



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

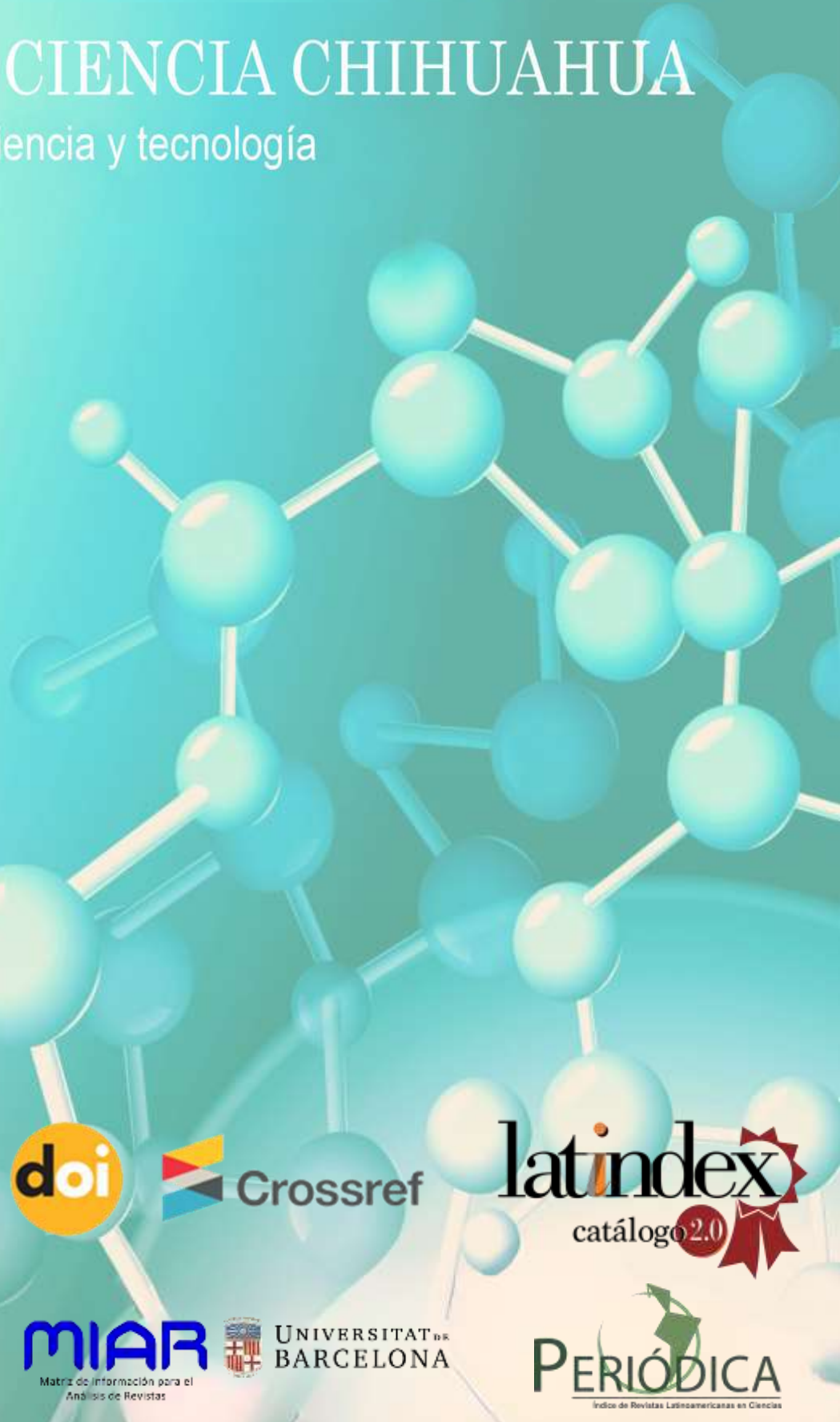
Dirección de
Investigación y Posgrado

VOLUMEN XVII | NÚMERO 3 | PUBLICACIÓN CONTINUA 2023



TECNOCIENCIA CHIHUAHUA

Revista de ciencia y tecnología





UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Directorio Institucional

Mtro. Luis Alfonso Rivera Campos

Rector

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

Secretario General

**Lic. Martha Lorena Mier
Calderón**

Directora Académica

**Dr. Luis Carlos Hinojos
Gallardo**

*Director de Investigación y
Posgrado*

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

Director Administrativo

**Dra. Ruth del Carmen
Grajeda González**

*Directora de Extensión y
Difusión Cultural*

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

*Directora de Planeación y
Desarrollo Institucional*



TECNOCENCIA CHIHUAHUA
Revista de ciencia y tecnología

Equipo Editorial

Editor responsable

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

Asistente editorial

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

Co-editores

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

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

EQUIPO EDITORIAL

- **Alimentos y Biotecnología**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Dra. Aracely Ochoa Martínez, Instituto Tecnológico de Durango, Durango, México. (SNI, Nivel I)

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

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

Nancy Flores Ph.D., New Mexico State University, Las Cruces, NM Estados Unidos de Norteamérica.

• **Agricultura y Agropecuaria**

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

Dr. Iván Adrián García Galicia, Universidad Autónoma de Chihuahua (SNI, Nivel I)

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

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

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

Dr. Concepción Luján Álvarez, Universidad Autónoma de Chihuahua (SNI, Nivel I)

• **Química y Biología**

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

Dra. Luz Estela González de Bashan, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (SNI, Nivel II)

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

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

Dra. Carmen Oralia Meléndez Pizarro, Universidad Autónoma de Chihuahua. (SNI, Nivel II)

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

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

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

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

• Salud y Cultura Física

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

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

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

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

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

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

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

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

• Ingeniería y Recursos Naturales

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

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

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

Dr. Aldo Jonathan Muñoz Vázquez, Texas A&M University, College Station, USA

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

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

Dra. Alicia Melgoza Castillo, Universidad Autónoma de Chihuahua. (SNI, Nivel I)

• Tecnología

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



CONTENIDO

Definición de la revista

7

Alimentos

Análisis sensorial de jugos de naranja deshidratados: análisis descriptivo
cuantitativo y ensayo de aceptabilidad sensorial e1325

Análisis sensorial de jugos de naranja deshidratados: análisis descriptivo cuantitativo
y ensayo de aceptabilidad sensorial

Marianela Ivana Capitani, María Marcela Rodríguez

Agropecuaria

Calidad de frutos de siete cultivares de toronja (*Citrus paradisi*) en Nuevo
León, México e1257

Fruit quality of seven cultivars of grapefruit (*Citrus paradisi*) in Nuevo León, México

Carlos Miguel Ramos-Cruz, Emilia Raquel Pérez-Evangelista, Guillermina Areli Tochihiuitl-Martiñón, Juan Martínez-Medina,
Juan Vargas-Hernández

Ingeniería y Tecnología

The paradoxical availability of raw materials in the bioethanol production e1225

La paradójica disponibilidad de materia prima en la producción de bioetanol

Cirilo Nolasco Hipólito, Octavio Carvajal Zarrabal, Kopli Bujang, Cynthia Magaly Antonio Cisneros, Jesús Carrillo Ahumada,
Ibrahim Yakub, María de Jesús García Gómez, Óscar Núñez Gaona

Grado de Madurez de los programas de mejora continua Lean en e1286
empresas multinacionales de manufactura automotriz en México

Maturity degree in Lean improvement programs in automotive in multinational
manufacture companies in Mexico

Jesús Arturo Chávez-Pineda, Salvador García-Ramírez, Gloria Viridiana Vallejo-Navarrete, Edna Gabriela Ceja-Silva

Química y Recursos Naturales

Variaciones morfológicas en el fruto y semillas de cuatro estadios del fruto e1184
de *Cylindropuntia spinosior* (Cactaceae)

Fruits and seeds morphological variations of four fruit stages of *Cylindropuntia spinosior* (Cactaceae)

Raquel González-Fernández, Miroslava Quiñones-Martínez, José Valero-Galván

Remoción de arsénico en agua con zeolitas naturales provenientes del e1261
norte y centro de México

Arsenic removal in water with natural zeolites from northern and central Mexico

Luis Humberto Colmenero-Sujo, María de Lourdes Villalba

DEFINICIÓN DE LA REVISTA

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

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

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

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

Sensory analysis of dehydrated orange juices: quantitative descriptive analysis and sensory acceptability test

**Análisis sensorial de jugos de naranja deshidratados: análisis
descriptivo cuantitativo y ensayo de aceptabilidad sensorial**

Marianela Ivana Capitani¹, María Marcela Rodríguez^{1*}

¹Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Dpto. Ingeniería Química y Tecnología de los Alimentos, Núcleo TECSE. Av. del Valle 5737, 7400, Olavarría, Buenos Aires, Argentina.

*Correspondencia: mariamarcelarodriguez@hotmail.com (María Marcela Rodríguez)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v17i3.1325>

Recibido: 17 de agosto de 2023; Aceptado: 24 de octubre de 2023

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado
Editor de Sección: Dr. Armando Quintero Ramos

Abstract

The objective of this work was to determine the sensory profile and the degree of acceptability of samples of commercial dehydrated orange juices (A-B-C) by quantitative descriptive analysis (QDA) and sensory acceptability testing. As samples B and C are marketed with the label “sweet orange”, in sensory tests it was also analyzed whether the assessors and consumers perceived them as any sweeter. A panel of 8 assessors was selected for the QDA test, and trained on evaluating of the dehydrated orange juices. The acceptance test was performed with 50 consumers of both genders, who were selected for their daily consumption of dehydrated juices. In addition, in this test, the influence of gender of consumers on evaluations of the samples was analyzed. In the descriptive test, B and C were characterized by a greater intensity in orange and acid aroma and orange and acid flavor, samples A and C by a larger body, and A and B by exhibiting a greater intensity of the sweet flavor descriptor. In the test with consumers, B and C were perceived as the sweetest and those that presented the greatest overall acceptability. Furthermore, no differences were found between the ratings provided by men and women.

Keywords: sensory profile, commercial dehydrated juices, sweet, orange juices.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue determinar el perfil sensorial y el grado de aceptabilidad de muestras de jugos de naranja deshidratados comerciales (A-B-C) mediante análisis descriptivo cuantitativo (QDA por sus siglas en inglés) y pruebas de aceptabilidad sensorial. Como las muestras B y C se comercializan con la etiqueta “naranja dulce”, en los ensayos sensoriales también se analizó si los evaluadores y consumidores las percibían más dulces. Se seleccionó un panel de 8 evaluadores para el ensayo QDA, y se los entrenó en la evaluación de jugos de naranja deshidratados. El ensayo de aceptabilidad sensorial se realizó con 50 consumidores de ambos géneros, quienes fueron seleccionados por su consumo diario de jugos deshidratados. Además, en esta prueba se analizó la influencia del género de los consumidores en la valoración de las muestras. En el test descriptivo, B y C se caracterizaron por una mayor intensidad en aroma a naranja y ácido y sabor a naranja y ácido, las muestras A y C por un mayor cuerpo, y A y B por exhibir una mayor intensidad del descriptor sabor dulce. En el ensayo con consumidores, B y C fueron percibidas como las más dulces y las que presentaron mayor aceptabilidad global. Además, no se encontraron diferencias en la evaluación proporcionada por hombres y mujeres.

Palabras clave: perfil sensorial, jugos deshidratados comerciales, dulce, jugos de naranja.

1. Introduction

Sensory evaluation can be described as a bond between research and development, linking technical aspects of foods with consumer behavior and market research. There are many types of sensory analysis methodologies, and the selection of the method depends on the objective of the study and the type of information that is desired. They can be divided into two large groups: tests designed for trained assessors (discriminative and descriptive testing) and those conducted using consumers (sensory acceptability and preference tests) (Stone *et al.*, 2020; Torrico *et al.*, 2022).

Descriptive sensory analysis is one of the most sophisticated techniques in the scientific field of sensory evaluation. It involves the identification and the quantitative and qualitative description of sensory characteristics by a panel of individuals trained in the evaluation of the product (Meilgaard *et al.*, 2007). They provide the basis for mapping product similarities and variances and determining those sensory characteristics that are important to acceptance (Mihafu *et al.*, 2020). The qualitative characteristics include aroma, appearance, flavor, texture, taste and sound. The panel quantifies these properties in order to describe the attributes perceived in the product (Murray *et al.*, 2001). The descriptive method is a very important tool for food companies, which can apply it to screen their products and compare them with competing products, also in quality control (effect of the ingredients or process variables), establishing instrument/sensory relationship, product development, and storage tests (shelf life, packaging effect), all of which would enable them to obtain the consumer-desired product (Meilgaard *et al.*, 2007). Among descriptive tests, the quantitative descriptive analysis (QDA), developed by Stone *et al.* (1974), is based on the capacity of an assessor to verbalize perceptions in a reliable manner. The assessors are trained in the identification of attributes and use of scales by using reference samples, in order to use a consensus sensory vocabulary (Bécue-Bertaut, 2014; Rodríguez *et al.*, 2014; Akasapu and Uppaluri, 2023).

Sensory acceptability is an affective method, very useful for evaluating food acceptability or preference (which product is liked or preferred). Consumers are not trained but selected based on previous use of product, economic social level and geographical area (Mihafu *et al.*, 2020). This tests allow to clearly distinguish between consumer preferences and behavior, that is to say “what I prefer may not be what I buy”. There are many factors that make consumers chose and eat a certain food product. Appearance is generally the first impression that a consumer receives of a product; then after they have tasted it, flavor is the attribute most usually mentioned by consumers as responsible for their preference of one food product over another one. The most common reason for consumer rejection of a food product is that it “has an unpleasant flavor”. However, when they say that the taste is unpleasant they probably mean that they did not like the product for one or several reasons other than flavor (Meilgaard *et al.*, 2007).

Among natural beverages, the production of orange juices is the most important and known process at a world scale given its health benefits and pleasant aroma (Rega *et al.*, 2004; Pan *et al.*, 2023). Orange juice can be marketed as fresh-squeezed juice, juice concentrate or dehydrated juice (spray dried). Dehydration extends the shelf life and reduces transport, packaging and storage costs due to the smaller volume and/or weight of the product (Shrestha *et al.*, 2007; Goula and Adamopoulos, 2010). However, during the production of dehydrated fruit juices, some problems related to powder stickiness or manipulation can arise due to their hygroscopic nature (Chegini and Ghobadian, 2007). On the other hand, the quality of spray-dried foods depends on the process parameters (feed flow rate, inlet temperature, atomizer speed, feed concentration, feed temperature, air dry flow rate, etc.) (Chegini *et al.*, 2008; Pino *et al.*, 2018; dos Santos Rocha *et al.* 2022). There some reports in the literature on the sensory evaluation of fresh orange juices (Pérez-Aparicio *et al.*, 2007; Pan *et al.*, 2023), and commercial orange juices (Fernández-Vázquez *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2013). However, there is no data on the sensory analysis of dehydrated orange juices.

The objective of this work was to determine the sensory profile and degree of acceptability of three commercial dehydrated orange juice samples (A, B and C) by quantitative descriptive analysis and a sensory acceptability test. In addition, it was evaluated whether trained assessors and consumers perceived a greater degree of sweetness in the samples marketed under the legend “sweet orange.”

2. Materials and methods

This study was approved by the ethical committee of the Faculty of Engineering (FE) of the National University of the Center of the Province of Buenos Aires (UNCPBA) and consent was obtained from each subject before their participation.

2.1 Sample

Three commercial samples of dehydrated orange juices were purchased: A (lot: L.80814j31AR), B (lot: 10L:96042) and C (lot: 10L:9D050) in a local market in Olavarría (Buenos Aires, Argentina). It should be noted that for the selection of the samples, the description of the container label (“sweet orange”) was taken as a criterion, contrasting it with another sample without that specification (sample A). Samples B and C are marketed under the label “sweet orange”. These samples were used

to carry out the following sensory tests: Quantitative descriptive analysis and Sensory acceptability test.

2.1.1 Sample preparation

Each dehydrated juice sample was dissolved into 1 L of commercial mineral water, according to label directions, and stored at 10 ± 2 °C.

2.2 Quantitative descriptive analysis

The descriptive analysis was performed according to ISO/DIS norm 13299:2003(E) for establishing a sensory profile. The different stages of the analysis (descriptor search sessions, training and evaluation) were carried out at the facilities of the Department of Chemical Engineering and Food Technology (FE, FUNCPBA, Olavarría, Buenos Aires), where the lighting, ventilation and sound requirements were met.

2.2.1 Panel selection

Teaching staff and students from the Department of Chemical Engineering and Food Technology, who had time availability and who did not present any physical impediment, were called to perform the sensory test according to the guidelines of the ISO8586-1 1993/IRAM20005-1 standard. Finally, eight assessors were chosen complying with the number of assessors recommended for this type of test (Mihafu *et al.*, 2020).

2.2.2 Presentation of the samples

The samples were served at 10 °C in 50 mL plastic glasses and presented blind labelled with random 3-digit codes. The evaluation of the attributes was performed in the following order: aroma, appearance and flavor. The samples were served covered with a lid to prevent the loss of volatile compounds during the evaluation of the aroma attributes. Mineral water was served in 110 mL plastic glasses at room temperature for the assessors to rinse their mouth between evaluations.

2.2.3 Generation of descriptors

The assessors were presented with the samples in pairs: C (687) - B (369), C (433) - A (115) and B (552) - A (607). They evaluated the samples and were instructed to fill out the card provided, stating for which descriptors the samples were similar or different (Fig. 1). Finally, they generated a consensus list of descriptors (grouped by attribute) that represented the sensory characteristics of the various dehydrated juices. The descriptors of the aroma attribute were acid and orange, the appearance were orange color and body and of the flavor attribute were orange, acid and sweet. The panelists were advised by the panel leader in the use of the appropriate vocabulary, according to the ISO 5492:1992/IRAM 20001 (1995) norm.

Generation of descriptors for dehydrated orange juices

Name:..... Date:.....
 Age:

You are presented with three pairs of orange juices in random order, labelled with 3-digit codes. Starting from left to right, taste the samples and please indicate for which descriptors they are similar and for which descriptors they are different. Consider aroma, appearance and taste attributes.

Samples	They are similar in	They are different in
687 – 369		
433 – 115		
552 – 607		

Figure. 1. Worksheet used to search for descriptors of dehydrated orange juice.

Figura. 1. Planilla empleada para la búsqueda de descriptores de jugos de naranja deshidratados.

2.2.4 Training of the assessors

Different reference samples for each descriptor were presented to the assessors along with the dehydrated orange juice samples. The panelists were asked to compare the control samples and reach consensus on which ones were the most suitable to represent the descriptors that they had previously selected. Finally, they assigned a score value between 0 and 10 to each descriptor, which would serve as a reference to rate the descriptors found in the samples. Table 1 shows the aroma, appearance and flavor descriptors with their respective definitions, references and score. The scorecard is shown in Fig. 2, in which the assessors had to rate the perceived intensity for each descriptor in an unstructured line scale anchored at the ends with the terms “none” and “much”, corresponding to values 0 and 10, respectively.

Table 1. Definitions and references of descriptors of appearance, aroma and taste of dried orange juices.

Tabla 1. Definiciones y referencias de los descriptores de apariencia, aroma y sabor de los jugos de naranja deshidratados.

Descriptor	Definition	Reference	Score (0-10)*
Aroma			
Orange aroma	Evaluation of the aroma of artificial orange. Evaluated by the sense of smell when uncovering the juice sample.	Sample C (10L:9D050)	10
Acid aroma	Evaluation of the aroma intensity acid. Evaluated by the sense of smell when uncovering the juice sample.	1 g citric acid in 1 L of juice, prepared with sample B (10L:96042)	10
Appearance			
Orange color	Evaluation of the intensity of orange color. Evaluated on the surface of the sample.	Sample C (10L:9D050)	9
Body	Property of the sample to offer resistance to movement. Evaluated by manual stirring of the vessel.	Sample C (10L:9D050)	8
Flavor			
Orange flavor	Evaluation of the flavor of artificial orange. Evaluated when testing juice samples.	Sample C (10L:9D050)	10
Acid flavor	Evaluation of the flavor intensity acid. Evaluated when testing juice samples.	Dehydrated orange juice from a brand name	10
Sweet flavor	Evaluation of the flavor intensity sweet. Evaluated when testing juice samples.	16 g sucrose in 1 L juice, prepared with sample B (10L:96042)	8

* The score awarded to each reference was agreed by the panel.

* El puntaje otorgado a cada referencia fue consensado por el panel.

2.2.5 Sample evaluation

During the scoring session, each assessor was presented with three samples in duplicate in a random order, along with six scorecards (**Fig. 2**). Once the test was completed, each assessor was given a reward for their collaboration.

2.3 Sensory acceptability test

The test was performed according to the ISO 5492:1992/IRAM 20001 (1995) and ISO 8589:1998/IRAM 20003 (1995) norms.

The consumers were asked to score the level of acceptance that they perceived for each sample in a line scale anchored at the ends with the terms “dislike a lot”, “neither like nor dislike” and “like a lot”, corresponding to values 0, 5 and 9, respectively. The “global score” was also taken into account, for which consumers were asked to assign a value between 0 and 10, with 0 corresponding to “dislike” and 10 to “like a lot”. The descriptors evaluated were “orange flavor” and “sweet flavor”. It was analyzed if the incorporation of the adjective sweet incorporated in the legend of the packaging of juices B and C is perceived by consumers (Fig. 3). In addition, in this test, the influence of gender of consumers on evaluations of the samples was analyzed. Once the test was completed, each consumer was given a reward for their collaboration.

2.4 Data analysis

The results were analyzed by ANOVA with the InfoStat software (Di Rienzo *et al.*, 2014), evaluating the differences between the samples for each descriptor and panel performance in the quantitative descriptive test, and only the differences between the samples in the sensory acceptability test (n=50). For the comparison of means, Tukey's test was used when significant differences were found (significance level of 5 %), with different letters indicating significant differences between the analyzed sources of variation. In the case of the acceptability test, for gender discrimination, a hypothesis test for paired means was conducted, with a level of significance of 5 % and n<30.

3. Results and discussion

3.1 Quantitative descriptive analysis

Of the descriptors agreed upon by the panel of evaluators, those corresponding to the flavor attribute (sweet, orange and sour) were also selected by other authors when they evaluated non-dehydrated commercial orange juices (Pérez Aparicio *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2013).

Table 2 shows the ANOVA results for the sample, assessors sources of variation and the sample*assessors interaction for all the descriptors of the aroma, appearance and flavor attributes. For all dehydrated orange juice descriptors there were significant differences ($p \leq 0.05$) among the three samples, while significant differences were only detected among the evaluators for the orange color descriptor. In the orange color appearance descriptor and in all flavor attribute descriptors, a significant sample* assessors' interaction was detected ($p \leq 0.05$).

Table 2. ANOVA for the sources of variation sample, evaluator and interaction sample*evaluator for the descriptors of the aroma, appearance and taste attributes.

Tabla 2. ANOVA para las fuentes de variación muestra, evaluador y la interacción muestra*evaluador para los descriptores de los atributos aroma, apariencia y sabor.

Descriptor	SV	SS	df	MSE	F	p
Aroma						
Orange aroma	Model	119.42	23	5.19	3.72	0.0011
	Sample	83.64	2	41.82	29.96	<0.0001
	Assessor	2.58	7	0.37	0.26	0.9619
	Sample*assessor	33.20	14	2.37	1.70	0.1228
	Error	33.50	24	1.40		
	Total	152.92	47			
Acid aroma	Model	116.33	23	5.06	2.28	0.0248
	Sample	88.97	2	44.48	20.10	<0.0001
	Assessor	8.49	7	1.21	0.55	0.7894
	Sample*assessor	18.86	14	1.35	0.61	0.8318
	Error	53.13	24	2.21		
	Total	169.45	47			
Appearance						
Orange color	Model	95.74	23	4.16	47.02	<0.0001
	Sample	81.54	2	44.48	20.10	<0.0001
	Assessor	4.66	7	0.67	7.52	0.0001
	Sample*assessor	9.54	14	0.68	7.70	<0.0001
	Error	2.12	24	0.09		
	Total	97.87	47			
Body	Model	133.12	23	5.79	6.07	<0.0001
	Sample	97.64	2	48.82	51.22	<0.0001
	Assessor	8.70	7	1.24	1.30	0.2906
	Sample*assessor	26.78	14	1.91	2.01	0.0645
	Error	22.87	24	0.95		
	Total	155.99	47			
Flavor						
Orange flavor	Model	140.49	23	6.11	4.39	0.0003
	Sample	90.76	2	45.38	32.63	<0.0001
	Assessor	3.41	7	0.49	0.35	0.9217
	Sample*assessor	46.32	14	3.31	2.38	0.0299
	Error	33.38	24	1.39		
	Total	173.87	47			
Acid flavor	Model	175.58	23	7.63	4.94	0.0001
	Sample	119.66	2	59.83	38.68	<0.0001
	Assessor	6.24	7	0.89	0.58	0.7677
	Sample*assessor	49.68	14	3.55	2.29	0.0356
	Error	37.13	24	1.55		
	Total	212.70	47			
Sweet flavor	Model	99.95	23	4.35	3.99	0.0006
	Sample	41.84	2	20.92	19.22	<0.0001
	Assessor	9.79	7	1.40	1.28	0.2996
	Sample*assessor	48.32	14	3.45	3.17	0.0063
	Error	26.13	24	1.09		
	Total	126.08	47			

SV: Source of variation, SS: Sum of squares, gf: degrees of freedom, MSE: Mean squares of the error, F: Fisher.
 FV: Fuente de variación, SC: Suma de cuadrados, gl: grados de libertad, CM: Cuadrados medios del error, F: Fisher.

Based on the statistical results, the sensory profile of the dehydrated orange juice samples for the descriptors on which the 8 assessors could reach consensus (orange aroma, acid aroma and body) is shown in Fig. 4. It can be observed that samples B and C presented a significantly higher intensity in orange aroma and acid aroma. On the other hand, samples A and C exhibited a significantly more intense body (viscosity) than sample B.

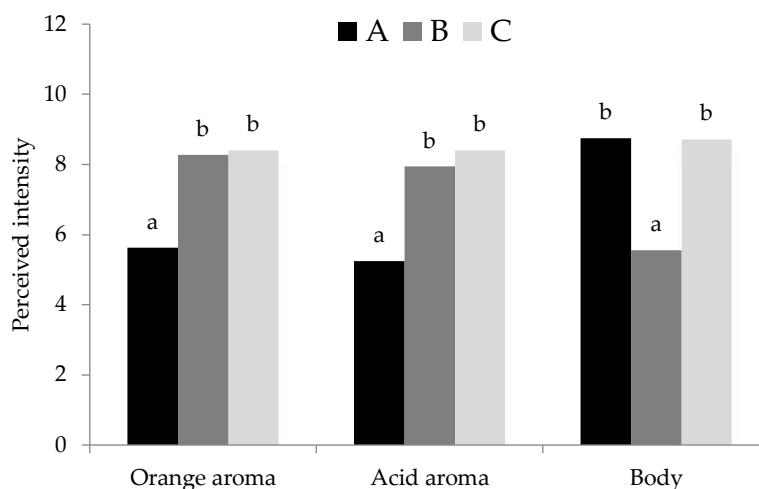


Fig. 4. Intensity of perception for the descriptors orange aroma, acid aroma and body in the samples of dehydrated orange juices, taking into account all panel members.

Different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

Fig. 4. Intensidad de percepción para los descriptores aroma naranja, aroma ácido y cuerpo en las muestras de jugos de naranja deshidratados, teniendo en cuenta a todos los integrantes de panel.

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

In the case of the descriptors for which the panelists showed different levels of perception (orange color) and/or significant interactions were observed between the sources of variation sample*evaluators (flavor attribute descriptors and orange color), only were considered for the data analysis the scores of those assessors who evaluated the juice samples with a similar trend.

The according to the results of ANOVA for the three descriptors of the flavor attribute for orange flavor and acid flavor the panel could reach consensus, without considering the contribution of only one assessor ($gl=6$), whereas for sweet flavor it was necessary to exclude the values of two assessors ($gl=5$). These results would seem to indicate that the panelists need further training in these descriptors. Taking into account this analysis, samples B and C were characterized by intense orange and acid flavors, whereas samples A and B presented a more intense sweet flavor (Fig. 5). As mentioned above, sample B turns out to be the most balanced in terms of flavor (orange, acidity and

sweetness), sample C is considered more acidic and has a greater orange flavor than sweet, while sample A stands out for being sweeter than orange or acid flavor.

As for orange color, there was a great disparity in how the assessors perceived it, and it was not possible to make a comparison between the samples for this descriptor. This could be attributed to the fact that color perception is based on the responses of photoreceptors in the retina and on how they are interpreted in the brain, which requires a lot of training (Fernández-Vázquez *et al.*, 2013).

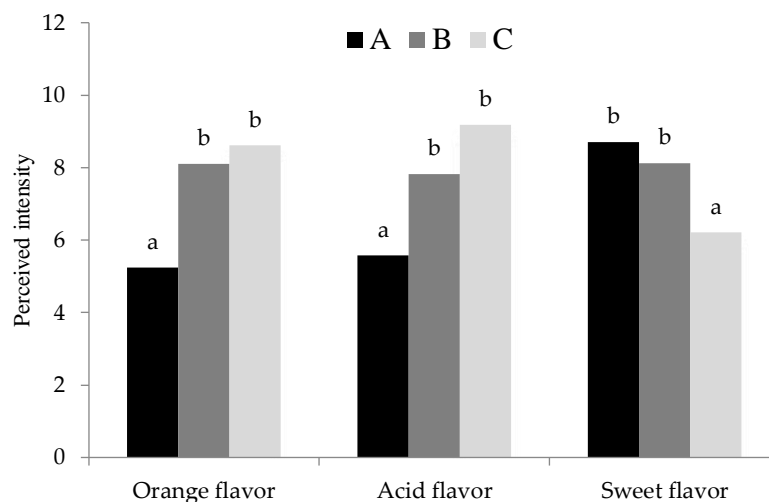


Fig. 5. Intensity of perception for the descriptors orange flavor ($n = 7$), acid taste ($n = 7$) and sweet taste ($n = 6$) in the samples of dehydrated orange juices.

Different letters indicate significant differences ($p \leq 0.05$).

Fig. 5. Intensidad de percepción para los descriptores sabor naranja ($n=7$), sabor ácido ($n=7$) y sabor dulce ($n=6$) en las muestras de jugos de naranja deshidratados.

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$).

3.2 Sensory acceptability test

The level of acceptance for the three samples of dehydrated orange juices is shown in Fig. 6. Samples B and C presented a significantly higher intensity ($p < 0.0001$) for orange flavor (6.74 ± 2.09 and 6.66 ± 2.12) and sweet flavor (6.88 ± 2.10 and 6.26 ± 2.30 , respectively) than sample A (4.92 ± 2.60 and 4.68 ± 2.43 , orange flavor and sweet flavor, respectively). The results obtained from the evaluation of sweet flavor indicate that consumers perceived samples B and C as sweeter, confirming the label in the products marketed as “sweet orange”. Consumers consistently assigned to samples B and C significantly higher ($p < 0.0001$) global scores (7.69 ± 2.19 and 7.39 ± 1.94 , respectively), which would indicate a high level of acceptance of these samples.

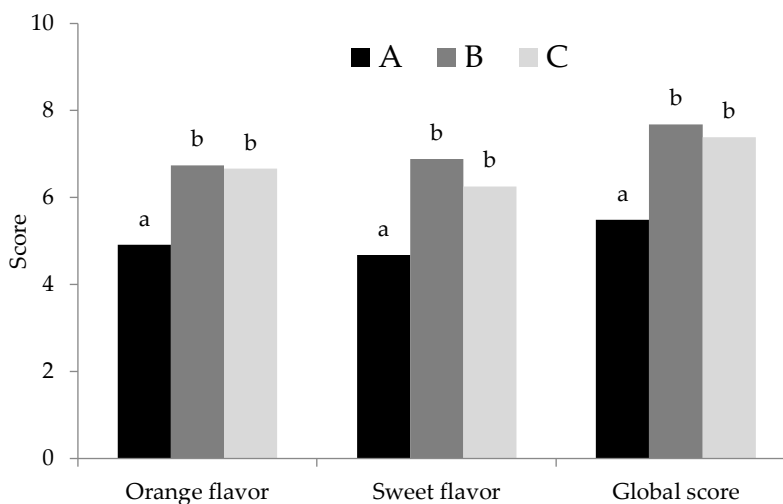


Fig. 6. Sensory acceptability of dehydrated orange juice samples.

Fig. 6. Aceptabilidad sensorial de las muestras de jugos de naranja deshidratados.

When comparing these results with those obtained for the descriptive analysis, it can be observed that both the panel of trained assessors and the consumers identified samples B and C as the ones with the most intense orange flavor. However, as for sweet flavor, the trained panel perceived that samples A and B had a higher degree of sweetness (see Fig. 5), whereas consumers assigned the highest rating to samples B and C (see Fig. 6). These differences can be attributed to the fact that consumers may be rating the sweet taste in a more global sense than the trained panel, who should rate the sweet taste as a basic taste sweetness. That is, what the panel qualifies as "sweet flavor" and what the consumer qualifies as "sweet flavor" are two different concepts. On the other hand, the low scoring of sweet flavor and orange flavor for sample A by the consumers could be associated with the low level of acceptance of this product in terms of global score. It should be noted that sample B, which received the highest global score value, was rated as having the least body by the trained evaluators (see Fig. 4), which could indicate that consumers like the samples more less viscous and with a more balanced flavor.

Regarding the effect of consumers' gender on sensory acceptability, in all cases, no significant differences ($p > 0.05$) between the evaluations of men and women were detected for the samples (A, B and C) with the number of consumers involved in this analysis, but these results could vary if a larger number of consumers were considered (Hough *et al.*, 2006). Although there is scientific research that shows differences in the ability to perceive sensory attributes depending on gender, for example, the authors Doty and Cameron (2009) state that women are more sensitive to detect, identify and discriminate some odors in relation to men. However, these differences, when present, are usually not large.

4. Conclusion

The descriptive analysis provided a description of the sensory characteristics of the dehydrated orange juices under analysis. Sensory differences could be detected between the samples. Samples B and C were characterized by a greater intensity in orange and acid aroma and orange and acid flavor, samples A and C by a larger body, and samples A and B by exhibiting a greater intensity of the sweet flavor descriptor.

The sensory acceptability test provided information on the liking level of a group of adolescents for different commercial brands of dehydrated orange juices sold under different degrees of sweetness on their labels. The consumers showed higher liking for those samples that had greater intensity of orange flavor and sweet flavor (samples B and C). They also identified the samples labelled "sweet orange" as having a greater degree of sweetness than sample A. It must be noted that no differences were found between the evaluations provided by men and women.

In summary, by relating the results of the studies addressed (QDA and acceptability testing), it is concluded that sweet taste is perceived from a different concept depending on whether the evaluations correspond to trained assessors or consumers. Furthermore, sample B was the one that received the highest global score value according to the sensory test, which could be associated with its greater balance of flavors (orange, sour and sweet) and its lower body according to the results obtained in the QDA. This would indicate the importance of carrying out both studies, given that they provide different and at the same time complementary information.

However, it would be of interest in future sensory studies of dehydrated orange juices to train the members of the QDA panel in the search for more specific descriptors for the attributes appearance, aroma and flavor. Likewise, carry out the sensory acceptability test with a larger number of consumers to obtain more representative results.

Acknowledgment

The authors thank the Facultad de Ingeniería y la Escuela Nacional Adolfo Pérez Esquivel de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires for allowing the use of the facilities for the development of sensory tests.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest and have no competing financial interest for the work covered in this paper.

5. Reference

- Akasapu, K. & Ramagopal, V. S. (2023). Uppaluri Efficacy of score deviation method as a novel sensory evaluation technique for the identification of optimal mixed vegetable soup formulations. *Int. J. Gastron. Food Sci.* 33: 100761. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100761>
- Bécue-Bertaut, M. (2014). Tracking verbal-based methods beyond conventional descriptive analysis in food science bibliography. A statistical approach. *Food Qual. Prefer.* 32A: 2-15. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.08.010>
- Chegini, G. R., & Ghobadian, B. (2007). Spray Dryer Parameters for Fruit Juice Drying. *World J. Agric. Sci.* 3(2): 230-236. <https://bitly.ws/ZZeB>
- Chegini, G. R., Khazaei, J., Ghobadian, B. & Goudarzi, A. M. (2008). Prediction of process and product parameters in an orange juice spray dryer using artificial neural networks. *J. Food Eng.*, 84 (4): 534-543. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.06.007>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M. & Robledo, C. W. (2014) InfoStat version 2014. InfoStat Group: FCA: National University of Córdoba, Argentina. <https://www.infostat.com.ar/>
- dos Santos Rocha Magnani, C. M., Ramos, Bezerril, F. F., Freitas, M. Q., Cruz, A. G. & Pimentel, T. C. (2022). Emerging technologies in food processing: impacts on sensory characteristics and consumer perception. *Curr. Opin. Food Sci.*, 47: 100892. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100892>
- Doty, R. L. & Cameron, E. L. (2009). Sex differences and reproductive hormone influences on human odor perception. *Physiol. Behav.* 97(2): 213-228. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.02.032>
- Fernández-Vázquez, R., Stinco, C. M., Hernanz, D., Heredia, F. J. & Vicario, I. M. (2013). Colour training and colour differences thresholds in orange juice. *Food Qual. Prefer.*, 30(2): 320-327. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.05.018>
- Goula, A. M. & Adamopoulos, K. G. (2010). A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Sci. Emerg. Technol.* 11 (2): 342-351. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.12.001>
- Hough, G., Wakeling, I., Mucci, A., Chambers, I. E., Méndez Gallardo, I. & Rangel Alves L. (2006). Number of consumers necessary for sensory acceptability tests. *Food Qual. Prefer.* 17(6): 522-526. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.07.002>
- Kim, M. K., Young-Jin, L., Kwak, H. S. & Myung-Woo, K. (2013). Identification of Sensory Attributes That Drive Consumer Liking of Commercial Orange Juice Products in Korea. *J. Food Sci.*, 78(9): 1451-1458. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12227>
- Meilgaard, M. C., Carr, B. T. & Civille, G. V. (2007). Sensory Evaluation Techniques, fourth ed. Taylor and Francis/CRC Press. eBook ISBN: 9780429195143. <https://doi.org/10.1201/b16452>
- Mihafu, F. D., Issa, J. Y. & Kamiyango, M. W. (2020). Implication of Sensory Evaluation and Quality Assessment in Food Product Development: A Review. *Curr. Res. Nutr. Food Sci.* 08(3): 690-702. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.8.3.03>
- Murray, J. M., Delahunty, C. M. & Baxter, I. A. (2001). Descriptive sensory analysis: past, present and future. *Food Res. Int.* 34(6): 461-471. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(01\)00070-9](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(01)00070-9)

- ISO 5492:1992/IRAM 20001(1995): Sensory Analysis. Vocabulary.
- ISO 8586 - 1:1993/IRAM 20005 - 1(1996): Sensory analysis. General guide for the selection, training and monitoring of evaluators. Part 1 - Selected evaluators.
- ISO 8589:1998/IRAM 20003(1995): Sensory analysis. Guide for the installation of test rooms.
- Pan, X., Bi, S., Lao, F. & Wu, J. (2023). Factors affecting aroma compounds in orange juice and their sensory perception: A review. *Food Res. Int.*, 169: 112835. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112835>
- Pérez-Aparicio J., Toledano-Medina, M. A. & Lafuente-Rosales, V. (2007). Descriptive sensory analysis in different clases of orange juice by a robust free-choice profile method. *Anal. Chim. Acta*, 595(1-2): 238-247. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.02.054>
- Pino J. A, Aragüez-Fortessand Y. & Bringas-Lantigua, M. (2018). Optimization of spray-drying process for concentrated orange juice. *Acta Aliment, An Int J Food Sci.*, 47(4): 417-424. <https://doi.org/10.1556/066.2018.47.4.4>
- Rega, B., Fournier, N., Nicklaus, S. & Guichard E. (2004). Role of pulp in flavor release and sensory perception in orange juice. *J. Agric. Food Chem.* 52 (13): 4204-4212. <https://doi.org/10.1021/jf035361n>
- Rodríguez M., López Osornio, M. & Hough, G. (2014). Comparison of consensus profiles obtained at the end of product-specific training with profiles obtained by individual measurements and statistical analysis. *Acta Aliment, An Int J Food Sci.*, 43(1): 61-75. <https://doi.org/10.1556/AAlim.43.2014.1.7>
- Shrestha, A. K., Ua-Arak, T., Adhikari, B. R., Howes, T. & Bhandari, B. R. (2007). Glass transition behavior of spray dried orange juice powder measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). *Int. J. Food Prop.*, 10(3): 661-673. <https://doi.org/10.1080/10942910601109218>
- Stone H., Sidel, J. L., Oliver, S., Woolsey A. & Singleton, R. C. (2004). Sensory evaluation by Quantitative Descriptive Analysis. M.C. Gacula Jr. (Ed). *Descriptive Sensory Analysis in Practice* (chapter 1.3). Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1002/9780470385036.ch1c>
- Stone, H., Bleibaum, R. N. & Thomas, H. A. (2020). *Sensory evaluation practices*. Academic Press. ISBN: 9780128153345. eBook ISBN: 9780128153352
- Torrico, D. D., Mehta, A. & Bernardes Borssato, A. (2023). New methods to assess sensory responses: a brief review of innovative techniques in sensory evaluation. *Curr. Opin. Food Sci.*, 49: 100978. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100978>

2023 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 Científico

Calidad de frutos de siete cultivares de toronja (*Citrus paradisi*) en Nuevo León, México

Fruit quality of seven cultivars of grapefruit (*Citrus paradisi*) in Nuevo León, México

Carlos Miguel Ramos-Cruz^{1*}, Emilia Raquel Pérez-Evangelista², Guillermina Areli Tochiuitl-Martión¹, Juan Martínez-Medina¹ y Juan Vargas-Hernández³

¹ Campo Experimental General Terán-INIFAP. Km 31 Carretera Montemorelos-China. C.P. 67400. General Terán, Nuevo León, México.

² Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez y carretera Santa Fe. C.P. 27054. Torreón Coahuila, México.

³ Campo Experimental San Luis-INIFAP. Domicilio Conocido, Ejido Palma de la Cruz Soledad de Graciano Sánchez, C.P. 78431. San Luis Potosí, México.

*Correspondencia: ramos.carlos@inifap.gob.mx (Carlos Miguel Ramos Cruz)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v17i3.1257>

Recibido: 17 de junio de 2023; Aceptado: 23 de agosto de 2023

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

Resumen

Nuevo León es el sexto productor de toronja en México; destina una superficie de 2,039 hectáreas con un volumen de producción anual de 10,085 toneladas. El cultivar sobresaliente es Río Red, con periodo de cosecha de noviembre a febrero. Es importante ofrecer a los productores cultivares que ofrezcan rendimiento y calidad para su comercialización. Por ello, el objetivo del presente estudio fue caracterizar un grupo de siete cultivares de toronja, mediante parámetros que determinen la calidad del fruto como: peso fresco, diámetro polar y ecuatorial, espesor de cáscara, número de semillas, sólidos solubles totales (SST), contenido de jugo y firmeza del fruto. Para ello, se evaluaron siete cultivares de toronja del Banco de Germoplasma de Cítricos, establecido en el Campo Experimental General Terán. Los resultados indican que el cultivar Río Red presentó características sobresalientes en: peso del fruto (674.00 g), pocas semillas, alto contenido de jugo (294.70 mL) y SST (10.70 °Brix). Sin embargo, los cultivares Shambar y Red Blush Nuc. presentaron características similares, pero con mayor SST (11.9 y 12.65 °Brix). Los resultados indican que es posible diversificar la producción de toronja en la región cítrica del estado de Nuevo León y no depender de un cultivar.

Palabras clave: toronja (*Citrus paradisi*), peso de fruto, diámetro polar y ecuatorial, recursos genéticos.

Abstract

Nuevo León is the sixth largest grapefruit producer in Mexico; with an area of 2,039 hectares and an annual production volume of 10,085 tons. The outstanding cultivar is Rio Red, with a harvest period from November to February. It is important to offer growers cultivars that offer yield and quality for marketing. Therefore, the objective of the present study was to characterize a group of seven grapefruit cultivars, using parameters that determine fruit quality such as: fresh weight, polar and equatorial diameter, peel thickness, number of seeds, total soluble solids (TSS), juice content and fruit firmness. For this purpose, seven grapefruit cultivars from the Citrus Germplasm Bank, established at the General Terán Experimental Field, were evaluated. The results indicate that the Rio Red cultivar presented outstanding characteristics in: fruit weight (674.00 g), few seeds, high juice content (294.70 mL) and TSS (10.70 °Brix). However, the cultivars Shambar and Red Blush Nuc. showed similar characteristics, but with higher TSS (11.9 and 12.65 °Brix). The results indicate that it is possible to diversify grapefruit production in the citrus growing region of the state of Nuevo León and not depend on one cultivar.

Keywords: grapefruit (*Citrus paradisi*), fruit weight, polar and equatorial diameter, genetic resources.

1. Introducción

El género *Citrus* es de los cultivos económicamente más importantes en el mundo (Vu *et al.*, 2018), se localiza en regiones tropicales y subtropicales en más de 140 países, con una producción mundial promedio de 140 millones de toneladas (FAO, 2021). Los principales países productores son China, Brasil, India, Estados Unidos de América, España y México (USDA, 2019). A nivel nacional, la citricultura es una de las actividades de mayor importancia, al generar una derrama económica superior a los 375 millones de dólares anuales (González *et al.*, 2020), en una superficie cultivada de 590 000 hectáreas y un volumen de producción de 8 millones de toneladas (Sáenz *et al.*, 2019). Los estados de Veracruz, Tamaulipas, San Luis Potosí y Nuevo León aportan el 75 % de la producción nacional (de la Rosa *et al.*, 2016; Martínez *et al.*, 2020; Valencia y Duana, 2019).

En el estado de Nuevo León, la citricultura es desarrollada por más de 2 mil productores, en una superficie de 31,442 hectáreas, con un valor anual de producción de 1,667 millones de pesos (SEDAGRO, 2021). De la superficie total, el 82 % corresponde al cultivo de naranja, el 11.4 % a mandarina y el 6.5% a toronja (SEDAGRO, 2019, 2021).

A nivel nacional la toronja (*Citrus paradisi*) es el tercer cítrico más cultivado, después, de la naranja y la mandarina. Su consumo se realiza principalmente en fresco o procesado, se estima que cerca del 85 % de la producción se destina para su consumo en fresco (Cruz, 2007), aunque en los últimos años su producción para la industrialización se ha incrementado (Bello *et al.*, 2020); teniendo mayor demanda las variedades de pulpa roja, aunque cuando la oferta de éstas es reducida las variedades de pulpa blanca también son consumidas (Cruz, 2007).

Conocer las características de las variedades de toronja permite a los tomadores de decisiones, seleccionar aquellos materiales con características importantes para el establecimiento de las huertas. Debido principalmente a que los cítricos son especies perenes, la sustitución de una variedad por otra dificulta y encarece los costos (Padrón y Rocha 2007). Sin embargo, en la región citrícola del

estado de Nuevo León, no existe información sobre la calidad de la fruta de diferentes cultivares bajo las condiciones agroecológicas de esta región.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), cuenta con una colección de Cítricos (Banco de Germoplasma) bajo condiciones protegidas y a campo abierto establecida en el Campo Experimental General Terán. El Banco de Germoplasma cuenta con diversos cultivares y especies de cítricos tanto nacionales como internacionales que pueden ser caracterizados y utilizados en programas de mejoramiento genético (Ramos *et al.*, 2023).

Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue caracterizar un grupo de siete cultivares de toronja, mediante parámetros que establezcan la calidad del fruto, como: peso fresco, diámetro polar y ecuatorial, espesor de cáscara, número de semillas, sólidos solubles totales, contenido de jugo y firmeza del fruto.

2. Materiales y métodos

2.1 Materiales

El presente trabajo se realizó en el Banco de Germoplasma de cítricos dulces del Campo Experimental General Terán ($25^{\circ}17'52.48''$ N, $99^{\circ}35'25.55''$ O y una altitud de 267 m), perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), con sede en el municipio de General Terán, Nuevo León, México (Figura 1). El municipio pertenece a la región citrícola del estado de Nuevo León y se caracteriza por presentar un clima subtropical semiseco, con temperaturas promedio de 23.9°C , mínima de 0.8°C y máxima de 40°C . Durante los meses de noviembre a marzo se presentan las temperaturas más bajas, las máximas de julio a agosto. Con una precipitación anual de 610 mm.



Figura 1. Localización de la Región Citrícola de Nuevo León, México y área de estudio.

Figure 1. Location of the Nuevo León, México Citrus Region and study area.

2.1.1 Cultivares

Se evaluaron siete cultivares de toronja injertados sobre naranjo agrio (*Citrus aurantium* L.), que es el más utilizado en la región. Los materiales corresponden a la compilación *ex situ* del Banco de Germoplasma de Cítricos del INIFAP, del Campo Experimental General Terán. La procedencia del germoplasma incluido, incorpora una diversidad de ambientes y estatus genético (Tabla 1).

Tabla 1. Cultivares de toronja evaluados del Banco de Germoplasma de cítricos del Campo Experimental General Terán, Nuevo León.

Table 1. Grapefruit cultivars evaluated from the Citrus Germplasm Bank of the Campo Experimental General Terán, Nuevo León.

Cultivar	Estatus Genético	Procedencia
Red Mexicana	Desconocido	Desconocido
Río Red	Irradiación	Texas, EUA
Henderson Ruby	Mutación	Texas, EUA
Marsh	Semilla	Florida, EUA
Shambar	Mutación	Texas, EUA
Red Blush	Mutación	Texas, EUA
Red Blush Nuc	Nucelar	Texas, EUA

Referencia: Cruz, 2007; Padrón y Rocha (2007).

2.1.2 Plantación y manejo agronómico

Los árboles se establecieron por réplica en campo en el año de 1985 (edad promedio de 38 años), a una separación de 8 m entre hilera y 4 m entre árbol. La administración se realizó de forma similar a una huerta comercial; la fertilización química consistió en aplicar de forma fraccionada 200 kg ha⁻¹ de nitrógeno y 70 kg ha⁻¹ de fósforo (50 % al inicio de la floración y el resto al llenado del fruto), el manejo de malezas se realizó de forma mecánico y químico, se aplicaron cuatro riegos por inundación y se realizó un manejo integral de plagas y enfermedades.

2.2 Métodos

2.2.1 Características de calidad

A la madurez fisiológica (noviembre a mayo), se cosecharon 20 frutos por árbol (dos árboles por cultivar), estos se adquirieron a la altura del tercio medio de la copa del árbol de cada cultivar, se colectaron en bolsas de papel adecuadamente identificadas y se llevaron al Laboratorio de Frutales del Campo Experimental General Terán. La calidad de los frutos se determinó mediante la evaluación de las variables: peso del fruto, diámetro polar y ecuatorial, grosor de cáscara, número

de semillas, sólidos solubles totales, contenido de jugo y firmeza del fruto, que pertenecen a los descriptores señalados por la Unión para la Protección de Obtenciones Vegetales de la especie (UPOV, 2019).

El peso de fruto se determinó en gramos, mediante una báscula digital de la marca HAUS Scout® modelo ITEAM No. SC4010. El diámetro polar y ecuatorial, así como el grosor de cáscara se midió con un vernier electrónico digital de la marca Knova®, y se expresaron en milímetros. El contenido de sólidos solubles totales se midió en grados Brix (°Brix) con un refractómetro digital de bolsillo de la marca ATAGO® modelo PAL-1 con ajuste automático de temperatura. El contenido de jugo se determinó al exprimir cada uno de los frutos, mediante un procesador de la marca Taurus® modelo TC700, posteriormente, se determinó: volumen de jugo obtenido por cada muestra medido con una probeta graduada de 500 ml, y se registró en mL. La firmeza del fruto se determinó con un penetrómetro AMETEK modelo LKG-14 Hunter Spring®, expresándose en $\text{kg}^{-1}\text{cm}^{-2}$. El número de semillas se determinó promediando la cantidad de semillas presentes en los frutos.

Diseño experimental y análisis de datos

Los datos se analizaron con el software de estadística SAS (Statistical Analysis Systems) ver. 9.3 (SAS, 1999), mediante un diseño experimental completamente al azar, la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($P = 0.01$).

3. Resultados y discusión

3.1 Peso del fruto (PF)

El análisis estadístico determinó que, con respecto al peso promedio de fruto, existe diferencia significativa ($P < 0,01$) para los cultivares Río Red (674.00 g); Red Blush Nuc (629.12 g); Shambar (608.99 g); Marsh (581.81 g); y Red Blush (578.70 g) con respecto a los cultivares Red Mexicana (420.52 g) y Henderson Ruby (432.31 g). El cultivar Río Red presentó el mayor peso promedio del fruto y el cultivar Red Mexicana, presentó el menor peso promedio (Tabla 2). Los resultados presentados en este estudio referentes al cultivar Río Red son superiores a los reportados por Cruz (2007) en condiciones ambientales de la Huasteca Potosina, México y con los reportados por Orduz *et al.* (2011) en condiciones del piedemonte llanero de Colombia. Lo anterior, se debe a que las condiciones agroecológicas de la región citrícola de Nuevo León proporcionan tipologías adecuadas de clima y suelo (subtropical semiseco y suelos con pH alcalino, lo que permite la disponibilidad de los microelementos como: hierro, boro, zinc, manganeso y cobre) para que el cultivo de toronja desarrolle su potencial productivo (Rocha y Padrón 2009).

3.2 Diámetro polar (DP) y ecuatorial (DE) del fruto

Para el caso del diámetro polar, no se encontró diferencia significativa entre los cultivares. Los mayores valores se presentaron en los cultivares Red Blush (105.13 mm) y Red Blush Nuc (103.65 mm); y los valores más bajos 90.20 y 95.37 mm en los cultivares Henderson Ruby y Red Mexicana respectivamente (Tabla 2). Para el caso del diámetro ecuatorial se presentó una variación de tamaños

entre: 95.87 mm y 111.62 mm de diámetro ecuatorial para los cultivares Red Mexicana y Red Blush Nuc, respectivamente. De acuerdo con el CODEX STAN 2019-1999, indica que la categorización de la toronja es por medio del DE del fruto; desde el calibre 0 (> 139 mm) hasta el calibre 9 (70-80 mm). Los frutos evaluados en el presente estudio se encuentran en mayor proporción entre el calibre 3 (93-110 mm) y 2 (100-119 mm). El calibre del fruto influye en la determinación de los mercados de comercialización (Ariza *et al.*, 2010). El mercado demanda frutos que se establecen en los rangos promedios del tamaño característico (84 -97 mm); los frutos más grandes tienen poca demanda principalmente porque suelen ser más rugosos y tener menor contenido de jugo, y los frutos pequeños presentan mayor dificultad de manejo y pelado (Agustí *et al.*, 2020).

Tabla 2. Características de calidad de frutos de toronja del Banco de Germoplasma de Cítricos del Campo Experimental General Terán.

Table 1. Quality characteristics of grapefruit fruit from the Germplasm Bank of the Campo Experimental General Terán.

Cultivar	PF (g)	DP (mm)	DE (mm)	GC (mm)	NS	SST (°Brix)	CJ (mL)	FF
Red Mexicana	420.52±76.77b	95.37±9.04a	95.87±5.22c	7.31±1.62a	17.30±4.57a	12.0±0.26a	170.90±28.38d	3.19±0.69ab
Río Red Henderson	674.00±81.21a	100.23±32.70a	109.97±7.22a	8.33±2.56a	0.40±0.69b	10.70±0.67c	294.70±38.99a	3.18±0.54ab
Ruby	432.31±76.32b	90.20±8.09a	97.39±5.03c	6.05±1.46a	1.00±1.05b	10.96±0.80c	206.20±21.59cd	3.51±0.30a
Marsh	581.81±108.4a	98.56±8.68a	103.94±8.11abc	8.19±2.00a	0.50±1.08b	11.01±0.26cb	227.10±25.50bc	3.52±0.40a
Shambar	608.99±75.54a	100.68±7.17a	108.12±3.87bc	7.03±1.78a	2.50±1.58b	12.65±0.54a	272.50±35.88ab	2.82±0.39b
Red Blush	578.70±115.1a	105.13±3.46a	99.11±9.82a	6.76±0.85a	3.00±1.49b	11.87±0.75ab	257.40±47.61ab	3.38±0.60ab
Red Blush Nuc	629.12±118.1a	103.65±11.75a	111.62±11.92a	7.83±1.43a	1.30±1.15b	11.69±1.06b	277.00±40.11a	3.58±0.37a

*Media ± desviación estándar, PF = Peso de fruto; DP = Diámetro polar; DE = Diámetro ecuatorial; GC = Grosor de cáscara; NS = Número de semillas; SST = Sólidos solubles totales; CJ = Volumen de jugo; FF= Firmeza del fruto. Valores con igual letra en columnas son estadísticamente semejantes de acuerdo con Tukey al 0.01 de nivel de significancia.

3.3 Grosor de cáscara (GC)

Los frutos de Río Red (8.33 mm) y Marsh (8.19 mm) presentaron el mayor grosor de cáscara, pero no fueron estadísticamente diferentes al resto de cultivares (Tabla 2). Es importante señalar que todos los cultivares produjeron frutos de cascara lisa, y que la mayoría son de frutos con cascara de color amarilla con excepción del cultivar Río Red que presentó cáscara de color rojizo. De acuerdo con Ariza *et al.* (2010), el grosor de cascara en cítricos es una de las características más importantes debido a que los frutos de cáscara delgada y fácil de pelar son los preferidos por el consumidor. Sin embargo, en la práctica, los frutos con cáscara gruesa son más fáciles de pelar, no obstante, cáscara demasiado gruesa tampoco es deseable. Futch y Tucker (2020), señalan que el espesor de la cáscara está relacionada especialmente a la insuficiencia de fósforo. Lo anterior, se atribuye a que el naranjo agrio como portainjerto es ineficaz en la absorción de fósforo (Pérez, 2004). La deficiencia de fósforo ocasiona que los frutos presenten rugosidad, ásperos, cascara gruesa y hueco interiormente, alto

contenido de acidez, bajo en azúcares y se desprenda antes de tiempo del árbol (Rocha y Padrón 2009).

3.4 Número de semillas (NS)

Para el caso de número de semillas por fruto, el cultivar Red Mexicana fue estadísticamente superior al resto de los cultivares (Tabla 2). Los valores oscilaron desde 0.40 (Río Red); 0.50 (Marsh); 1.0 (Henderson Ruby) hasta 17.30 (Red Mexicana). De acuerdo con Ladaniya (2008), los frutos sin semilla son los más consumidos, mientras que frutos con una gran cantidad de semilla son comercialmente inviables. Al respecto Rocha y Padrón (2009), señalan que los frutos de los cultivares Río Red y Marsh se caracterizan por presentar escasas o ninguna semilla en la región citrícola del estado de Nuevo León (promedio dos semillas por fruto). Asimismo, el cultivar Marsh es considerado como el cultivar de mayor importancia en el mundo, en la industria de jugo y gajos (Lezcano, 2018).

3.5 Sólidos solubles totales (°Brix)

Respecto a los sólidos solubles totales, se encontró que los valores más bajos se presentaron en los cultivares Río Red (10.70 °Brix) y Henderson Ruby (10.96 °Brix); mientras que los valores intermedios se presentaron en los cultivares Marsh (11.01 °Brix), Red Blush Nuc (11.69 °Brix) y Red Blush (11.87 °Brix); y los valores más altos en cultivares Shambar (12.65 °Brix) y Red Mexicana (12.0 °Brix) (Tabla 2). Los valores encontrados en todos los cultivares del presente estudio, son superiores a lo establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-173-SE-2021, que determina como mínimo 10 °Brix para el jugo de toronja (Rodríguez *et al.*, 2020). Lo anterior, indica que los cultivares utilizados en el presente estudio son adecuados para su consumo en fresco o para su uso en la agroindustria. Los valores más altos de °Brix se presentaron en frutos de pulpa blanca (Shambar y Red Mexicana), mientras que los menores valores se presentaron en frutos de pulpa roja (Río Red). De acuerdo con Cruz (2007); Padrón y Rocha (2007); Rocha y Padrón (2009), estos indican que las toronjas rojas tienen mayor demanda y han desplazado a los cultivares de pulpa blanca, y a las rojas que pierden su coloración a través de la temporada; el cultivar Río Red produce frutos cuya coloración interna se conserva durante toda la temporada.

3.6 Cantidad de jugo (CJ)

Con respecto a la cantidad de jugo, los valores oscilaron de 170.90 mL en el cultivar Red Mexicana; 227.10 mL para Marsh; 272.50 mL para Shambar y 294.70 mL para el cultivar Río Red (Tabla 2). Aunque la cantidad de jugo es una característica importante para determinar la calidad del fruto; hasta el momento, no existe información regional o local que permita establecer parámetros para el cultivo de toronja; a pesar de ello, en la región existen procesadoras de jugo que destinan su manufactura a la exportación, especialmente a Estados Unidos y en menor proporción a Canadá, Japón y la Unión Europea (Gaitán, 2002).

3.7 Firmeza del fruto (DF)

Para esta variable, se presentaron diferencias significativas ($P < 0,01$) entre los materiales Red Blush Nuc (3.58 kg cm^{-2}); Marsh (3.52 kg cm^{-2}); Henderson Ruby (3.51 kg cm^{-2}) con respecto al cultivar Shambar (2.82 kg cm^{-2}). Los mayores valores de firmeza se asociaron con el cultivar Red Blush Nuc. (Tabla 2). De acuerdo con Villalba *et al.* (2014), la firmeza es uno de los parámetros más importantes para decretar la calidad; frutos con menor firmeza son más aptos a dañarse durante el manejo postcosecha y empaque del producto. Asimismo, Barbosa *et al.* (2003), señalan que la firmeza establece los niveles óptimos de consumo y que es congruente con las condiciones de transporte, por consiguiente, la firmeza es un indicador deseable en los frutos, ya que otorga un valor adicional para su comercialización.

4. Conclusiones

Dentro de los parámetros de calidad evaluados en los siete cultivares de toronja, el cultivar Río Red se destacó en cuanto a peso del fruto, número de semillas y volumen de jugo. Sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos, los cultivares Shambar y Red Blush Nuc. podrían ser considerados para su producción y comercialización, ya que presentan características similares al cultivar Río Red, en cuanto a peso del fruto, pocas semillas, alto contenido de SST y volumen de jugo. Lo anterior, indica que es posible diversificar la producción de toronja en la región citrícola del estado de Nuevo León y que los productores no dependan exclusivamente de un cultivar.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no hay conflictos de interés.

5. Referencias

- Agustí, M., Mesejo, C., Martínez, A., Zaragoza, S. & Primo, E. (2020). El tamaño del fruto en los cítricos. *Levante Agrícola: Revista internacional de cítricos*. 451: 57-67. <http://hdl.handle.net/20.500.11939/6791>
- Ariza, R., Alia, I., Nicolás, M., Rafael, A., Lugo, A., Barrios, A. & Barbosa, F. (2010). Calidad de los frutos de naranja 'valencia' en Morelos, México. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha* 11 (2): 148-153. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81315809006>
- Barbosa, G., Fernández, J., Alzamora, S., Tapia, M., López, A. & Welti, J. (2003). Handling and Preservation of Fruits and Vegetables by Combined Methods for Rural Areas. TECHNICAL MANUAL. FAO Agricultural Services Bulletin 149. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, Italy. <https://www.fao.org/3/y4358e/y4358e00.htm>
- Bello, A., Monsalve, M. & Carrillo, C. (2020). Evaluación de extractos de desechos de toronja (*Citrus paradisi*) como sustancia bioactiva para formulación de un desinfectante para alimentos frescos. *Revista Ciencia UNEMI* 13 (34): 28-33. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol13iss34.2020pp28-33p>

- CODEX STAN 219-1999 Norma Para El Citrus Paradisi (CODEX STAN 219-1999). Última modificación 2011. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>
- Cruz F., M. (2007). Variedades de Toronja para suelos arcillo limosos de la Huasteca Potosina, San Luis Potosí, México. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental San Luis. Sitio de Negocios Huichihuayán. Folleto para productores núm. 10. San Luis Potosí México. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/176.pdf>
- de la Rosa, M., Wong, J., Muñiz, D., Carrillo, M. & Sánchez, J. (2016). Compuestos fenólicos bioactivos de la toronja (*Citrus paradisi*) y su importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. Rev Mex Cienc Farm 47 (2): 22-35. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57956610003>
- FAO (2021). Citrus Fruit fresh and processed. Statistical bulletin 2020. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 39 p. <https://www.fao.org/3/cb6492en/cb6492en.pdf>
- Futch, S. H. & Tucker, D. P. (2020). A Guide to Citrus Nutritional Deficiency and Toxicity Identification. HS-797. IFAS Extension. University of Florida. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/CH142>
- Gaitán, G. (2002). Situación de la citricultura del estado de Nuevo León. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). Monterrey, Nuevo León, México.
- González, Á., Guillén, D., Tejacal, I., López, V., Juárez, P. & Bárcenas, D. (2020). Comportamiento de variedades de naranja injertadas en diferentes portainjertos en Xalostoc, Morelos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 11 (5): 1123-1134. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i5.2316>
- Ladaniya, M. (2008). Citrus Fruit. In Milind S. Ladaniya (Ed.) Biology, Technology and Evaluation. Academic Press p. 1-11 <https://doi.org/10.1016/B978-012374130-1.50003-6>
- Lezcano, C. (2018). Caracterización genética de pomelo "Paran" mediante marcadores moleculares. (Tesis Maestría, Universidad Nacional del Nordeste, Buenos Aires, Argentina).
- Martínez, A., García, J. A., García, G., Ramírez, G., Mora, J. S. & Matus, J. A. (2020). Control de la oferta de naranja en México como mecanismo para controlar volatilidad de precios. Rev. Fitotec. Mex 43 (2): 223-231. <https://doi.org/10.35196/rfm.2020.2.223>
- NOM-173-SE-2021 Norma Oficial Mexicana NOM-173-SE-2021, Jugos, agua de coco, néctares, bebidas no alcohólicas con contenido de vegetal o fruta u hortaliza y bebidas saborizadas no alcohólicas preenvasadas-Denominaciones-Especificaciones-Información comercial y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación. 24 p. <https://sidof.segob.gob.mx/notas/5643986>
- Orduz, J., Castiblanco, S., Calderón, C. & Velásquez, H. (2011). Potencial de rendimiento y calidad de 13 variedades e híbridos comerciales de cítricos en condiciones del piedemonte llanero de Colombia. Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas 5 (2): 171-185. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21732011000200002&lng=en&nrm=iso
- Padrón Ch., J. E. & Rocha P, M. A. (2007). Variedades comerciales de cítricos para Nuevo León y Tamaulipas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación Regional del Noreste (CIRNE). Campo Experimental General Terán. General Terán, N.L., México. Folleto Técnico núm. 8, 55. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/830.pdf>
- Pérez, O. (2004). Concentración nutrimental en hojas, rendimiento, eficiencia de producción, calidad de jugo e índices nutrimentales de naranja valencia injertado en portainjertos de cítricos. Agrociencia 38: 141-154. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30238202>
- Ramos, C., Pérez, E., Martínez, J., Acosta, E. & Almeyda, I. (2023). Calidad de frutos de cultivares de naranja temprana en Nuevo León. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 14 (1): 75-84. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i1.3128>

- Rocha P, M. A. & Padrón Ch, J. E. (2009). El cultivo de los cítricos en el estado de Nuevo León. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental General Terán, General Terán Nuevo León. Libro científico núm. 1, 485. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/830.pdf>
- Rodríguez, J., Florido, L. & Hernández, M. (2020). Determinación de parámetros fisicoquímicos en jugos de frutas cítricas. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 5: 233-238. <http://eprints.uanl.mx/23524/1/23.pdf>
- Sáenz, C., Osorio, E., Estrada, B., Delgado, R. & Rodríguez, R. (2019). Principales enfermedades en cítricos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 10 (7): 1653-1665. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1827>
- SAS. 1999. Statistical Analysis System. Institute. SAS. User's guide. Statistics. Version 8. SAS Inst., Cary, NC. USA. Quality, and elemental removal. J. Environ. Qual. 19:749-756.
- SEDAGRO (2019). Boletín Agropecuario No. 25. Secretaria de Desarrollo Agropecuario, Monterrey, Nuevo León, México.
- SEDAGRO (2021). Producción agrícola en N.L. Año agrícola 2020. Secretaría de Desarrollo Agropecuario. Gobierno de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León.
- UPOV (2019). Directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad. Citrus L. Naranja. Unión Internacional Para La Protección de las Obtenciones Vegetales, Ginebra, suiza.
- USDA (2019). Agricultural Statistics 2019. United States Department of Agriculture, Washington, DC. 490.
- Valencia, K. & Duana, D. (2019). Los cítricos en México: análisis de eficiencia técnica. Análisis Económico XXXIV (87): 269-28. <https://doi.org/10.24275/uam/azc/dcsh/ae/2019v34n87/ValenciaS>
- Villalba, L., Herrera, A. & Orduz, J. (2014). Parámetros de calidad en la etapa de desarrollo y maduración en frutos de dos variedades y un cultivar de mandarina (*Citrus reticulata* Blanco). ORINOQUIA - Universidad de los Llanos - Villavicencio, Meta, Colombia 18 (1): 21-34. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89637907003>
- Vu, T. X., Ngo, T. T., Mai, L. T. D., Bui, T. T., Le, D. H., Bui, H. T. V., Nguyen, H. Q., Ngo, B. X. & Tran, V. T. (2018). A highly efficient *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation system for the postharvest pathogen *Penicillium digitatum* using DsRed y GFP to visualize citrus host colonization. J Microbiol Methods 144: 134-144. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2017.11.019>

2023 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 de Divulgación

The paradoxical availability of raw materials in the bioethanol production

La paradójica disponibilidad de materia prima en la producción de bioetanol

Cirilo Nolasco-Hipólito^{1*}, Octavio Carvajal-Zarrabal², Kopli Bujang³, Cynthia Magaly Antonio-Cisneros⁴, Jesús Carrillo-Ahumada⁴, Ibrahim Yakub⁵, María de Jesús García-Gómez¹, Óscar Núñez-Gaona¹

¹Centro de Investigaciones científicas, Universidad del Papaloapan, Circuito Central 200, Col. Parque Industrial, 68301 Tuxtepec, Oaxaca, México.

²Área de Química y Bioquímica. Universidad Veracruzana, Calz Juan Pablo II, Costa Verde, 94294 Boca del Río, Ver.

³Faculty of Agriculture and Applied Sciences. iCATS University College, Jalan Stampin Timur, 93350 Kuching, Sarawak, Malaysia.

⁴Ingeniería de Alimentos. Universidad del Papaloapan, Circuito Central 200, Col. Parque Industrial, 68301 Tuxtepec, Oaxaca, México.

⁵Department of Chemical Engineering and Energy Sustainability, Faculty of Engineering, Universiti Malaysia Sarawak

*Correspondencia: cnolasco@unpa.edu.mx (Cirilo Nolasco-Hipólito)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v17i3.1225>

Recibido: 04 de junio de 2023; Aceptado: 05 de octubre de 2023

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

Abstract

The production of bioethanol is influenced by economic, social, political, and technological aspects. Technology has contributed to improving and simplifying the production process. On the other hand, the global pandemic of SARS-CoV-2, better known as Covid-19, has affected the market as its price has substantially increased. Raw material and transportation costs have also impacted the international market. Therefore, more efforts are being dedicated to finding alternative raw materials for bioethanol production. Agricultural waste or starches that are not used entirely for human consumption have the potential to produce bioethanol, but paradoxically, they cannot be commercialized. This report focuses on potential raw materials for bioethanol production and how their possible commercial exploitation declines when they acquire a cost for their transformation into higher value-added products. Price increases discourage investment in the diversification of these raw materials

Keywords: bioethanol, cellulose, corn, fermentation, lignocellulose, starch.

Resumen

La producción de bioetanol está influenciada por aspectos económicos, sociales, políticos y tecnológicos. La tecnología ha contribuido a mejorar y simplificar el proceso de producción. Por otro lado, la pandemia mundial del SARS-CoV-2, más conocido como Covid 19, ha afectado al mercado ya que su precio ha aumentado sustancialmente. Los costos de materia prima y transporte también han impactado el mercado internacional. Por lo tanto, se dedican más esfuerzos a encontrar materias primas alternativas para producir bioetanol. Los residuos agrícolas o los almidones que no son totalmente utilizados para el consumo humano tienen potencial para producir bioetanol, pero, paradójicamente, no pueden comercializarse. Este reporte se enfoca sobre materias primas potenciales para producir bioetanol y cómo decae su posible explotación comercial cuando adquieren un coste por su transformación a productos de mayor valor agregado. Los aumentos de precios desalientan la inversión en la diversificación de estas materias primas.

Palabras clave: bioetanol, celulosa, maíz, fermentación, lignocelulosa, almidón.

1. Introduction

The ethanol industry is a robust industry that has been developed over many decades. Samuel Morey developed in 1825 a prototype of an internal combustion engine that ran on ethanol and turpentine (Morey, 1926). The growth of the ethanol industry was rapid, and its boom increased suddenly in 2006 when the president of the United States of America (USA), George W. Bush, delivered his State of the Union Address, in which he said very clearly, “We must also change how we power our automobiles. We will increase our research on better batteries for hybrid and electric cars and on pollution-free cars that run on hydrogen. We’ll also fund additional research in cutting-edge methods of producing ethanol, not just from corn but from wood chips, stalks, or switchgrass. Our goal is to make this new kind of ethanol practical and competitive within six years” (Bush, 2006). This statement was based on the issue that the USA depends too much on foreign oil, specifically countries in conflict, which is affecting its national energy security. It cannot necessarily be interpreted that fossil fuels would end and could be partially replaced by ethanol.

This led to the emergence of certain economic aspects; for example, the price of corn increased as a result of the political mandate regarding the encouragement of the use of ethanol as fuel (Griffin & Ariz, 2007). At the same time, many scientific reports begin with the argument that “The growth of the world population is causing major problems, some of them related to the depletion of energy sources” (Bhatia *et al.* 2012; Soltanian *et al.* 2020; Robak & Balcerek 2020). It is also reported that “fossil fuels derived from petroleum are raw materials that are being depleted throughout the world due to their overexploitation, causing an increase in their costs and byproducts” (Kasibhatta, 2020). This phenomenon has promoted the development of sustainable, cost-effective, and environmentally friendly energy sources such as biofuels (bioethanol, biodiesel, and biogas). In the case of the USA, the federal government provides a series of subsidies to increase the consumption of biofuels specially derived from corn ethanol (DOE, 2023). The subsidies include tax breaks, donations, loans, and loan guarantees. The government also imposed a mandate to blend biofuels with gasoline and diesel fuel. Supporters of biofuels argued that these policies lower gas prices, strengthen the economy, and benefit the environment, but none of those statements proved to be true (Loris, 2017).

It is important to clarify that this manuscript does not aim to provide an overview of the current state of the ethanol industry in terms of process economics and raw material usage. Numerous papers have already covered these aspects in detail, making it unnecessary to delve into them here (Mizik, 2021; Danelon *et al.*, 2023; Gutierrez *et al.*, 2023; Nimbalkar *et al.*, 2023; Onu Olughu *et al.*, 2023; Sica *et al.*, 2023). Instead, the following section focuses on illustrating cases where the cost of a raw material transitions from being affordable to expensive when pursued for industrial applications, such as ethanol production. This shift occurs due to various factors, including not only the availability of raw materials but also the opportunities that arise for their commercial exploitation.

Therefore, this report highlights the untapped potential of abundant materials for ethanol production, despite facing economic challenges. It begins by examining starch, which is categorized as a first-generation (1G) raw material. Section 2.1 specifically discusses a unique case that occurred in Malaysia in 2006.

2. Availability of raw materials for ethanol production

It is evident that each country must adjust its necessities to its geographical situation to have the agricultural products that are most favorable for producing ethanol. Thus, for example, it is well known that the USA uses mainly corn; Brazil uses sugar cane; European countries generally use sugar beets; and some Asian countries, for example, Thailand, use potatoes, while Malaysia intends to use sago starch (Chua *et al.*, 2021). Many governments have a direct influence on the actions required to motivate technology development for the promotion of specific crops. For example, in the USA, the Biofuel Systems Division of the Department of Energy (DOE) sponsors and supports the Biomass Ethanol Program. In 2019, the DOE announced more than \$ 79 million in funding for bioenergy research and development, including biofuels and bioproducts. With this type of subsidy, in addition to financing from the private sector, the cost of biomass-derived ethanol is expected to drop considerably.

In Mexico, there is the Law for the Promotion and Development of Bioenergy. This law promoted the creation of the Bioenergy Commission, which is integrated by different sectors such as the Ministry of Agriculture, Livestock, Rural Development, Fisheries, and Food (SAGARPA), the Ministry of Energy (SENER), the Secretariat of the Environment and Natural Resources (SEMARNAT), the Ministry of Economy (SE), and the Ministry of Finance and Public Credit (SHCP). These institutions have a broad power to establish the national strategy for the promotion and development of biofuels, a task that requires listening to the opinion of the Inter-ministerial Commission for Sustainable Rural Development in relation to the production and marketing of supplies (Becerra-Pérez, 2009).

2.1. Production of starch-based ethanol

This section aims to explain how the availability of raw materials and their costs impact a production process, or at least an intention to produce value-added products. It is a case that explains the use, handling, and conversion of sago starch to ethanol. Malaysia is a country with a starch production of approximately 54,000 tons per year from a palm tree called "Sago" (Fig. 1).



Source: Property of the authors

Figure 1. Sago palm trees

Figura 1. Palmeras sago

"In this figure, you can see the palm tree trunks. These trunks are cut to a length of 4 feet, regardless of their diameter. This practice is necessary because the transportation vehicles cannot access the dense jungle, so the trunks are instead transported by floating them down the river to the processing mills. As indicated in Table 1, it takes approximately 6.86 trunks to make up one ton, with each trunk incurring a cost of USD \$ 18. Comprehensive plant studies have been reported covering all aspects of agricultural science (Flach, 1997; SSPS, 2015; Ehara *et al.*, 2018). Also stimulated by the 2006 ethanol boom, the University Malaysia Sarawak (UNIMAS) and the Japanese company New Century Fermentation Research Co. Ltd. (Necfer) signed a technology transfer agreement. Necfer would generate the technology, UNIMAS would act as a technical advisor, and the project was awarded to the company AARGYP Scientific Sdn. Bhd. (AGS) (Engormix, 2008). The Malaysian Ministry of Science, Technology, and Innovation (MOSTI) was the provider of research funding. The contract stipulated that the Malaysian government would be the owner of the technology for industrial exploitation, and Necfer would collect royalties for being the intellectual owner of the technology.

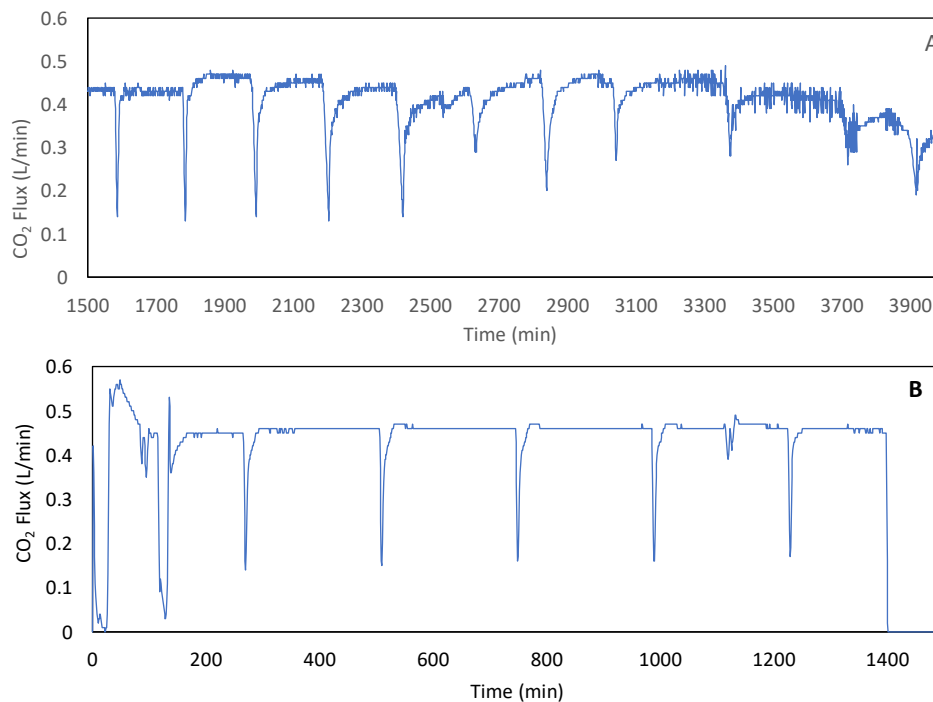
The economic analysis without including operating expenses that predicted success for the installation of a pilot plant with a capacity of 2000 L/day is presented in Table 1. The pilot plant consisted mainly of three processes identified as sago starch hydrolysis, fermentation, and ethanol purification. Sago starch is hydrolyzed using an α -amylase enzyme to liquefy it to produce dextrin. The process also showed advantages because the electricity and the steam could be generated by the concept of cogeneration (Cog.), as shown in Table 1. Subsequently, the α -gluco-amylase enzyme is used for the saccharification process to produce glucose of high concentration, ready to be used in the fermentation process. Necfer signed the technology transfer agreement for ethanol production in continuous culture, which claimed to be the most efficient process in the world with an effective cost of \$ 148.0 per ton of ethanol produced. The technology was promising, as it was a fast and compact process. The fermentation tanks were small in capacity compared to tanks that should be used in a batch process. As it is known, one way to improve the processes is to seek better technologies and control of operating parameters.

Table 1. Estimated cost of ethanol production using Sago palms**Tabla 1.** Costo estimado de la producción de etanol a partir de la palma sagú

Product	Unit	Amount per ton	Unit Price (USD)	USD / ton
Sago palm	Trunk	6.89	18.00	124.04
α -Amylase	L	0.86	11.00	9.80
Glucosylase	L	0.86	11.00	9.80
PGK (106 U/g)	g	6.20	0.03	0.18
PGK (106 U/g)	g	6.20	0.03	0.18
Defoamer	L	1.00	1.00	1.0
Electricity	KWH	--	--	Cog.
Steam	Ton	3.00	--	Cog.
Water	m ³	15.0	0.20	3.0
Waste treatment	m ³	15.0	--	Irrigation
Estimated cost				148.0

Data from Necfer Corporation LTD and Herdsen Sago Chemicals, Pusa, Sarawak.

This section shows how better control of operating parameters results in a product with better quality and higher substrate conversion efficiency. However, this improvement did not affect the production cost significantly. It does not matter how much the technology is improved; the profit cannot compensate the increase in the raw material price. Fig. 2A shows the kinetics of ethanol fermentation in the original process before improving the technology.



Source: Property of the authors

Figure 2. Kinetics of CO₂ produced during the ethanol fermentation. A). Original technology for monitoring the flow of CO₂. B) Improved technology for controlling and measuring the flow of CO₂.

Figura 2. Cinética del CO₂ producido durante la fermentación del etanol. A). Tecnología original para controlar el flujo de CO₂. B) Tecnología mejorada para controlar y medir el flujo de CO₂.

The CO₂ that is released during glucose metabolism is measured by a mass flow meter (Digital Mass Flow Controller DF-200C series, Kyoto, Japan) and real time graphing. As can be observed the blue curve reflects an undesirable variation in the CO₂ flux. Another observation is that downward lines happen because substrate feed is cut off. As fermentation is very fast, before the CO₂ drop reaches zero, the substrate flow is restored. When feeding substrate again, the metabolism is re-established, but there is a greater effort of the microorganisms to get a steady state which is why it is observed that the CO₂ line is curved with high fluctuations, which causes the yeast to decrease its productivity.

The problem was to solve the metabolic phenomenon by finding the conditions for the variation of CO₂ to be at the minimum level. Fig. 2B shows the CO₂ flow after improving the technology. The ethanol production was 35 g/L.h at an average concentration of 8 %. The process is continuous and is one of the fastest compared to those reported in the literature, taking the precaution of saying that it is a private property of the company and not publishable. The microorganism used was *Saccharomyces cerevisiae* CSI-1 (JCM 15097). All points favored the transfer of technology.

A press conference was held where the first sago-based ethanol production plant was announced (Fig. 3), in addition to being announced in other media (Engormix, 2008). At the same time, the company SP Chemicals Holdings Ltd. from Singapore invested capital to modify the starch production process from a wet to a dry process. The technology was successful because it is obvious that reducing the use of water in a process brings many benefits, such as avoiding costly wastewater treatment. It happened that when trying to do tests on a pilot scale, a purchase and sale agreement for sago palms was not reached between the company and the producers, which led to failure and total losses. Here, the economic factor plays a very important role when it comes to moving raw materials from one country to another. Malaysia produces sago starch and sells it to countries such as Japan and Singapore. The situation is that Malaysia has the control of the sago starch-based production plants. As a result of releasing news about the industrialization of sago starch, the market was quickly affected, and when the pilot plant was under construction, the market price of starch rose from \$ 200 to \$ 500 per ton in 2010 and reached \$ 700 without transportation charges in 2018, which was 35 % and 20 % more expensive than cassava and corn starches, respectively (Jong, 2018). Calculations with the adjusted price, in addition to inputs, indicated that it was no longer affordable to produce ethanol using sago starch as a raw material. The price of producing ethanol with sago starch increased to \$ 823 when the cost of ethanol in the international market was only \$ 500. Investors withdrew, and the project failed completely.

The pilot plant in Malaysia was completed and could only be tested once because there was no interest from companies using glucose and ethanol. A little more research could be done to turn the plant into the one that produces lactic acid for the food, chemical and pharmaceutical industries. In this case, the cost of lactic acid is higher than that of ethanol used for fuel because the purity requirements are more demanding. Market pressure had a huge influence on the commercialization of sago when it was learned that sago would eventually acquire additional value as a diversified product. In the end, Malaysia is just an exporter of sago starch, which is a disadvantage for the

country because it could turn sago starch into higher value-added products such as maltodextrins, glucose, flour products, and fermentation products.



Figure 3. Press conference announcing the premiere bioethanol production from sago starch.
 Figura 3. Rueda de prensa para anunciar el estreno de la producción de bioetanol a partir de almidón de sagú.

2.2. Availability of sugarcane to produce ethanol

There is no doubt that the most widely available and abundant raw material in Mexico is sugarcane (CONADESUCA, 2021). Sugarcane is used to produce sucrose as a multipurpose sweetener. The process generates molasses as a by-product, which still contains a residual amount of fermentable sugars. The cost of sugar cane per ton was USD \$ 40.2 in 2019 and USD \$ 45.6 in 2020 (CONADESUCA, 2020), which was quite satisfactory for farmers. Few mills produce ethanol directly from sugarcane juice since they have their own distillery; however, they can use either juice or molasses. Other companies are independent and produce ethanol only from molasses. Molasses production during the 2015-2016 harvest was 1,975,715 tons at a cost of USD \$ 174.3 per ton (CONADESUCA, 2016). During the authors' visit to the distillery of La Gloria sugar mill in the state of Veracruz, it was reported that when the cost of molasses increases to close to \$ 200, the plant stops producing ethanol and molasses is sold as raw material for animal feed.

On the other hand, the Ministry of Economy reported that for the October 2019 to September 2020 cycle, the USA imported up to 1.65 million metric tons of Mexican sugar, the highest quantity since 2014 (SECOM, 2020). Carlos Blackaller Ayala, President of the National Sugarcane Farmers Union, considered that despite the drought in 2021, there was the availability of molasses (a by-product of sugar extraction), which is the raw material to make ethanol (Gómez-Mena, 2020). However, the demand has increased dramatically given that ethanol has been diverted to be used as an additive in the preparation of sanitary gels in stopping the spread of the viral infection by Covid-19 (PMFarma, 2020).

Therefore, ethanol use may be diverted from biofuel production towards different priorities. Ethanol could find a free path when there is a surplus in sugarcane production (Becerra-Pérez, 2009). Although there is bioethanol fuel on the market, it has not spread to the entire Mexican territory. Fig. 4 shows a map of the distribution of ethanol fuel (also known as oxyfuel) stations produced by the company Grupo Báltico.

In Fig. 4, it can be observed that the presence of oxyfuel stations corresponds to the areas where mainly sugar cane is grown and near consumer markets close to transportation routes; although it is recommended that oxyfuel only be used in vehicles equipped with oxyfuel combustion technology. The behavior of the market for ethanol is volatile and sensitive to factors such as variations in the cost of oil, the effects of climate and agriculture issues on the availability of raw materials, and most recently, the effects of the Covid-19 pandemic was very significant regarding the economics of the process. The ethanol industry is under recovery path.

A situation arises where gasoline prices fell or at least remained stable, but on the contrary, ethanol stopped being competitive because it rose to never-before-seen prices of up to 51.0 pesos MX per liter or even more due to high demand (Martínez-Riojas, 2020). During the pandemic, it was difficult to use ethanol as a biofuel because companies that produce it obtained a much greater economic benefit by diverting production to the pharmaceutical industry.



Figure 4. Oxyfuel stations in Mexico ([Fuente google maps](#))

Figura 4. Estaciones de oxicomcombustión en México ([Fuente google maps](#))

It is very certain that the global demand for ethanol for use in the pharmaceutical industry does not exceed the demand for consumption as biofuel, which is true, but that effect is negligible if the new price of ethanol is considered. In the words of the markets, it does not matter who demands more but rather who pays the best. Given the current situation in Mexico with raw materials, the most viable option to produce biofuels is sugar cane. Now that the pandemic situation has been mitigated the price of ethanol drops again to less than USD \$ 1 per liter to be considered once again as a fuel additive to gasoline. However, Senator Raúl Bolaños Cacho emphasized in his report to the Senate of the Republic regarding his participation in the 2022 National Ethanol Conference held in New Orleans, USA, that in Mexico, there are reservations about the use of ethanol as a fuel. The senator points out that this is because there is not widespread confidence in ethanol as a biofuel. Firstly, because the ethanol-gasoline blend is not suitable for all vehicles, and secondly, because there is no technical or scientific evidence to ensure the reliability of its use for public health or the environment (Bolaños-Camacho, 2022).

2.3. Ethanol production from corn

In the case of corn and Mexico, this discussion ends very soon because in Mexico there is very little opportunity to produce ethanol from corn (ZafraNet, 2011). There are two main reasons: white corn is designated for human consumption and yellow corn is designated for animal feed. In another aspect, corn harvest per hectare is very low, being around 3-4 tons; this last factor takes away economic competitiveness. More worrisome is that Mexico, being the sixth largest producer of corn in the world, is the first importer of corn in the world (GCMA, 2020). This is simply a consequence of the fact that Mexico is a country with a corn culture. Then, economically it is not feasible to

produce ethanol from corn in Mexico. Contrary to this, most of the world's corn-based ethanol production is performed in the United States.

There is a scientific controversy in the study of input and output energy balance in ethanol production. For many years, the group of scientists led by David Pimentel has argued that the production of biofuels, especially ethanol, is not feasible from an energy and economic point of view (Pimentel, 2003, 2009). However, an opposing view generated in 2002 and updated in 2004 says verbatim, "The debate is over: ethanol is a net energy winner" (Wang & Santini, 2002). This report was written in cooperation with the United States Department of Agriculture, which confirmed that the production of fuel-grade ethanol produces significantly more energy than that used in its production, with the clarification that the other by-products must be considered (Durante & Sneller, 2009), but this assertion refers exclusively to ethanol production using corn. Supporting this argument is that ethanol has been shown to reduce greenhouse gas emissions when compared with conventional gasoline (Scully *et al.*, 2021). A concentration of 10 % corn-derived ethanol blends provided a 20 % CO₂ reduction, while biomass-derived ethanol could result in a nearly 100 % CO₂ reduction.

Ethanol is the cheapest way to increase octane in gasoline (Gaspar, 2019) because it contains oxygen, which contributes to the combustion process; this causes gasoline to burn more completely (Ciolkosz, 2014). Another important argument for why the ethanol industry has been considered feasible is made by considering the by-products obtained from the processing of corn (DOA, 2020). These by-products are considered to balance the energy balance, so they help to conclude that ethanol production is a thermodynamically favorable process. The most important of these by-products are: condensed distillers soluble, corn distillers oil, dried distillers grains, distillers dried grains with solubles, distillers wet grains, 65 % or more moisture. modified distillers wet grains, 40 to 64 % moisture.

In the US, corn farmers have incentives and have improved their cultivation techniques. Distillers also have incentives for their installed production capacity. Corn production in the US is between 10 and 12 tons per hectare (Becerra-Pérez, 2009), which is much higher than in most corn-producing countries. In the case of Mexico, for several years the country has ceased to be self-sufficient in corn production, and there is a need to import from the United States and Brazil (Moreno-Sáenz *et al.*, 2016). Table 2 shows the states with the most corn production, although it is not enough to satisfy national demand, which is why it is dismissed as a raw material to produce ethanol (SIAP, 2020).

Table 2. Corn grain production spring-summer cycle 2018 vs 2019^{*P}/ 2020 (thousands of tons)
Table 2. Producción de maíz en grano ciclo primavera-verano 2018 vs 2019^{*P}/ 2020 (miles de toneladas)

	2018	2019	Annual (%) Variation	(%) Participation (2019)
National	18,881	17,911	-17.50	100.0
Jalisco	3,584	3,519	-22.21	14.17
Michoacán	1,952	1,907	-19.24	9.42
México	1,926	1,826	8.48	9.21
Guanajuato	1,694	1,703	20.65	8.55
Chihuahua	1,477	1,415	-20.87	8.16
Rest	8,248	7,541	-22.85	50.49

Source: (SIAP, 2020)(^{*}Preliminary data of the 2020 report).

2.4. Production of ethanol from lignocellulosic materials

For decades, it has been argued that lignocellulosic biomass are the most abundant materials on the planet. While this is true, the problem that has been studied most is obtaining the energy that is stored in them. Here we report on the case of sugarcane bagasse and sweet sorghum in a context to understand how this matter can have another purpose, not necessarily that of producing ethanol. Nowadays, many mills are changing their energy consumption systems and are opting for the concept called cogeneration, although this concept is not new because several sugar mills have used bagasse as fuel for boilers to generate energy (Bhutani *et al.*, 2020; Kamate & Gangavati, 2009). This situation means that the availability of bagasse decreases its priority to be converted to ethanol. Research done to produce ethanol from bagasse has a detractor in its original conception, that is, obtaining energy from agricultural residues. For example, the Adolfo López-Mateos Sugar Mill in the city of Tuxtepec, Oaxaca, received an investment of 60 million dollars in 2016 to implement cogeneration technology (Flores, 2016). The plant was inaugurated on February 27th, 2018. This means that currently, this mill produces its own energy by burning bagasse and therefore saves a great deal on the purchase of fuel that they have been using for decades. To carry out the cogeneration process, bagasse is burned in a 250 Ton/h steam boiler and generates around 40 megawatts of energy, the same as the Tres Valles Sugar Mill in the Veracruz state, which also generates 40 megawatts of energy. It is evident that important changes are taking place in the way of looking at lignocellulosic residues. The idea of producing bioethanol is moving away from these companies, or at least the availability of the supposed raw material at zero cost or minimum cost has diminished.

In the case of sweet sorghum, information and experience in Mexico are scarce. The main obstacles to the development of 2G biofuels are the high production costs in the pretreatment stage, the high cost of the enzymes used to hydrolyze the lignocellulosic material, and the difficulty of converting 5-carbon sugars into ethanol. To achieve this purpose, it is necessary to apply a lot of energy to try to break the structure of these materials. Despite the complications of producing 2G ethanol, this technology is being studied by a group of researchers, for instance, the group from the Technological Institute of Veracruz. This group has succeeded in scaling up an ethanol production process using sweet sorghum bagasse. The process has been successful in its demonstration stage and is awaiting investors who might bet on the development of this technology. The challenge is that sweet sorghum is not cultivated at the same rate as sugarcane. Therefore, great efforts are necessary to encourage the farmers to change their agricultural practices to sweet sorghum.

Conclusion and perspectives

The ethanol industry is a robust and well-established market. The feasibility of ethanol production relies heavily on the cost and availability of raw materials. Among the available options, sugarcane stands out as the most feasible material due to its high production volume and existing infrastructure. While sweet sorghum juice shows promise, its cultivation needs to be actively encouraged. Moreover, lignocellulosic materials such as corn stubble, sugarcane bagasse, and sweet sorghum bagasse have the potential to serve as raw materials for producing fermentable sugars. To ensure the availability of these biomass sources, effective management systems must be implemented in collaboration with farmers. While cane molasses can still be considered as a viable

raw material source, cane juice is preferred for ethanol production as it facilitates easier treatment of effluents. Paradoxically, the abundance of raw materials becomes a hurdle when industrial exploitation becomes feasible, resulting in increased raw material prices. Therefore, making the ethanol production process economically viable requires not only the implementation of advanced technologies to enhance efficiency and productivity but also an increase in the yield of raw materials per hectare of land cultivation.

Conflict of interest

The authors confirm that they do not have any type of economic advantage or private relationship that could interfere or prevent the publication of this work.

References

- Becerra-Pérez, L. A. (2009). La industria del etanol en México. *Economía UNAM* 6(16): 82–98. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-952X2009000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Bhatia, L., Johri, S. & Ahmad, R. (2012). An economic and ecological perspective of ethanol production from renewable agro waste: a review. *AMB Express* 2(65): 1–19. <https://doi.org/10.1186/2191-0855-2-65>
- Bhutani, R., Tharani, K., Sudha, K. & Tomar, Y. (2020). Design of a cogeneration plant for sugar industries using renewable energy resources. *Journal of Statistics and Management Systems* 23(1): 181–190. <https://doi.org/10.1080/09720510.2020.1721637>.
- Bolaños-Camacho, R. (2022). Informe sobre la Participación del Senador Bolaños-Camacho, en la Conferencia Nacional de Etanol 2022. http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2022/03/asun_4328146_20220309_1646840190.pdf.
- Bush, G. W. (2006). President Delivers State of the Union Address. The White House. <https://georgewbush-whitehouse.archives.gov/stateoftheunion/2006/>.
- Ciolkosz, D. (2014). Fuel Ethanol: Hero or Villain? *PennState Extension* 1(1): 1–4. <https://extension.psu.edu/fuel-ethanol-hero-or-villain>
- Chua, S. N. D., Kho, E. P., Lim, S. F. & Hussain, M. H. (2021). Sago palm (*Metroxylon sagu*) starch yield, influencing factors and estimation from morphological traits. *Advances in Materials and Processing Technologies* 8(2): 1845–1866. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/2374068X.2021.1878702>
- CONADESUCA. (2016). Melazas de caña de azúcar y su uso en la fabricación de dietas para ganado. http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/171888/Nota_Informativa_Noviembre_Melazas.pdf.
- CONADESUCA. (2020). Se logra precio histórico de la tonelada de caña de azúcar: Productor. <https://www.gob.mx/conadesuca/prensa/se-logra-precio-historico-de-la-tonelada-de-cana-de-azucar-productor?idiom=es>.

CONADESUCA. (2021). Avance de Comercio Exterior Información Preliminar al 2 de Mayo de 2021 Ciclo 2020/21.

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/635835/Avance_comercio_exterior_al_2Mayo2021.pdf.

Danelon, A. F., Spolador, H. F. S. & Bergtold, J. S. (2023). The role of productivity and efficiency gains in the sugar-ethanol industry to reduce land expansion for sugarcane fields in Brazil. *Energy Policy* 172: 113327. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113327>

DOA. (2020). Feedstock Use and Co-Product Output. U.S. Department of Agriculture. <https://goo.su/XRUR>

DOE. (2023). Biodiesel Laws and Incentives in Federal. Alternative Fuels Data Center. U.S. Department of Energy. <https://afdc.energy.gov/fuels/laws/BIOD?state=US>

Durante, D. & Sneller, T. (2009, March). "The Net Energy Balance of Ethanol Production" Issue Brief. Ethanol Across America 1–12.

http://large.stanford.edu/courses/2014/ph240/dikeou1/docs/net_energy_balance2009.pdf.

Ehara, H., Toyoda, Y. & Johnson, D. v. (Eds.). (2018). *Sago Palm*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5269-9>.

Engormix. (2008). Japanese Firm to Produce Ethanol from Tropical Sago Palm. 1. <https://goo.su/cmnUN>

Flach, M. (1997). Sago palm. *Metroxylon sagu Rottb. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops* (M. Flach, Ed.; 13th ed.). <https://alliancebioversityciat.org/publications-data/sago-palm-metroxylon-sagu-rottb>

Flores, L. (2016). Invertirá Coca-Cola 60 mdd en el ingenio ALM para producir energía. *NVI Noticias*, 1. <https://www.nvinoticias.com/nota/2225/invertira-coca-cola-60-mdd-en-el-ingenio-alm>.

Gaspar, D. (2019). Co-Optimization of Fuels & Engines Top Ten Blendstocks for Turbocharged Gasoline Engines Bio-blendstocks with the Potential to Deliver the Highest Engine Efficiency. <https://doi.org/10.2172/1567705>

GCMA. (2020). *Perspectivas del Mercado de Maíz*. <https://gcma.com.mx/reportes/perspectivas/maiz/>.

Gómez-Mena, C. (2020). Habrá suficiente melaza para elaborar alcohol: cañeros. *La Jornada*, 1. <https://www.jornada.com.mx/2020/03/20/sociedad/031n1soc>

Griffin, S. & Ariz, P. (2007). Ethanol As Fuel. *Chemical & Engineering News* 85(17). <https://cen.acs.org/articles/85/i17/Ethanol-Fuel.html>.

Gutierrez, S., Mangone, F., Vergara, P., Gonzalez, V., Ferreira, J. P., Villar, J. C. & Garcia-Ochoa, F. (2023). Lignocellulosic biomass pre-treatments by diluted sulfuric acid and ethanol-water mixture: A comparative techno-economic analysis. *Bioresource Technology Reports* 23: 101514. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101514>

Jong, F.S. (2018). An Overview of Sago Industry Development, 1980s–2015. In: Ehara, H., Toyoda, Y., Johnson, D. (eds) *Sago Palm*. Springer, Singapore https://doi.org/10.1007/978-981-10-5269-9_6.

- Kamate, S. C. & Gangavati, P. B. (2009). Cogeneration in Sugar Industries: Technology Options and Performance Parameters—A Review. *Cogeneration & Distributed Generation Journal* 24(4): 6–33. <https://doi.org/10.1080/15453660909595148>.
- Kasibhatta, S. (2020). Alcohol Fuels as an Alternative Fuels - Bringing New Heights in Sustainability. In Yongseung Yun (Ed.), *Alcohol Fuels - Current Technologies and Future Prospect* (1st ed., pp. 1–13). IntechOpen. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.86626>
- Loris, N. (2017). *Ethanol and Biofuel Policies*. Cato Institute. <https://www.downsizinggovernment.org/ethanol-and-biofuel-policies>.
- Martínez-Riojas, C. (2020). El precio del alcohol sube hasta 100% cuando más se necesita por epidemia de coronavirus – un litro cuesta 100 pesos. *Business Insider México*. Economía. <https://businessinsider.mx/el-precio-del-alcohol-sube-hasta-100-cuando-mas-se-necesita-por-epidemia-de-coronavirus-un-litro-cuesta-100-pesos/>.
- Mizik, T. (2021). Economic Aspects and Sustainability of Ethanol Production—A Systematic Literature Review. *Energies* 14(19): 6137. <https://doi.org/10.3390/en14196137>.
- Moreno-Sáenz, I. L., González-Andrade, S. & Matus-Gardea, J. A. (2016). Dependencia de México a las importaciones de maíz en la era del TLCAN. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(1): 115–126. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i1.375>
- Morey, S. (1926). Gas or Vapor Engine (US Patent No. 4378X). <http://www.datamp.org/patents/displayPatent.php?pn=X4378&id=18147>.
- Nimbalkar, P. R., Khedkar, M. A., Chavan, P. V. & Bankar, S. B. (2023). Biobutanol from agricultural residues: Technology and economics. In Segovia-Hernandez, J.G., Behera, S., Sanchez-Ramirez, E. (Eds.). In *Advances in Pollution Research, Advances and Developments in Biobutanol Production*, Woodhead Publishing, (pp. 139–169). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91178-8.00005-9>
- Onu Olughu, O., Tabil, L. G., Dumonceaux, T., Mupondwa, E., Cree, D. & Li, X. (2023). Technoeconomic analysis of a fungal pretreatment-based cellulosic ethanol production. *Results in Engineering* 19: 101259. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101259>
- Pimentel, D. (2003). Ethanol Fuels: Energy Balance, Economics, and Environmental Impacts are Negative. *Natural Resources Research* 12: 127–134. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1024214812527>.
- Pimentel, D. (2009). Biofuel Food Disasters and Cellulosic Ethanol Problems. *Bulletin of Science, Technology & Society* 29(3): 205–212. <https://doi.org/10.1177/0270467609333732>.
- PMFarma. (2020). El sector azucarero mexicano se activa para producir alcohol y gel antibacterial. <https://goo.su/n2JtmWF>
- Robak, K. & Balcerek, M. (2020). Current state-of-the-art in ethanol production from lignocellulosic feedstocks. *Microbiological Research* 240: 126534. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126534>.
- Scully, M. J., Norris, G. A., Alarcon Falconi, T. M. & MacIntosh, D. L. (2021). Carbon intensity of corn ethanol in the United States: State of the science. In *Environmental Research Letters* 16(4): 043001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abde08>

SECOM. (2020). Disponibilidad de azúcar para exportar a los Estados Unidos de América. <https://www.gob.mx/se/prensa/disponibilidad-de-azucar-para-exportar-a-los-estados-unidos-de-america>.

SIAP. (2020). Boletín mensual de producción Maíz grano. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do.

Sica, P., de Castro Mattos, E., Silveira, G. M., Abdalla, J. P., Alves, V. K., Borges, I. S., Landell, M., Xavier, M. A. & Baptista, A. S. (2023). Quantitative and qualitative evaluation of novel energy cane accessions for sugar, bioenergy, 1 G, and 2 G ethanol production. *Industrial Crops and Products* 203: 117163. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117163>

Soltanian, S., Aghbashlo, M., Almasi, F., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Nizami, A.-S., Ok, Y. S., Lam, S. S. & Tabatabaei, M. (2020). A critical review of the effects of pretreatment methods on the exergetic aspects of lignocellulosic biofuels. *Energy Conversion and Management* 212: 112792. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112792>.

SSPS. (2015). *The Sago Palm: The Food and Environmental Challenges of the 21st Century* (Society of Sago Palm Studies, Ed.; 1st ed., Vol. 1). Kyoto University Press. ISBN-13: 978-1920901134

Wang, M. & Santini, D. (2002). The Debate is Over: Ethanol is a Net Energy Winner. <https://silo.tips/download/the-debate-is-over-ethanol-is-a-net-energy-winner>

ZafraNet. (2011). En México se mantiene la prohibición de utilizar maíz para producir etanol. <https://www.zafranet.com/category/noticias-energia/>

2023 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

Grado de Madurez de los programas de mejora continua Lean en empresas multinacionales de manufactura automotriz en México

Maturity degree in Lean improvement programs in automotive in multinational manufacture companies in Mexico

Jesús Arturo Chávez-Pineda^{1*}, Salvador García-Ramírez², Gloria Viridiana Vallejo-Navarrete³ y Edna Gabriela Ceja-Silva⁴

¹ TecNM-Instituto Tecnológico de Delicias. Carretera Rosetilla Km 3.5 Cd. Delicias Chihuahua, México.

² TecNM-Instituto Tecnológico de Nogales. Avenida Instituto Tecnológico 911, Granja, 84065 Nogales, Sonora, México.

³ TecNM-Instituto Tecnológico de Lázaro Cárdenas. Av.Melchor Ocampo 2555, Cuarto Sector, Cd. Lázaro Cárdenas, Michoacán, México.

⁴ TecNM-Instituto Tecnológico Superior de Los Reyes. Carretera Los Reyes-Jacona km 3 Col. San Rafael. Los Reyes, Michoacán, México.

*Correspondencia: jesus.cp@delicias.tecnm.mx (Jesús Arturo Chávez Pineda)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v17i3.1286>

Recibido: 14 de septiembre de 2023; Aceptado: 17 de octubre de 2023

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

Resumen

El diseño y operación de los programas de mejora continua Lean, representan una estrategia de largo plazo para mejorar el desempeño operativo en compañías. Su diseño generalmente está inspirado en el modelo del Sistema de Producción Toyota y producción esbelta. El grado de madurez del programa de mejora continua Lean, está asociado a una mayor productividad de las plantas. El objetivo de este estudio fue conocer, cual es el grado de madurez de esos programas que se han implementado en empresas multinacionales de manufactura automotriz en México. Se recolectó información por linkedin de una encuesta diseñada en una plataforma especializada en internet. De una muestra de 157 plantas, 10.1 % mostraron un alto grado de madurez en su programa de mejora Lean, 61 % mostraron un grado de conformación integral de acuerdo al modelo de investigación. Para identificar técnicas Lean con mayor grado de implementación profunda, se utilizó un análisis de conglomerados de k-medias, los resultados indican que las técnicas Lean con mayor grado de implementación, son calidad en la fuente, 5's y trabajo estándar. Las técnicas Lean con menor grado de implementación están asociadas conceptualmente al pilar del Justo a tiempo en el modelo del Sistema de Producción Toyota.

Palabras clave: Lean, Sistema de Producción Toyota, industria automotriz, programa de mejora continua, Compañías multinacionales de manufactura.

Abstract

The design and operation of Lean continual improvement programs are long-term strategy to improve the companies' operative performance. Their design is generally inspired on the Toyota Production System and lean production. The maturity degree of the Lean continual improvement program is associated with plant better productivity. The purpose of this research is to know the maturity degree of Lean improvement programs implemented in automotive multinational manufacture companies. The methodological design was mainly quantitative. A Survey was used in a specialized platform in internet and it was applied via LinkedIn for data recollection. With a sample of 157 plants, 10.1 % showed a high maturity degree in their Lean continual improvement program, 61 % showed a high conformation degree according to the research model used. In order to identify the Lean techniques with higher implementation degree, a k-means cluster analysis was performed. The results indicate that quality at the source, 5's and standard work are the lean techniques with higher implementation degree. Lean techniques with lower implementation degree are conceptually associated with Just in time pillar in the Toyota Production System model.

Keywords: Lean, Toyota Production System, automotive industry, continual improvement program, manufacture multinational companies.

1. Introducción

De forma general, los programas de mejora continua están basados en una o más combinaciones de filosofías como Gestión de la calidad total (Deming, 1986), el Sistema de Producción Toyota (TPS por sus siglas en inglés) (Ohno, 1988), Justo a tiempo (Monden, 2010), Mantenimiento Productivo Total (TPM por sus siglas en inglés) (Nakajima, 1988), Producción esbelta (Krafcik, 1988) y Pensamiento esbelto (Womack y Jones, 1996). Este conjunto de filosofías se ha tratado de integrar bajo el concepto de Lean management, que se puede comprender como la aplicación de los principios y el TPS a otras organizaciones diferentes a Toyota. (Emiliani y Stec, 2005). Las compañías multinacionales están desarrollando sus programas de mejora corporativos, con base a estas filosofías y son aplicados a sus plantas en todo el mundo (Powell y Coughlan, 2020).

También estos programas de mejora se han integrado bajo lo que Netland (2013) ha definido como "Sistemas de producción específicos", también llamados XPS. Este nombre se deriva del TPS, en donde la "X" surge de una adaptación del TPS a cada compañía específica y han integrado principalmente principios de TPS y Producción esbelta (Netland, 2013). Por medio de los XPS, se han combinado y adaptado conceptos organizacionales existentes a las necesidades específicas de las compañías. Los XPS ofrecen a las corporaciones una plataforma común de mejora que se comparten entre las redes globales de producción de las compañías de manufactura (Hekneby *et al.* 2022) y ofrecen una plataforma común de programas de mejora multi plantas (Netland y Aspelund, 2014).

De acuerdo con Netland y Ferdows (2016), el grado de madurez de su programa de mejora Lean permite a las compañías mejorar su productividad. El grado de madurez a su vez depende de la combinación entre la amplitud y profundidad. La amplitud se puede medir de acuerdo al grado de conformación de las técnicas Lean implementadas en la organización, considerando como modelo de adopción al TPS (Netland y Aspelund, 2014). Esto se debe a que las compañías multinacionales han desarrollado sus programas de mejora XPS y han sido inspirados en el TPS y producción esbelta (Netland, 2013). El segundo elemento a considerar en el grado de madurez del programa de mejora Lean y se refiere a la profundidad en la implementación de las técnicas Lean seleccionadas en el programa de mejora continua. El grado de implementación, se puede considerar como profundo o superficial. La literatura nos indica que a un mayor grado de adopción de las técnicas Lean, es decir, una alta profundidad, mejor es el desempeño de la organización (Nawanir *et al.*, 2013).

De esta forma el grado de madurez del programa de mejora Lean depende del grado de conformación, es decir, de las técnicas Lean seleccionadas en su programa de mejora y del grado de profundidad de su implementación. Se considera a la casa del sistema de producción Toyota como el modelo de referencia para la selección de las técnicas Lean de la presente investigación. (Japanese Management Association 1998). Aunque en la literatura se distinguen varias versiones de ella como las presentadas por Liker y Morgan (2006), Hernández y Vizán (2013), Dennis, (2007) y Lean certification Alliance (2021), las técnicas son muy similares entre ellas, por lo que se utiliza el modelo de investigación utilizado en investigaciones previas (Chávez-Pineda, 2022a).

Por otra parte, se investiga el grado de madurez de los programas de mejora Lean en la industria automotriz debido a la importancia que tiene esta industria en México. Más del 80 % de la producción de vehículos ligeros que se fabrican en el país, se destinan a la exportación, mientras que del 20 % restante, el 50 % se destina al mercado interno y el otro 50 %, se abastece con autos importados nuevos. Siete estados de la república mexicana concentran 84.2 % de las actividades de esta industria y medido como porcentaje de la producción bruta se distribuye de la siguiente manera: Sonora (16.2 %), Coahuila de Zaragoza (15.9 %), Puebla (13.6 %), Estado de México (12.7 %), Guanajuato (10.4 %), Nuevo León (8.6 %), Aguascalientes (6.8 %) y resto de los estados (15.8 %). Los principales proveedores de esta importante industria son: partes para automóviles, productos de plástico, componentes electrónicos, equipo de audio y video, productos de hierro y acero, motores de combustión interna turbinas y transmisiones. Por el volumen de exportaciones de la industria automotriz, nuestro país ocupaba en el 2014, el cuarto lugar a nivel mundial, después de Alemania, Japón y Estados Unidos. Mientras que, en el 2001, ocupó el sexto lugar después de Alemania, Japón, Estados Unidos Canadá y Francia (INEGI 2016).

En el caso particular de México, no se identifica ningún estudio que se haya relacionado con este tema, dentro de la industria automotriz de forma exclusiva, sin embargo, existen otras investigaciones que estudian conceptos similares. Por ejemplo, Piña *et al.* (2018) estudiaron el grado de implementación de manufactura esbelta en 60 maquiladoras que pertenecen a varios sectores industriales como el aeronáutico, automotriz, electrónico y equipo médico. García-Alcaraz *et al.* (2021), estudiaron la relación entre las técnicas Lean y su relación con respecto a la sustentabilidad en 100 plantas maquiladoras de los sectores automotriz, médico, eléctrica, electrónica, logística y metalmecánica. Sus resultados indican que la técnica de 5's, generó efectos positivos sobre la reducción de tiempos en cambios de modelo (SMED) y flujo continuo.

Adicionalmente, se ha estudiado la adopción integral y parcial de las técnicas Lean en 83 plantas de la industria eléctrica en México, los hallazgos indican que, las técnicas con mayor grado de

implementación dentro de esa industria son: trabajo estándar, control visual, y 5's. Mientras que las técnicas Lean con menor grado de implementación, están asociadas conceptualmente al pilar del Justo a tiempo (JIT) del modelo del TPS (Chávez-Pineda, 2022b). También se estudió la adopción parcial e integral de las prácticas de manufactura esbelta, pero en 222 plantas maquiladoras de manufactura pertenecientes a los sectores aeronáutico, automotriz, electrónico, equipo médico y otros. Los resultados de esta investigación demuestran que las técnicas Lean con mayor grado de implementación en estos sectores son: 5's, distribución celular, administración visual y trabajo estándar (Chávez-Pineda, 2022a).

Por otra parte, se han investigado también las diferencias entre los grados de implementación de las prácticas de manufactura esbelta, por el tipo de industria, tamaño y tiempo de adopción. Las técnicas Lean con mayor grado de implementación son independientes del tipo de industria, pero si están relacionadas con el tamaño de planta o el tiempo de adopción del programa de mejora. Las técnicas con mayor grado de implementación son: 5's, administración visual, trabajo estándar, calidad a la primera y dispositivos a prueba de error (poka yoke). Las técnicas Lean con menor grado de implementación que están relacionadas con el pilar de JIT del modelo TPS (Chávez-Pineda, 2021). Estos estudios coinciden en que las técnicas más utilizadas en estas industrias son: trabajo estándar, administración o control visual y 5's y las menos implementadas se relacionan con JIT aun en plantas con más tiempo de adopción de las técnicas Lean. (Chávez-Pineda, 2021; Chávez-Pineda, 2022 a; Chávez-Pineda, 2022 b).

Debido a que los programas de mejora continua como los XPS contemporáneos y producción esbelta se enfocan más en los aspectos técnicos y menos en aspectos sociales como las personas y en la cultura (Netland, 2013), por lo que en la presente investigación nos enfocamos en la parte técnica de tipo de sistemas. Se planteó el siguiente objetivo de investigación: estudiar el grado de madurez de las técnicas Lean de los programas de mejora en las compañías multinacionales de manufactura automotriz en México. Para lo cual se plantean la siguiente pregunta de investigación y su hipótesis correspondiente:

P1) ¿Cuál es el grado de madurez de los programas de mejora en las plantas de las compañías multinacionales de manufactura (PCMM) del sector automotriz en México? H1) Las PCMM presentan todavía un bajo grado de madurez en sus programas de mejora continua.

2. Materiales y métodos

Para responder a las preguntas de investigación y encontrar evidencia que apoye o rechace la hipótesis planteada se describen los principales elementos del diseño metodológico. El enfoque de la presente investigación es principalmente cuantitativo, aplicado, no experimental, transaccional y descriptivo. A continuación, se describe la población y muestra, método de recolección de datos en donde se detalla el instrumento de medición, los sujetos participantes y finalmente el análisis de datos.

Población y muestra

La población bajo estudio está compuesta por plantas de compañías multinacionales de manufactura automotriz localizadas en México, se estima que existen alrededor de 618 compañías de autopartes automotrices de primer, segundo y tercer nivel en el país (Secretaría de Economía, 2012). Se tomó el tamaño de muestra de 157 plantas, es decir el 25.40 % de la población identificada por medio de un muestreo por conveniencia. Es importante mencionar que técnica de muestro no es probabilística y tampoco es aleatoria, por lo que los resultados de la misma solo aplican para la muestra seleccionada. Se seleccionó este tipo de muestreo debido a la dificultad de tener acceso a participantes que cumplan con los criterios de selección, y que además tuvieran la disposición en la investigación. Se trató de lograr el mayor tamaño de muestra posible bajo este tipo de condiciones. Se considera este tamaño de muestra adecuado, si se toman como referencia otros estudios similares realizados en México, aunque consideran diferentes tipos de industrias en sus estudios por ejemplo Piña *et al.* (2018), en donde participaron 60 plantas, o Setianto y Haddud (2016) que incluyeron una muestra de 46 plantas de diferentes industrias o Taj y Morosan (2011) donde participaron 65 plantas de sectores también diversos. Prabhushankar *et al.* (2015) estudió la implementación de las técnicas Lean entre otros factores en 20 plantas en la industria automotriz de la India.

Sujetos participantes

Se seleccionó a los candidatos por medio de la plataforma *LinkedIn recruiter*. Los criterios de selección fueron: gerentes e ingenieros de las áreas de mejora continua con conocimientos y experiencia en Lean y TPS. Participaron en el estudio profesionales de plantas de manufactura ubicadas en los estados de: Chihuahua, Sonora, Tamaulipas, Nuevo León, Aguascalientes, Guanajuato, Puebla, Coahuila, Querétaro, Baja California, San Luis Potosí y Zacatecas. A los participantes seleccionados se les envió el enlace electrónico de la encuesta una vez que aceptaron conectar con los investigadores por medio de la plataforma de linkedin.

La distribución de la muestra de las plantas por número de empleados se compone de la siguiente manera: Menos de 250 empleados 10.3 % (17), Entre 251 y 500 empleados 19.4 % (32), Entre 501 y 1000 empleados 24.8 % (41) y Más de 1000 empleados 45.5 % (75). Mientras que la distribución de la muestra por años de adopción de las técnicas Lean se integra de la siguiente forma: Menos de 1 año 16.4 % (27), Entre 1 y 3 años 21.8 % (36), Entre 3 y 7 años, 19.4 % (32), Entre 7 y 10 años 13.3 % (22) y Más de 10 años 29.1 % (48).

Instrumento de medición

Para el presente estudio, se utilizó un instrumento ya probado anteriormente por Chávez-Pineda, (2021) y como se mencionó anteriormente, se aplicó vía linkedin. Las preguntas utilizadas se muestran en la Tabla 2, bajo la sección de variable. El grado de adopción de las técnicas Lean se midió mediante una escala perceptual de Likert con las siguientes opciones: 1) 0 % de la planta, 2) Entre el 1 % y el 25 % de la planta, 3) Entre el 26 % y el 50 % de la planta, 4) Entre el 51 % y 75 % de la planta y 5) Más del 75 % de la planta.

Recolección de datos

La recolección de datos se realizó por medio de una plataforma especializada para la aplicación de encuestas electrónicas. En la tabla 1, se observa la verificación de la consistencia interna y la confiabilidad de los datos por medio del alfa de Cronbach para los trece ítems que componen el modelo de las técnicas Lean, el cual fue de 0.941, superior a 0.7 lo suficiente para verificar la consistencia interna y confiabilidad del cuestionario (Nunnally, 1978). El periodo de recolección de datos duró tres meses, de enero a marzo del 2023.

Tabla 1. Consistencia Interna y confiabilidad de los datos.

Table 1. Internal consistency of data.

Variable	Ítems	Alpha de Cronbach
Técnicas Lean	13	0.941

Análisis de Datos

Para identificar el grado de madurez del programa de mejora continua Lean en las plantas de las compañías multinacionales de manufactura (PCMM), se utilizaron dos variables, el grado de conformación con dos opciones posibles integral o parcial y el grado de implementación que se puede clasificar como alto (profundo) y bajo (superficial). Se consideró a una planta con un alto grado de madurez en su programa de mejora, si presentaba un grado de conformación integral y una implementación profunda (alto grado de implementación). Para identificar al grupo de PCMM con un bajo grado de conformación, se utilizó el siguiente criterio, aquellas plantas con un 0% en al menos una de las técnicas Lean se clasificaron con bajo grado de conformación o implementación parcial. De lo contrario, se clasificaron como alto grado de conformación integral de acuerdo al modelo de la casa del sistema de producción Toyota. Cada una de las técnicas Lean se clasificaron en alta y baja implementación por medio de un análisis de conglomerados de k-medias en SPSS v.22. Se consideran a una alta implementación de las técnicas Lean como una implementación profunda y a una baja implementación de las técnicas Lean como una implementación superficial.

3. Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados del análisis de los datos. Los primeros resultados se muestran en la Fig. 1. Como se puede observar que 62 (39 %) plantas presentaron un grado de conformación parcial, mientras que 95 (61 %), mostraron tener un grado de conformación integral. Se observa que predomina el grado de conformación integral sobre el parcial.

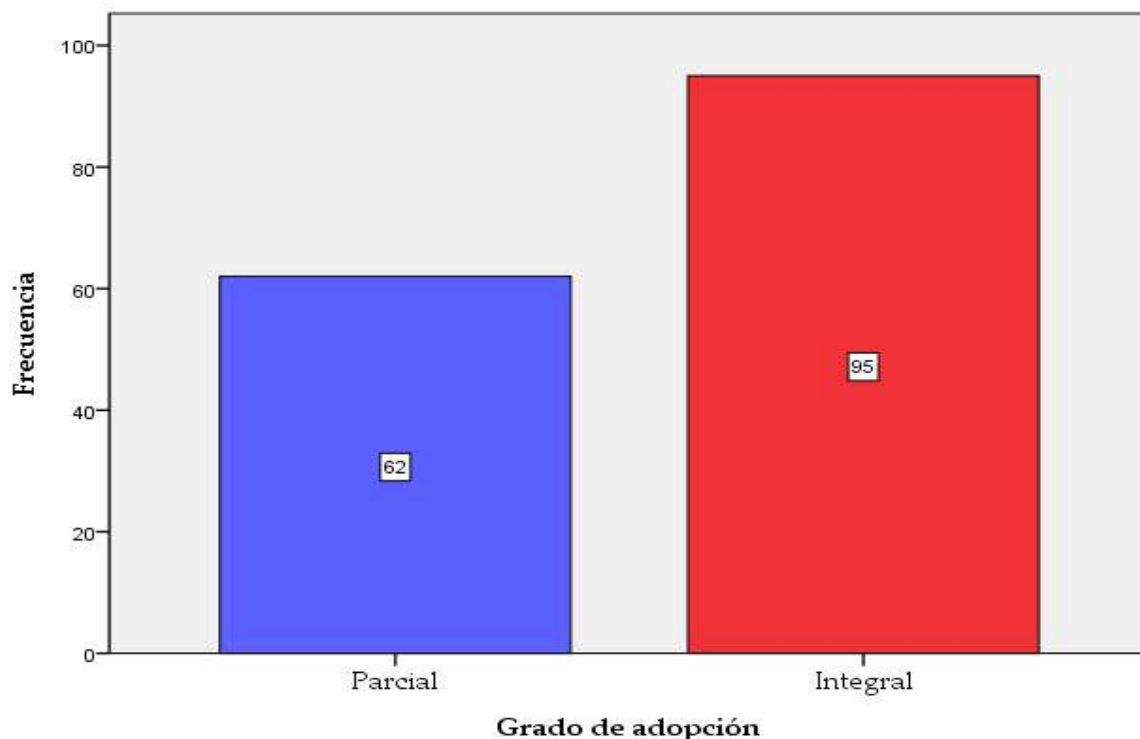


Figura 4. Grados de conformación parcial e integral del modelo de investigación
Figure 4. Partial and Integral research model conformation degree.

Para conocer el grado de profundidad en la adopción de las técnicas Lean en los programas de mejora continua, se clasificaron cada una de ellas en alto grado de implementación (profunda) o bajo grado de implementación (superficial), mediante un análisis estadístico de conglomerados en SPSS. En la Tabla 2 se muestran los resultados, los cuales se dividen en dos grupos. En ambos, se indica el número de plantas (N) clasificadas de acuerdo a la descripción de alta (profunda) o baja (superficial) adopción de las técnicas. En la misma tabla, se ordenaron las técnicas de mayor a menor número de plantas (N) que mostraron una adopción profunda vs. adopción superficial. De esta forma, las técnicas que han tenido un mayor grado de adopción son: calidad en la fuente (126), 5S (119), trabajo estándar (106), TPM (100), control visual (93), mapeo de flujo de valor (VSM) (88), jidoka (84), flujo continuo (75), distribución celular (69), reducción de tamaño de lote (67), producción nivelada (62), sistema de jalón (61) y finalmente SMED (29).

Tabla 2. Descripción de conglomerados.**Table 2.** Descriptive clusters.

Orden	Variable	Conglomerado 1:		Conglomerado 2:	
		Baja Implementación		Alta Implementación	
		(Superficial)		(Profunda)	
		N	Media	N	Media
1	En la planta se ha implementado calidad a la primera y dispositivos a prueba de errores en:	31	1.77	126	4.10
2	5 S se ha implementado en:	38	2.18	119	4.75
3	El trabajo estándar se ha implementado en:	51	2.16	106	4.75
4	El mantenimiento preventivo total (TPM) se ha implementado en:	57	1.67	100	4.10
5	La administración y controles visuales se han implementado en:	64	2.28	93	4.67
6	El mapeo de flujo de valor (VSM) se ha implementado en:	69	1.64	88	4.22
7	Se han implementado sistemas de identificación automática de defectos (jidoka) en:	73	1.62	84	4.18
8	El flujo continuo se ha implementado en:	82	2.16	75	4.52
9	La distribución celular se ha implementado en:	88	2.07	69	4.64
10	La reducción de lote se ha implementado en:	90	1.58	67	4.04
11	Producción nivelada	95	2.22	62	4.56
12	El sistema de jalón se ha implementado en:	96	2.09	61	4.69
13	SMED	102	2.03	55	4.49

En general las técnicas que están integradas a la base del modelo TPS son las que mayor grado de implementación tienen. Posteriormente aquellas con calidad en la fuente a excepción de Jidoka y finalmente las forman parte en la literatura de JIT. Esto es particularmente interesante porque los resultados coinciden con un estudio también realizado en la industria automotriz por Prabhushankar *et al.* (2015) en donde coinciden que entre las técnicas Lean más utilizadas son: trabajo estándar, 5's, dispositivos a prueba de errores entre otras. Las técnicas como 5's y trabajo estándar también se ha encontrado que son las que presentan mayor grado de implementación en otras industrias como se demuestra en un estudio realizado en Katar (Setianto y Haddud, 2016) y en China (Taj y Morosan, 2011).

Adicionalmente, como resultado de un análisis más profundo resulta que las técnicas Lean que Presentan 0 % de implementación se muestran en la Tabla 3. Los resultados de este estudio coinciden con los presentados por Netland (2013). Las técnicas Lean menos consideradas en los modelos XPS son: tamaño de lote, jidoka y SMED. Mientras que las técnicas Lean como el trabajo estándar es una de las más utilizadas, resultados similares presentados en investigaciones anteriores (Chávez-Pineda, 2021a; Chávez-Pineda, 2021b; Chávez-Pineda, 2022).

Tabla 3. Técnicas con 0 % de implementación en las PCMM.**Table 3.** Lean techniques 0 % implementation in PCMM.

Orden	Variable	Número de plantas
1	La reducción de lote se ha implementado en:	88
2	Se han implementado sistemas de identificación automática de defectos (jidoka) en:	83
3	SMED	68
4	La distribución celular se ha implementado en:	60
5	El sistema de jalón se ha implementado en:	58
6	El mapeo de flujo de valor (VSM) se ha implementado en:	48
7	El mantenimiento preventivo total (TPM) se ha implementado en:	48
8	Producción nivelada	46
9	El flujo continuo se ha implementado en:	30
10	En la planta se ha implementado calidad a la primera y dispositivos a prueba de errores en:	20
11	El trabajo estándar se ha implementado en:	20
12	La administración y controles visuales se han implementado en:	15
13	5 S se ha implementado en:	8

Los resultados también nos indican que en general las técnicas con menor grado de adopción considerando el modelo de TPS son aquellas que están relacionadas con el pilar de JIT, como son reducción del tamaño de lote, SMED, Distribución celular, sistema de jalón, VSM y TPM. Las técnicas Lean con mayor grado de implementación están relacionadas a la base del TPS como son 5's, trabajo estandarizado, control visual y flujo continuo. Del lado del pilar de la calidad está el énfasis en dispositivos a prueba de errores, pero con poca consideración a jidoka. En general, estos resultados son consistentes con los mostrados por Netland (2013).

Finalmente, para responder a la pregunta de investigación P1) ¿Cuál es el grado de madurez de los programas de mejora en las plantas de las PCMM del sector automotriz en México? Los resultados nos indican que el 10.1 % (16/157) presentan esta característica. Este porcentaje es similar al presentado por Chávez Pineda (2022b) del 12.8 % para la industria eléctrica y electrónica y ambos superiores cuando se consideran a otras industrias como la aeroespacial y la médica (Chávez Pineda, 2021).

De las técnicas Lean que componen al modelo del TPS bajo estudio, 5's, trabajo estándar, administración y control visual y calidad en la fuente con dispositivos poka yoke son técnicas que cumplen con estos parámetros. Es importante destacar que las técnicas como 5's y trabajo estándar presentan mayor grado de profundidad de adopción no solo en la industria automotriz, sino como se demostró en otros estudios en otras industrias como la aeroespacial, eléctrica y electrónica y médica. Es posible que este comportamiento se origine a partir de que se utilice el enfoque de "recolectar las frutas más bajas" que consiste en seleccionar aquellas actividades Lean que permiten lograr un mayor impacto con el menor costo en el menor tiempo, es decir seleccionar los proyectos más simples con beneficios rápidos. Este enfoque "recolectar las frutas más bajas" está basado en la teoría económica de "destinar recursos en donde el producto marginal es el más alto" (Winter, 1994, p. 91).

Los resultados nos indican que las PCMM se encuentran en un proceso de transformación para llevar a sus programas de mejora continua a mayores niveles de madurez. Las técnicas con mayor grado de adopción son aquellas que son menos complejas de implementar como 5's y trabajo estándar. Mientras que el grado de implementación de aquellas que son más complejas y requieren de un tiempo mayor como la reducción del tamaño de lote y Jidoka presentan menores niveles de implementación.

En este sentido, las técnicas que integran a JIT involucran cambios extensos que requieren periodos de tiempo mucho mayores como distribución de planta, maquinaria y equipo, así como el desarrollo de nuevas habilidades. Este tipo de proyectos requieren no solo de más recursos sino de un compromiso gerencial mucho más profundo (Netland y Ferdows, 2014). El grado de complejidad, el tiempo y la cantidad de recursos necesarios tanto humanos como económicos para realizar un cambio profundo como JIT son mucho mayores que en las técnicas mencionadas anteriormente.

Quizá por esta razón son las técnicas Lean relacionadas con JIT, son las que presentan menores grados de implementación aun en aquellas compañías con más tiempo de haber implementado su programa de mejora continua. Este comportamiento también es posible que se deba a las presiones que se someten las áreas de mejora continua por presentar resultados favorables en el corto plazo y se seleccionen aquellas técnicas Lean con grado de complejidad menor al momento de su implementación. Este último es un tema que se recomienda seguir estudiando con más profundidad.

4. Conclusiones

Los resultados presentados contribuyen a conocer con más profundidad el estado actual de la adopción de las técnicas Lean mediante la evaluación del grado de madurez de sus programas de mejora continua en las compañías multinacionales de manufactura en México. Los resultados indican que el 10.1 % de las PCMM bajo estudio presentaron un alto grado de madurez en la implementación de las técnicas Lean.

De esta investigación se puede inferir que probablemente este comportamiento se deba a la estrategia de "recolectar las frutas más bajas", en donde se le otorga prioridad a la implementación de las técnicas que son más sencillas y rápidas de ser implementadas como: calidad a la primera y dispositivos a prueba de errores, 5's, trabajo estándar y está limitando la profundidad en la implementación de aquellas técnicas que requieren de más recursos técnicos como humanos como aquellas asociadas al JIT y Jidoka del TPS. Lo que sugiere seguir investigando esta posible barrera para lograr mayores grados de madurez de los programas de mejora Lean en las PCMM.

Conflicto de interés

El autor del presente artículo expresa que no existe ningún conflicto de interés en la elaboración y publicación del presente estudio.

5. Referencias

- Chávez-Pineda, J. (2022a). Adopción parcial e integral de las prácticas del sistema técnico de lean en la industria maquiladora de manufactura en México. RECAI Revista de estudios en contaduría, administración e informática, 11 (30):28-50. <https://doi.org/10.36677/recai.v11i30.16919>
- Chávez-Pineda J. (2022b). Adopción parcial e integral de la filosofía lean en la industria de manufactura eléctrica y electrónica en México. TECNOCENCIA Chihuahua, 16(3): e1048. <https://doi.org/10.54167/tch.v16i3.1048>
- Chávez-Pineda, J. (2021). Grado de implementación de las prácticas del sistema técnico de administración esbelta en la industria maquiladora de manufactura de México. RECAI Revista de estudios en contaduría, administración e informática, 10 (28): 41-68. <https://doi.org/10.36677/recai.v10i28.15295>
- Deming, W. E. (1986) Out of the crisis: quality, productivity and competitive position. Cambridge University Press.
- Emiliani, M.L. & Stec, D.J. (2005). Leaders lost in transformation. Leadership and Organization Development Journal 26(5): 370-387. <https://doi.org/10.1108/01437730510607862>
- García-Alcaraz, J. L., Díaz-Reza, J. R., Sánchez-Ramírez, C., Limón-Romero, J., Jiménez-Macías, E.; Lardies, C. J. & Rodríguez Medina, M. A. (2021). Lean manufacturing tools applied to material flow and their impact on economic sustainability. Sustainability 13 (19): 10599. <https://doi.org/10.3390/su131910599>
- Hekneby, T., Ingvaldsen, J. & Benders, J. (2022). Orchestrated learning: creating a company-specific production system (XPS). International Journal of Lean Six Sigma 13(2): 361-381. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-09-2020-0139>
- Hernández, J. C. & M. A. Vizán Idoipe,. (2013). Lean manufacturing: concepto, técnicas e implantación. Escuela de Organización Industrial. <https://goo.su/2C8db>
- INEGI (2016). Estadísticas a propósito de la industria Automotriz. <https://n9.cl/almdd>
- Japanese Management Association (1985). Kanban Just-in time at Toyota. Management Begins at the Workplace. Productivity Press. <https://doi.org/10.1201/9780203749715>
- Krafcik, J. F. (1988). Triumph of the lean production system. Sloan Management Review 30(1): 41-52. <https://goo.su/uRqW>
- Lean certification Alliance. (2021). Society for Mechanical Engineers. <https://www.sme.org/training/lean-certification/about-the-lean-certification-alliance/>
- Liker, J. K. & Morgan, J. M. (2006). The Toyota way in services: The case of lean product development. Academy of Management Perspectives 20 (2): 5-20. <https://doi.org/10.5465/amp.2006.20591002>
- Monden, Y. (1994). Toyota Production System. An Integrated Approach to Just-In-Time. Springer US. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-9714-8>

- Nakajima, S. (1988). Introduction to TPM: Total Productive Maintenance. Productivity Press. ISBN-10: 0915299232
- Nawanir, G., Kong Teong, L. & Noresam Othman, S. (2013). Impact of lean practices on operations performance and business performance some evidence from Indonesian manufacturing companies. *Journal of Manufacturing Technology Management* 24(7): 1019-1050. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2012-0027>
- Netland, T. H. (2013). Exploring the phenomenon of company-specific production systems: one-best-way or own-best-way? *International Journal of Production Research* 51(4): 1084-1097. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.676686>
- Netland, T.H. & Aspelund, A. (2014). Multi-plant improvement programmes: a literature review and research agenda. *International Journal of Operations & Production Management* 34(3): 390-418. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-02-2012-0087>
- Netland T.H & Ferdows, K. (2016). The S-curve effect of lean implementation. *Production and operations management* 25 (6): 1106-1120. <https://doi.org/10.1111/poms.12539>
- Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric Theory*. (2nd. ed.). New York: McGraw-Hill.
- Ohno, T. (1988). *The Toyota production system: Beyond large scale production*. Productivity Press. <https://goo.su/s1O6i8B>
- Productivity Development Team, (1999). *Cellular manufacturing: one-piece flow for work teams*. CRC Press. ISBN 13: 978-1-56327-213-4.
- Prabhushankar, G.V., Kruthika, K., Pramanik, Souradeep & R. S. Kadadevaramath. (2015). Lean manufacturing system implementation in Indian automotive components manufacturing sector - an empirical study. *International Journal of Business and Systems Research* 9(2): 179-194. <https://doi.org/10.1504/IJBSR.2015.069442>
- Piña-Domínguez, R., León-Balderrama, J. I. & Preciado-Rodríguez, J. M. (2018). Nivel de implementación de manufactura esbelta en la industria maquiladora de Hermosillo y Guaymas-Empalme, Sonora. *RECAI Revista de estudios en Contaduría, Administración e Informática* 7(20): 36-51. <https://recai.uaemex.mx/article/view/11283>
- Powell, D. & Coughlan, P. (2020). Corporate lean programs: practical insights and implications for learning and continuous improvement, *Procedia CIRP* 93: 820-825. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.03.072>
- Secretaría de Economía (2012). *Industria Automotriz. Monografía. Dirección general de industrias pesadas y de alta tecnología*. <https://n9.cl/hgdp8>
- Setianto, P. & Haddud, A. (2017). A maturity assessment of lean development practices in manufacturing industry. *International Journal of Advanced Operations Management* 8(4): 294-322. <https://doi.org/10.1504/IJAOM.2016.084150>

- Taj, S. & Morosan, C. (2011). The impact of lean operations on the Chinese manufacturing performance. *Journal of manufacturing technology management* 22: 223-240. <https://doi.org/10.1108/17410381111102234>
- Velázquez, L., Mungía, N., de los Ángeles Navarrete M. & Zavala, A. (2006). An overview of sustainability practices at the maquiladora industry in Mexico. *Management of Environmental Quality* 17(4): 478-489. <https://doi.org/10.1108/14777830610670535>
- Winter, S. W. (1994). Organizing for continuous improvement: evolutionary theory meets the quality revolution. In Baum J.A.C & Singh, J.V. (Ed). *Evolutionary Dynamics of organizations*. (pp. 90-108). Oxford University Press. <https://goo.su/UmR7>
- Womack, J. P. & Jones D. T. (1996). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. New York Free Press. <https://goo.su/IEWUM>

2023 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

Variaciones morfológicas en el fruto y semillas de cuatro estadios del fruto de *Cylindropuntia spinosior* (Cactaceae)

Fruits and seeds morphological variations of four fruit stages of *Cylindropuntia spinosior* (Cactaceae)

Raquel González-Fernández¹, Miroslava Quiñones Martínez¹, José Valero-Galván^{1*}

¹Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez; Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Av. Plutarco Elías Calles #1210 FOVISSSTE Chamizal, Ciudad Juárez, Chihuahua, México, C.P. 32310.

*Correspondencia: jose.valero@uach.mx (José Valero Galván)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v17i3.1184>

Recibido: 28 de marzo de 2023; Aceptado: 05 de septiembre de 2023

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

Resumen

En la actualidad, las características externas de la semilla (masa, ancho, longitud y grosor), así como las características internas (área del embrión, endospermo, perispermo y grosor de la cubierta seminal) de muchas especies del género *Cylindropuntia* (Cactaceae) son desconocidas. En este estudio se analizaron las variaciones morfológicas de los frutos y las semillas en cuatro estadios de desarrollo del fruto de *Cylindropuntia spinosior*. Se recolectaron frutos de cuatro estadios de desarrollo y se extrajeron las semillas. Los frutos y semillas se caracterizaron tanto macroscópicamente como microscópicamente, evaluándose 32 variables morfológicas. El análisis de agrupamiento de esas variables mostró que las características morfológicas de los frutos y semillas del estadio II y estadio III presentaron las características morfológicas similares, mientras que el estadio IV fue el más distante. Además, el análisis de los primeros dos componentes principales mostró que las variables que mostraron las mayores variaciones para los cuatro estadios de desarrollo del fruto fueron el peso del fruto y cáscara, el número de semilla, número de semillas flotantes y el peso total de las semillas. Estas características morfológicas determinadas en el presente estudio sugieren que esta especie todavía no está domesticada debido a que estas características fueron similares a las observadas en frutos de varias especies silvestres de la familia Cactaceae. Estos resultados podrían ayudar en futuros estudios ecológicos basados en la caracterización e identificación de las especies del género *Cylindropuntia* cuando sólo se dispone de los frutos y semillas.

Palabras clave: *Cylindropuntia*, variabilidad, morfometría, frutos, semillas.

Abstract

At present, the external seed characteristics (mass, width, length, and thickness) as well as the internal characteristics (embryo area, endosperm, perisperm, and thickness of the seed coat) of many species of the genus *Cylindropuntia* (Cactaceae) are unknown. In this study, morphological variations of fruits and seeds at four stages of fruit development of *Cylindropuntia spinosior* were analyzed. Fruits of four developmental stages were collected and seeds were extracted. Fruits and seeds were characterized both macroscopically and microscopically, and 32 morphological variables were evaluated. The cluster analysis of these variables showed that the morphological characteristics of stage II and stage III fruits and seeds presented the similar morphological characteristics, while stage IV was the most distant. In addition, the analysis of the first two principal components showed that the variables that showed the greatest variations for the four stages of fruit development were fruit and shell weight, seed number, number of floating seeds and total seed weight. These morphological characteristics determined in the present study suggest that this species is not yet domesticated because these characteristics were similar to those observed in fruits of several wild species of the family Cactaceae. These results could help in future ecological studies based on the characterization and identification of species of the genus *Cylindropuntia* when only fruits and seeds are available.

Keywords: *Cylindropuntia*, variability, morphometry, fruits, seeds.

1. Introducción

Junto con las familias de Agavaceae, Crassulaceae y Euphorbiaceae, la familia de las cactáceas se identifica como plantas suculentas xerofíticas (Anderson, 2001). Algunos autores consideran que la familia Cactaceae puede estar compuesta por alrededor de 1500 a 1600 especies distribuidas entre 110 a 124 géneros (Lebgue *et al.*, 2011; Pinto y Scio, 2014). En México se han identificado alrededor de 669 especies, correspondientes a 63 géneros (Lebgue *et al.*, 2011), de las cuales los más abundantes son *Mammillaria*, *Ferocactus*, *Echinocereus*, *Coryphantha*, *Opuntia* y *Cylindropuntia* (Hunt, 2016). El género *Cylindropuntia* pertenece a la familia Cactaceae y es nativo de América del Norte. En México se han registrado aproximadamente 30 especies en las regiones áridas y semiáridas del desierto Chihuahuense (Guzmán *et al.*, 2003; Hunt, 2016). Las especies más abundantes son *C. leptocaulis*, *C. imbricata*, *C. kleiniae* y *C. spinosior* (Guzmán *et al.*, 2003).

Cylindropuntia spinosior se caracteriza por ser de tipo arbustivo que varía entre 0.4 a 2 m de altura. Estas plantas están formadas por tallos (segmentos) dispuestos en verticilos con tamaño que varía entre 5 a 23 cm de largo y entre 1.3 a 3.5 cm de diámetro (Anderson, 2001). Los tallos pueden variar de color verde a ligeramente violáceo. Suelen presentar areolas en forma elíptica de color entre amarillo a bronce, con gloquidios de 1 a 2 mm de largo de color amarillo a marrón que tienen de 4 a 24 espinas (Anderson, 2001). Las flores pueden presentar variación en colores que van desde rosa a rojo púrpura, desde amarillo a bronce, o blanco, mientras que los frutos entre verde (frutos inmaduros) y amarillo (frutos maduros). Estos son de forma cilíndrica, carnosos, algunos presentan hoyuelos que van desde los 2 a los 5 cm de largo y tienen diámetro de 1.7 a 3 cm (Anderson, 2001). Los usos de las plantas de este género son diversos, desde cercas vivas para lindes de terrenos, hasta aprovecharse como forraje en temporadas de sequía. Además, los tallos secos se emplean en la fabricación de artesanías y la goma que produce la planta se ha utilizado como goma de mascar (Anderson, 2001). Por otra parte, los frutos ácidos y poco carnosos de varias especies del género

Cylindropuntia podrían ser una fuente alimenticia de interés debido a que contiene concentraciones altas de taninos condensados, taninos hidrolizables y ácidos fenólicos, por lo que podría ser una fuente de antioxidantes naturales con propiedades funcionales en la industria alimenticia (Coutiño-Laguna et al., 2022; Reyes-Corral et al., 2022). Además, en otro estudio se ha analizado la posible capacidad fungicida de los extractos acuosos y etanólicos de los cilindros tallos de *C. leptocaulis* y *C. imbricata* sobre en el crecimiento micelial de cepas de *Aspergillus sp.* y *Fusarium sp.*, no obstante, estos extractos de ambas especies parecieron estimular el crecimiento de estos hongos, más que inhibirlos (Cid et al., 2021).

Dentro de la subfamilia Opuntioideae existen varios estudios acerca de las variaciones de las características morfológicas de los frutos y semillas, principalmente de especies comerciales o silvestres del género *Opuntia* (Reyes-Agüero et al., 2005; Guerrero-Muñoz et al., 2006; López-Palacios et al., 2015; Núñez-Gastélum et al., 2018; González-Cortés et al., 2019; Valero-Galván et al., 2021). Estos estudios han permitido aumentar el conocimiento en: a) la riqueza de los bancos de germoplasma; b) la conservación *in situ* y *ex situ* y c) estudios de ecología y taxonómicos (Guerrero-Muñoz et al., 2006; López-Palacios et al., 2015; González-Cortés et al., 2018; Núñez-Gastélum et al., 2018; González-Cortés et al., 2019). Sin embargo, son escasos los estudios que muestren evidencias sobre las variaciones morfológicas en los frutos (peso, tamaño, forma, volumen número de semillas y semillas vanas) y semilla (características morfológicas externas e internas) dentro de un taxón, en especial para especies endémicas como *Cylindropuntia spinosior*. Para estudiar las características internas de las semillas del género *Opuntia* se ha retirado la testa y cobertura funicular usando medios mecánicos y el lijado (Flores y Engleman, 1978; Guerrero-Muñoz et al., 2006), permitiendo realizar la caracterización interna de la cubierta seminal, embrión, endospermo y perispermo de las semillas (Guerrero-Muñoz et al., 2006; González-Cortés et al., 2019). Aunque, se conocen las características generales del fruto y semillas de *C. spinosior* que se desarrollan en el desierto de Chihuahua, existen escasas referencias relacionadas a las variaciones morfológicas de fruto y las características morfológicas externas e internas de las semillas en diferentes estados de desarrollo del fruto de *C. spinosior* (Reyes-Corral et al., 2022). Por lo que en el presente estudio se realizó un análisis de la variación morfológica de los frutos y semillas en cuatro estadios de desarrollo del fruto de *C. spinosior* como un paso previo a conocer las estrategias reproductivas por medio de la semilla de esta especie.

2. Materiales y métodos

Material biológico y sitio de colección

Los frutos de *C. spinosior* se colectaron en el Parque Jardines del Valle ubicado en las coordenadas 31.300, -106.504 en el municipio de Ciudad Juárez, al extremo norte del Estado de Chihuahua, México. La zona se localiza a 1338 m de altitud, con precipitación pluvial anual de 208 mm y temperatura promedio de 18.3 °C. El clima se clasifica como muy seco, según la clasificación de Köppen se identifica con el tipo Bw_{kx}'(e'). La vegetación de esta región se conforma de matorrales del tipo micrófilo semiespinosos.

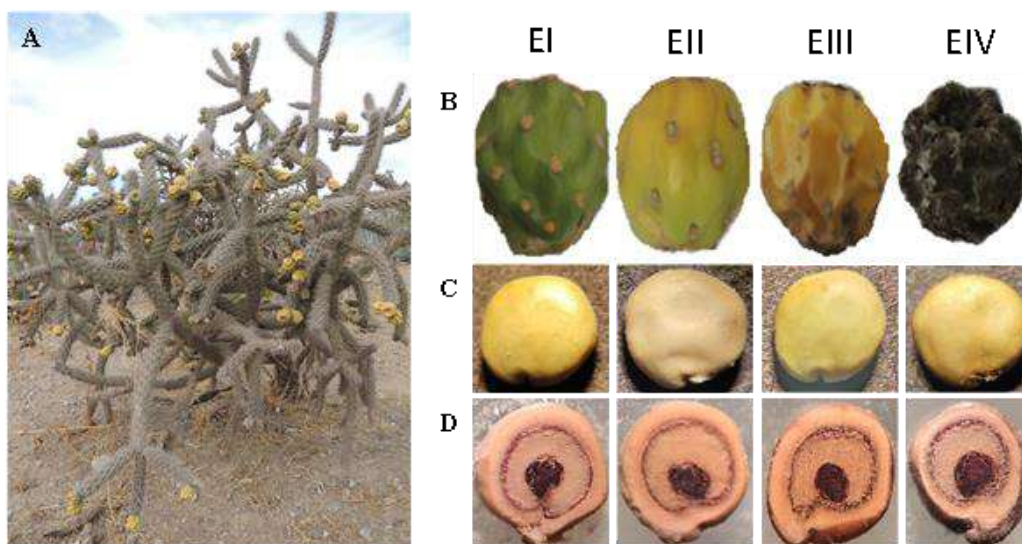


Figura 1. Ejemplar de planta de *C. spinosior* (A). Vista de los frutos (B), parte externa (C) y parte interna (D) de las semillas. EI: Estadio I, EII: Estadio II, EIII: Estadio III, EIV: Estadio EIV.

Figure 1. Plant specimen of *C. spinosior* (A). View of the fruits (B), external part (C) and internal part (D) of the seeds. EI: Stage I, IBD: Stage II, EIII: Stage III, EIV: Stage IV.

La colecta de los frutos se realizó usando la metodología usada por Núñez-Gastelum *et al.*, 2018. Brevemente, en el sitio de colecta se seleccionaron de forma aleatoria 5 plantas de *C. spinosior* (Fig. 1A), las cuales se monitorearon cada 15 días de abril hasta el 30 de agosto de 2018. Después de observar 15 días la floración, se documentó el desarrollo del fruto hasta su maduración. Para realizar el estudio se seleccionaron tres estadios de maduración basados en la coloración del fruto: EI, verde como estadio de desarrollo (fruto inmaduro 100 % de crecimiento), EII, amarillo (fruto maduro) y EIII, amarillo ocre (fruto pasado de madurez). Así mismo, se recolectaron frutos con un color oscuro (frutos secos) los cuales se encontraron en el suelo alrededor de la base de las plantas (EIV) (fruto seco) (Fig. 1B). Se recolectaron en total 50 frutos por estadio (10 frutos por 5 plantas independientes) sin daños causados por insectos y animales. Una vez recolectados, los frutos se colocaron en bolsas de plástico con cierre hermético y se transportaron al Laboratorio de Reproducción del Departamento de Químico Biológicas, Instituto de Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Análisis morfológico de los frutos y extracción de las semillas

En el laboratorio, los frutos se lavaron con agua corriente y se secaron con papel secante. Para realizar el análisis morfológico de los frutos, se tomaron de forma aleatoria 10 frutos por estadio (N=10 por cada estadio) y de forma independiente se pesaron en usando balanza analítica (Velab™, VE-204™, Estados Unidos, con precisión de ± 0.0001 g). Seguidamente, los 10 frutos de forma independiente se colocaron de forma horizontal en una hoja milimétrica y se tomó una fotografía digital con cámara digital (Nikon Coolpix P510, Japón) por cada estadio de forma independiente, la cual se utilizó para determinar el área y perímetro horizontal reflejada en la imagen, largo y ancho del fruto, por medio del programa de procesamiento de imagen digital ImageJ (National Institutes

of Health, Estados Unidos; <https://imagej.nih.gov/ij/index.html>). A continuación, los frutos se cortaron longitudinalmente, se separó la cáscara de la pulpa y se pesó la cáscara individualmente para cada uno de los frutos y estadios usando balanza analítica (Velab™, VE-204™, Estados Unidos, con precisión de ± 0.0001 g). Posteriormente, se recuperaron las semillas de la pulpa de los frutos. Para ello, se colocaron en un cedazo y se lavaron con agua destilada hasta eliminar restos vegetales y de pulpa (Fig. 1C). Después, se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 5 % (v/v) por 5 min; enseguida se realizaron dos lavados con agua destilada y finalmente se dejaron secar por una hora a temperatura ambiente (27 °C).

Análisis morfológico de las semillas

El peso total de las semillas por cada fruto y estadio se determinó usando la balanza analítica (Velab™, VE-204™, Estados Unidos, con precisión de ± 0.0001 g). También, se contó el número total de semillas normales y el número de semillas vanas por cada fruto y estadio. Para determinar el volumen, se seleccionaron 20 semillas al azar por cada fruto y estadio y se determinó el peso utilizando la balanza analítica (Velab™, VE-204™, Estados Unidos, con precisión de ± 0.0001 g) y su volumen, mediante el método de la probeta con agua, el cual consistió en colocar 100 mL de agua destilada en una probeta, se depositaron las 20 semillas en la probeta con agua y se midió el volumen desplazado; después, el volumen se calculó como la diferencia entre el volumen inicial y el desplazado al introducir las 20 semillas; finalmente, se determinó la densidad de las 20 semillas, dividiendo la masa medida de 20 semillas entre su volumen (Garnero, 2012). Una vez concluidas dichas determinaciones, las semillas se secaron y se conservaron en microtubos (Eppendorf™) a temperatura ambiente (27 °C).

Para establecer las características cualitativas externas de las semillas, se seleccionaron de forma aleatoria 100 semillas de cada estadio (N=100 semillas por estadio) y se observaron individualmente con estereoscopio (VanGuard, 1275ZP, China), evaluándose la forma, entrelamado liso, tipo de borde y color de la semilla. El análisis morfológico de la semilla se evaluó seleccionando aleatoriamente 100 semillas de cada estadio (N=100 semillas por estadio) y se determinó el peso de forma individual utilizando la balanza analítica (Velab™, VE-204™, Estados Unidos, con precisión de ± 0.0001 g). Posteriormente, las 100 semillas por cada estadio se colocaron de forma ventral en una hoja milimétrica y se fotografiaron con cámara digital (Nikon Coolpix P510, Japón). Las fotografías se utilizaron para determinar el área, perímetro, largo y ancho de cada semilla por medio del software de procesamiento de imagen digital ImageJ (National Institute of Health, Estados Unidos; <https://imagej.net/ij/index.html>) usando la metodología propuesta por Núñez-Gastélum *et al.* 2018.

Las características morfológicas internas de las semillas se determinaron usando la metodología propuesta por Guerrero-Muñoz *et al.*, 2006. Se seleccionaron 10 semillas de forma aleatoria de cada uno de los estadios (N=10 por estadio) y cuando se obtuvieron los planos medianos mediante frotación de la semilla con lija número 400 (Fig. 1D), se fotografiaron con cámara digital (Nikon Coolpix P510, Japón) y las fotografías se utilizaron para medir el grosor de la testa zona dorsal y ventral, área de la semilla, área del embrión por medio del programa de procesamiento de imagen digital ImageJ (National Institute of Health, Estados Unidos; <https://imagej.nih.gov/ij/index.html>) usando la metodología propuesta por Guerrero-Muñoz *et al.*, 2006. El porcentaje de área de embrión respecto a la semilla se determinó al dividir el área del embrión y el área de la semilla y se multiplicó

por 100. El porcentaje del área de perispermo respecto a la semilla se determinó al dividir el área del perispermo y el área de la semilla y se multiplicó por 100. La relación del grosor de la cubierta funicular zona ventral/zona dorsal se determinó al realizar la división de ambos datos. La relación área semilla/área de embrión se determinó al realizar la división de ambos datos. La relación área semilla/área de perispermo se determinó al realizar la división de ambos datos y la relación área embrión/área perispermo se determinó al realizar la división de ambos datos.

Análisis estadístico

Previo al análisis estadístico los datos se analizaron a través de la prueba de normalidad de las distribuciones de frecuencia propuesta por Shapiro-Wilk. A continuación, las diferencias entre las características morfológicas de los frutos y semillas de los estadios se analizaron mediante ANOVA unidireccional seguido de comparaciones múltiples de medias Tukey para determinar diferencias significativas entre medias. Se aceptó la significación de la diferencia entre los grupos con nivel de confianza de 95 % o superior. Estos análisis estadísticos se realizaron con el programa IBM® SPSS® Statistics versión 23. El análisis de agrupamientos y de componentes principales se realizó para los datos morfométricos de 32 variables morfológicas determinadas para cada estadio usando la aplicación en línea NIA array analysis (<https://lgsun.grc.nia.nih.gov/ANOVA/>) (Sharov *et al.*, 2005).

3. Resultados y discusión

Análisis morfológico del fruto

En el presente estudio se encontraron variaciones en coloración de los frutos de acuerdo con el estadio, hallándose en la misma planta frutos verdes (fruto inmaduro, Fig. 1B - EI), amarillos (frutos maduros, Fig. 1B - EII), ocres (frutos pasados de madurez, Fig. 1B - EIII) y oscuros (frutos secos en proceso de descomposición de la cáscara, Fig. 1B - EIV). En cuanto a la forma es cilíndrica (Fig. 1B - EII), aunque solamente se pudo apreciar cuando la planta estaba hidratada, lo cual suele ocurrir después de eventos de lluvia en el lugar donde se desarrollan y cuando los frutos están maduros. Según las descripciones generales de la coloración de los frutos de *C. spinosior*, los frutos maduros presentan coloraciones amarillas, a veces teñidos de tonalidades rojizas a violáceas (Baker *et al.*, 2012). Así mismo, las características morfológicas de los frutos de los cuatro estadios de *C. spinosior* mostraron que los valores más altos en el perímetro fueron para los estadios EI y EII, sin embargo, para las características del peso, ancho y área de los frutos y peso de la cáscara para EII, en el peso total de semillas para EIII, mientras que el número total de semillas y de semillas flotantes para el EIV. Por el contrario, se obtuvieron los valores más bajos en el peso total, área, perímetro y ancho del fruto, peso de la cáscara y peso total de semillas para el estadio EIV (Tabla 1).

En el presente estudio también se observó que el perímetro, ancho, largo y peso de 20 semillas presentaron coeficiente de variación (CV) menor de 15 %, mientras que el número total de semillas por fruto, volumen y densidad, y número de semillas flotantes presentaron CV mayor del 26 %. Además, en el estadio EIII se observaron los valores de CV más elevados en el peso total, área, ancho, peso de la cáscara y peso total de las semillas por fruto, mientras que EI presentó los valores más elevados para el número de semillas totales por fruto y flotantes. Igualmente, EII tuvo los valores

más elevados para la densidad de 20 semillas. Sin embargo, en el estadio EI se observaron los CV más bajos para las variables del peso total, área, perímetro y ancho del fruto, peso de la cáscara y peso de las 20 semillas (Tabla 1).

Tabla 1. Características morfológicas de los frutos en *C. spinosior*.

Table 1. Morphological characteristics of *C. spinosior* fruits.

Característica	Estadios del fruto			
	EI	EII	EIII	EIV
Peso (g)	6.89±0.65 (9) ^b	11.17±2.5 (23) ^c	5.83±2.15 (37) ^b	2.51±0.34 (14) ^a
Largo (cm)	3.01±0.33 (11) ^a	2.95±0.31 (11) ^a	3.11±0.34 (11) ^a	2.84±0.37 (13) ^a
Ancho (cm)	2.84±0.19 (7) ^b	3.14±0.20 (7) ^c	2.69±0.42 (18) ^b	2.33±0.21 (09) ^a
Área (cm ²)	77.01±8.15 (11) ^b	81.48±10.38 (13) ^c	62.68±13.89 (22) ^b	50.77±7.85 (16) ^a
Perímetro (cm)	10.43±0.58 (6) ^c	10.30±0.68 (06) ^c	9.20±0.91 (10) ^b	8.32±0.84 (10) ^a
Relación largo/ancho	1.19±0.24 (15) ^{ab}	1.08±0.16 (11) ^a	1.19±0.24 (21) ^c	1.22±0.19 (15) ^c
Peso de la cáscara (g)	6.41±0.63 (10) ^c	9.95±2.41 (24) ^d	4.41±1.78(40) ^b	1.73±0.38 (23) ^a
Peso total semillas (g)	0.47±0.32 (68) ^a	1.21±0.37 (30) ^{cd}	1.41±0.91 (64) ^d	0.77±0.20 (26) ^{ab}
No. semillas totales	18.80±17.91 (95) ^a	48.65±20.49 (41) ^{bc}	35.30±14.40 (42) ^b	58.10±17.77 (31) ^c
Volumen de 20 semillas (cm ³)	0.35±0.10 (29) ^a	0.46±0.13 (30) ^a	0.34±0.11 (18) ^a	0.33±0.11 (35) ^a
Peso de 20 semillas (g)	0.37±0.02 (6) ^b	0.36±0.05 (14) ^b	0.36±0.03 (8) ^b	0.26±0.03 (15) ^a
Densidad de 20 semillas (g/cm ³)	1.18±0.51 (44) ^a	0.88±0.36 (42) ^a	1.14±0.20 (24) ^a	0.87±0.3 2(38) ^a
No. semillas flotantes	1.00±1.15 (115) ^a	2.55±1.38 (58) ^a	3.40±1.69 (50) ^a	6.60±4.29 (65) ^b

Los datos se expresan como promedio± desviación estándar (n = 50 por estadio). Entre paréntesis se indica el valor del coeficiente de variación (CV) en porcentaje. La diferencia en las letras dentro de la misma variable indica el resultado de la prueba de medias de Tukey con una diferencia significativa de $p < 0.05$.

Varios estudios arqueobotánicos han demostrado que varias especies de plantas de la familia Opuntioideae han mostrado una estrecha relación con los pobladores del desierto chihuahuense y su proceso de domesticación, debido a que continuamente las plantas han sido seleccionadas con las mejores variaciones en las características morfológicas de los tallos y frutos de estas especies (Reyes-Agüero et al., 2005). Estos estudios han mostrado que las variantes morfológicas de los frutos más variables en el género *Opuntia* fueron el peso de pulpa, grosor de la cáscara y peso de las semillas abortivas (Reyes-Agüero et al., 2005). Aunque en el presente estudio solo se evaluaron las características en una población puntual, también se observó que las variables que mostraron las mayores variaciones fueron las relacionadas al peso de la cáscara, número semillas totales, volumen

y densidad de las 20 semillas y las semillas flotantes. La alta variación observada en el número de semillas por fruto dentro de la especie podría ser una estrategia de reproducción y establecimiento de esta en sitios favorables para su germinación y crecimiento cuando las condiciones climáticas son propicias para ello. Así mismo, estas altas variaciones en las características morfológicas determinadas en el presente estudio sugieren que esta especie es silvestre debido a que estas características fueron similares a las observadas en frutos de varias especies silvestres del género *Opuntia* spp., ya que se ha determinado CV del 16 % para el peso, largo y ancho, pero CV > 41 % para el peso de la cáscara, número de total de semillas por fruto y peso total de las semillas (Reyes-Agüero et al., 2005). Así mismo, los frutos analizados en el presente estudio presentaron valores de las características morfológicas similares a los descritos en otras plantas de otras poblaciones (Anderson, 2001; Reyes-Corral et al., 2022). Sin embargo, los frutos de *C. spinosior* fueron inferiores en tamaño y peso a los determinados para *C. imbricata*, pero mayores a los encontrados para *C. leptocaulis* (Reyes-Corral et al., 2022).

Análisis morfológico externo de la semilla

En el presente estudio también se evaluaron las características cualitativas de las semillas de *C. spinosior*. Los resultados mostraron que las semillas en general presentaron color amarillo pálido, con formas de aplanadas a alabeadas, contorno variable de suborbicular a ovalado y en algunas ocasiones se observaron depresiones grandes y fajas suaves en los cuatro estadios de maduración (Fig. 1C). Así mismo, en el análisis morfológico externo de la semilla se encontró que en el estadio EI y EIII se determinaron los valores más elevados en el peso de las semillas y grosor de la semilla, mientras que en EIV se presentaron los más bajos; mientras que EII y EIII mostraron los valores más elevados en largo, ancho, área y perímetro, sin embargo, EI y EIV exhibieron los valores más bajos en el ancho, área y perímetro; finalmente, mientras que en EIV se presentaron valores bajos en el grosor de la semilla (Tabla 2).

Tabla 2. Características morfológicas externas de las semillas de *C. spinosior*.

Table 2. External morphological characteristics of *C. spinosior* seeds.

Características	Estadios del fruto			
	EI	EII	EIII	EIV
Peso (g)	0.017±0.007 (41) ^{bc}	0.016±0.003 (21) ^b	0.018±0.003 (18) ^c	0.014±0.003 (22) ^a
Largo (mm)	3.80±0.30 (7) ^a	4.18±0.32 (7) ^c	4.20±0.30 (8) ^c	4.04±0.29 (7) ^b
Ancho (mm)	3.83±0.20 (6) ^a	3.87±0.26 (7) ^b	3.90±0.38 (8) ^b	3.74±0.31 (9) ^a
Relación largo/ancho	1.09±0.10 (9) ^a	1.09±0.09 (8) ^a	1.08±0.10 (9) ^a	1.09±0.10 (11) ^a
Área (mm ²)	11.40±1.20 (10) ^a	12.99±1.31 (10) ^b	12.96±1.58 (12) ^b	11.64±1.37 (12) ^a
Perímetro (mm)	12.00±0.60 (5) ^a	12.77±0.64 (5) ^b	12.74±0.78 (6) ^b	12.08±0.71 (6) ^a
Grosor (mm)	1.98±0.12 (6) ^{bc}	1.99±0.12 (6) ^b	2.04±0.11 (5) ^c	1.92±0.12 (6) ^a

Los datos se expresan como promedio ± desviación estándar (n = 100). Entre paréntesis se indica el valor del CV en porcentaje. La diferencia en las letras dentro de la misma variable indica el resultado de la prueba de medias de Tukey con una diferencia significativa de $p < 0.05$.

En el presente estudio también se observó que las variables morfológicas analizadas para las semillas fueron de menor variabilidad que aquellas evaluadas para los frutos. El largo, área, perímetro y grosor de las semillas de los cuatro estadios presentaron $CV < 12 \%$, mientras que el peso presentó las mayores variaciones con $CV > 18 \%$. Cuando se compararon los CV por estadio, estos fueron homogéneos en todas las características analizadas excepto en el peso de las semillas del estadio EI (Tabla 2).

Los pesos y tamaños de las semillas de algunas especies del género *Cylindropuntia* se han estudiado previamente de una manera general (Anderson, 2001; Reyes-Corral et al., 2022). Según Reyes-Corral et al. (2022), las semillas de *C. spinosior* pesan 0.018 g, miden 4.20 mm de longitud, 3.8 mm de diámetro, 13.4 mm² de área y 12.9 mm de perímetro, siendo semejantes a los determinados en los diferentes estadios evaluados en el presente estudio, aunque estos autores no consideraron el grosor de las semillas. Además, estos autores encontraron que las características morfológicas de las semillas de *C. spinosior* fueron más semejantes a las semillas de *C. imbricata* (Reyes-Corral et al., 2022).

No obstante, si comparamos las características morfológicas de las semillas de *C. spinosior* con respecto a otras especies del orden Opuntioideae, los resultados para el peso, largo y ancho de las semillas fueron inferiores a los encontrados para *O. polyacantha* y *O. phaeacantha*, similares a los de *O. macrocentra* y superiores a los de *O. engelmannii* (Núñez-Gastélum et al., 2018). Igualmente, el largo y ancho de las semillas definidas en el presente estudio fueron inferiores a las observadas para *O. ficus-indica*, *O. rastrera* y *O. megacantha*; sin embargo, fueron superiores a las determinadas para *O. stenopetala*, *O. durangensis*, *O. engelmannii* y *O. microdasys* (González-Cortés et al., 2019). En cuanto al área de las semillas fue similar a *O. phaeacantha*, *O. macrocentra* y *Opuntia* spp. (Guerrero-Muñoz et al., 2006; Núñez-Gastélum et al. 2018). Estos resultados fueron similares a los valores bajos en el CV, determinados para las variables de la longitud y ancho de semillas de *Opuntia* spp., *O. polyacantha*, *O. engelmannii*, *O. phaeacantha* y *O. macrocentra* (Reyes-Agüero et al., 2005; Núñez-Gastélum et al., 2018). Con respecto al área de la semilla, los resultados determinados en el presente estudio fueron similares a los valores observados para las áreas de las semillas de *O. polyacantha*, *O. phaeacantha* y *O. macrocentra*, sin embargo, el valor determinado para *O. engelmannii* fue superior a los encontrados en el presente estudio (Núñez-Gastélum et al., 2018). Del mismo modo, las variaciones en los CVs encontrado para el área de la semilla de 24 genotipos de *Opuntia* spp. fueron semejantes a los encontrados en el presente estudio (Guerrero-Muñoz et al., 2006).

Por lo tanto, los resultados obtenidos del peso y el tamaño de las semillas de *C. spinosior* justifican la categorización de las semillas de esta especie como pesadas y de tamaño grande siendo similares a varias especies del género *Opuntia* (Reyes-Corral et al., 2022). Algunos estudios han hipotetizado que las especies que presentan semillas grandes y de mayor masa, volumen, y densidad tendrían una menor capacidad de dispersión, sin embargo, las semillas grandes y pesadas tienen la ventaja de formar bancos terrestres que tendrán mayores posibilidades de germinar en condiciones óptimas (Venable y Brown, 1988; Zammit y Zedler, 1990). Además, las semillas grandes podrían aportar otras ventajas ecológicas en el proceso de germinación como la aportación de mayores nutrientes, aunque tendrían una tasa de germinación lenta, pero con un mejor establecimiento de las plántulas (Baloch et al., 2001). En el presente estudio se ha observado que las mejores características morfológicas de los frutos y semillas fueron las encontradas en el estadio III, por lo tanto, en un futuro, los frutos en este estadio de maduración podrían ser la fuente para la recolecta de las semillas para generar los programas de conservación *ex situ* para *C. spinosior*.

Análisis morfométrico interno de la semilla

El análisis estadístico de las características internas de la semilla mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el grosor de la cubierta funicular de la zona dorsal y ventral, área y perímetro del embrión, y del perispermo. El estadio EI presentó los valores más elevados en el grosor de la testa dorsal y ventral, mientras que EII mostró los más bajos. Por otro lado, las semillas de EIV exhibieron los valores más elevados en el área y perímetro del embrión y del perispermo, mientras que EIII tuvieron los más bajos (Tabla 3).

Tabla 3. Características morfológicas de las estructuras internas de las semillas de *C. spinosior*.
Table 3. Morphometry characteristics of internal structures of *C. spinosior* seeds.

Características	Estadios del fruto			
	EI	EII	EIII	EIV
Grosor de la testa zona dorsal (mm)	0.54±0.05 (9) ^b	0.44±0.09(20) ^a	0.48±0.05(10) ^a	0.48±0.05(10) ^a
Grosor de la testa zona ventral (mm)	1.03±0.27 (26) ^b	0.66±0.11 (17) ^a	0.72±0.11(4) ^a	0.78±0.11(3) ^a
Área del embrión (mm ²)	3.11±0.65 (21) ^a	3.42±0.31 (9) ^{ab}	3.06±0.59(19) ^a	3.77±0.58(15) ^c
Perímetro del embrión (mm)	9.07±1.28 (14) ^a	10.34±0.59 (6) ^b	8.54±1.35(16) ^a	10.41±1.32(13) ^b
Área del perispermo (mm ²)	0.70±0.17 (24) ^a	0.81±0.12 (15) ^a	0.73±0.18(25) ^a	0.97±0.2(21) ^b
Perímetro del perispermo (mm)	3.22±0.41 (13) ^{ab}	3.42±0.20 (6) ^b	2.93±0.71(24) ^a	3.61±0.32(9) ^b
Porcentaje de área de embrión respecto a la semilla (%)	34.89±4.81 (14) ^a	37.43±3.56 (10) ^a	35.01±7.91(23) ^a	39.11±5.44(14) ^a
Porcentaje de área de perispermo respecto a la semilla (%)	8.06±2.28 (28) ^a	8.86±1.35 (15) ^a	8.38±2.31(28) ^a	10.05±1.88(19) ^a
Relación grosor de la cubierta funicular zona ventral/zona dorsal	1.95±0.65(33) ^a	1.52±0.21(14) ^a	1.53±0.31(20) ^a	1.63±0.24(15) ^a
Relación área semilla/área de embrión	2.91±0.39(13) ^a	2.7±0.26(10) ^a	3.02±0.82(27) ^a	2.62±0.49(19) ^a
Relación área semilla/área de perispermo	13.55±4.44(33) ^a	11.54±1.79(16) ^a	12.6±2.79(22) ^a	10.23±1.64(16) ^a
Relación área embrión/área perispermo	4.76±1.81(38) ^a	4.3±0.71(17) ^a	4.45±1.42(32) ^a	4.04±1.02(25) ^a

Los datos se expresan como promedio±desviación estándar (n = 10). Entre paréntesis se indica el valor del CV en porcentaje. La diferencia en las letras dentro de la misma variable indica el resultado de la prueba de medias de Tukey con una diferencia significativa de $p < 0.05$.

Aunque no existe información relacionada a las características morfológicas internas de la semilla de *C. spinosior*, se ha documentado que en especies cercanas como las del género *Opuntia*, la testa presenta un tamaño pequeño y tiene una forma ovalada, mientras que el embrión tiene forma de espiral alrededor de un perispermo plegado fuertemente (Stuppy, 2002). Así mismo, varios autores han encontrado que los rasgos internos de las semillas presentan una estrecha relación con la imbibición del agua en el proceso germinativo y el tipo de dormancia en las semillas (Baskin & Baskin, 2014; González-Cortés et al. 2018). Estas características son factores para tomar en cuenta en la conservación *ex situ* de estas especies. Los resultados encontrados en el presente estudio para grosor de la testa, cubierta funicular ventral y área de las semillas fueron inferiores a los determinados en *O. ficus-indica*, *O. rastrera* y *O. megacantha* (González-Cortés et al., 2019). Igualmente, el grosor de la testa ventral de 24 genotipos de *Opuntia* spp. fue mayor a los obtenidos en el presente estudio, pero con variaciones en el CV, semejantes a los observados para los estadios EI y EII, pero menores a los encontrados para EIII y EVI (Guerrero-Muñoz et al., 2006). Estos autores también encontraron porcentajes de área de embrión respecto a la semilla del 36.2 % al 53.6 %, siendo mayores a los obtenidos para EI y EIII; finalmente, las variaciones en CV del porcentaje de área del embrión respecto a la semilla fueron en general inferior a los encontrados en el presente estudio (Guerrero-Muñoz et al., 2006).

Análisis de agrupamiento y de componentes principales

En el presente estudio el análisis de agrupamiento mostró que los estadios de maduración EII y EIII fueron los más semejantes en cuanto a características morfológicas del fruto y semillas, agrupándose junto a ellos el estadio EI, pero a una distancia considerable, y, por último, el estadio EIV fue el más distante en el análisis (Fig. 2A).

Además, el análisis de los componentes principales (CP) determinó que 95 % de la variabilidad total se explicó por los dos primeros CP (Fig. 2B). El CP1 explicó 71.8 % de toda la variación, donde el peso de la cáscara (Fig. 3A) y peso total del fruto (Fig. 3B) se correlacionaron negativamente con este componente, mientras que el número de semillas flotantes (Fig. 3C) y número total de semillas por fruto (Fig. 3D) se correlacionaron positivamente. El CP2 explicó 23.1 % de la variación total, correlacionándose negativamente con este componente, el peso total de las semillas por fruto (Fig. 3E).

El análisis de agrupamiento y componentes principales ha sido utilizado en los estudios de la subfamilia Opuntioideae principalmente para la caracterización morfológica de cladodios, frutos y semillas (Reyes-Agüero et al., 2005; González-Muñoz et al., 2006). El análisis multivariado de las características morfológicas de las semillas y frutos de diferentes especies del género *Opuntia* ha permitido establecer niveles de domesticación, debido a que se ha observado que, a mayor grado de domesticación de las especies de este género, los frutos contienen mayor número de semillas abortadas y menor tamaño (López-Palacios et al., 2019). Así mismo, el tamaño, longitud y grosor de la testa de las semillas se han establecido como criterios de selección para la explicación de la diversidad en el género *Opuntia* (López-Borja et al., 2017; González-Cortés, 2019).

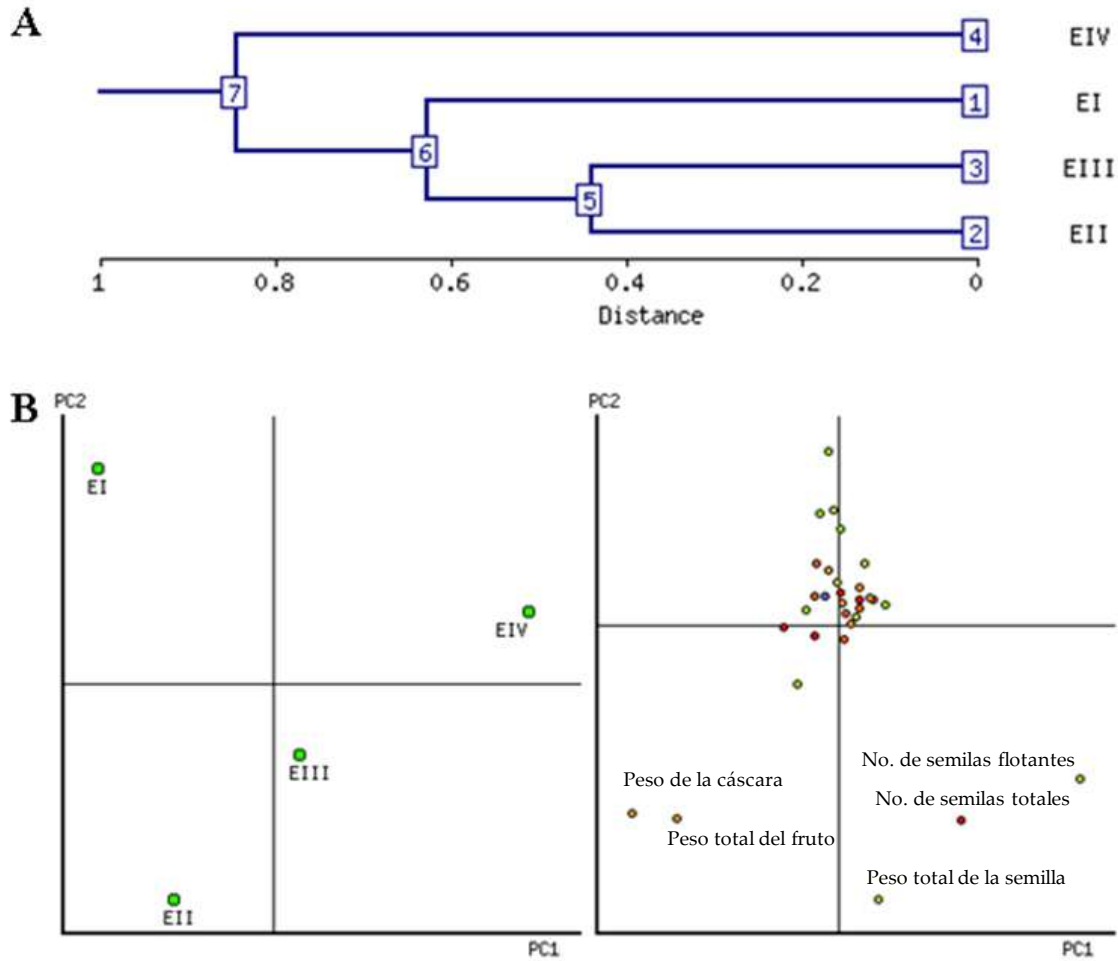


Fig. 2. Análisis de agrupamiento (A) y de componentes principales (B) de las variables morfológicas de los frutos y semillas en *C. spinosior*.

Fig. 2. Analysis of grouping (A) and principal components (B) of the morphological variables of fruits and seeds in *C. spinosior*.

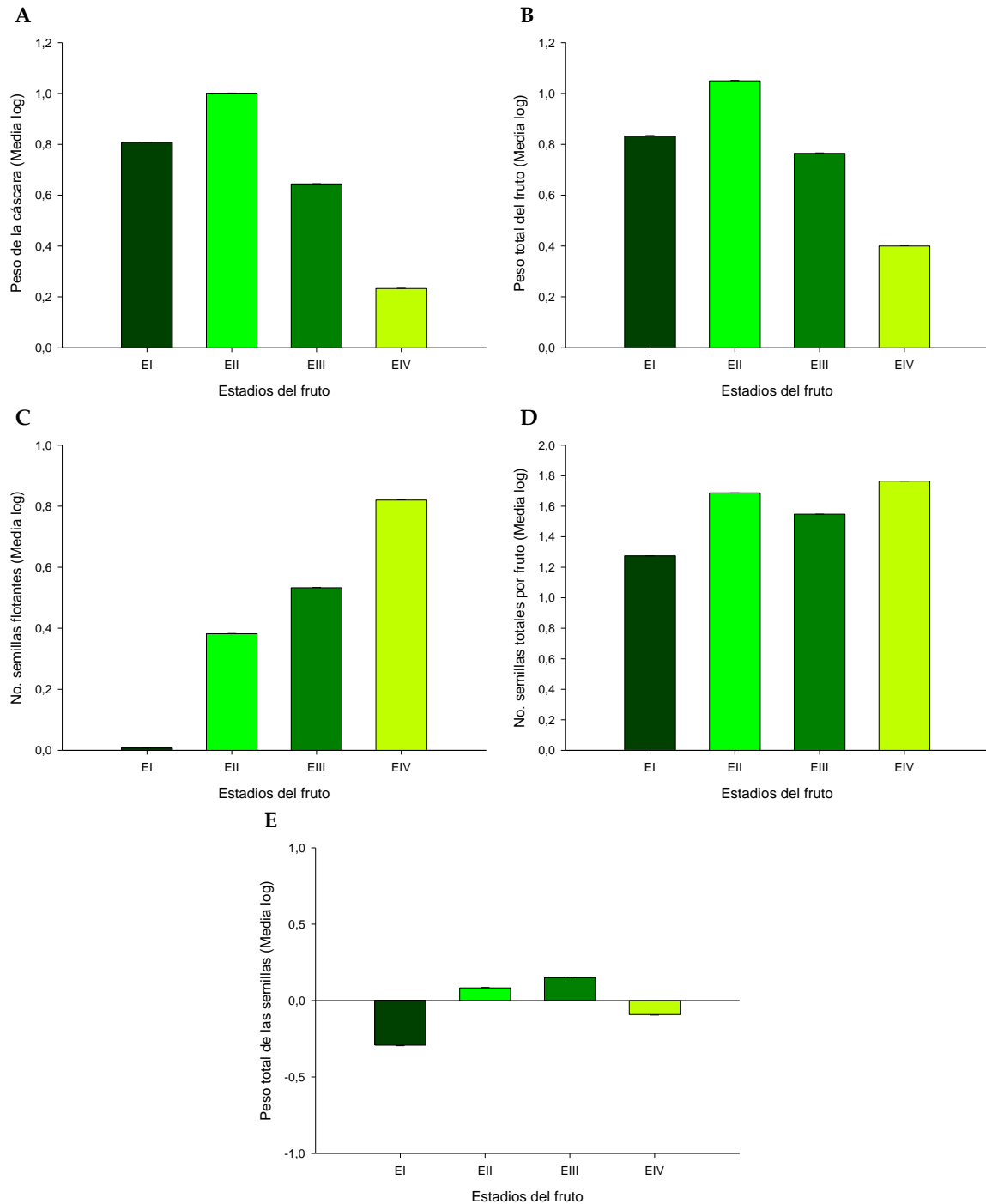


Fig. 3. Características de las semillas que contribuyeron fuertemente a la variabilidad total en el análisis de componentes principales. Peso de la cáscara de la semilla (A), peso del fruto (B), número de semillas flotantes (C), número de semillas totales por fruto (D) y peso total de las semillas (E).

Fig. 3. Seed characteristics that strongly contributed to total variability in principal component analysis. Seeds weight (A), fruit weight (B), number of floating seeds (C), number of total seeds per fruit (D) and total seed weight (E).

4. Conclusiones

Se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en las características morfométricas entre los frutos de los cuatro estadios siendo las variables del peso, ancho, relación largo y ancho, área, perímetro, peso de la cáscara, peso total de las semillas, el número total de semillas, peso de 20 semillas, y no. semillas flotantes las de mayor variación. Así mismo, se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en las características morfométricas de externas de las semillas de los cuatro estadios, siendo las variables que presentaron las mayores diferencias el peso, largo, ancho, área, perímetro y grosor. Del mismo modo, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en las características morfométricas internas de la semilla de los cuatro estadios siendo las variables que presentaron las mayores diferencias el grosor de la testa de la zona dorsal y ventral, área y perímetro del embrión, y del perispermo. Sin embargo, en el porcentaje de área de embrión respecto a la semilla, el porcentaje del área de perispermo respecto a la semilla, la relación del grosor de la cubierta funicular zona ventral/zona dorsal, la relación área semilla/área de embrión, la relación área semilla/área de perispermo y la relación área embrión/área perispermo no se observaron diferencias estadísticas significativas para los cuatro estadios del fruto. El análisis de agrupamiento y componentes principales de las 32 variables analizadas mostró que el estadio II y estadio III presentaron las características morfológicas similares, mientras que el estadio IV fue el que presentó las características más variables. Este análisis permitió concluir que las variables que mostraron las mayores variaciones para los cuatro estadios de desarrollo del fruto fueron el peso del fruto y cáscara, el número de semilla totales, número de semillas flotantes y el peso total de las semillas. Estas características morfológicas determinadas en el presente estudio sugieren que esta especie todavía no está domesticada. Estos resultados podrían ayudar en futuros estudios ecológicos basados en la caracterización e identificación de esta especie cuando sólo se dispone de los frutos y semillas. Además, sienta las bases para estudios posteriores sobre la reproducción por semilla de *C. spinosior*.

Agradecimientos

El presente estudio fue realizando con el apoyo de la infraestructura del Laboratorio de Reproducción T-122 del Departamento de Ciencias Químico Biológicas del Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Conflicto de interés

Los autores no tienen conflicto de intereses en la publicación de estos resultados.

5. Referencias

Anderson, E.F. (2001). *The cactus family*. Timber Press. ISBN, 0881924989

- Baker, M., Parfitt, B.D. & Rebman, J. (2012). *Cylindropuntia*. In B.G. Baldwin, D. Goldman, D.J., Keil, R., Patterson, T.J., Rosatti, & Dieter W.D. (Eds.), *The Jepson Manual. Vascular Plants of California* (2nd ed.). University of California Press. California. ISBN: 9780520253124
- Baloch, H. A., Ditomasso, A. & Watson, A. K. (2001). Intrapopulation variation in *Abutilon theophrasti* seed mass and its relationship to seed germinability. *Seed Science Research* 11(4): 335-343. <https://bit.ly/3RB2JRX>
- Baskin, J.M. & BASKIN, C. C. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, 14(1): 1-16. <https://doi.org/10.1079/SSR2003150>
- Cid, A., González-Fernández, R. & Valero-Galván, J. (2021). Growth promoting effect on the mycelia of *Fusarium* sp. and *Aspergillus* sp. *in vitro* condition of aqueous and ethanolic extracts from two species of *Cylindropuntia*. *Tecnociencia Chihuahua* 14: 126-141. <https://doi.org/10.54167/tch.v14i3.641>
- Coutiño-Laguna, B. del C.C., Flores-Gallegos, A.C., Ascacio-Valdés, J. A., Iliná, A., Galindo, A.S., Castañeda Facio, A.O., Esparza González, S.C. & Herrera, R. R. (2022). Physicochemical and functional properties of the undervalued fruits of cactus *Cylindropuntia imbricate* ("xoconostle") and antioxidant potential. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 39: 102245. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102245>
- Flores, M.E. & Engleman, E.M. (1978). Apuntes sobre anatomía y morfología de las semillas de cactáceas I: Desarrollo y estructura. *Revista de Biología Tropical* 24(2): 199-227. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/25882>
- Garnero, S. (2012). *Calidad intrínseca de los granos en la postcosecha*. (Tesis de Maestría en Tecnología de Alimentos). Universidad Tecnológica Nacional. http://www.edutecne.utn.edu.ar/tesis/calidad_intrinseca_granos.pdf
- González-Cortés, A., Reyes-Valdés, M. H., Torres, V., Villarreal-Quintanilla, J. A. & Ramírez-Godina, F. (2018). Pre-germination treatments in four prickly pear cactus (*Opuntia* sp.) species from Northeastern Mexico. *Australian Journal of Crop Science* 12(10): 1676-1684. <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.10.pne1430>
- González-Cortés, A., Ramírez-Godina F., Reyes-Valdés M. H., Robledo-Torres V., Pérez-Rodríguez M. Á., Villarreal-Quintanilla J. A. & López-Benítez, A. (2019). Morfología de semillas de siete especies del género *Opuntia* (Cactaceae) del sureste de Coahuila (México). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 54(4): 1-10. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v54.n4.23572>
- Guerrero-Muñoz, P., Barrientos-Priego, A., Axayacatl, J., Gallegos-Vázquez, C., Colín, C., Valadez-Moctezuma, E. & Zavaleta-Mancera, H. (2006). Técnica para el estudio de la micromorfología interna de semillas duras en opuntia. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29(2): 37-49. https://doi.org/10.35196/rfm.2006.Especial_2.37
- Guzmán, U., Arias, S. & Dávila, P. (2003). *Catálogo cactáceas mexicanas*. Universidad Autónoma de México. CONABIO, México. <https://www.worldcat.org/es/title/catalogo-de-cactaceas-mexicanas/oclc/948238461>
- Hunt, D. (2016). CITES. *Cactaceae Checklist* (3rd ed.). Royal Botanic Gardens Kew & International Organization for Succulent Plant Study. <https://www.kew.org/sites/default/files/2019-02/CITES%20Cactaceae%20Checklist%20Third%20Edition.pdf>

- López-Borja, E. N., Romo-Campos, R. L., Arreola-Nava, H. J., Muñoz-Urías, A. & Loza-Cornejo, S. (2017). Variación morfológica en *Opuntia jaliscana* (Cactaceae). *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 74: 1-11. <https://www.redalyc.org/pdf/556/55651825012.pdf>
- López-Palacios, C., Peña-Valdivia, C. B., Reyes-Agüero, J.A., Aguirre-Rivera, J.R., Ramírez-Tobías, H.M., Soto-Hernández, R.M. & Jiménez-Bremont, J.F. (2015). Inter- and intra-specific variation in fruit biomass, number of seeds, and physical characteristics of seeds in *Opuntia* spp., Cactaceae. *Genetic Resources and Crop Evolution* 62: 1205-1223. <https://doi.org/10.1007/s10722-015-0223-9>
- López-Palacios, C., Reyes-Agüero, J. A., Peña-Valdivia, C. B. & Aguirre-Rivera, J. R. (2019). Physical characteristics of fruits and seeds of *Opuntia* sp. as evidence of changes through domestication in the Southern Mexican Plateau. *Genetic Resources and Crop Evolution* 66: 349-362. <https://doi.org/10.1007/s10722-018-0712-8>
- Núñez-Gastélum, J. A., González-Fernández, R., Hernández-Herrera, A., Campas-Baypoli, O., Rodríguez-Ramírez, R., Lobo, N. & Valero-Galván, J. (2018). Morphological characteristics, chemical composition, and antioxidant activity of seeds by four wild *Opuntia* species from North of Mexico. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 20: 23-33. <https://doi.org/10.56890/jpacd.v20i.26>
- Pinto, N. C. & Scio, E. (2014). The biological activities and chemical composition of *Pereskia* species (Cactaceae). A Review. *Plant Foods for Human Nutrition* 69: 189-195. <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0423-z>
- Reyes-Agüero, J. A., Aguirre Rivera, J. R. & Flores-Flores, J. L. (2005). Variación morfológica de opuntia (Cactaceae) en relación con su domesticación en la altiplanicie meridional de México. *Interciencia* 30(8): 476-484. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33910706>
- Reyes-Corral, V.I., González-Fernández, R., Quiñónez-Martínez, M., Rodrigo-García, J., Garza-Vallejo, G. I. & Valero-Galván, J. (2022). Characterization of the morphometry, germination process, phytochemicals, and antioxidant capacity of seeds of three species of the genus *Cylindropuntia* (Cactaceae) of Chihuahua state. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 24: 251-268. <https://doi.org/10.56890/jpacd.v24i.506>
- Sharov, A. A., Dudekula, D. B. & Ko, M. S. H. (2005). A web-based tool for principal component and significance analysis of microarray data. *Bioinformatics* 21(10): 2548-2549. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bti343>
- Stuppy, W. (2002). Seed characters and the classification of the Opuntioideae (Cactaceae). *Succulent Plant Research* 6: 25-58. <https://bit.ly/48uzndR>
- Valero-Galván, J., González-Fernández, R., Sigala-Hernández, A., Núñez-Gastélum, J. A., Ruiz-May, E., Rodrigo-García, J. & Martínez-Ruiz, N. D. R. (2021). Sensory attributes, physicochemical and antioxidant characteristics, and protein profile of wild prickly pear fruits (*O. macrocentra* Engelm., *O. phaeacantha* Engelm., and *O. engelmannii* Salm-Dyck ex Engelm.) and commercial prickly pear fruits (*O. ficus-indica* (L.) Mill.). *Food Research International* 140:109909. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109909>
- Venable, D. L. & Brown, J. S. (1988). The selective interactions of dispersal, dormancy, and seed size as adaptations for reducing risks in variable environments. *The American Naturalist* 131(3): 360-384. <https://www.jstor.org/stable/2461975>

Viramontes, O., Lebgue, K.T., Soto, C.R., Quiñones, M. M., Balderrama, C.S. & Aviña, D. Y. (2011). Cactáceas endémicas y raras del Estado de Chihuahua, México. *Tecnociencia Chihuahua* 5(1):27-33. <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/704>

Zammit, C. & Zedler, P. H. (1990). Seed yield, seed size, and germination behaviour in the annual *Popogyne abramsii*". *Oecologia* 84: 24-28. <https://doi.org/10.1007/bf00665590>

2023 TECNOCENCIA CHIHUAHUA

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



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

Remoción de arsénico en agua con zeolitas naturales provenientes del norte y centro de México

Arsenic removal in water with natural zeolites from northern and
central Mexico

Luis Humberto Colmenero-Sujo¹, María de Lourdes Villalba^{2*}

¹ Instituto Tecnológico de México. Instituto Tecnológico de Chihuahua II. Av. de las Industrias 11101, Complejo Industrial Chihuahua, 31130 Chihuahua, Chih.

² Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ingeniería. Circuito Número I s/n, Nuevo Campus Universitario, Nte. 2, 31125 Chihuahua

*Correspondencia: mvillalb@uach.mx (María de Lourdes Villalba)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v17i3.1261>

Recibido: 19 de junio de 2023; Aceptado: 05 de septiembre de 2023

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

Editora de Sección: Dra. Alicia Melgoza Castillo

Resumen

Adsorción e intercambio iónico son consideradas como las técnicas efectivas y factibles para remover metales pesados del agua. Investigaciones recientes han reportado el uso de zeolitas para remover arsénico del agua. En México se han identificado grandes yacimientos de este mineral, tanto en el norte, centro y sur del país, con diferencias importantes debido al ambiente geológico e influencia ambiental donde se encuentran. El objetivo fue conocer la remoción de arsénico en agua que presentan las zeolitas naturales provenientes del norte y centro de México. Se seleccionaron dos yacimientos uno en el estado de Chihuahua (MACH) y otro en el estado de Guanajuato (MSF). Se caracterizaron geológica, física y químicamente mediante diferentes técnicas: petrografía (láminas delgadas), difracción de rayos X (DRX) y microscopía electrónica de barrido (MEB). Se realizaron isotermas de adsorción, cinética de adsorción, finalmente se midió la capacidad de adsorción mediante columnas empacadas. Los minerales presentaron diferente composición (tipo y proporción de zeolitas), así como la relación Si/Al. Las pruebas de isotermas de adsorción, cinética de adsorción y columnas empacadas demostraron la capacidad de remoción de cada material, siendo la zeolita proveniente del centro de México que ofrece mayor retención por intercambio iónico.

Palabras clave: contaminación, adsorción, intercambio iónico.

Abstract

Adsorption and ion exchange are considered to be the most effective and feasible techniques for removing heavy metals from water. Recent research has reported the use of zeolites to remove arsenic from water. In Mexico, large deposits of this mineral have been identified in the north, center and south of the country, with important differences due to the geological setting and environmental influence where they are found. The objective was to know the arsenic removal in water of natural zeolites from northern and central Mexico. Two deposits were selected, one in the state of Chihuahua (MACH) and the other in the state of Guanajuato (MSF). They were characterized geologically, physically and chemically by different techniques: petrography (thin films), X-ray diffraction (XRD) and scanning microscopy (SEM). Adsorption isotherms, adsorption kinetics and finally the adsorption capacity was measured using packed columns. The minerals presented different composition (type and proportion of zeolites), as well as the Si/Al ratio. The adsorption isotherm tests, adsorption kinetics and packed columns demonstrated the removal capacity of each material, with the zeolite from central Mexico offering the highest retention by ion exchange.

Keywords: pollution, adsorption, ion exchange

1. Introducción

Adsorción e intercambio iónico han sido consideradas como técnicas efectivas y factibles para la eliminación de metales pesados. La adsorción permite la concentración de una o más especies en la superficie de otra, ya sea en fase sólida o líquida (Prato *et al.* 2021), tal es el caso del paso del agua a través del contacto con un lecho en los cuales los metales pesados son removidos por una serie de reacciones superficiales (Kyoziol-Komosinska *et al.* 2015). En tanto que la remoción por intercambio iónico se lleva a cabo mediante materiales insolubles y de textura porosos que contienen grupos reactivos asociados a iones lábiles capaces de intercambiarse con el medio que los rodea, se basa en los equilibrios de reparto de los iones de las mezclas entre el material adsorbente y la disolución (Pabón *et al.* 2020; Bilbao-Chávez *et al.* 2019). Las zeolitas son minerales cristalinos de aluminosilicatos que presentan éstas y otras características que las hacen un material prometedor para la remoción de iones de metales pesados en agua. Es un sólido, inorgánico y poroso, con una estructura tetraédrica, su centro está ocupado por un átomo de silicio (Si) o aluminio (Al) con cuatro átomos de oxígenos en los vértices, provocando una carga negativa en la estructura, esta carga es compensada por cationes metálicos. En sus canales y cavidades se encuentran moléculas de agua y cationes (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2}) que permite el intercambio de iones y procesos de deshidratación (De la Vega *et al.* 2018). Su área superficial y volúmenes de poro le proporcionan una elevada capacidad de adsorción (Moliner *et al.* 2015). Parámetros como la temperatura ambiental, valencia iónica, concentración de electrolitos, tamaño y forma de iones influye en el intercambio catiónico y afinidad de las zeolitas naturales con ciertos metales pesados (Velarde *et al.* 2023).

Investigaciones recientes han reportado el uso de zeolitas naturales para la remoción de arsénico en agua (González-Chávez *et al.* 2023). La existencia de este material depende del ambiente geológico, las elevadas temperaturas causadas por el gradiente geotérmico (magmáticas o primarias), metamorfismo, hidrotermal de contacto y por diagénesis, superficies influenciadas por gradientes químicos (filtración de agua, meteorización y depósitos salinos de lago y alcalinos), bajas

temperaturas en ambientes marinos y las que se forman en cráteres de impacto (<https://geologiaweb.com/minerales/zeolitas/2020>).

En México se han identificado yacimientos de zeolitas formados en depósitos con afinidad sedimentaria y otros con carácter ígneo en 17 estados distribuidos en el norte, centro y sur del país (Paredes *et al.* 2013; Chávez-Aguirre *et al.* 2019). En el norte, el estado de Chihuahua cuenta con zonas volcánicas donde existen volúmenes grandes de zeolitas del tipo clinoptilolita, illitamonmorillonita, cristobalita y heulandita (Novo y Castrafreda, 2018). En el Municipio de Aldama existe yacimientos de minerales no metálicos que tiene amplias perspectivas de ser considerados como una de las principales fuentes de desarrollo minero, donde se ubica una gran cantidad de material zeolítico de mediana y alta calidad (SMG, 2006). En el centro, el estado de Guanajuato también es reconocido por su riqueza mineral tanto metálico como no metálico, y donde se ha encontrado diversas especies de zeolitas (CRM, 2004). En el municipio de San Felipe, Guanajuato, existe un reconocido yacimiento con formaciones zeolitizadas producto de rocas ácidas que originalmente esas tobas riolíticas sufrieron alteración hidrotermal (<http://sde.guanajuato.gob.mx>, 2009).

Existen diversas técnicas para remover arsénico del agua como la coagulación, osmosis inversa, precipitación, adsorción e intercambio iónico. Sin embargo, la mayoría de ellas presentan desventajas como producción de lodos y altos costos (Pabón *et al.* 2020). Las zeolitas naturales por su parte han resultado ser una alternativa, viable y económica por su capacidad de adsorción e intercambio iónico, abundancia y bajo costo de extracción.

El objetivo fue conocer la eficiencia de la remoción de arsénico en agua que presentan las zeolitas naturales del norte y centro de México mediante la evaluación de isothermas de adsorción, cinética de adsorción y medición de la capacidad de adsorción por columnas empacadas, así como también conocer sus características geológicas, física y química por diferentes técnicas: petrografía (láminas delgadas), difracción de rayos X (DRX) y microscopía electrónica de barrido (MEB).

2. Materiales y métodos

2.1. Yacimientos zeolíticos norte y centro de México

El muestreo de zeolita natural se llevó a cabo en los Municipios de Aldama, Chihuahua (MACH) en el yacimiento ubicado en el Rancho La Otra Banda UTM 412135 m E 3187269 m N y en San Felipe, Guanajuato (MSF) en el yacimiento ubicado UTM 282097 m E, 2399946 m N (Fig 1).

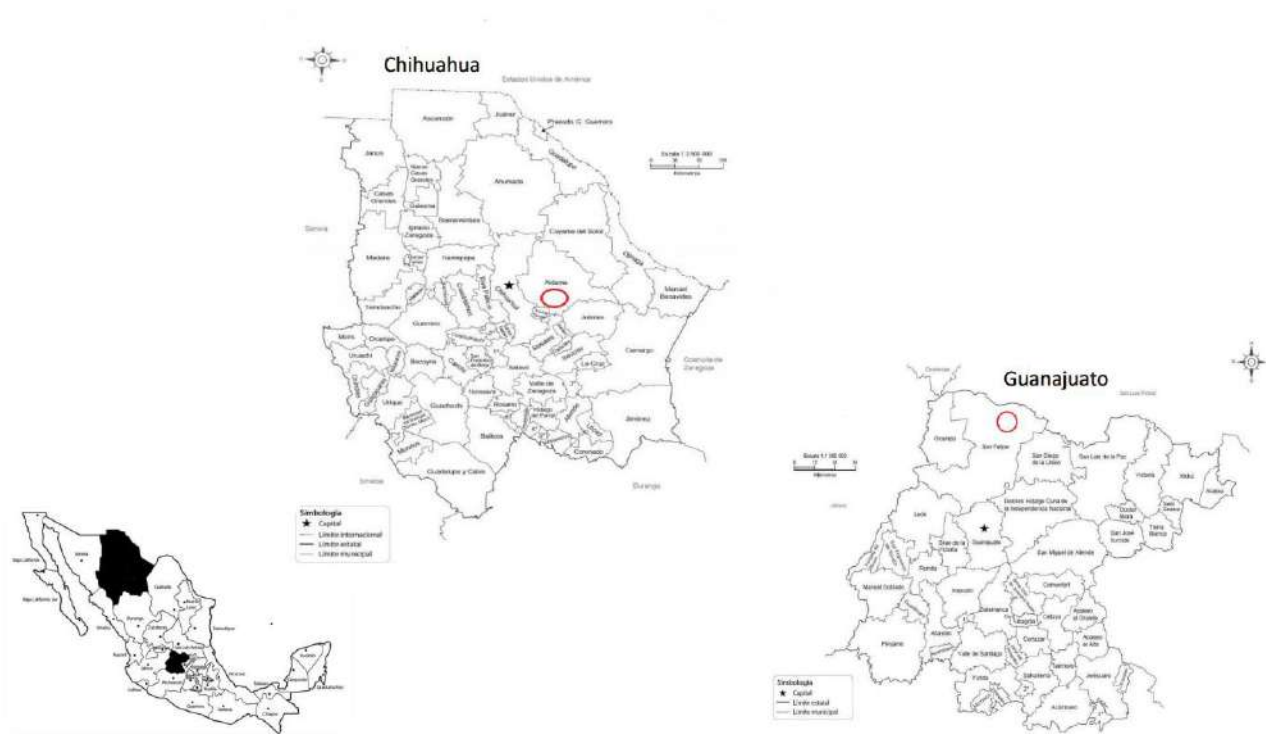


Figura 1. Ubicación de los yacimientos de zeolitas en los estados de Chihuahua y Guanajuato
Figure 1. Location of the zeolite deposits in the states of Chihuahua and Guanajuato.

2.2. Métodos

El tamaño de ambos materiales se redujo hasta un tamaño de grano de 1.7 a 0.6 mm (mallas #12 y # 30). Se saturó con agua destilada por un periodo de 24 horas para eliminar el polvo y la materia orgánica. Se retiró el exceso de agua y se secó en el horno por 72 horas a 100°C. Cada muestra se analizó su composición geológica mediante estudio petrográfico por la técnica de láminas delgadas utilizando un microscopio óptico de luz polarizada, estructura, distribución de poro, volumen y tamaños mediante un equipo de Difracción de Rayos X (DRX), marca Panalytical Modelo X' Pert PRO, Siemens D5000, operando a una radiación Cu-K α de 0.154 nm (monocromador de grafito) y con un equipo de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) marca JEOL 6010 Plus, modo de imagen de electrones secundarios y retrodispersionados. Ambos equipos pertenecientes al Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) de Chihuahua.

2.4. Isotermas de adsorción

En 6 recipientes de vidrio se agregó un 1 g de zeolita con 35 ml de solución acuosa de As⁺⁵ a 30°C, la concentración de los recipientes varió de 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 y 2.0 mg L⁻¹, se agitaron a 200 rpm durante 24 horas. Posteriormente se filtraron y se determinó la concentración final mediante un

equipo de Espectrometría Absorción Atómica marca Perkin Elmer Analyst 700. Este procedimiento se realizó para las zeolitas.

2.5. Cinética de adsorción

En 16 recipientes se colocó 35 ml de solución de As^{+5} con concentración de 0.025 mg L^{-1} , se dividieron en 4 grupos que se les agregó diferente cantidad de zeolita; al primer grupo se le añadió un 1 g al segundo 2 g, al tercero 3 g y finalmente al cuarto 4 g, se agitaron constantemente, cada grupo se retiró a diferentes tiempos 12, 24, 36 y 48 horas respectivamente. Este procedimiento se realizó para ambas zeolitas.

2.6. Columnas de Adsorción

Se utilizaron columnas de acrílico transparente con diámetro interno de 4 cm y una longitud de 50 cm. Se empacaron las columnas con 800 g de zeolitas de manera independiente realizándose 8 corridas por columna con una solución de 2.5 mg L^{-1} de As^{+5} . Se tomaron muestras al final de cada corrida, se filtraron y se determinó la concentración por Espectrometría de Absorción Atómica.

Cabe mencionar que las concentraciones de As de las evaluaciones de las isothermas de adsorción, cinética de adsorción y medición de la capacidad de adsorción por columnas empacadas se empleo el estándar As^{+5} de $1000 \pm 5 \text{ mg L}^{-1}$ marca Merck, cada procedimiento se realizo por duplicado para ambas zeolitas.

3. Resultados y discusión

3.1. Características geológica, física y química de las zeolitas

La petrografía mostró la diferencia entre las zeolitas, la del estado de Chihuahua fue de color blanco lechoso con minerales principales (cuarzo, plagioclasa, biotita, albita y montmorillonita) de origen volcánico (rocas ígneas extrusivas) y la del estado de Guanajuato presentó un color blanco lechoso con horizontes amarillos, minerales (cuarzo, plagioclasa, detrito riolítico y sideronatríta), génesis producto de transporte sedimentario. El patrón de DRX de la muestra MACH presentó una fase mineral mayormente de mizzonita cuya fórmula es $C_{0.83}Al_{5.32}Ca_{2.68}Cl_{0.02}K_{0.44}Mg_{0.12}Na_{0.76}O_{27.09}S_{0.15}Si_{6.68}$, y heulandita. En tanto que la de MSF presentó una fase mineral de zeolita tipo clinoptilolita-Ca, fórmula $Al_{1.2}Ca_{1.58}H_{30}O_{46.9}Si_{16.8}$. (Fig. 2).

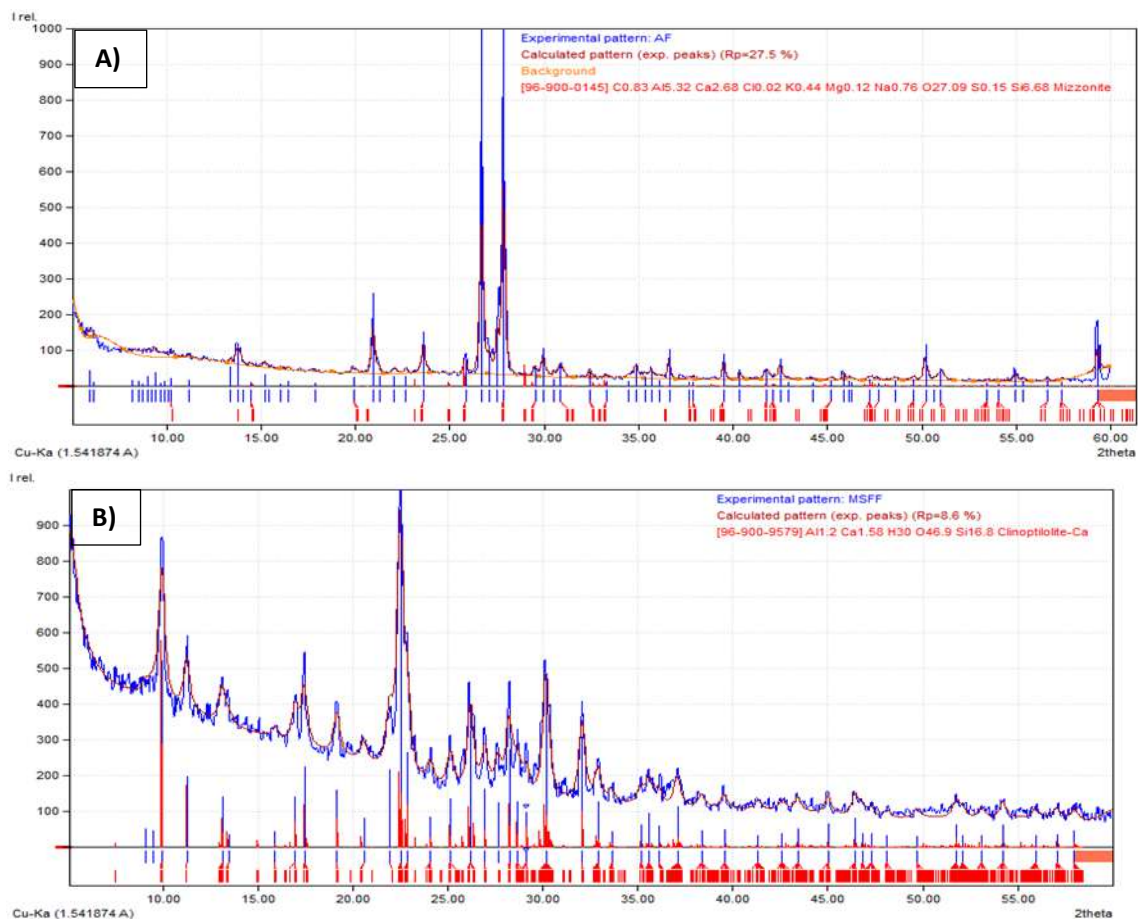


Figura 2. Difractogramas del material zeolítico de A) Aldama, Chihuahua (MACH) y B) San Felipe, Guanajuato (MSF).

Figure 2. Diffractograms of zeolitic material of A) Aldama, Chihuahua (MACH) and B) San Felipe, Guanajuato (MSF).

La composición en porcentaje de peso de los elementos presentes en cada material varió, MACH mostró un contenido de 51.9% de oxígeno (O), 37.3% de Silicio (Si) y 5.5% de Aluminio (Al), es un aluminosilicato conformado en su mayoría por los minerales mizzonita, plagioclasas, cuarzo, zeolita y caolín, con menor proporción de K, Ca, Fe, Mg y Na. MSF presenta altos porcentajes de 46.2% de O, 22.1% de Si y 9.3% de Al, mayormente conformado por zeolita clinoptilolita y un 2.2% de Ca por el tipo de zeolita cálcica. Adicionalmente posee elementos como K, Fe, Na y Mg presentes en los demás minerales que conforman el material. Las relaciones Si/Al de los materiales fue para MACH de 2.37 y para MSF de 6.78, el yacimiento del Municipio de Aldama contiene menos sitios activos.

3.2. Isotermas y cinética de adsorción

El proceso de adsorción de arsénico se adaptó al modelo de Freundlich por el coeficiente R^2 las zeolitas presentaron 0.9962 para MACH y 0.9999 para MSF ambas cercanas a 1 (Carbonel-Ramos, 2018). La (q_e) de MSF fue mayor comparada con la proveniente del estado de Chihuahua, en tanto que la constante $1/n$ en ambos materiales fue menor de 1 por lo que la adsorción ocurre con la formación de multicapas (**Tablas 1**).

Tabla 1. Parámetro promedio de la isoterma de Freundlich para la adsorción de As de los Municipios de Aldama (MACH) y San Felipe (MSF).

Table 1. Average parameter of the Freundlich isotherm for As adsorption from the municipalities of Aldama (MACH) and San Felipe (MSF).

Modelo Freundlich	MACH	MSF
q_e (mg/g)	0.0034	0.0053
Desv (q_e)	± 0.006	± 0.004
K	0.0056	0.0095
$1/n$	0.9478	0.9678
R^2	0.9962	0.9999

La zeolita MACH con 2, 3 y 4 g presentó concentraciones mayores a la inicial (0.025 mgL^{-1}) valores entre 0.033 a 0.064 mgL^{-1} , al incrementar la masa adsorbente y el tiempo de contacto (horas) se incrementó la concentración de As. El mineral de MSF al agregarse 3 y 4 g disminuyó la concentración original a 0.014 y 0.015 mgL^{-1} , con un 1g, el As permaneció igual a la concentración original, con 2 g aumento de 0.025 a 0.027 mgL^{-1} mostrando desorción. Al comparar ambos materiales MSF tiene una capacidad de adsorción (C/C0) mayor que MACH, cuando la masa adsorbente es un 1 g y con el tiempo de contacto mayor a 30 horas (**Fig 3**).

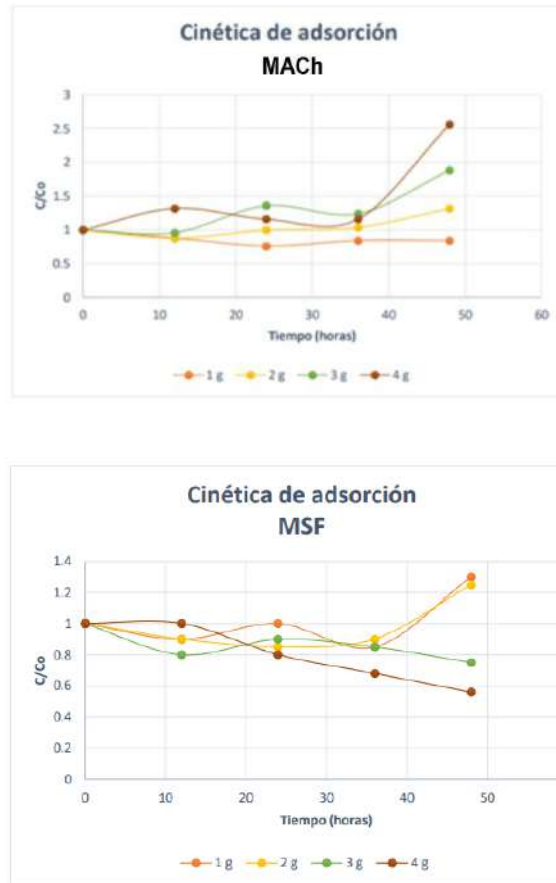


Figura 3. Cinética de adsorción de MACH y MSF
Figure 3. Adsorption kinetics MACH and MSF.

La remoción en la primera corrida que presentaron ambas zeolitas fue de 96 y 94% respectivamente, posteriormente los porcentajes de remoción variaron en cada corrida aumentando o disminuyendo la adsorción (**Tabla. 2**), esto por el ensamblaje de canales interconectados horizontal y verticalmente (Pérez-González, *et al.* 2020). El tiempo de contacto de la solución en la primera corrida fue aproximadamente de una semana ya que el tamaño de la zeolita no permitió la salida de la solución de manera inmediata. Una vez saturado los materiales disminuyeron los tiempos de contacto a un día. La remoción que presentaron los materiales está altamente ligados a la estructura cristalina tridimensional que posee cada tipo de zeolita. El intercambio dentro de las zeolitas es debido al desajuste en la carga de los tetraedros de la estructura, ésta es debido a la sustitución de algunos Si^{+4} por Al^{+3} siendo estos equilibrados por iones intercambiables.

Ambas zeolitas proceden de una población normal (**Fig. 4**), ya que se puede observar que los valores de distribución de probabilidad son mayores a (0.01). La zeolita MSF presenta una desviación estándar de 19.81, valor promedio de 51.18% de remoción, en tanto que la desviación estándar de

MACH fue de 31.20, valor promedio de 49.01%, lo que indica que el material que presenta mayor remoción de arsénico en agua es el del estado del centro de México. Sin embargo, se puede aumentar la capacidad de remoción de ambas zeolitas, Khatamian *et al.* (2023) modificaron la zeolita mediante el uso de nanocompuestos de Fe_3O_4 /zeolita y Fe_2O_3 /zeolita alcanzando porcentajes máximos de eliminación de arsénico del 95.39% y 98.52%, respectivamente. Es importante considerar también lo señalado por Janashvill & Akhalbedashvilli (2023) las propiedades de sorción del mineral dependen del tipo de tratamiento químico y térmico del pH, la concentración de la solución estándar y el grado de dispersión y sobre todo la forma iónica en que se encuentra presente el arsénico.

Tabla 2. Porcentaje de remoción de As de los Municipios de Aldama (MACH) y San Felipe (MSF)
Table 2. Percentage of As removal for the Municipalities of Aldama (MACH) and San Felipe (MSF)

Corridas	Co (ml L ⁻¹)	MACH (%R)	MSF (%R)
1	2.381	96.31	94.71
2	2.108	27.56	60.44
3	2.849	45.51	43.87
4	2.545	93.94	53.01
5	2.256	44.8	35.42
6	2.250	40.13	48.50
7	2.077	38.03	41.01
8	2.300	5.77	32.46

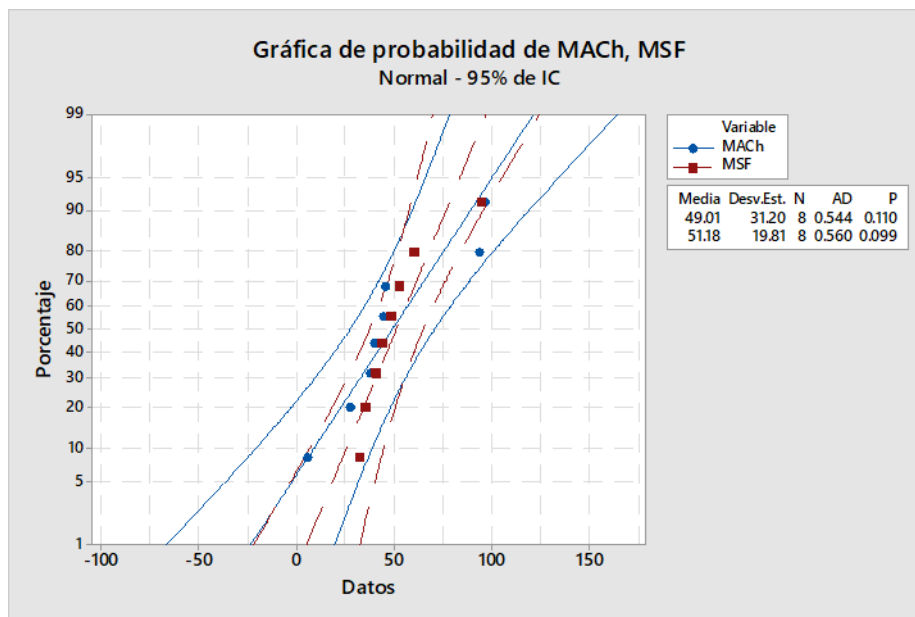


Figura 4. Gráfico de probabilidad de MACH y MSF.
Figure 4. Probability graph of MACH and MSF.

4. Conclusiones

Los minerales tuvieron diferentes características geológicas, la fase dominante para MSF fue la clinoptilolita-Ca, mientras que para MACH fue la mizzonita con cantidad reducida de heulandita. La relación de Si/Al varió de un material a otro para MACH fue de 6.78 y para MSF fue de 2.37, lo que refleja la capacidad mayor de MFS en intercambio iónico y adsorción, facilitando la remoción de arsénico. El análisis de las isotermas de adsorción se ajustó al modelo de Freundlich ambas muestras presentaron sitios infinitos adsorbentes con diferentes afinidades, iniciándose la adsorción en los sitios activos con mayor afinidad al catión As^{+5} del estándar. En cuanto a la cinética de adsorción, MACH mostró que a menor cantidad de material y menor tiempo mayor adsorción, al contrario de MSF que ha mayor cantidad de material y mayor tiempo es mayor porcentaje de remoción.

El material MACH aún que no contuvo importante cantidad de material zeolítico no presentó una diferencia considerable en el porcentaje de remoción con MSF. Por lo que los dos materiales provenientes del estado de Chihuahua y Guanajuato si remueven arsénico siendo factibles para dar un tratamiento previo al agua que contenga arsénico. Ambos porcentajes de remoción de los materiales se puede aumentar a través de un proceso de modificación.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero a través de la Convocatoria Atención a Problemas Nacionales 2015. Proyecto de Investigación "Utilización de

zeolitas naturales mexicanas para la remoción de contaminantes en agua”, con clave de referencia 747.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflictos de intereses en la publicación de estos resultados.

5. Referencias

- Bilbao-Chávez, M. C., Villalba, M.L., Flores-Zamora, M. I., Ochoa-Lara, M.T., Espinosa-Magaña, F., & Castañeda-Ávila, J. (2019). Utilización y Aplicación de Zeolitas Naturales; su importancia en México. Villalba y Rubio(ed.), pp. 1-15. Edición Universidad Autónoma de Chihuahua. ISBN:978-607-536-026-3
- Carbonel-Ramos, D. (2018). Adsorción de Cadmio, Cobre y Plomo en Bentonita, Caolín y Zeolita Naturales y Modificadas: Una Revisión de los Parámetros de Operación, Isotermas y Cinética. *Ingeniería*, 23(3), pp. 252-273. <https://doi.org/10.14483/23448393.13418>
- Chávez-Aguirre, R., Villalba, M.L., Álvarez-Olivares, W. D., Colmenero-Sujo, H.L., Bilbao-Chávez, M.C., De la Garza-Aguilar, R., Pinales-Munguía, A., Rubio-Arias, H., & Ochoa-Rivero, J. M. (2019). Utilización y Aplicación de Zeolitas Naturales; su importancia en México. Villalba y Rubio(ed.), pp. 1-15. Edición Universidad Autónoma de Chihuahua. ISBN:978-607-536-026-3
- Consejo de Recursos Mineros (CRM). Dirección de Minas de Guanajuato (2004). Inventario de Recursos mineros del estado de Guanajuato. <https://goo.su/E7k2rC>
- De la Vega, D., González, C., Escalante, C.A., Gallegos, J., Salamanca, M., & Manrique-Losada, L. (2018). Uso de zeolita faujasita para adsorción de iones en agua residual municipal. *Tecnología y Ciencias del Agua (IMTA)*. 9(4), pp. 185-208. <http://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-04-08>
- González-Chávez, J. L., Chiken Soriano, A., Martín Romero, F., & Cenicerros-Gómez, A. E. (2023). Elucidación del mecanismo de remoción de arsénico en disolución acuosa con residuos metalúrgicos. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 39, 25-42, 2023 <https://doi.org/10.20937/RICA.54399>
- Informe Técnico de Reservas Probables del Yacimiento de Rocas Zeolíticas “San Felipe”. (2009). Comunidad estancia de San Francisco, Municipio de San Felipe, Gto. <http://sde.guanaguato.gob.mx>
- Janashvili, N., & Akhalbedashvili, L., (2023). Natural zeolite clinoptilolite as adsorbent for cleaning waters from arsenic ions. *Chemical Science. Sciences of Europe* # 110, (2023). <http://doi.org/10.5281/zenodo.7618214>
- Khatamian, M., Afshar No, N., Hosseini Nami, S., (2023). Synthesis and characterization of zeolite A, Fe₃O₄/zeolite A, and Fe₂O₃/zeolite A nanocomposites and investigation of their arsenic removal performance. *J IRAN CHEM SOC* 20, 1657–1670. <https://doi.org/10.1007/s13738-023-02787-w>
- Kyziol-Komosinska, J., Rosik-Dulewska, C., Franus, M., Antoszczyszyn-Szpicka, P., Czupiol, J., & Kryzewska, I. (2015). Sorption capacities of natural and synthetic zeolites for Cu (II) ions. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(3), 1111-1123. <http://doi.org/10.15244/pjoes/30923>

- Moliner, M., Martínez, C., & Corma, A. (2015). Multipore Zeolites: Syntheses and Catalytic Applications. *Angew Chem Int. Ed Engl.* 16; 54(12), pp.1360-79. <http://doi.org/10.1002/anie.201406344>
- Novo Fernández, R., & Costafreda Mustelie, J.L. (2018). Las zeolitas naturales de México. En "Las zeolitas naturales de Iberoamérica" Fundación Gómez Pardo, pp. 280-321. <https://oa.upm.es/50786/>
- Pabón, S.E., Benítez, R.A., & Gallo, J.A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnología de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18. <http://doi.org/10.31908/19098367.1734>
- Paredes, M.R., Ramírez, A.M., Osuma, E.S., & Gómez, C.B. (2013). Zeolita Natural (Alternativa ecológica y económica para la agricultura de temporada en México). ISBN:978-607-37-0014-6. <https://goo.su/jwkQTXN>
- Pérez-González, N, K., Legarreta-García, F., Díaz-Guzmán, D., Vargas-Ramírez, M., Reyes-Cruz, V., & Flores-Zamora, M. I. (2020). Determinación de las características Físico-Químicas de una Zeolita Natural. *Padi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingeniería del ICBI*, 8(Especial), 14-18. <https://doi.org/10.29057/icbi.v8iEspecial.6297>
- Prato, J. G., González-Ramírez, L. C., Pérez, M. C., Rodríguez, M. E., Prato, J. G., González Ramírez, L. C., Pérez, M. C., & Rodríguez, M. E. (2021). Adsorción de la dureza del agua sobre lechos de rocas volcánicas de Ecuador. *Información tecnológica*, 32(2), 51-60. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000200051>
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), Fideicomiso de Fomento Minero. (2006). Inventario físico de los recursos minerales del área de Nombre de Dios, Chihuahua. <https://goo.su/SFwf5>
- Velarde, L., Nabavi, M, S., Escalera, E., Antti, M, L., & Akhtar, F. (2023). Adsorption of heavy metals on natural zeolites: A review. *Chemosphere*, 328(2023), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138508>

2023 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



POLIFORUM
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS. UACH

TECNOCENCIA CHIHUAHUA
Revista de ciencia y tecnología



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

Dirección de
Investigación y Posgrado



EL VUELO DEL CONOCIMIENTO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS. UACH
AUTORA: LUISA NATALIA HERNÁNDEZ



TECNOCIENCIA CHIHUAHUA
Revista de ciencia y tecnología