favorecido como consecuencia de un bajo contenido de agua (1%) y FFA (1.93%) en la materia prima. Además, la preincubación de la lipasa en ambos medios jugó un papel importante, ya que de acuerdo con Samukawa y col., (2000), este paso evita que la lipasa adsorba agua durante la reacción de transesterificación.

Pese a que los tamices moleculares no incrementaron el rendimiento de la reacción, se cree que estos tuvieron la capacidad de absorber el agua presente en el aceite y el agua generada por esterificación de FFA, así como evitar la hidrólisis de triglicéridos. Para comprobar este supuesto, se midió la acidez del FAME generado en los dos medios, siendo la acidez reportada para el FAME generado en el medio anhidro de 0.4 mg KOH/g y 0.79 mg KOH/g para el FAME generado sin la adición de tamices moleculares. A pesar de los bajos índices de acidez obtenidos, el FAME producido con la adición de tamices moleculares fue el que cumplió los estándares de acidez (<0.5) establecidos por la norma europea EN-14214 para biocombustibles, lo que conlleva a suponer que la acidez y el rendimiento están asociados a un mejor funcionamiento de Novozym 435 en condiciones anhidras, tal como fue demostrado en los experimentos realizados por Fukuda y col., (2008), quienes llevaron a cabo un experimento con las lipasas *Rizopus orizae* y Novozym 435 adicionado diferentes concentraciones de agua, en el experimento antes mencionado, Novozym 435 presentó mejores rendimientos con la menor concentración de agua en el medio (0%). De la misma forma, Lee y col., (2011), utilizando Lipozyme de *Rhizmucor miehei* inmovilizada emplearon diferentes cantidades de silica gel para generar un medio anhidro y transesterificar aceite de canola obteniendo conversiones entre 93 y 99%.

3.2 Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de la materia prima y del FAME.

Para el cálculo de las propiedades críticas de la mezcla de metil ésteres se emplearon las composiciones másicas mostradas en la Tabla 1 y el porcentaje de FAME obtenido en el experimento 10 de la Tabla 3, debido a que fue el que presentó mayor porcentaje de rendimiento (97.33%). Este cálculo fue necesario para conocer la composición real en masa, ya que la composición de cada ácido graso presentada en la Tabla 1 corresponde a la composición suponiendo que el aceite haya transesterificado por completo (100% de rendimiento). Las composiciones másicas fueron convertidas a composiciones molares utilizando los pesos moleculares de los metil ésteres y en base a esto se pudo calcular la fracción molar que corresponde a cada metil éster en el biodiesel. Se necesitaron, además, el volumen, la temperatura, y la presión

crítica de cada componente de la mezcla, así como la temperatura de ebullición. Estos datos fueron proporcionados por Aca y col., (2009).

Reemplazando los valores de las fracciones molares de cada componente y los valores de las propiedades críticas de cada componente en las Ecs. (2)-(5), se calcularon las propiedades críticas y el factor acéntrico (ω_m) del FAME (Tabla 4). A partir de estos datos fue posible predecir las principales propiedades fisicoquímicas que son evaluadas por las normas ASTM D6751 y EN-14214 para el uso comercial de biocombustibles.

3.2.1 Densidad.

A partir de los resultados graficados en la Fig. 1, se observa que los valores de la densidad del líquido a bajas temperaturas disminuyen linealmente hasta su punto de ebullición (302.2 °C), después de esto, se reduce a una tasa mayor, lo que podría atribuirse a un aumento de la cantidad de líquido que se expande térmicamente. Este mismo comportamiento fue descrito por Rivera (2013) quien predijo la densidad para el biodiesel obtenido a partir de aceite de palma.

La norma europea EN-14214 para biocombustibles establece que la densidad del FAME debe estar comprendida en un rango de 860-900 Kg/m³ y 860-894 Kg/m³ según la ASTM D6751. En este experimento la densidad predicha para la mezcla de FAME cumplió con los estándares establecidos por dicha norma ya que el valor calculado fue 886.19 Kg/m³.

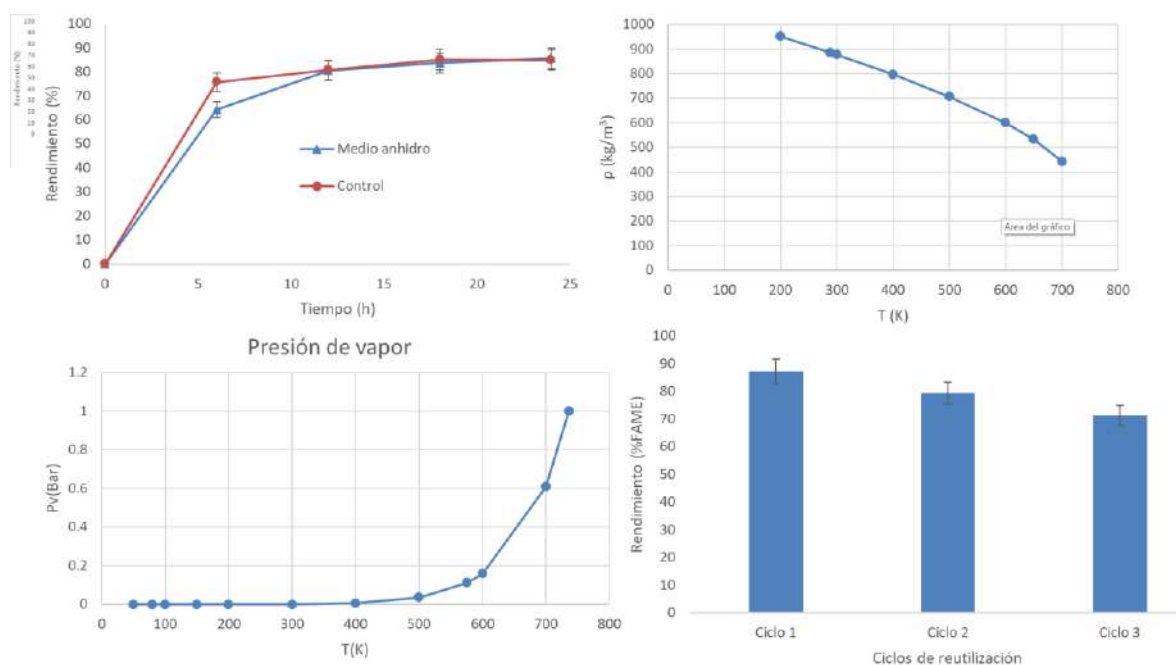


Figura 1. (Arriba a la izquierda) Rendimiento de FAME durante la reacción de transesterificación en medio anhidro y en el medio de control. Media $\pm$ desviación estándar. (Arriba a la derecha) Efecto de la temperatura sobre la densidad FAME obtenida de aceites residuales. (Abajo a la izquierda) Presión de vapor de FAME en función de la temperatura. (Abajo a la derecha) Ciclos de reutilización de Novozym 435. Media $\pm$ desviación estándar.

Figure 1. (Top left) Yield of FAME during the transesterification reaction in anhydrous medium and in the control medium. Mean $\pm$ standard deviation. (Top right) Effect of temperature on the FAME density obtained

from residual oils. (Bottom left) Vapor pressure of FAME as a function of temperature. (Bottom right) Novozym 435 reuse cycles. Mean $\pm$ standard deviation.

3.2.2 Gravedad American Petroleum Institute (API)

La gravedad API para la mezcla de FAME a 15 °C fue estimada en 28.17 °API. Aunque este valor no se encuentra reportado en las normas para el uso de biocombustibles, se decidió calcular debido a que asocia la densidad de un combustible con la del agua y define cuan pesado o liviano es. De acuerdo con Acevedo y Guardo (2012), en función de la gravedad API, los combustibles están clasificados en livianos (°API=32-40), intermedios (°API=21-30) y pesados (°API= 15-20), siendo los livianos los de mayor valor adquisitivo e importancia comercial. El FAME obtenido en esta investigación fue de clasificación intermedia.

3.2.3 Viscosidad cinemática a 40°C.

El cálculo de la viscosidad cinemática del FAME requirió de las fracciones masa (X_i) y las viscosidades a 40°C de cada uno de los metil ésteres que componían la mezcla. Sustituyendo estos valores en la Ecuación 8 resultó un valor de 5.14 cst para la viscosidad cinemática.

El valor de la viscosidad cinemática obtenido en este experimento cumplió con los parámetros establecidos por la norma ASTM D6751 la cual establece un rango de viscosidad de 1.9-6 cst. Sin embargo, dicho valor no cumplió con la norma EN-14214 ya que el parámetro de calidad establecido por esta comprende viscosidades en un rango de 3.5-5 cst.

3.2.4 Punto de nube.

El punto de nube fue estimado con la Ec. (9), aunque el valor predicho para este parámetro (1.5690 °C) cumplió la especificación de la ASTM, el punto de nube es una medida que determina la aparición de cristales en el líquido a cierta temperatura, por lo cual, la norma permite ajustar el valor según la región donde se utilice.

3.2.5 Presión de vapor.

A partir de la Ec. (10) fue posible calcular la presión de vapor del FAME en función de la temperatura en un rango comprendido de -223.15 °C hasta su temperatura crítica (Figura 1).

Debido a que el FAME no contiene componentes volátiles, su presión de vapor sigue siendo muy baja hasta que alcanza su punto inicial de ebullición reportado en 300.2 °C, posteriormente, como es de esperarse, la presión de vapor se eleva rápidamente y alcanza su punto máximo alrededor de su temperatura crítica (463 °C), este valor está asociado a la volatilidad de la mezcla. Sin embargo, los valores de las presiones de vapor en mezclas de ésteres metílicos han sido poco reportados, ya que las investigaciones realizadas en este ámbito, se encuentran enfocadas a obtener las constantes de Antoine para cada sustancia, lo cual limita su aplicabilidad.

3.2.6 Número de cetano.

El número de cetano fue calculado a partir de la Ec. (11), para lo cual fue necesario el número de cetano de cada componente y su fracción masa, al sustituir estos valores se obtuvo un valor para el número de cetano de la mezcla de FAME de 61.87. Este valor es atribuido al bajo índice de peróxido del aceite residual (Tabla 1), el cual es indicativo de pocas reacciones de oxidación durante el proceso de fritura de la materia prima, ya que estos procesos tienden a aumentar el número de insaturaciones en el aceite con lo cual disminuye el valor del índice de cetano en el biodiesel. El número de cetano estimado en este experimento cumplió con los valores establecidos

en ambas normas (mínimo 47 en el caso de la ASTM D6751 y mínimo 51 para la EN-14214), lo cual quiere decir que el FAME obtenido a partir de aceites residuales evitará desgastes en los pistones de un motor diesel.

3.2.7 Capacidad calorífica.

Usando la Ec. (12), junto con la capacidad calorífica de cada metil éster que compone la mezcla, así como sus pesos moleculares, fue posible predecir la capacidad calorífica a 25°C del FAME, la cual fue estimada en 2.21 J/g K. Este resultado se comparó con los obtenidos por Rivera (2013), quien también utilizó la Ec.(13) para determinar la capacidad calorífica del biodiesel de palma, siendo reportada en 2.10 J/g K. Pese a la similitud encontrada con esta investigación, el valor experimental del biodiesel está determinado en 1.98 J/g K. Esta discrepancia es atribuida a que el modelo empleado para el cálculo de esta propiedad es en función del peso molecular de los componentes individuales de la mezcla y como previamente fue establecido, el FAME obtenido en este trabajo presenta en su mayoría cadenas de ésteres metílicos de 18 carbonos.

3.3 Recuperación y reutilización de Novozym 435

Posterior a la reacción de producción de FAME, se llevó a cabo el procedimiento para separar la enzima de los reactivos y productos para su recuperación y reutilización. En la Fig. 1 se observa que el rendimiento del FAME sólo decreció en un 5% para cada ciclo empleado. Los resultados obtenidos en esta investigación demostraron que debido a que el tert-butanol es un solvente medianamente polar, las propiedades hidrofílicas de este, permitieron remover la pared de glicerina formada durante la reacción con los lavados sucesivos, mientras que las propiedades hidrofóbicas, permitieron mantener una alta actividad enzimática, lo cual se vio reflejado en el rendimiento de la reacción. Estos resultados presentan similitud con una investigación realizada por Chen y col., (2011), quienes al emplear tert-butanol como solvente en el medio de reacción, lograron tener conversiones superiores al 80% sin pérdida de actividad catalítica de Novozym 435. Como en esta investigación la cantidad de muestra fue muy pequeña, no fue posible llevar a cabo más de tres ciclos de recuperación debido a la pérdida de enzima durante el proceso de lavado.

4. Conclusiones

De acuerdo con el modelo obtenido a través del diseño factorial 2^k , las mejores condiciones de operación en la producción de FAME en presencia de un medio anhidro, son utilizando la mayor concentración de catalizador 14% y la menor temperatura 30°C, esto debido a que, aunque ambas variables son significativas, la concentración de enzima es la que presenta mayor efecto en la variable de respuesta. Sin embargo, aunque no fue posible incrementar el rendimiento de la reacción 97.33% con la generación de este medio, la incorporación de tamices moleculares resultó ser un método efectivo para disminuir la acidez del producto debido a que se evitaron reacciones de hidrólisis causadas por el agua en la reacción, lo cual evitó la producción ácidos grasos libres, obteniéndose FAME principalmente por transesterificación y de características aceptables de acidez. El uso de las reglas de mezclado para la predicción de las propiedades fisicoquímicas del FAME permitió obtener valores cercanos a los reportados experimentalmente, cumpliendo con la normativa para el uso de biocombustibles, además, este tipo de modelos matemáticos son capaces de sustituir a los métodos propuestos por las normas, facilitando así el cálculo de sus propiedades.

Debido a su mediana polaridad, el uso del tert-butanol como agente de lavado para recuperar y reutilizar las enzimas es efectivo en procesos de obtención de biocombustibles, ya que ésta le confiere propiedades de carácter hidrofóbico e hidrofílico.

Agradecimientos

Reconocemos el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) a través del proyecto 232163 y a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

Conflicto de interés

No existe conflicto de interés por de los autores.

5. Referencias

- Aca, M., Campos, E., & Sánchez, O. (2009). Estimación de propiedades termodinámicas de los compuestos involucrados en la producción de biodiesel. *Superficies y Vacío* 22, 15-19p. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94216153004>
- Acevedo, G., & Guardo, A. (2012). Predicción de las emisiones generadas en la combustión del biodiesel a partir de la microalga *Chlorella* nativa (Tesis de licenciatura). Universidad de Cartagena, Colombia. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/104>
- American Society for Testing and Materials, ASTM (2008): Annual Book of ASTM Standards: Section 5 - Petroleum Products, Lubricants, and Fossil Fuels. ASTM International, West Conshohocken.
- Araújo, J. (1995). *Oxidação de Lipídios*. Imprensa Universitária.
- Azócar, L. (2010). Proceso enzimático para la producción de metil ésteres de ácidos grasos utilizando aceites residuales de fritura en mezcla con aceite de raps como materia prima (Tesis doctoral). Universidad de la Frontera, Chile. <http://hdl.handle.net/10533/180147>
- Baeza-Jiménez R., López-Martínez L.X., and García H.S. (2014). Biocatalytic modification of food lipids: reactions and applications. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Vol. 13, no.1, 29-47. <http://rmiq.org/ojs311/index.php/rmiq/article/view/1294>
- Blangino, A., & Romano, S. (2004). Modelado y correlaciones en biodiesel. *Anales AFA* 16. <https://bit.ly/3LhzFbv>
- Chen, H., Ju, H., Wu, T., Liu, Y., Lee, C., Chang, C., Shieh, C. (2011). Continuous Production of Lipase-Catalyzed Biodiesel in a Packed-Bed Reactor: Optimization and Enzyme Reuse Study. *Biomedicine and Biotechnology J.*, 6p. <https://doi.org/10.1155/2011/950725>
- Chieh, Y. (2011). Selection of prediction methods for thermophysical properties for process modeling and product design of biodiesel manufacturing. Instituto Politecnico de Virginia, USA. <https://doi.org/10.1021/ie102441u>
- Du, W., Li, W., Sun, T., Chen, X., & Liu, D. (2008). Perspectives for biotechnological production of biodiesel and impacts. *Appl Microbiol Biotechnol*, p. 331-337. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1448-8>
- Fukuda, H., Tamalampudi, S., Talukder, M., Hama, S., Numata, T., & Kondo, A. (2008). Enzymatic production of biodiesel from *Jatropha* oil: A comparative study of immobilized-whole cell and

- commercial lipases as a biocatalyst. *Biochem Eng J* 39:185-189., 185-189p. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2007.09.002>
- González, M. (2013). Producción de biodiesel mediante el uso de lipasas y algas. Monografía, Facultad de Ingeniería y Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, México. <https://bit.ly/3NmFFkI>
- Lee, M., Lee, J., Lee, D., Cho, J., Kim, S., & Park, C. (2011). Improvement of enzymatic biodiesel production by controlled substrate feeding using silica gel in solvent free system. *Enzyme and Microbial Technology*, 402-406p. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2011.06.020>
- Metha, P., Anand, K., & Sharma, R. (2011). A comprehensive approach for estimating thermo-physical properties of biodiesel fuels. *Applied Thermal Engineering* 31, 235-242p. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.applthermaleng.2010.09.003>
- Pancreac Química (s.f). Metodos oficiales de analisis aceites y grasas. Pancreac Química. <https://www.usc.gal/caa/MetAnalisisStgo1/aceites.pdf>
- Reid, R., & P, J. (1977). The properties of gases and liquids. New York: McGraw Hill. <https://bit.ly/3sGslu4>
- Rivera, A. (2013). Cálculo de las propiedades fisicoquímicas del biodiesel y sus mezclas con diesel a partir de reglas de mezclado (Tesis de Licenciatura). Universidad de Cartagena, Colombia. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/62>
- Rochaya, D. (2007). Numerical simulation of spray combustion using Bio-mass derived liquid fuels (Tesis Doctoral). Cranfield University, Reino Unido. <http://hdl.handle.net/1826/2231>
- Samukawa, T., Kaieda, M., Matsumoto, T., Ban, K., Kondo, A., Shimada, Y., Fukuda, H. (2000). Pretreatment of immobilized *Candida antarctica* lipase for biodiesel fuel production from plant oil. *J Biosci Bioeng* 90, 180-183p. [https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(00\)80107-3](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(00)80107-3)
- Salazar-Leyva J.A., Lizardi-Mendoza J., Ramírez-Suarez J.C., García-Sánchez G., Ezquerro-Brauer J.M., Valenzuela-Soto E.M., Carvallo-Ruiz M.G., Lugo-Sánchez M.E. y Pacheco-Aguilar R. (2014) Utilization of chitin and chitosan based materials for protease immobilization: stabilization effects and applications. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, Vol. 13, No. 1, 129-150 <https://bit.ly/3LshUGm>
- Saqib, M., Mumtaz, M., Mahmood, A., & Abdullah, M. (2012). Optimized Biodiesel Production and Environmental Assessment of Produced Biodiesel. *Biotechnology and Bioprocess Engineering* 17, 617-613p. <https://doi.org/10.1007/s12257-011-0569-6>
- Sarin, A. (2009). Effect of blends of Palm-Jatropha-Pongamia biodiesels on cloud point and pour point. *Energy* 34, 2016-2021p. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.08.017>
- Shimada, Y., Wantanabe, Y., Sugihara, A., & Tominaga, Y. (2002). Enzymatic alcoholysis for biodiesel fue production and application of the reaction to oil processing. *J. Mol Catal B: Enzymatic*, 133-142p. [https://doi.org/10.1016/S1381-1177\(02\)00020-6](https://doi.org/10.1016/S1381-1177(02)00020-6)
- Zhmud, B. (2014). Viscosity blending equations. *Lube.Tech*, 92, 1-4p. <https://es.scribd.com/document/258705309/Lube-viscosity-2014>

2021 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

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



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

Producción de kale en diferentes sustratos bajo condiciones de invernadero

Production of Kale in different substrates under greenhouse conditions

Jordán Ordaz Gallegos¹, Julio Sánchez Escudero¹, Jonathan E. Márquez de la Cruz¹, Ivan Cabanzo Atilano², María de las Nieves Rodríguez Mendoza^{1*}

¹Postgrado en Agroecología y Sustentabilidad, ²Postgrado en Edafología. Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carretera México-Texcoco, CP 56230

*Correspondencia: marinie@colpos.mx (María de las Nieves Rodríguez Mendoza)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i1.757>

Recibido: 19 de enero de 2021; Aceptado: 28 de mayo de 2021

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

Resumen

El objetivo de la investigación fue comparar el crecimiento y desarrollo de cultivares de kale en diferentes sustratos en condiciones de invernadero. Bajo un diseño factorial (4 x 3), cultivares Chinese, Siberiano, Rusian y Etiopia se sembraron en almácigos y trasplantaron en; 1) tezontle rojo de 0.3 cm + sol. Steiner, 2) mezcla de vermicompost-perlita-suelo de monte y 3) mezcla bocashi-perlita-suelo de monte, en un diseño experimental completamente al azar. A la cosecha (4 meses después) se midieron variables de desarrollo, así como NO₃⁻, K⁺ y Ca²⁺ en extracto celular de peciolo. La altura de planta, el área foliar y peso seco de las plantas, así como el contenido de nitratos en extracto celular se incrementaron notablemente cuando el sustrato fue tezontle con solución Steiner. La respuesta del cultivo a vermicompost y bocashi fue estadísticamente igual en los cuatro cultivares. El Área Foliar Específica y Relación de Área Foliar variaron como respuesta a la fuente de nutrición en cada cultivar. Los cultivares de kale de la investigación que carecen de potencial comercial como *Brassica oleracea* var *acephala* son una alternativa viable para producir fácilmente y consumir por el ser humano por ser una hortaliza con alto contenido de antioxidantes y minerales.

Palabras Clave: *Brassica oleracea*, *B. juncea*, *B. carinata*, sustratos orgánicos, índices de crecimiento, extracto celular de peciolo.

Abstract

The objective of the research was to compare the growth and development of kale (*Brassica oleracea*) crops in different substrates under greenhouse conditions. Under a factorial design (4 x 3), cultivars Chinese, Siberian, Russian and Ethiopia were sown in seedlings and transplanted in; 1) red tezontle of 0.3 cm + Steiner solution, 2) vermicompost-perlite-forest soil mixture and 3) bocashi-

perlite-forest soil mixture, in a completely randomized experimental design. At harvest (4 months later) development variables were measured; NO_3^- , K^+ + and Ca^{2+} in petiole cell extract. Plant height, leaf area and the dry weight of the leaf area, as well as the content of nitrates in the cellular extract, increased notably when the substrate was tezontle and Steiner. The response of the crop to vermicompost and bocashi was statistically the same in the four substrates. The Specific Leaf Area and Leaf Area Ratio varied in response to the source of nutrition in each crop. The research conclusions are that Kale crops that are not as commercial as *Brassica oleracea* var *acephala* are a viable alternative to easily produce and consume by human being as it is a vegetable with a high content of antioxidants and minerals.

Keywords: *Brassica oleracea*, *B. juncea*, *B. carinata*, organic substrates, growth indices, petiole cell extract.

1. Introducción

El kale pertenece a la familia Cruciferae, en donde existen 341 géneros y al menos 3977 especies distribuidas a nivel mundial (Franzke *et al.*, 2011), entre los cultivos más conocidos de esta familia están; brócoli, coliflor, colza, arúgula, nabo y diversos rábanos (Anjum *et al.*, 2011) que se utilizan ampliamente en la alimentación. El kale más conocido como col rizada (*Brassica oleracea* var *acephala*), al igual que otras especies de kale (*Brassica juncea*, *oleracea* y *carinata*) (Samec *et al.*, 2019), se caracterizan por tener hojas carnosas con altas concentraciones de glucosinolatos y proteínas, calcio, hierro, magnesio, potasio y vitaminas C, K y A, ricos en ácidos grasos omega 3 y bajo contenido de calorías (Becerra-Moreno *et al.*, 2014; Abbey *et al.*, 2018; Giorguetti *et al.*, 2018) así como antioxidantes como vitamina C, carotenoides, flavonoides, que le dan propiedades anticancerígenas y desintoxicantes, motivo por el cual le llegan a llamar el superalimento. (Ferioli *et al.*, 2013; Reyes-Munguía *et al.*, 2017; Abbey *et al.*, 2018). Aunque el kale rizado es el que con frecuencia se encuentra en el mercado catalogado como un alimento gourmet, existen otras variedades con diferentes formas de hojas, tonos de verde e intensidad de sabor que también tienen alto contenido nutrimental (Azevedo *et al.*, 2014) y que es necesario dar a conocer por ser una alternativa de alimentación de bajo costo. Motivo por lo cual se requiere conocer las variantes del cultivo, formas estratégicas y simples de producción para que puedan ser adoptadas por pequeños productores y la población en general para autoconsumo o comercialización con beneficio en la alimentación y así introducirlo dentro de la canasta básica. El objetivo de la investigación fue comparar el crecimiento y desarrollo de cultivares de kale no comerciales en diferentes sustratos en condiciones de invernadero para dar alternativas simples para la alimentación.

2. Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en abril del 2019, en un invernadero del área de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados, de tipo túnel, con ventilación y cortinas laterales, estructura de acero galvanizada y cubierta de polietileno UVII-720. Temperatura de 38.7 °C (máxima) y 10.5 °C (mínima) y humedad relativa fue de 76.8% (máxima) y 26.8% (mínima). Se establecieron almácigos de poliestireno de 50 cavidades (75 cm³) con peat moss y semillas de Kale, cultivares Chinesa (*Brassica juncea*), Rusian (*Brassica oleracea*), Etiopía (*Brassica carinata*) y Siberiana (*Brassica oleracea*).

Estas se regaron con agua hasta la emergencia y a las primeras hojas verdaderas se regó con solución Steiner al 25% hasta el tiempo de trasplante que fue cuando las plántulas tenían cuatro hojas y una altura promedio de 15 cm (23 días). El trasplante se realizó a bolsa de polietileno calibre 800 de 35 x 35 cm que fueron llenadas con tres sustratos diferentes. 1) Tezontle de partícula de 0.5 a 1 cm², 2) vermicompost: perlita: suelo de monte (1:1:1) y 3) bocashi: perlita: suelo de monte (1:1:1). Las mezclas se hicieron con la finalidad de evitar compactación en los sustratos. Posterior se instaló el riego por goteo, que para el tezontle por ser sustrato inerte se suministró la solución de Steiner al 100% (Steiner, 1961) y para las mezclas de vermicompost y bocashi agua acidulada (pH 5.5) por considerar que los nutrientes serán absorbidos directamente de la solución de los sustratos. El diseño de tratamientos fue una factorial 4 x 3, que corresponde a cuatro cultivares y tres fuentes diferentes de sustratos con ocho repeticiones cada uno, establecidas en un diseño experimental completamente al azar.

A los cuatro meses del trasplante, se cosecharon las plantas y se evaluó; *in situ* en el extracto celular de peciolo, NO₃⁻, K⁺ y Ca²⁺; con medidores específicos de Horiba (laquatwin). Altura de planta determinada con cinta métrica, diámetro de tallo con un vernier digital Marca Truper® CALDI-6MP, área foliar con el integrador de área foliar (LICOR LI-300), biomasa seca de hojas y tallo poniendo a peso constante las muestras en un horno de circulación de aire y determinado con una balanza analítica (OHAUS Adventurer Pro AV213C). Considerando que es una hortaliza de hojas, con las medidas de área foliar y peso seco, se calcularon los índices de crecimiento: Área foliar específica (AFE=AF/PSH; cm² g⁻¹) que mide el grosor de la hoja en función de la tasa de crecimiento relativo y que se modifica con la nutrición del cultivo; y Razón de área foliar (RAF=AF/PST; cm² g⁻¹) para comparar la eficiencia del dosel vegetal entre tratamientos. Donde: PST= Peso Seco Total, AF = Área foliar de la planta, PSH=peso seco de área foliar, (Mascorro *et al.*, 2001; Hunt *et al.*, 2002; Villar *et al.*, 2008).

Los datos obtenidos por cultivar, fueron analizados con el paquete SAS (versión 9.4) y sometidos a pruebas de normalidad (Shapiro-Wilck) y homoscedasticidad (Prueba de Bartlett), el análisis de varianza (ANOVA) con ($\alpha=0.05$) y pruebas de comparación de medias de Tukey con ($\alpha=0.05$).

3. Resultados y discusión

Los cuatro cultivares de kale presentaron crecimiento, forma de hojas, tamaño, color e intensidad de sabor diferente, de acuerdo a las características genéticas de cada una de ellas (Fig. 1). De hecho, el cv Ruso tenía los peciolo de las hojas ligeramente morados, parecidos a las hojas de betabel. Se observan hojas lanceoladas y ovales, con bordes lisos, ondulados, dentado y acerrado.

El análisis de varianza (Tabla 1), muestra la significancia en algunas variables de estudio en función de la especie de kale y significancia en todas las variables por efecto de los sustratos; la significancia en las interacciones se dio solo en el área foliar, peso seco de tallo y contenido de nitratos.

Tabla 1. Análisis de varianza de crecimiento y contenido de NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} en extracto celular en cultivares kale desarrollado con diferentes sustratos en condiciones de invernadero.

Table 1. Analysis of variance of growth and content of NO_3^- , K^+ , Ca^{2+} in cell extract in kale cultivars development with different substrates under greenhouse conditions.

Fuente de variación	AP	DT	AF	PSH	PSTa	PST	NO_3^-	K^+	Ca^{2+}
Cultivar	-	**	**	**	-	-	**	**	-
Sustrato	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Cult * Sustr.	-	-	**	-	**	-	**	-	-
CV	13.63262	17.72118	46.78646	48.93152	48.27523	45.62598	26.51728	8.712017	41.07888
R^2	0.514393	0.759430	0.810994	0.735126	0.676925	0.713479	0.914607	0.712456	0.540298
F calculada	8.09	24.11	32.77	21.19	16.00	19.02	46.74	10.81	5.13
Media	25.36979	9.636250	1047.046	7.604896	5.226875	12.83177	6167.000	276.8333	3324.333

AP = altura de planta, DT = diámetro de tallo, AF = área foliar, PSH = peso seco de hojas, PSTa = peso seco de tallo, PST = peso seco total. - no hay diferencia estadística. ** Diferencia estadística altamente significativa.





Figura 1. Diferencias en la forma de hojas y porte de cultivares de kale producidos en invernadero.
Figure 1. Differences in leaf shape and bearing of kale cultivars produced in greenhouse.

Altura de planta y diámetro de tallo.

La altura mostró diferencias estadísticas significativas por efecto de sustrato, y el diámetro de tallo por cultivar y sustrato (Tabla 1). Estas dos variables, son importantes en la evaluación de crecimiento y desarrollo de las plantas y no solo estuvo determinado por la nutrición, también es efecto de la genética, dado que cada cultivar tiene características diferentes (Tabla 2). Para fines de comercialización del kale ambas variables no tienen importancia económica, debido a que lo que se vende y consume son las hojas, pero los tallos pueden ser utilizados para alimento de ganado considerando el contenido nutrimental (Dermanet, 2014).

Área foliar y peso seco de hojas

En kale, el tamaño de la hoja y la edad de esta son los factores importantes que influyen en el sabor para la comercialización. los cultivares de Ruso (*Brassica oleracea*), Siberiano (*Brassica oleracea*) y Etiopia (*Brassica carinata*), presentaron una notoria diferencia en área foliar entre las plantas desarrolladas en tezontle y en los dos sustratos orgánicos (Fig. 2), en menor proporción se presenta la diferencia en el cv Chinese (*Brassica juncea*). El análisis estadístico mostró diferencias altamente significativas entre el tratamiento mineral y los orgánicos, por ejemplo, las plantas que crecieron en tezontle incrementaron el tamaño de la hoja entre tres y ocho veces más que cuando las plantas crecieron en vermicompost ó bocashi. Esta respuesta se debe al suministro balanceado de la solución nutritiva utilizada con el tezontle, como es un sustrato inerte, este no interfiere en el movimiento de los iones de la solución a la raíz. Yoder y Davis, 2020, indican que el área foliar es muy importante para quienes venden en fresco, porque con las hojas grandes, hacen ver más vistoso el manojo para el consumidor. Aunque no se puede generalizar que la nutrición mineral siempre va a ser mejor, dado que Haile y Ayalew (2018) producen kale en suelo con la aplicación de efluente orgánico y aumenta el área foliar más que cuando se aplica fertilizante mineral, sin embargo, cuando combinan el nitrógeno mineral y efluente orgánico se potencializa el desarrollo de la planta. Esta es una buena estrategia, disminuir dosis de fertilizantes minerales y combinar con

efluentes o fertilizantes orgánicos (organomineral) como alternativa para bajar costos y contaminación.

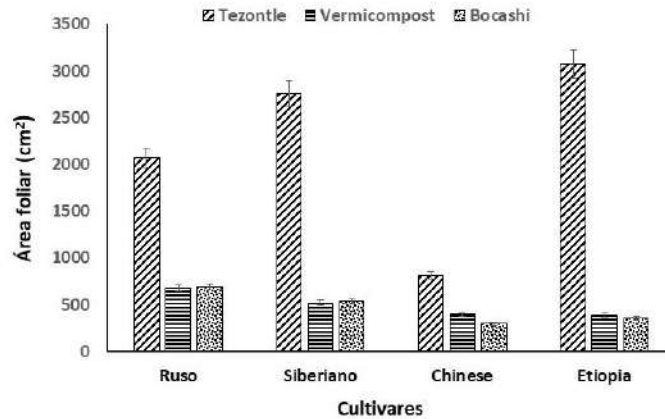


Figura 2. Área foliar de diferentes cultivares de kale desarrollados en sustrato inerte y orgánico en condiciones de invernadero. (Los datos graficados representan la media +/- desviación estándar, n=8).

Figure 2. Leaf area of different kale cultivars developed in inert and organic substrate under greenhouse conditions. (Plotted values represent the mean +/- standar deviation, n=8).

El peso seco de las hojas al igual que el área foliar, es importante porque el kale también se vende en polvo deshidratado, esta variable presentó la misma tendencia que el área foliar (Fig. 3). Sin embargo, es importante hacer notar que el cv Siberiano tiene hojas más gruesas que los otros, y es posible identificar porque el área foliar de cv Etiopia era mayor que Siberiano y en el peso la relación se invierte.

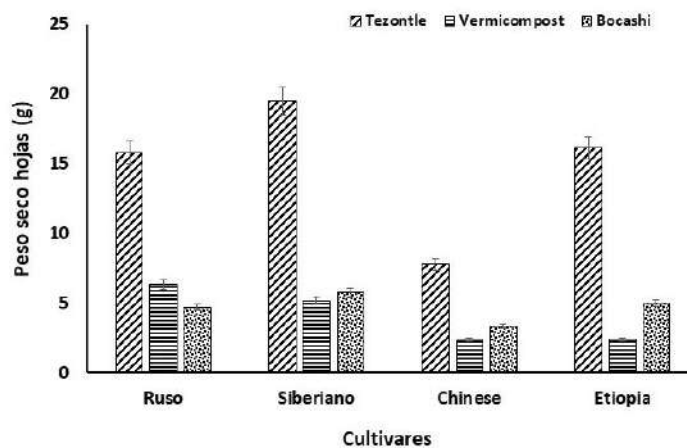


Figura 3. Peso seco de hojas de diferentes cultivares de kale desarrollados en sustrato inerte y orgánico en condiciones de invernadero. (Los datos graficados representan la media +/- desviación estándar, n=8).

Figure 3. Dry weigth of leaves of different kale cultivars developed in inert and organic substrate under greenhouse conditions. (Plotted values represent the mean +/- standar deviation, n=8).

Peso seco de tallo y peso seco total

No todos los cultivares tienen una misma estructura de tallo (Fig. 1). Sin embargo, las plantas crecidas en tezontle y con solución nutritiva de Steiner siempre presentaron los tallos grandes y robustos, independientemente del cultivo, esto se refleja con un mayor peso seco que cuando las plantas se desarrollaron en mezcla de vermicompost y bocashi (Tabla 2). La respuesta tiene que ver con el balance en la solución nutritiva, esto no quiere decir que los sustratos orgánicos no son adecuados, de hecho, son estrategias en las que se debe de hacer más énfasis en su uso con la idea de incrementar no solo el rendimiento sino las propiedades nutraceuticas del cultivo, que la mayoría de las veces se incrementan con el uso de sustratos orgánicos (Popa *et al.*, 2019).

El kale es un cultivo muy demandante de nutrimentos, por eso la rápida respuesta con solución Steiner, pero es importante no olvidar que como hortaliza de hoja acumula nitratos que en altas concentraciones son tóxicos para el ser humano (Samec *et al.*, 2019).

La respuesta de los cultivares Ruso (*Brassica oleracea*), Siberiano (*Brassica oleracea*) y Etiopia (*Brassica carinata*) a la nutrición orgánica es estadísticamente igual. En el cultivar Chinese (*Brassica juncea*), el peso seco de tallo y peso seco total con vermicompost es igual al de las que crecieron en tezontle (Tabla 2). El análisis estadístico, indica que no hay diferencias significativas en peso seco de tallo y total entre las plantas crecidas en los sustratos orgánicos.

La respuesta de los cuatro cultivares no solo tiene que ver con la aportación de nutriente de los sustratos, otro aspecto que es de vital importancia son las propiedades físicas que tiene cada uno de ellos y que influye en el desarrollo de la raíz y la absorción de los nutrimentos.

Los resultados de las variables de crecimiento indican que el kale cvs Ruso y Siberiano son los que producen mayor área foliar mas no son las plantas más altas, lo que es importante para la comercialización que se basa solo en el uso de las hojas.

Tabla 2. Variables de crecimiento y potasio en extracto celular de peciolo de diferentes cultivares de Kale en condiciones de invernadero.**Table 2.** Growth variables and potassium in petiole cell extract in different kale cultivars under greenhouse conditions.

Kale	Sustrato	Altura (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Peso de tallo (g)	Peso seco total (g)	K+ (ppm)
Ruso	Tezontle	28.56 a	12.43a	7.12 a	22.91 a	288 b
(Brassica oleracea)	Vermicompost	25.37 b	10.29 a	3.22 b	9.56 b	290 b
	Bocashi	23.12 b	9.12 b	2.71 b	7.46 b	334 a
	Tezontle	29.0 a	15.96 a	8.83 a	28.31 a	276 b
(Brassica oleracea)	Vermicompost	21.93 b	10.60 b	1.90 b	7.17 b	304 b
	Bocashi	21.18 b	11.26 b	2.17 b	7.91 b	334 a
	Tezontle	25.31 a	7.89 a	8.31 a	16.08 a	234 b
(Brassica juncea)	Vermicompost	26.31 a	6.87 a	7.19 a	9.56 ab	230 b
	Bocashi	21.75 b	6.01 b	2.91 b	6.26 b	272 a
	Tezontle	33.6 a	11.66 a	13.02 a	29.13 a	248 b
(Brassica carinata)	Vermicompost	24 b	6.64 b	2.48 b	4.88 b	240 b
	Bocashi	24.81 b	6.85 b	2.73 b	4.76 b	272 a

Tz=tezontle, V-P-TM=(vermicompost, perlita, tierra monte (1:1:1) y B-P-TM=(Bocashi, perlita y tierra de monte (1:1:1). Valores con la misma letra, son estadísticamente similares con base a la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

El cv Ruso, también ha sido producido en forma orgánica utilizando coberturas y demuestran que el contenido nutrimental del kale aumenta notablemente con el uso de frijol ejotero como cobertura demostrando que la interacción suelo y leguminosa favorece la calidad del cultivo (Thavarajah *et al.*, (2019).

Contenido de nitratos potasio y calcio en extracto celular de peciolo

La concentración de NO_3^- , presentó diferencias estadísticas altamente significativas por cultivar, sustrato y su interacción en todos los cultivares, el Ca^{2+} , por cultivar y sustrato y el K^+ solo por sustrato (Tabla 1). Las altas concentraciones de nitratos en las plantas, tiene mucho que ver con el sustrato y la fuente de nutrición (Fig. 4). El incremento es de hasta cinco veces más en plantas crecidas en tezontle que en sustrato orgánico, lo cual es un gran riesgo para el consumo sobre todo de niños porque puede provocar metahemoglobinemia en sangre (García *et al.*, 2019). Dado que en

kale la concentración de nitratos está más alta que los nitratos contenidos en lechugas (2200 a 4500 ppm) (Carrasco *et al.*, 2006), en acelga (1690 ppm) y betabel (1379 ppm) (García *et al.*, 2019). Estos valores se deben principalmente a los 12 meq que contiene la solución nutritiva con la que se regaron durante su crecimiento. Es necesario que la concentración de nitratos sea más baja debido a que la ingesta de nitratos diaria de una persona con un peso corporal de 70 kg no debería superar los 259 ppm (Carrasco *et al.*, 2006). Motivo por lo cual se considera que en futuras producciones hidropónicas se use una solución nutritiva con niveles más bajos de nitratos, o continuar la producción con sustratos orgánicos.

Los sustratos bocashi y el vermicompost, suministran nitratos que resultan de la mineralización de la materia orgánica por la actividad de los microorganismos y modifica su disponibilidad y absorción como se observa en la Fig. 4. Las cantidades promedio de nitrógeno total reportadas en bocashi varían entre 0.69 y 1.06% (Muñoz *et al.*, 2015) y en vermicompost entre 1.03 y 5.5% (Jaimes-Amaya *et al.*, 2020). A mayor concentración de nitrógeno en el sustrato, se incrementa la cantidad de nitratos en extracto celular (Nuñez-Ramírez *et al.*, 2017).

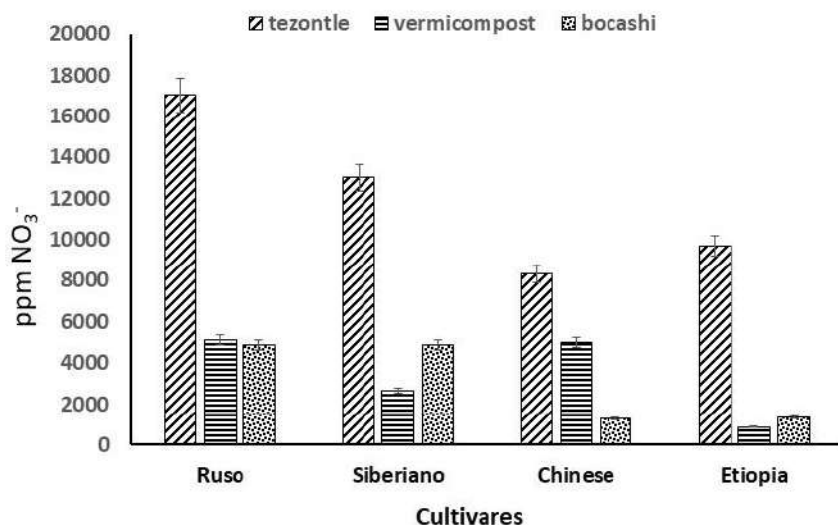


Figura 4. Contenido de nitratos en el extracto celular de peciolo de cuatro cultivares de kale crecidos en diferentes sustratos.

Figure 4. Nitrate content in petiole cell extract of four kale cultivars grown on different substrates.

La concentración de K⁺ en extracto de peciolo es mucho más baja que nitratos y calcio, los cuatro cultivares tienen casi las mismas concentraciones que variaron entre 230 y 334 ppm de K⁺, un dato importante es que todas las plantas que crecieron en bocashi tienen mayor concentración de K⁺ que las que crecieron en tezontle y en vermicompost. El contenido de Ca²⁺ solo tuvo efecto significativo por sustrato, presentándose diferencias altamente significativas entre las plantas crecidas en tezontle y las que crecieron en vermicompost y bocashi (Tabla 2).

Índices de crecimiento

Los resultados de la Fig. 5 indican como el sustrato es un factor que modifica el crecimiento, dado que hay diferencias entre los cultivares y dentro de cada cultivar en función de donde creció la planta. El área foliar específica (AFE) en los cvs Etiopia (*Brassica carinata*), Ruso (*Brassica oleracea*) y Siberiano (*Brassica oleracea*) confirma como en otras variables que respondieron a la nutrición con tezontle y solución Steiner (Fig. 5a). Los valores altos de AFE reflejan como en las plantas aumentan el área foliar y reducen el grosor de esta, lo que permite que la radiación fotosintéticamente activa penetre más fácilmente y repercuta en el desarrollo del cultivo. Este índice permite identificar muy fácil como la planta responde a cambios de ambiente y fuentes de nutrición (Shipley, 2002) y se define como la cantidad de área foliar por peso de hoja, es un rasgo morfológico de gran trascendencia funcional y ecológica (Villar *et al.*, 2008). El cv Chinese (*Brassica juncea*) no responde igual al tezontle como se observa en la Fig. 5a, pero si modifica el área y peso de hoja cuando crece en el vermicompost. En cada uno de los cultivares de acuerdo al sustrato donde crecieron se observaron compensaciones estructurales y metabólicas, lo que permitió que los índices no fueran iguales (Smich *et al.*, 2017).

El valor bajo de AFE obtenido en los cultivares Ruso y Chinese, que crecieron en bocashi puede deberse a la poca maduración del sustrato, quizás menores cantidades de nutrimentos disponibles que hay en los sustratos orgánicos y la respuesta específica de estos cultivares (Haile y Ayalew, 2018).

La relación de área foliar (RAF) varió entre cultivares. Con tezontle y vermicompost el cultivar Etiopia presentó los valores más altos (Fig. 5b), esto refleja que tiene un ciclo de desarrollo más corto y un aparato fotosintético más activo que los otros cultivares (Santos *et al.*, 2010). En función del sustrato, las plantas que crecieron en vermicompost presentaron los valores más bajos del índice debido a un incremento en la biomasa total, al suceder esto hay un aumento en el costo respiratorio de la planta y la relación baja (Villalba *et al.*, 2017). El cv Chinese, dio los valores más bajos con los tres sustratos. Los cultivos responden de manera diferente, en el caso de *Salvia hispanica* la aplicación de vermicompost incremento notablemente la RAF en comparación cuando solo creció en suelo (González-Solano *et al.*, 2019). Desde el punto de vista de eficiencia del sustrato, cuando los cultivares Chinese y Ruso crecieron el bocashi tuvieron RAF más altos lo que indica que ese sustrato favoreció el que las plantas fueran más vigorosas que con las otras mezclas (Gaytan *et al.*, 2001), dado que todos estuvieron bajo las mismas condiciones ambientales.

En el crecimiento de los cultivares hay una marcada diferencia cuando se hace en tezontle con solución Steiner en comparación con las mezclas de vermicompost y bocashi. A pesar de ser estadísticamente iguales los dos sustratos orgánicos se observa en al menos tres cultivares incrementaron algunas variables cuando el sustrato fue vermicompost. Este último es más estable que el bocashi y en la mayoría de las veces se utiliza mas vermicompost (Bachman y Metzger, 2008).

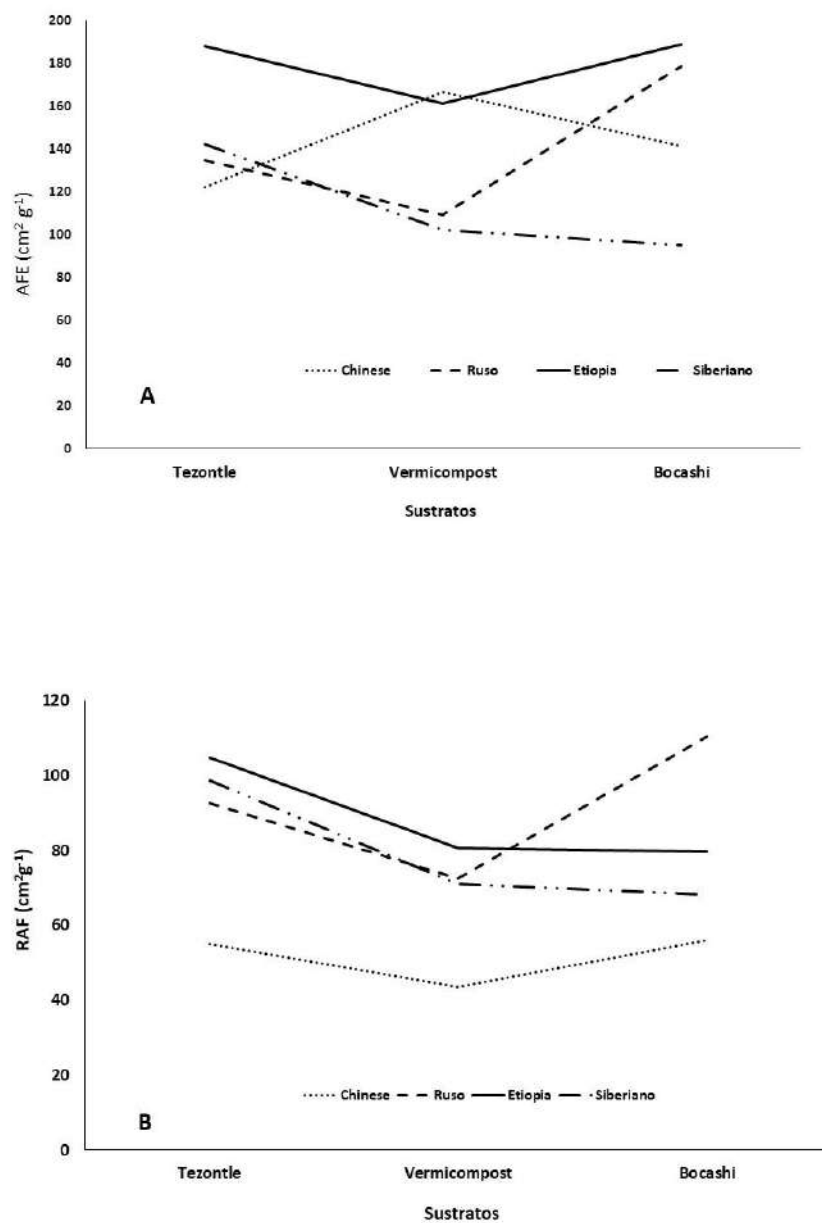


Figura 5. Índices de crecimiento de cuatro cultivares de kale A= AFE (área foliar específica), B=RAF (razón de área foliar) desarrollados en invernadero con tres sustratos diferentes.

Figure 5. Growth rates of kale cultivars A= AFE (specific leaf area), B=RAF (ratio of leaf area) developed in a greenhouse with three different substrates.

4. Conclusiones

La diferencia en el crecimiento, forma de hojas y desarrollo del kale tiene que ver con las características genéticas de cada cultivar.

Los cv Ruso (*Brassica oleracea*), Siberiano (*Brassica oleracea*) y Etiopia (*Brassica carinata*), se desarrollaron mejor en tezontle y solución de Steiner que cuando crecieron con vermicompost y bocashi, no así en cv Chinese (*Brassica juncea*) que presentó la misma respuesta en los tres sustratos.

La producción de kale con solución Steiner incrementa notablemente los nitratos en la planta, por lo que será recomendable cultivar en sustratos orgánicos o en hidroponía con soluciones nutritivas con menor cantidad de nitratos.

El kale es un cultivo fácil de producir, es una alternativa viable para la producción y consumo entre la población urbana y rural como fuente nutrimental y de propiedades nutraceuticas.

5. Referencias

- Abbey, L., Pham, T. H., Annan, N., Leke-Aladekoba, A., & Thomas, R.H. (2018). Chemical composition of kale as influenced by dry vermicast, potassium humate and volcanic minerals. *Food Research International Journal*, 107, 726- 737. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.010>
- Anjum, N.A., Gill, S.S., Ahmad, I., Pacheco, M., Duarte, A. C., Umar, S., Khan, N. A., & Pereira, M. E. (2011). The Plant Family Brassicaceae: An introduction. pp 1-33. En: Anjum, N. A., Ahmad, I., Pereira, M. E., Duarte, A.C., Umar, S., Khan, N. A. (eds.), *The Plant Family Brassicaceae*. Springer, The Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-3913-0_1
- Azevedo, M. A., Andrade, L. V. C., Fernandes, S. C. J., Pedrosa, E. C., Valadarea, R. N., Ferreira, M.M., & Martis, A.V.R. (2014). Divergencia genética e importancia de caracteres morfológicos em genotipos de couve, *Horticultura Brasileira*, 32, 48-54. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000100008>
- Bachman, G. R., & Metzger, J. D. (2008). Growth of bedding plants in commercial potting substrate amended with vermicompost. *Bioresource Technology*, 99, 3155-3161. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.05.069>
- Becerra-Moreno, A., Alanis-Garza, P. A., Mora-Nieves, J. L., Mora-Mora, J. P., & Jacobo-Velázquez, D. A. (2014). Kale an Excellent source of vitamin C, pro-vitamin A, lutein and glucosinolates. *Journal of Food*, 12, 298-303. <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.850743>
- Carrasco, G., Tapia, J., & Urrestarazu, M. (2006). Contenido de nitratos en lechugas cultivadas en Sistemas hidropónicos. *IDESIA*, 24, 25-30. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100005>
- Demanet, R. (2014). *Manual de Especies Forrajeras. Plan Lechero Watt's*. 2 ed. Imprenta AméricaValdivia. Chile. 163 p. <https://bit.ly/3wweRZK>
- Feroli, F., Giambanelli, E., D'Antuono, L. F., Costa, H. S., Albuquerque, T. G., Silva, A. S., Hayran, O., Franzke, A., Lysak, M. A., Al-Shehbaz, I. A., Koc, M. A., & Mummenhoff K. (2011). Asuntos de la familia de la col: la historia evolutiva de Brassicaceae . *Tendencias en ciencias de las plantas*, 16, 108-116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2010.11.005>

- García, V. M., Hernández, A. R., & Navarro, A. T. (2019). La importancia de la prevención y del diagnóstico de la metaemoglobinemia en la infancia. *Form Act Pediatric Prim.*, 12, 137-142. <https://bit.ly/3sKmmD0>
- Gaytan, M. A., Palomo, G. A., & Godoy, A. S. (2001). Eficiencia en la producción y distribución de biomasa en variedades precoces de algodón. *Revista Fitotecnia Mexicana* 24, 197-202. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61024209>
- Giorgetti, L., Giorgi, G., Cherubini, E., Gervasi, P. G., Della, C. M. C., Longo, V., & Bellani, L. (2018). Screening and identification of major phytochemical compounds in seeds, sprouts and leaves of Tuscan black kale *Brassica oleracea* (L.) ssp *acephala* (DC) var. *sabellica* L. *Natural Product Research*, 32, 1617-162. <http://dx.doi.org/10.1080/14786419.2017.1392953>
- González-Solano, K. D., Rodríguez-Mendoza, M. N., Escalante-Estrada, A. E. S., García-Cué, J. L., Pedraza-Santos, M. E., & Sánchez-Escudero, J. (2019). Crecimiento y producción de chía (*Salvia hispanica* L.) en función de la irradiancia y fertilización orgánica. *Interciencia*, 44, 340-346. <https://www.redalyc.org/journal/339/33960068005/html/>
- Haile, A., & Ayalew, T. (2018). Comparative study on the effect of bio-slurry and inorganic N-fertilizer on growth and yield of Kale (*Brassica oleracea* L.). *African Journal of Plant Science*, 12, 81-87. <https://doi.org/10.5897/AJPS2018.1639>
- Hunt, R., Causton, D. R., Shipley B., & Askew, A. P. (2002). A modern tool for classical growth analysis. *Annals of Botany*, 90, 485-488. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf214>
- Jaimes-Amaya, G. D., Vega - Ortiz, G., & Ortiz- Salazar, H. E. (2020). Utilización de residuos de la industria papelera para la cría de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), en la generación de vermicompost. *MODUM: Revista Divulgativa Multidisciplinar De Ciencia, Tecnología e Innovación*, 2, 30-138. <https://bit.ly/3PthbrI>
- Mascorro, G. A., Palomo, G. A., & Godoy A. S. (2001). Eficiencia en la producción y distribución de biomasa en variedades precoces de algodón. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 24, 197-202. <https://bit.ly/3NoxdkW>
- Núñez-Ramírez, F., Grijalva-Contreras, R. L., Robles-Contreras, F., Macías-Duarte, R., Escobosa-García M. I., & Santillano C. J. (2017). Influencia de la fertirrigación nitrogenada en la concentración de nitratos en el extracto celular de peciolo, el rendimiento y la calidad de tomate de invernadero. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 49, 93-103. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382853527007>
- Muñoz, J. M., Muñoz, J. A., & Montes, C. (2015). Evaluation of organic manures in lettuce and cabbage plants at Popayán, Cauca. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y agroindustrial*, 13, 73-82. <https://bit.ly/3PrHkY5>
- Popa, M., Mitelut, A.N., Popa, E., Stan, A. and Popa, V. (2019). Organic foods contribution to nutritional quality and value. *Trends in Food Science & Technology*, 84, p15-18. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.01.003>
- Reyes-Munguía, A., Rosas-Trejo L., Campos-Montiel R., Quintero-Lira A., & Carillo-Inungaray M. L. (2017). Propiedades antioxidantes del extracto acuoso de *Brassica oleracea* var *sabellica*. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 3, 30-34. <https://bit.ly/3yIgp3X>

- Samec, D., Urlić, B., & Salopek-Sondi, B. (2019). Kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) as a superfood: review of the scientific evidence behind the statement. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59, 2411-2422. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1454400>
- Santos, C. M., Segura A. M., & Núñez, L. C. E. (2010). Análisis de Crecimiento y Relación Fuente-demanda de Cuatro Variedades de Papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. Medellín, 63, 5253-5266. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179914617004>
- Shipley, B. (2002). Trade-offs between net assimilation rate and specific leaf area in determining relative growth rate: relationship with daily irradiance. *Functional Ecology*, 16, 682-689. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00672.x>.
- Schmidt, D., Otomar, C. C., Pilau, J., Nardino, M., & Elli, F. E. (2017). Morfo anatomía foliar de azevém no sub-bosque de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais. *Revista Ceres Viçosa*, 64, 368.375. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764040005>
- Steiner, A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition *Plant Soil*, 15, 134-154 <https://doi.org/10.1007/BF01347224>
- Thavarajah, D., Siva, N., Johnson, N., McGee, R., & Thavarajah, P. (2019). Effect of cover crops on the yield and nutrient concentration of organic Kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*). *Scientific Report*, 9, 10374 <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46847-9>
- Villalba, V. J., Jarma, J. A., & Combatt, M. E. (2017). Respuesta fisiológica de cultivares de arroz a diferentes épocas de siembra en Córdoba, Colombia. *Temas Agrarios*, 22,11-21. <https://doi.org/10.21897/rta.v22i2.940>
- Villar, R., Ruiz, R. J., Quero, J. L., Poorter, H., Valladares, F., & Marañón, T. (2008). Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. In: Valladares F (Ed.) *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente. Egraf, S. A. Madrid, España. pp. 191-227. <https://core.ac.uk/reader/36057750>
- Yoder, N., Davis, G. J. (2020). Organic Fertilizer Comparison on Growth and Nutrient Content of Three Kale Cultivars. *Hortechology*, 30,176-184. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04483-19>

2021 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

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



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

HIIT in a treadmill for people with overweight or obesity: a systematic review

HIIT en banda sinfín para personas con sobrepeso u obesidad: una revisión sistemática

Claudia I. Herrera-Covarrubias¹, Lidia G. De León^{1*}, Ramón Candia-Luján¹, Briseidy Ortiz-Rodríguez¹, Claudia E. Carrasco-Legleu¹

Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias de la Cultura Física.

Perif. de la Juventud y Circuito Universitario S/N, Fracc Campo Bello C.P. 31124 Chihuahua
Chih. México.

*Correspondencia: gdeleon@uach.mx (Lidia G. De León)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i1.789>

Recibido: 22 de marzo de 2021; **Aceptado:** 26 de julio de 2021

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

Abstract

A systematic review was carried out with the objective to analyze the workloads of the high intensity interval training (HIIT) protocols in treadmill, in order to identify the most used intensity percentages, administered in people with overweight or obesity; a bibliographic search was performed in SCOPUS, Web of Science, EBSCO, SCIELO and PUBMED databases. Inclusion criteria were: original experimental studies, where one or more HIIT protocols in treadmill were administered on population with overweight or obesity, regardless their age; studies made in athletes or using functional exercises were excluded. Eight articles were considered for this review from a total of 678 articles detected. All of them reported the administration of HIIT protocols at intensities between 80% and 95% of HRmax, HRpeak, calculated HRmax, or HRreserve; with short (30 seconds) to large (4 minutes) high intensity intervals. It is concluded that HIIT on a treadmill can be used on people with overweight or obesity due to its efficacy and safeness at high intensity levels and can provide optimal results in body composition, cardio respiratory fitness and other parameters such as IL-6 and TNFalpha, in addition to reduce systolic blood pressure.

Keywords: interval training, treadmill, intensity of exercise, safe exercise, obesity

Resumen

Se realizó una revisión sistemática con el objetivo de analizar las cargas de trabajo de los protocolos de entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT, por sus siglas en inglés) en banda sinfín, con el fin de identificar los porcentajes de intensidad más utilizados, administrados en personas con sobrepeso u obesidad; se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos SCOPUS, Web of Science, EBSCO, SCIELO y PUBMED. Los criterios de inclusión fueron: estudios experimentales originales, donde se administraron uno o más protocolos HIIT en banda sinfín, en población con

sobrepeso u obesidad, sin importar la edad; se excluyeron los estudios realizados en deportistas o con ejercicios funcionales. Se consideraron ocho artículos de un total de 678 artículos detectados; todos reportaron la administración de protocolos HIIT a intensidades entre 80% y 95% de FCmáx, FC pico, FCmáx calculada o FCreserva; con intervalos de alta intensidad cortos (30 segundos), largos (4 minutos) y períodos de descanso activo por debajo del 70% de esos parámetros. Se concluye que el HIIT en banda sinfín se puede utilizar en personas con sobrepeso u obesidad debido a su eficacia y seguridad a niveles de alta intensidad y puede proporcionar resultados óptimos en la composición corporal, la aptitud cardiorrespiratoria y otros parámetros como IL-6 y TNFalpha, además de reducir la presión arterial sistólica.

Palabras Clave: entrenamiento intervalado, banda sinfín, ejercicio en obesidad.

1. Introduction

In recent years, literature has shown that high intensity interval training (HIIT) can induce favorable metabolic adaptations similar to continuous training at a moderate intensity in healthy populations or in people with non-communicable diseases, specifically obesity (Andreato *et al.*, 2019). At the beginning of the last century, HIIT emerged as a training methodology used to prepare high performance athletes; at the present, this method represents a new therapeutic strategy that has proven to be effective in improving the physical status associated with health in adult population (Cofré-Bolados *et al.*, 2016). HIIT consists of short bouts of intense exercise, alternated with short periods of active or passive rest (Pereira-Rodríguez *et al.*, 2020). Current evidence supports that HIIT is a method that has various health benefits; and the short period of time needed to complete the training with a minimum of equipment to obtain physical adaptations, are their main advantages (López, 2018).

HIIT exercise has interesting applications in the control of certain metabolic and cardiovascular pathologies as latest published studies have recognized the benefits in the biological markers that HIIT may provide (Milanović *et al.*, 2015). Overweight and obesity are associated with the development of insulin resistance, type 2 diabetes mellitus and cardiovascular disease. It has been shown that regular physical exercise with progressive increases of intensity is one of the most effective solutions to prevent and treat those pathologies (Alarcón *et al.*, 2016). HIIT program can be developed as an intervention strategy for people with overweight or obesity and other associated diseases. Increasing the amount of daily physical activity is an essential tool for controlling such problems (Peñailillo *et al.*, 2016). However, studies with HIIT method in patients with non-communicable diseases are very limited because its workload intensities can be very high and varied (Gibala *et al.*, 2012). Hence, it is necessary to know the appropriate intensity of exercise that can generate safe and effective metabolic changes for the control of these conditions with this method, especially for the treatment of obesity (Alarcón *et al.*, 2016). The objective was to analyze the workloads of the high intensity interval training protocols (HIIT) in treadmill, in order to identify the most used intensity percentages, administered in people with overweight or obesity.

2. Article selection

Bibliographic search was carried out in SCOPUS, Web of Science, EBSCO, SCIELO and PUBMED databases, using keywords in English only, such as high intensity interval training, HIIT,

obesity and treadmill, with the Boolean AND operator. Inclusion criteria were: original, experimental studies; where one or more HIIT protocols on treadmill were administered in people with overweight or obesity, regardless their age; studies made in athletes or using functional exercises were excluded. There was no restriction of articles by year of publication. 678 articles were found, of which 666 were eliminated because they did not meet the inclusion criteria. Twelve potential articles were identified, finding four duplicates, so the review was made with the remaining eight documents (see Figure 1). Five studies were randomized clinical trials, one was cuasi-experimental study and the authors did not specify the other two. Two researchers made the search and analyzed the studies.

3. Article analysis

Eight articles meeting inclusion criteria were selected. Detailed review of these documents showed different HIIT protocols used as well as the intensities and duration of each one; workloads of each administered program in the population of interest was analyzed.

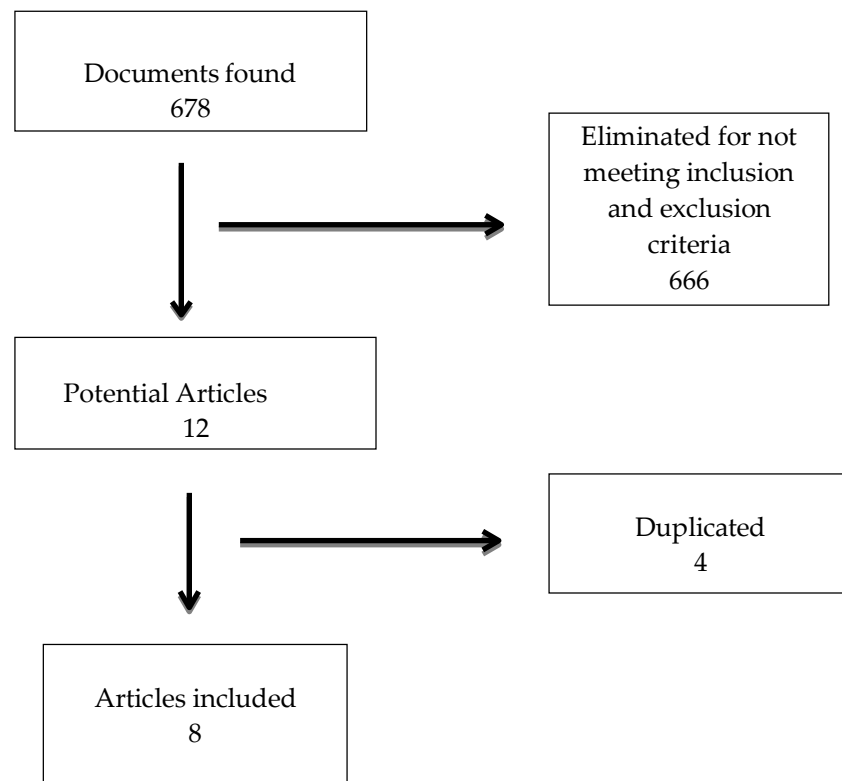


Figure 1. Diagram of the selection process for the review articles

Figura 1. Diagrama del proceso de selección de los artículos de la revisión.

Methodological quality of the selected studies was evaluated in the period of February to June 2019; in order to exclude documents of fair and poor quality, PEDro scale was used. Item one (1) was not taken into account according with PEDro scale instructions (PEDro 2019); items 5, 6 and 7 were not considered due to this kind of studies cannot be blinded, so use so just items 2, 3, 4, 8, 9, 10 and 11 were contemplated. Articles selected in this review had a mean score of 4.87 points, pondered as good quality (see Table 1). This review was carried out according to PRISMA guidelines (Hutton *et al.*, 2017). Four of the selected articles were made in women, two of them recruited a population between 19 and 27 years of age and the other two were realized with women at 23 to 39 years of age. Other study was performed in children (7 to 16y), two more were in adult women and men ages 18 to 55, and only one research was conducted in older adults 50 to 80 years old.

Table 1. Clasificación with PEDro of the articles analyzed.

Tabla 1. Escala de clasificación PEDro de los artículos analizados.

REFERENCE	ITEMS											TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Dias <i>et al.</i> 2017	-	✓	✓	✓	-	-	-	✓	✗	✓	✓	6
Gerosa-Neto 2016	-	✓	✓	✓	-	-	-	✓	✗	✓	✓	6
Romain <i>et al.</i> 2019	-	✗	✗	✓	-	-	-	✓	✗	✓	✓	4
Streese <i>et al.</i> 2018	-	✓	✓	✓	-	-	-	✗	✗	✗	✓	4
Zhang <i>et al.</i> 2015	-	✗	✗	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	5
Hornbuckle <i>et al.</i> 2018	-	✓	✓	✗	-	-	-	✓	✗	✓	✓	5
Mirgham, Yousefi 2014	-	✗	✗	✓	-	-	-	✓	✗	✓	✓	4
Bonsu, Terblanche 2016	-	✗	✗	✓	-	-	-	✓	✓	✓	✓	5

4. Results

Protocol characteristics

Characteristics of HIIT, number of subjects included in studies, intensity and rest period of intervals, as well as duration of the program, are shown in Table 2. Most of workouts ranged 12 to 16 weeks of activity, with three times a week sessions. Romain *et al.*, (2019). implemented a 6-month supervised program, performing trainings twice a week. Two studies used a shorter period applying only four weeks of activity with three sessions per week (Mirghani y Yousefi, (2015). Bonsu y Terblanche, (2016), implemented twice a week only for 6 sessions. Regarding the protocols, four studies had the longest intense and rest intervals with 4 minutes of high intensity workload and 4 and 3 minutes of active rest. On the other hand, shorter intervals between 30 and 60 seconds of work were reported by four articles. All programs handled intensities between 80% and 95% of experimental HRmax and HRpeak, or calculated HRmax and HRreserve; the first two parameters were assessed in treadmill stress test and the other two were calculated. All studies included in this review applied HIIT treadmill protocols on people with obesity or overweight. Most of their objectives were to examine the effects of HIIT on body composition and determine its effectiveness in increasing cardiorespiratory capacity; to identify the effect on inflammatory profile and insulin resistance in addition to the effects on arterial function; cardiometabolic risk factors, liver enzymes and serum lipid levels, as well as blood pressure response, were also studied.

Table 2. Characteristics of the interval and rest intensities of the HIIT sessions.**Tabla 2.** Características de las intensidades de intervalos y descansos de las sesiones de HIIT.

Author	Results	n	Protocol used	HI Time	HI intensity	Recovery time	Recovery intensity	Program time
Dias et al. 2017	Increased cardiorespiratory capacity	HIIT=33 MICT=32 Nutrition=34	4X3 min 4 series	4 min	85%- 95% HRmax	3 min	50%-70% HRmax	12 weeks
Gerosa-Neto 2016	Decreased IL-6 and Adiponectin	32 (3 Groups)	4X3 min	4 min	90% HRmax	3 min	70% HRmax	16 weeks
Romain et al. 2019	Decreased waist-hip index	HIIT=38 Control=28	30 s X 90 s 10 series	30 s	80%-90% HRmax calculated	90 s	50%-60% HRmax calculated	6 months
Streese et al. 2018	Reduction of the stiffness of the arterial wall	HIIT= 40 HIIT= 80 Control=40	4X3 min 4 series	4 min	80%-90% HRmax	3 min	65%-70% HRmax	12 weeks
Zhang et al. 2015	Decrease in body fat mass	HIIT=14 MICT=15 Control=14	4X3 min 4 series	4 min	85%-95% HRpeak	3 min	50%-60% HRpeak	12 weeks
Hornbuckle et al. 2018	Reduced waist circumference	HIIT=16 EE=11	1X3 min	1 min	80%-90% HRmax	3 min	60%-70% HRmax	16 weeks
Mirghani, Yousefi 2015	Decreased waist circumference	HIIT (1)=8 HIIT (2)=8 Control=8	60 s X 60 s 60 s X 30 s 60 s X 30 s	60 s	80% HRreserve	60 s 30 s 30 s	Cool down	4 weeks
Bonsu, Terblanche 2016	Decrease in blood pressure	HIIT=20	1x1 min 10 series	1 min	90%-95% HRmax	1 min	70% HRmax.	6 sessions

HI time=high interval time; HI intensity=high interval intensity; HIIT=high intensity interval training; MICT=moderate intensity continuous training; min=minute; HRmax=maximum heart rate; IL-6=inteleukin-6; s=second; HRmax calculated=calculated maximum heart rate; HRpeak=peak heart rate; SS=Steady State; HRreserve=heart rate reserve.

5. Discussion

HIIT on a treadmill can be considered as a training modality in people with overweight or obesity, due to its high levels of efficacy and safety, as evidenced in the literature reviewed. One of the main findings was the decrease in body fat mass as reported by Zhang *et al.*, (2015), who administered a twelve week HIIT program to overweight Chinese women, using 85% and 95% of HR_{peak} in periods of 4 minutes, and 3 minutes recovery at 50% and 60% of the HR_{peak}; a moderated intensity continuous training (MICT) group performed a continuous run between 60% and 70% of the HR_{peak}, while control group (CG) received no training but maintained their daily physical activity without altering their eating habits. HIIT and MICT groups, revealed an increase in VO₂max and a decrease in body mass, body mass index (BMI), and waist and hip circumferences, after intervention. HIIT group, showed a greater reduction in waist-to-hip ratio compared with the MICT and CG groups.

On the other hand, Hornbuckle *et al.*, (2018), concluded that HIIT performed for one minute at 80% and 90% of HR_{max} with a 3 min-recovery of 60% and 70% of HR_{max}, was more effective in reducing waist circumference compared to the group that performed a submaximal exercise at steady state (SS) level; however, they did not observe significant changes on the cardiometabolic risk factors, which was the main objective of the study; authors indicated the need for further research with a larger sample to better observe the expected results on these factors. Dias *et al.*, (2018), determined the efficacy of a twelve-week HIIT to increase cardiorespiratory capacity and reduce adiposity in obese children; they applied a protocol with a high intensity (HI) of 85% and 95% of HR_{max} and recovery or low intensity (LI) at 50% and 70% of HR_{max}; they concluded that this program increased cardiorespiratory capacity compared to a traditional continuous moderate intensity training (CT). Regarding body composition and blood biomarkers, neither of the two training modalities (HIIT/CT) had a significant effect. All the articles included in this review reported the administration of HIIT protocols that worked with intensities above 80% and up to 95% of HR_{max}, HR_{peak}, calculated HR_{max}, or HR reserve. Other authors reported that HIIT should work on anaerobic or ventilatory threshold II (80% to 85% of VO₂max), where central adaptations associated with a sympathetic-adrenal activation and cardio-vagal improvements take place (Cofré-Bolados *et al.*, 2016). Therefore, application of this training in sedentary individuals who are also overweight or obese, would have greater advantages in cardiovascular and metabolic health issues (Reljic *et al.*, 2016); (Laursen Y Jenkins, 2002).

Gerosa-Neto *et al.*, (2016) and Streese *et al.*, (2018), very similar protocols of four minutes of intense work were performed at 90% of HR_{max}, for 12 and 16 weeks. First one demonstrated a significantly decrease in Interleukin-6 (IL-6) and adiponectin concentrations; other variables such as BMI, body weight and insulin sensitivity did not have significant changes but a tendency to improve was showed.

Half of the administered HIIT protocols used a longer duration of the intervals, in both exercise and rest periods, between 4 and 3 minutes, except for the protocols used by Mirghani y Yousefi, (2015), Romain *et al.*, (2019) and Bonsu y Terblanche, (2016), which had a shorter duration of the intervals or periods, but the same duration in the training sessions. For 4 weeks, overweight women performed a HIIT program, executing a protocol of 60 s of intensity for 60 s of recovery, another of 60 s for 30 s, and a control group. The main purpose of that research was to examine the effect of two HIIT protocols on liver enzymes and serum lipid levels in the participants. Group that performed HIIT protocol 60 s X

30 s had a greater decrease in waist circumference, but there were no changes in the blood lipid profile. Reduction in percentage of fat in the shorter rest interval could be explained because the activity of glycolysis to synthesize energy decreased which increased aerobic metabolism to replace energy expended, since the proportion of energy needed in 30 s of high intensity activity, includes 18% ATP, 2% phosphagens, 25% anaerobic glycolysis and 55% oxidation (Billaut y Bishop 2009). Consequently, performing HIIT protocols with a shorter recovery time results in an increase in aerobic metabolism Mirghani y Yousefi, (2015).

In the study carried out by Bonsu y Terblanche, (2016), a significant reduction in blood pressure was evidenced after 6 sessions of HIIT at 90% and 95% of HRmax in young overweight or obese women, however training effects were lost two weeks after the execution. On the other hand, A3 (Romain *et al.*, 2019), applied a 6 month HIIT program; they investigated the effect of training on body composition, metabolic markers, psychiatric-functional in overweight people with serious illnesses. Intervals were administered for 30 s by 90 s at 90%, 50% and 65% of the theoretical HRmax. Study showed no differences, but waist-hip circumference ratio decreased despite the fact that 50% of the sample abandoned the intervention before the end of the study.

6. Conclusions

HIIT at intensities between 80% and 90% of HRmax, HRpeak, calculated HRmax or HR reserve is practical and comfortable; it can be safely administered to overweight or obese people. HIIT, variable in their duration from 30 seconds to 4 minutes per interval, with a frequency of 2 to 3 sessions per week, it has also been reported with great improvements in cardiorespiratory capacity, fat mass and some biological markers, when performed in a treadmill.

Future perspectives

HIIT on treadmill in people with obesity will be an excellent option to transfer this method to the field, thus the population that does not have an ergometer, can perform this training modality without complications anywhere outdoors.

Strengths of this review

HIIT method reduces the time and volume of weekly practice, becoming a good strategy to capture and maintain the practice of exercise in a population with obesity; therefore, compared to the traditional method of cycling or continuous exercise, it is more convenient for general population. It is also very useful to know the intensities that can be safely administered with this type of persons.

Weaknesses of this review

There is a large number of studies carried out in people with overweight and obesity, however, there are not clinical trials and the vast majority does not report the intensities of workloads, so the number of articles found in this review is not very high.

Conflict of interest

Authors declare that during the period of completion of this investigation, did not exist, nor is there now, any economic, personal, political or academic relationship with groups or institutions that could influence the results of this work or allow bias in the considerations taken into account for discussion or conclusion. Authors have not received any payment or compensation in money, goods or other personal benefits from groups or institutions interested in the results of this research.

7. Bibliographic references

- Alarcón Hormazábal, M., Delgado Floody, P., Castillo Mariqueo, L., Thuiller Lepelegy, N., Bórquez Becerra, P., Sepúlveda Mancilla, C., & Rebolledo Quezada, S. (2016). Efectos de 8 semanas de entrenamiento intervalado de alta intensidad sobre los niveles de glicemia basal, perfil antropométrico y VO₂ máx de jóvenes sedentarios con sobrepeso u obesidad. *Nutrición hospitalaria*. 33(2): 284–288. <https://dx.doi.org/10.20960/nh.104>
- Andreato, L. V., Esteves, J. V., Coimbra, D. R., Moraes, A. J. P., & de Carvalho, T. (2019). The influence of high-intensity interval training on anthropometric variables of adults with overweight or obesity: a systematic review and network meta-analysis. *Obesity reviews*, 20(1), 142–155. <https://doi.org/10.1111/obr.12766>
- Billaut, F., & Bishop, D. (2009). Muscle fatigue in males and females during multiple-sprint exercise. *Sports medicine*. 39(4), 257–278. <https://doi.org/10.2165/00007256-200939040-00001>
- Bonsu, B., & Terblanche, E. (2016). The training and detraining effect of high-intensity interval training on post-exercise hypotension in young overweight/obese women. *European journal of applied physiology*. 116(1), 77–84. <https://doi.org/10.1007/s00421-015-3224-7>
- Cofré-Bolados, C., Zafra-Santos, E., Sanchez-Aguilera, P., & Espinoza-Salinas, A. (2016). Entrenamiento aeróbico de alta intensidad: Historia y fisiología clínica del ejercicio. *Revista SaludUIS*, 48(3). <https://doi.org/10.18273/revsal.v48n3-2016001>
- Dias, K. A., Ingul, C. B., Tjønnå, A. E., Keating, S. E., Gomersall, S. R., Follestad, T., Haram, M. (2018). Effect of high-intensity interval training on fitness, fat mass and cardiometabolic biomarkers in children with obesity: a randomised controlled trial. *Sports Medicine*. 48(3), 733– 746. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0777-0>
- Gerosa-Neto, J., Antunes, B. M., Campos, E. Z., Rodrigues, J., Ferrari, G. D., Neto, J. C. R., & Bueno, C. R. (2016). Impact of long-term high-intensity interval and moderate-intensity continuous training on subclinical inflammation in overweight/obese adults. *Journal of exercise rehabilitation*. 12(6), 575. <https://doi.org/10.12965%2Fjer.1632770.385>
- Gibala, M. J., Little, J. P., MacDonald, M. J., & Hawley, J. (2012). A Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *The Journal of Physiology*. 590(5): 1077–1084. <https://doi.org/10.1113%2Fjphysiol.2011.224725>
- Hornbuckle, L. M., McKenzie, M. J., & Whitt-Glover, M. C. (2018). Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic risk in overweight and obese African-American women: a pilot study. *Ethnicity & health*. 23(7), 752–766. <https://doi.org/10.1080/13557858.2017.1294661>
- Hutton B, Catalá-López F, Moher D. (2017). The PRISMA statement extension for systematic reviews incorporating network meta-analysis: PRISMA-NMA. *Med Clin-Barcelona*. 147(6), 262- 266. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2016.02.025>
- Laursen, P. B., & Jenkins, D. G. (2002). The Scientific Basis for High-Intensity Interval Training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes *Sports Medicine*. 32(1), 53–73. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232010-00003>

- López Chicharro, J. / Vicente Campos, D. Entrenamiento Interválico de Alta Intensidad. 1st ed. Madrid España; 2018.
- Milanović, Z., Sporiš, G., & Weston, M. (2015). Effectiveness of high-intensity interval training (HIT) and continuous endurance training for VO 2max improvements: a systematic review and meta- analysis of controlled trials. *Sports medicine*. 45(10), 1469–1481. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0365-0>
- Mirghani, S. J., & Yousefi, M. S. (2015). The effect of interval recovery periods during HIIT on liver enzymes and lipid profile in overweight women. *Science & Sports*. 30(3), 147–154. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2014.09.002>
- PEDro. (2019). Escala para medición de la calidad de los informes de los ensayos clínicos aleatorios controlados indexados en PEDro. <https://www.pedro.org.au/spanish/downloads/pedro-scale/>
- Peñailillo Escarate, L., Mackay Phillips, K., Serrano Duarte, N., Canales Espinoza, P., Miranda Herrera, P., & Zbinden-Foncea, H., (2016). Efectos de la suplementación de omega-3 y entrenamiento de intervalos de alta intensidad en el rendimiento físico, presión arterial y composición corporal en individuos sedentarios con sobrepeso. *Nutrición Hospitalaria*. 33(4): 848–855. <https://dx.doi.org/10.20960/nh.380>
- Pereira-Rodríguez, J., Peñaranda-Florez, D., Pereira-Rodríguez, R., Pereira- Rodríguez, P., Quintero-Gómez, J., Díaz-Maldonado, A., Camacho-Pelayo, J., García-Rodríguez, D. (2020). Efectos del entrenamiento intervalico de alta intensidad en pacientes adultos con falla cardiaca: revisión sistematica. *Revista Costarricense de Cardiología*. Vol. 22 (N.o 1). <https://bit.ly/3sNWInQ>
- Reljic, D., Lampe, D., Wolf, F., Zopf, Y., Herrmann, H. J., & Fischer, J. (2019). Prevalence and predictors of dropout from high-intensity interval training in sedentary individuals: A meta- analysis. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 29(9),1288-1304. <https://doi.org/10.1111/sms.13452>
- Romain, A. J., Fankam, C., Karelis, A. D., Letendre, E., Mikolajczak, G., Stip, E., & Abdel-Baki, A. (2019). Effects of high intensity interval training among overweight individuals with psychotic disorders: A randomized controlled trial. *Schizophrenia research*. 210, 278-28. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2018.12.021>

2021 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

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



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



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Dirección de
Investigación y Posgrado



MURAL "LA SALUD"
FACULTAD DE MEDICINA Y
CIENCIAS BIOMÉDICAS, UACH
AUTOR: MIGUEL VALVERDE CASTILLO

TECNOCIENCIA CHIHUAHUA
Revista de ciencia y tecnología





UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Dirección de
Investigación y Posgrado



MURAL "LA SALUD"
FACULTAD DE MEDICINA Y CIENCIAS BIOMÉDICAS. UACH
AUTOR: MIGUEL VALVERDE CASTILLO

TECNOCIENCIA CHIHUAHUA
Revista de ciencia y tecnología

