



RIIT[®]
Revista Internacional de Investigación
e Innovación Tecnológica

**RIIT REVISTA INTERNACIONAL
DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN
TECNOLÓGICA**

**RIIT Científica
Bimestre
Vol. 11, No. 64
Septiembre-Octubre 2023**

**Innovation components for the internationalization of the TIF
meat companies in Mexico**

Enríquez-García, H.C.



**Efectos de la capacidad absorptiva y la innovación en el
desempeño organizacional al nivel del individuo**

Rodríguez-Vargas, M., Nahuat-Román, B.



**Patrones de consumo del comercio electrónico en México.
Evidencia a partir del análisis de microdatos en los hogares**

Jiménez-Cerra, E., Feitó-Madrigal, D., Portal-Boza, M.



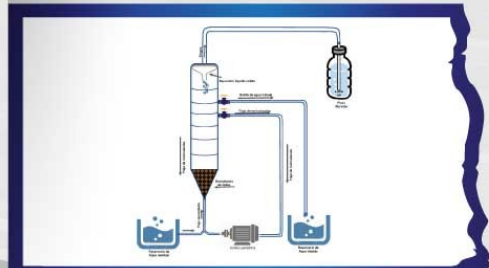
**Niveles de salinidad del suelo, utilizando imágenes
de vehículos aéreos no tripulados, redes neuronales
y árboles de decisión**

**Santoyo-de la Cruz, M.F., Flores-Magdaleno, H., Gar-
dezi, A.K., Rubiños-Panta, J.E., Mancilla-Villa, O.R.**



**Tratamiento integral de las aguas residuales de origen
universitario a través de un reactor anaerobio de flujo
ascendente**

**Castro-Sierra, A., Houbbron, E., Sosa-Villalobos, C.A.,
Rustrián-Portilla, E., Galaviz-Villa, I.**



Cintillo Legal

RIIT REVISTA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA, Vol. 11, No. 64. Septiembre - Octubre 2023, es una publicación bimestral editada y publicada por Universidad Autónoma de Coahuila, boulevard Venustiano Carranza s/n colonia República Oriente, C.P. 25280, Saltillo, Coahuila, Tel. (844) 414 85 82, <https://riit.com.mx/>, correo electrónico: publicacionesriit@uadec.edu.mx. Editor responsable: Dra. Antonia Mtz. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-021512364600-102, ISSN: 2007-9753, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Departamento de Divulgación y Comunicación Digital de la Dirección de Investigación y Posgrado de la UAdeC, Q.F.B. Fernando García, Edificio “D” planta alta, unidad Camporredondo, Saltillo, Coahuila, C.P. 25280, Tel. (844) 414 85 82, fecha de última modificación: 01 Septiembre 2023.

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

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de Universidad Autónoma de Coahuila.

Tabla de Contenido

Título artículo/ Autores	Páginas
Innovation components for the internationalization of the TIF meat companies in Mexico Enríquez-García, H.C., Arechavala-Vargas, R.	1 - 14
Efectos de la capacidad absorbitiva y la innovación en el desempeño organizacional al nivel del individuo Rodríguez-Vargas, M., Nahuat-Román, B.	15 - 33
Patrones de consumo del comercio electrónico en México. Evidencia a partir del análisis de microdatos en los hogares Jiménez-Cerra, E., Feitó-Madrigal, D., Portal-Boza, M.	34 - 48
Niveles de salinidad del suelo, utilizando imágenes de vehículos aéreos no tripulados, redes neuronales y árboles de decisión Santoyo-de la Cruz, M.F., Flores-Magdaleno, H., Gardezi, A.K., Rubiños-Panta, J.E., Mancilla-Villa, O.R.	49 - 65
Tratamiento integral de las aguas residuales de origen universitario a través de un reactor anaerobio de flujo ascendente Castro-Sierra, A., Houbon, E., Sosa-Villalobos, C.A., Rustrián-Portilla, E., Galaviz-Villa, I.	66 - 77



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Innovation components for the internationalization of the TIF meat companies in Mexico **Componentes de la Innovación para la internacionalización de empresas cárnicas TIF de México**

Enríquez-García, H.C.^{1*}, Arechavala-Vargas, R.²

¹ Professor, University of Guadalajara. University Center of Economic and Management Sciences. Periférico Norte N° 799 Núcleo Universitario, Los Belenes, 45100 Zapopan, Jal. Department of marketing and international business. Research topics: Social- SME's Innovation and competitiveness. ORCID code: <https://orcid.org/0000-0003-1678-4850>.

² Professor and IDITPYME CEO, University of Guadalajara. University center of economic and management sciences. Periférico Norte N° 799 Núcleo Universitario, Los Belenes, 45100 Zapopan, Jal. ORCID code: <https://orcid.org/0000-0001-7082-8362>. Research topics: Business innovation, SME's technology & innovation. hugo.enriquez@academicos.udg.mx*; arechavala@alumni.stanford.edu

Technology innovation. Software & machinery acquisition, product innovation.

Industries applications. Meat processing industry.

Received: december 25th, 2022

Accepted: may 26th, 2023

Resumen

Existe una preocupación en el sector privado y público debido a que muchas PYMES no tienen las capacidades para competir en mercados globales, bajo este contexto la innovación en las empresas puede ser un catalizador para lograr la competitividad y extender los horizontes a nuevos mercados. El objetivo de esta investigación es encontrar los componentes y factores más relevantes de la innovación que le permita a las Pymes cárnicas TIF lograr competir en mercados internacionales, estas demostraciones se hicieron mediante una técnica cuantitativa. Los factores que encontramos con mayor peso provienen de estas variables: 1) innovación tecnológica, 2) la cooperación en innovación y 3) la innovación de productos de valor agregado.

Se concluye que, en primer lugar, se eliminan 3 de 8 componentes que se proponen por representar bajos niveles de relación; en segundo lugar, se concluye que los componentes principales de la innovación para lograr competir en mercados globales son: para el factor uno: la adquisición de tecnologías de punta, la colaboración entre empresas para innovar en productos y la innovación de

productos exportables. Para el factor 2, los componentes principales fueron la adquisición de maquinaria y la adquisición de software.

Los materiales y métodos de trabajo para cumplir el objetivo fue el Análisis de Componentes Principales (PCA) que en esencia es una técnica de carácter correlacional y exploratorio que nos ayudan a discernir cuales son los factores con mayor peso dentro de un conjunto de variables con un soporte teórico, se encuestaron a 99 expertos de la industria en territorio mexicano (gerentes y empresarios de diferentes compañías), lo cual representa un 21.3% del total de empresas cárnicas TIF a nivel nacional, se usaron escalas Likert para las mediciones.

Palabras clave: Componentes principales, industria cárnica mexicana, innovación de empresas, internacionalización de la firma, tecnología.

Abstract

There is concern in the private and public sector because many SMEs do not have the capabilities to compete in global markets. In this context, innovation in companies can be a catalyst to achieve competitiveness and extend horizons to new markets. The objective of this research is to find the most relevant components and factors of innovation that allow TIF meat SMEs to compete in international markets, these demonstrations were made using a quantitative technique. The most important factors & components come from these variables: 1) technological innovation, 2) cooperation in innovation, and 3) innovation of added-value products.

It is concluded that, firstly, we eliminate 3 of 8 components that are proposed because they represent low levels of relationship; Secondly, it is concluded that the main components of innovation to compete in global markets are: for factor one: the acquisition of cutting-edge technologies, collaboration between companies to innovate in products & the innovation of exportable products. For factor 2, the main components were the acquisition of machinery and the acquisition of software.

The materials and methods to meet the objective was the Principal Component Analysis (PCA), which is essentially a technique of a correlational and exploratory nature that assist us to discern which are the factors with the greatest weight within a set of variables with a theoretical support, we surveyed 99 industry experts in Mexican territory (managers and businessmen from different companies), which represents 21.3% of the total TIF meat companies nationwide, also Likert scales were used for measurements.

Keywords: Enterprise innovation, firm's internationalization, Mexican meat industry, principal component analysis, technology.

1. Introduction

Innovation is a key element that every organization must carry out for continuous improvement and thus achieve competitive advantages that endure over time. In the case

of Mexico, innovation is not yet relevant, nor is it carried out constantly, for example in the research made by García-Alcaraz et al (2016) they comment that “maquiladoras”

companies in that country are characterized by having sophisticated and complex production processes, which make them specialists in the manufacture of certain products. However, when they need to use these established production capacities to generate new products, their main problem is that they do not have sufficient knowledge of the market for these new products, since the parent company traditionally establishes the production orders and is their main customer and they have a deep dependency.

On the other hand, the internationalization of companies is nothing more than reaching new global markets thanks to an adequate management of the company. According to Szymon & Ruigrok (2013) the degree to which interactions occur outside the country. Depth is measured by financial indicators, which include foreign sales versus total sales, foreign assets versus total assets, and employees in foreign locations.

Thinking about the word innovation, this can be somewhat ambiguous and very general, something that has too many meanings and depends on the context in which it is spoken, for the case of business and industry, here are some concepts accepted by various theorists.

In the Oslo Manual (2018), innovation is defined as follows:

"An innovation is a new or improved product or process (or combination thereof) that differs significantly from the unit's previous products or processes and has been made available to potential users (product) or put into use by the unit (process)".

They also define process innovation as: "a new or improved business process for one or more business functions that differs significantly from the firm's previous business processes and that has been brought into use by the firm" (Oslo Manual, 2018).

For example, the company might expect new or improved features of a product (or business process) to increase utility for users or to increase its own competitive position in the local or global markets.

Mejía et al. (2013) comment that innovation is the main key to the development of companies and nations. Likewise, Ceceña (2013) says that large local companies must adapt their processes to maintain constant innovation to remain competitive in international markets.

While the authors Schiefer and Hartmann (2008) refer to the leader and follower in an industry, they say that in product development organizations can follow two different objectives. First, they may aim to achieve the position of technological leader, developing products with a high level of innovation. Second, they can seek to have a high proportion of innovative products in their product portfolio, without worrying about the novelty of these developments. The relevance of both strategies for performance will be tested.

Furthermore, the objective of this paper is to determine the main factors and components that are relevant and have "high loadings" for innovation in TIF (Federal Inspection Type) meat companies, this companies are SMEs trying to make business under the international framework. The TIF distinction means that these are companies have a SENASICA (National Health, Safety and Quality Service) certification that allows them to export products, based on a survey conducted with industry executives and managers.

2. Theoretical support

It is worth mentioning that we are looking for the innovation factors and components that have the greatest load weight in the

internationalization of Mexican TIF meat companies. Therefore, the classic I-M theoretical model of innovation for internationalization is suitable for this research. This model was initially proposed by classics such as (Rogers, 1962; Adersen, 1993; Bilkey & Teaser, 1977; Cavusgil, 1980; Reid, 1981) in this theoretical model it is explained that each step of exporting is considered an innovation. They also lead to the process of knowledge acquisition, not only in the stage of entering a foreign market. The beginning of internationalization is the acquisition of knowledge to introduce

innovations and new developments related to management.

Now that the basic theory of innovation for companies has been explained, we will now comment on the dimensions of the innovation variable and its initial factors. It is relevant to point out that the initial factors that appear on the right side of figure 1, basically are the Likert scale questions (for example, we always do it - we have never done it) that were asked to the executives and managers of the industry.



Figure 1. Classification of the innovation variable for the internationalization of Mexican TIF companies.

Likewise, starting with the "Technology Adoption" dimension and its initial components described below:

- AD1. Adoption of machinery.
- AD2. Adoption of software.
- MEJPROCESS. Process improvement derived from technology acquisitions.

- ADEXP - Adoption of state-of-the-art technology.

These initial components or factors of technology adoption find their theoretical support in several indicators proposed by the Oslo Manual (2018).

Table 1. Classification of innovation indicators proposed in the Oslo Manual.

Topic in general	Indicator
Collaboration of companies	Collaboration participation of companies that collaborated with other parties on innovation activities (by type of partner or location of partner)
Product and business process innovations.	Participation of companies with innovations in products and business processes.
Advanced use of technology	Percentage of companies in the industry using advanced, enabling or emerging technologies.
Digital platforms	Percentage of businesses using digital platforms to sell or buy goods or services.

Source: Own elaboration based on Oslo Manual (2018)¹.

However, these "indicators" do not have a mathematical foundation where any empirical quantitative technique has been used.

On the other hand, Barreiro (2012) clarify that innovation and technology are essential for the development and growth of companies, which presupposes an extremely challenging aspect in cases such as product safety, sensory aspects, consumer confidence or price. Barreiro (2012) also made a distinction between the investments made by

European meat companies in some of the items they consider to be innovations in the meat sector and consider the acquisition of technology as an innovation. Several of the investments made by European companies such as "acquisition of machinery, hardware and software, acquisition of external R&D (research and development)" are the same as the components of Likert scales that were carried out with the survey carried out for businessmen and managers of the meat industry of SMEs & TIF companies in Mexico.



Figure 2 & 3. R+ d investment in European meat companies. From Cruz & Barreiro (2012)² & ³.

As we realize, several of the investments made by European companies such as "acquisition of machinery, hardware and software, acquisition of external R&D" is the same as the Likert scale components that were carried out with the survey that was carried out for businessmen and executives of the meat industry of TIF & SMEs companies in Mexico.

Digitalization in companies is imperative to be more competitive (software acquisition) it is now used to gather data on innovation outside of the business sector. This can assist companies to reduce responder burden by

using identification technology in conjunction with the resources already in place, for as by identifying the most crucial business partner (supply or customer), secondly, to obtaining statistical information on innovation and company traits (Oslo Manual, 2018).

While a classical theorist such as Barney (1991) emphasizes that resources should be characterized as "valuable resources". They become valuable when they allow a company to conceive or implement strategies that improve its efficiency and effectiveness, such as internationalization.

The adoption of technology such as specialized machinery or software can be elements that are characterized as valuable resources for the organization and that generate a competitive advantage. The fact of acquiring such technologies implies that the company is innovating in adjusting its operational processes, such innovations can lead to advantages to compete in the market that ultimately result in the internationalization of firms.

On the other hand, in the innovation dimension called "Collaboration in innovation" we basically find questions (initial components or factors) that were asked to entrepreneurs and managers with an orientation to know if they cooperate with other companies in order to carry out joint investments such as technology acquisitions and joint support to innovate in the creation of value-added products that meet the needs of customers and consumers.

They are classified as follows:

- CTECH. Collaboration of meat companies to acquire machinery and software.
- CINPRODS. Collaboration of meat companies to innovate in added-value products.

These initial components have their theoretical support in the Oslo Manual, they explain that collaboration is the participation of companies that collaborated with other parties on innovation activities (by type of partner or location of partner) (Oslo manual, 2018).

Additionally, Sereia et al (2015) highlights that companies aiming to meet the knowledge requirements necessary for the development of new products and processes and follow the consumer trend to implement cooperative

arrangements, such as strategic alliances, in such a way as to gain access to technology where it is available, no single company can, in isolation, develop all the competencies for the development of innovative products and processes.

Likewise, one more finding by authors Brown & Guzmán (2014) suggests the need to promote a culture of cooperation between companies, and from companies to universities and development centers, since unfortunately and tentatively there is a lack of cooperation to innovate between companies, which could be a determining factor for internationalization.

Furthermore, Oslo Manual (2018) considers that a typical product innovation must have these features:

"New designs or improved design features can influence the appearance or "look" of a product and consequently enhance the user's utility, for instance through a substantial design change that creates a positive emotional response".

On the other hand, the dimension called "Product Innovation" is, as its name implies, individual, without the need for collaboration between companies, which assumes that if companies innovate, they can compete in new global markets.

This dimension of innovation is composed of the following initial factors-components:

- INNOVAPROD. Innovation of meat products
- INPRODEXP. Innovation of exportable added-value products.

In the Oslo Manual (2018) product innovation is considered as matter of fact recommended to create indicators with the following characteristics.

Table 2. Indicators of product innovation in companies.

Topic in general	Indicator
Product innovation / value-added products	Participation of innovative products in companies with one or more types of product innovation.
Product innovations in local and global markets	Proportion of companies with one or more product innovations (may also focus on international product innovations).
Product innovation development method	Share of companies with one or more types of product innovations that developed these innovations through imitation, adaptation, collaboration or entirely in-house.

Own elaboration based on Oslo Manual (2018) ¹.

We start from the assumption, as in the other dimensions of innovation, that if product innovation is achieved, export capabilities are greater and therefore this leads us to reach global markets. Value-added products also help with this.

It is also important to note that value-added meats include marinated cuts, cooked ribs, kebabs, corned beef and fresh burgers, as well as shaved steak for use in tacos, fajitas, stir-fries and sandwiches (Mitchel, 2019).

Kondaiah (2004) comments that some of the purposes of value-added meat processing are: To increase demand and marketing, as well as to meet the daily needs of consumers, to combine and complement different types of meat with a comparative advantage as well as to produce value-added foods for a greater diversity and portfolio of products.

3. Experimental methods

3.1 Research question

What are the principal components of the innovation variable in Mexican SMEs & TIF meat companies?

3.2 Materials

In Mexico there are currently 463 meat producing companies with the TIF distinction; this distinction means that they are relatively important companies. Furthermore, an e-mail was sent with the survey and we request support from SENASICA (National Service of Health, Safety and Agrifood Quality) so that the managers-owners of the companies could respond; the survey was sent electronically in the year 2021 and SENASICA was the institution who distributed it through a link in Google Forms format; Of the total number of companies, only 99 responded, that is, 21% of the TIF meat companies in Mexico. These data were used to run the PCA and make conclusions.

The objective of the survey was to understand the managers and/or company owner's point of views on what items and/or factors may be related to innovation within their network & towards the final consumer, based on their experience and based on a series of Likert scales used in the survey.

3.3 Explanation of the quantitative technique (PCA)

The principal component analysis will help us to reduce the dimensionality of the innovation variable in order to find the principal component & factors of this variable, which can be a combination of various components, thus summarizing our analysis to determine which are the most important ones that can help Mexican meat companies to achieve internationalization. Additionally, we point out that all the proposed factors and components of the innovation variable have been supported by the theoretical framework of this study.

Otherwise, Jolliffe & Cadima (2016) comment that principal component analysis (PCA) is a technique for reducing the dimensionality of such data sets, increasing interoperability but at the same time minimizing information loss. It does this by creating new uncorrelated factors that successively maximize variance. Finding these new factors, the principal components, boils down to solving an eigenvalue/eigenvector problem, and the new variables are defined by the data set in question, not a priori, making PCA an adaptive data analysis technique.

The standard context for PCA as an exploratory data analysis tool involves a data set with observations on numerical variable-items, for each of the entities or individuals. These data values define dimensional vectors $X_1, \dots, X_P$ or, equivalently, a data matrix whose J th column is the X_J Vector of observations on the J th variable (Jolliffe & Cadima, 2016).

Ringnér (2008) points out that by using a few components, each sample can be represented by relatively few numbers instead of values for thousands of variables. The samples can then be plotted, which allows one to visually

assess the similarities and differences between samples and to determine whether the samples can be grouped together.

3.4 PCA implementation

It is worth mentioning that the measurement is based on Likert scales for each of these initial component-factors; these scales come from the survey sent to businessmen-managers of SMEs & TIF meat companies in Mexico, therefore our results are based on this people experience and opinion. The Likert scale that we proposed has some little changes in every question but overall, it was as follows: a) we never do; b) we seldom do; c) we sometimes do; d) we often do, e) we always do.

It is worth reminding the reader that each question is an item, therefore the 8 items of the innovation could be reduced to 2 or 3 factors-components, depending on what this technique explains us and thus simplify the analysis.

The steps for obtaining the factors & components are explained below:

1. Moreover, we wanted to know the feasibility to perform the PCA, thus we executed the KMO tests (Keiser-Meyer-Olkin) and the P-Value, for this purpose we take the results of the survey of Likert scales with values ranging from 1 to 5; the sample was 99 companies that responded to the survey, the software used to run this quantitative technique was STATA.

The KMO test is 0.78 and the P-value is 0.00. The KMO test being greater than 0.5 means that it is acceptable to proceed with the PCA, also the P-value is statistically significant, likewise the variables are not correlated so we proceed to run the PCA.

2. Now we run the *pca* command with the corresponding items to understand

the amount of principal components, the image is shown.

Table 3. PCA results and Eigenvalue greater than 1.

Component	Eigenvalue	No. of observations
Comp 1	3.69	99
Comp 2	1.29	99

Source: Own elaboration based on STATA results.

In the table 3, we can see the vectors and the values of the components (8 items), what matters most to us here is that there are only 2 components with a value (Eigenvalue)

above 1, we now know that of the 8 items we proposed, it will reduce them to only 2 factors.

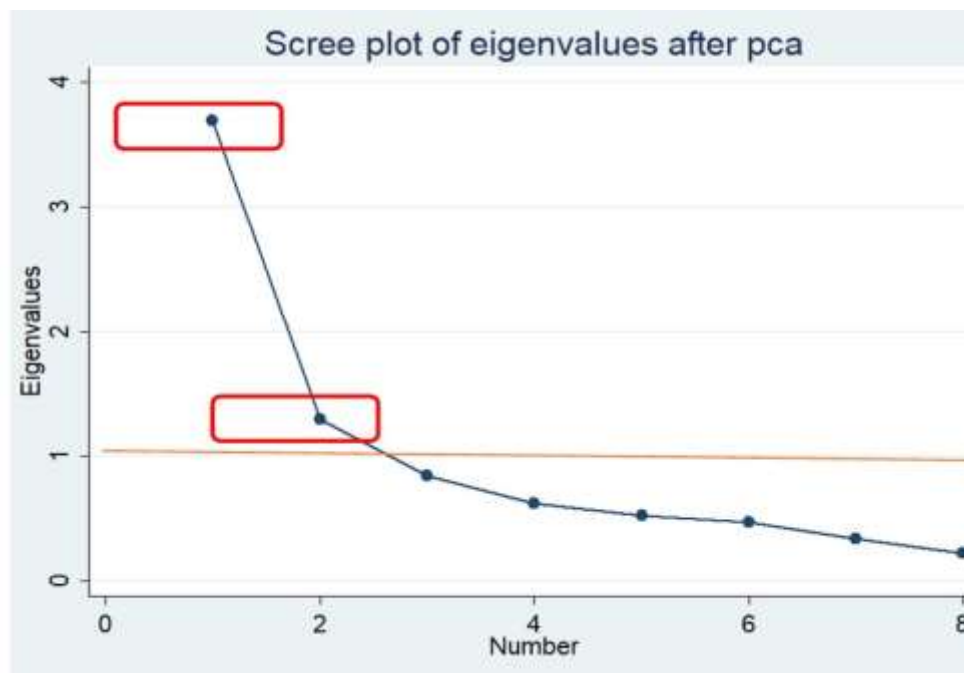


Figure 4. Eigenvalue graphic, values above 1. Extracted from STATA software.

3. Now, we are going to determine the rotated factor loadings with the Varimax method, with this we will be able to know which are the most important components that load more on each of these two factors on the

innovation variable. The factors rotated with Varimax are a method of orthogonal rotation to reduce dimensionality within a 90-degree angle, that is, it is a simplification of the factors.

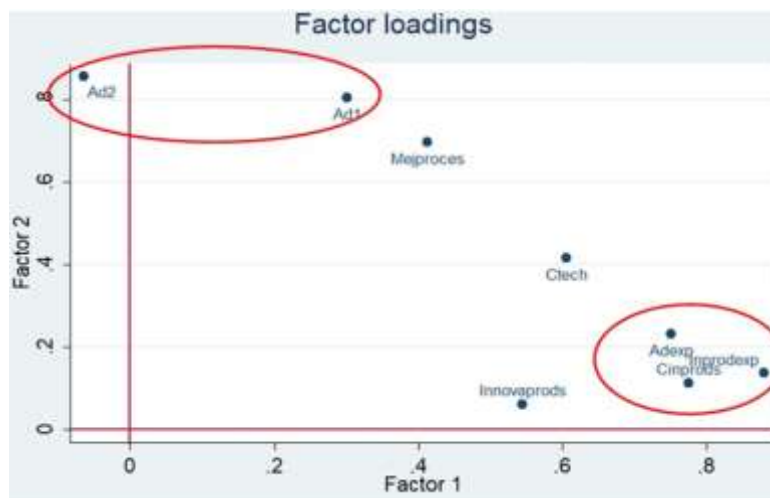
Table 4. Rotation of factors with varimax method.

Component	Factor 1	Factor 2
Ad1	0.30	0.80
Ad 2	-0.06	0.85
Bestprocesses	0.41	0.69
Adexp	0.75	0.23
Ctech	0.60	0.41
Cinprods	0.77	0.11
Innovaprods	0.54	0.06
Inprodexp	0.87	0.13

Source: Own elaboration based on STATA software.

Now we can see that factor 1 is mostly loaded by: *Adexp*, *Inprodexp*, *Cinprods*, and the factor 2 is mostly loaded by *Ad2*, *Ad1*; thus, reducing these 8 items to these 2 factors. This reduction makes sense according to the structure and wording of the questions asked

to the company managers. Those components have a high correlation with innovation, it is also observed the amount of factor loadings. In the next graph there is a different approach for a better explanation.

**Figure 5.** Graph of the rotated factors. Extracted from STATA software.

4. Discussion

Now that this principal component analysis has been run, we have arrived at some interesting results and can answer the research question. It can be seen that of the 8

initial components, five are relevant to innovation and three are irrelevant, so it is suggested to omit these 3 components (*ctech*, *innovaprods*, *mejprocess*) for future research in this sector.

But why these 3 components were irrelevant for innovation?

Mejprocess improvement derived from technology acquisitions. The reality is that the improvement of a process such as productive, innovative, or commercial, brings with it support for the acquisition of technologies, that is, by itself, changing a process does not imply a great change.

To implement an improvement in the production process, technology is first needed, such as machinery that helps meat producers develop new value-added products such as marinated meats, shredded meat, food seasoning or baked chicken wings, all of which implies the acquisition of cutting machines, seasoning machines, and special ovens to bring the meat to a certain temperature.

To implement an improvement in the business process, you could access data analytics technologies such as Power B.I to learn about customers, competitors, and characteristics such as prices and sales volumes, as well as software technologies such as CRM to track leads, sales, provide post-sale service or even to prospect new customers.

On the other hand, the *Innovaprods* item only implies innovating in meat products, this item is similar to what we explained previously, firms cannot just innovate but there are other elements that could be attractive for customers and consumers that help to export the products, that is why *inprodexp* was a component with high weight at the time of running this quantitative technique because it implies further elements such as innovation in value-added products, innovating not only in the product but also that the packaging, logo and branding must be attractive to customers or consumers of the foreign market to buy the

products; thus it implies marketing strategies for an effective commercialization.

Otherwise, due to figure 5 we can infer that the components *Adexp*, *Inprodexp* and *Cinprods* generate a new factor that could be called "product innovation that includes a framework of business cooperation and acquisition of cutting-edge technology", while in the second factor we find the components *ad1* and *ad2* with very significant loadings, so this new factor is created and we can name it "acquisition of machinery and software for the achievement of internationalization".

Why is the acquisition of technology (*ad1*, *ad2*, *adexp*) and cutting-edge technology related to innovation?

As previously mentioned, for an SME to obtain a competitive advantage of international hierarchy, processes must be optimized, this occurs through the acquisition of machinery or software. The new machinery is affordable for international meat clients because when they review the processes of their suppliers, they would have certainty that they are going to receive quality products and a service that generates a greater bond of trust.

In such a way that the internationalization can be associated with innovation and this also has a close relationship with the I-M models previously cited (Rogers, 1962; Adersen, 1993; Bilkey & Teaser, 1977; Cavusgil, 1980; Reid, 1981), who mention several steps for internationalization with an innovation approach, although it is worth mentioning that they do not consider the acquisition of technology.

The collaboration of companies to carry out a better integration in the supply chain is very relevant, this type of integration comes from the classic theories of "Marshall's industrial

districts". In this case, the collaboration of meat companies to innovate in added-value products (*cinpords*) has a good relationship with innovation according to our results. Working as a team to create products together, combining knowledge, technologies and efforts is something that apparently can lead meat companies in Mexico to innovate in order to internationalize.

5. Conclusions

This was an analysis to detect the main factors of innovation that would eventually help SMEs companies to compete in foreign markets, especially those companies that have certain capabilities or minimum requirements to be able to export (TIF companies).

Our results have similarity with the results of other studies in the innovation variable, where technology adoption is contemplated within the study done by Galati et al (2016) where they comment that Italian food companies used to adopt mainly two implementation strategies, reminiscent of the traditional market pull and technology push innovation strategies, which they re-categorize as Push to technology and Pull innovation strategies to attract customers. For example, they consider certain characteristics of product innovation, process, acquisition/exploitation of scientific knowledge, high costs for innovation, among others.

Although our research has similar results for this food sector, there are some differences because we specify that the acquisition of machinery & cutting-edge tech is a valuable resource to increase quality, productivity, and safety, as well as software that helps us to have a better management of the company and share information in real time with customers & to create a competitive service strategy.

Furthermore, the PCA results has likeness with Saguy et al (2018), they projected a significant difference in addressing innovation, soft skills (skills associated with communication according to Food Science and Technology) which was also revealed by the employability of such technologies between the educational geographic region of North America, Canada and the others, especially Europe. The findings offer new insights into the need to re-evaluate curricula and the perceived importance of innovation, research, technology utilization and impact. In our research we did not consider any of these elements for innovation, however they open another range of possibilities that we did not have in mind to consider some of these relationships also in future research.

Likewise, our results will be useful for the Mexican meat industry, specifically for executives, company CEOs & managers in the export or innovation area to make better decisions and strategies when deciding to compete in international markets. Knowing that the acquisition of technology would help improve your internal processes in order to be more effective, of course this could be done with adequate employee's technologies training.

These results also contribute to the area of knowledge of international business management. A contribution to knowledge is made for future research and the door is opened for other researchers to take our results as a reference in this important industry.

Acknowledgments

This research was possible thanks to the collaboration of SENASICA, the Mexican institution that is in charge of food safety and sanitation.

References

- Andersen, O. 1993. On the internationalization process of firms: A critical analysis. *Journal of international business studies*, 24(2), 209-231. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jibs.8490230>
- Barney, J. 1991. Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of management*, 17(1), 99-120. <https://doi.org/10.1177/014920639101700108>
- Barreiro, D. 2011. Study of competitiveness in the European Union meat sector. *eurocarne*, (199), 56-60. <https://doi.org/10.2769/11795>
- Bilkey, W. J., & Tesar, G. 1977. The export behavior of smaller-sized Wisconsin manufacturing firms. *Journal of international business studies*, 8(1), 93-98. <https://doi.org/10.1177/014920639101700108>
- Brown, F., & Guzmán, A. 2014. Innovation and productivity across Mexican manufacturing firms. *Journal of technology management & innovation*, 9(4), 36-52. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242014000400003>
- Cavusgil, S. T. 1980. On the internationalization process of the firm. *European research*, 6, 273-281.
- Ceceña Hernández, G. 2013. Competitive advantages of meat companies in Sinaloa. *Revista EAN*, (74), 40-53. <https://doi.org/10.21158/01208160.n74.2013.735>
- Galati, F., Bigliardi, B., & Petroni, A. 2016. Open innovation in food firms: Implementation strategies, drivers and enabling factors. *International Journal of Innovation Management*, 20(03), 1650042. <https://doi.org/10.1142/S1363919616500420>
- García-Alcaraz, J. L., Maldonado-Macías, A. A., Hernández-Hernández, S. I., Hernández-Arellano, J. L., Blanco-Fernández, J., & Sáenz Díez-Muro, J. C. 2016. New product development and innovation in the maquiladora industry: A causal model. *Sustainability*, 8(8), 707. <https://doi.org/10.3390/su8080707>
- Jolliffe, I. T., & Cadima, J. 2016. Principal component analysis: a review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065), 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>
- Kaczmarek, Szymon and Winfried Ruigrok, 2013. "In at deep end of firm internationalization", *Management International Review*. 2013: 520. <https://doi.org/10.1007/s11575-012-0159-7>
- Kondaiah, N. 2004. Value added meat products and development of processed meat sector. <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/9435>
- Manual, O. 2018. Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation. The measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities. 4th Edition. 255p. [Accessed 29 August 2020] Available at: <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/9435>
- Mejía-Trejo, J., Sanchez-Gutierrez, J., & Ortiz-Barrera, M. 2013. Innovation Generation and Leadership on Value Creation: The Case of Software Developer Sector in Guadalajara, Mexico. *Mexico* (March 1, 2013). <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2390810>
- Mitchel, R. 2019, January 15. Adding value - and sales - to meat departments. Super market news. Retrieved from

<https://www.supermarketnews.com/meat/adding-value-and-sales-meat-departments>

Reid, Stan D. 1981. The decision-maker and export entry and expansion. *Journal of International Business Studies*, 12 (Fall): 101-12.

<https://doi.org/10.1057/palgrave.jibs.8490581>

Rogers. M.1962. Diffusion of innovations. A Division of Macmillan Publishing Co., Inc. Third Edition.
<https://doi.org/10.1002/jps.2600520633>

Ringnér, M. (2008). What is principal component analysis? *Nature biotechnology*, 26(3), 303-304.
<https://doi.org/10.1038/nbt0308-303>

Saguy, I. S., Roos, Y. H., & Cohen, E. 2018. Food engineering and food science and technology: forward-looking journey to future new horizons. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 47, 326-334.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.03.001>

Schiefer, J., & Hartmann, M. 2008. Determinants of competitive advantage for German food processors. *Agribusiness: An International Journal*, 24(3), 306-319.
<https://doi.org/10.1002/agr.20168>

Sereia, V. J., & da Camara, M. R. G. 2015. Innovation in the agro-industrial poultry meat companies of Paraná. *REBRAE*, 8(3), 304-322.
<http://dx.doi.org/10.7213/rebrae.08.003.AO03>



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Efectos de la capacidad absorptiva y la innovación en el desempeño organizacional al nivel del individuo

Effects of absorptive capacity and innovation on organizational performance at the individual level

Rodríguez-Vargas, M.*, Nahuat-Román, B.

Facultad de Comercio y Administración de Tampico, Universidad Autónoma de Tamaulipas; C.P. 89336, Tampico,
Tamaulipas.

millyrv@docentes.uat.edu.mx*; bernardo.nahuat@uat.edu.mx

Innovación tecnológica: Capacidad absorptiva.

Área de aplicación Industrial: Todo tipo de empresas.

Recibido: 23 enero 2023

Aceptado: 12 junio 2023

Abstract

Absorptive capacity and innovation have been identified as triggers of organizational performance; However, behind every collective entity is the individual who has been neglected in the literature. Therefore, the objective of this research was to determine the effects that absorptive capacity and innovation have on organizational performance at the individual level. In the first two months of 2021, 100 questionnaires were collected from managers of the manufacturing industry of Tamaulipas to later be analyzed with a model of structural equations with analysis of variance, evidencing positive effects of absorptive capacity and innovation in organizational performance, as well as a positive effect of the absorptive capacity in innovation. In conclusion, a new perspective of the study of the variables addressed is opened and progress is made in the knowledge of the individual, laying the foundations to maximize his or her potential in organizations.

Keywords: absorptive capacity, innovation, individual, organizational performance, Tamaulipas.

Resumen

La capacidad absorbente y la innovación han sido señalados como detonadores del desempeño organizacional; sin embargo, detrás de todo ente colectivo está el individuo quién ha sido dejado de lado en la literatura. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar los efectos que tienen la capacidad absorbente y la innovación en el desempeño organizacional al nivel del individuo. En el primer bimestre del 2021 se recabaron 100 cuestionarios de gerentes de la industria manufacturera de Tamaulipas para posteriormente ser analizados con un modelo de ecuaciones estructurales con análisis de la varianza evidenciando efectos positivos de la capacidad absorbente y la innovación en el desempeño organizacional, así como un efecto positivo de la capacidad absorbente en la innovación. En conclusión, se abre una nueva perspectiva de estudio de las variables abordadas y se avanza en el conocimiento del individuo poniendo las bases para maximizar su potencial en las organizaciones.

Palabras clave: capacidad absorbente, innovación, individuo, desempeño organizacional, Tamaulipas.

1.Introducción

En un mundo competitivo, globalizado y con cambios constantes, las organizaciones buscan desesperadamente nuevos caminos hacia un mejor desempeño. En este escenario, la capacidad absorbente (CA) se propone evaluar, asimilar y aplicar conocimiento nuevo (Cohen y Levinthal, 1990) que beneficie a la empresa generando con esto nuevas ideas (Sandor et al., 2017).

Esas nuevas ideas son el principio de la innovación (Allameh, 2018) que permiten a las empresas seguir en el mercado a pesar de situaciones adversas (Obeidat et al., 2017). La innovación también es importante para las empresas porque permite reducir riesgos, costos y tiempo (Cruz-Ros et al., 2018). En este sentido, de acuerdo al diccionario de Real Academia Española, una empresa se entiende entre otras cosas como: una “Unidad de organización dedicada a actividades industriales, mercantiles o de prestación de servicios con fines lucrativos” (Real Academia Española, 2023, p.1). Por lo cual, este estudio considera como sinónimos empresa y organización.

Por otro lado, si bien es cierto que en el plano académico y práctico se ha identificado en la capacidad absorbente y la innovación dos conceptos estrechamente relacionados que juntos o por separado detonan el desempeño organizacional (Brenner et al., 2022; Cruz-Ros et al., 2018; De los Santos et al., 2022; Nahuat-román y Rodríguez-vargas, 2021; Nahuat et al., 2021; Pradana et al., 2020; Sancho-Zamora et al., 2021; Solís et al., 2019), falta explorar nuevas perspectivas que enriquezcan el conocimiento de esta relación como lo es el nivel del individuo.

El estudio a nivel del individuo ha pasado casi por alto en la literatura (Mura y Longo, 2013; Sandor et al., 2017), a pesar de que este representa el activo más importante de cualquier organización (Armijos et al., 2019) y es señalado como predictor del desempeño organizacional (Echebiri, 2020). Los individuos están en la rutina diaria debiendo desarrollar cosas nuevas para alcanzar los resultados que su empleadora espera de ellos.

Siguiendo otros estudios que han abordado la relación entre la capacidad absorbente, la innovación y el desempeño (por ejemplo:

García-Sánchez et al., 2018; Singh et al., 2020), este trabajo se enmarca en la teoría de las capacidades dinámicas propuesta por Teece et al. (1997) ya que la empresa requiere habilidades para instalar, integrar y construir las capacidades tanto en el interior como en el exterior para enfrentar escenarios complejos, cambiantes y dinámicos en el mundo de los negocios, de hecho, algunos autores han sugerido que la misma CA es una capacidad dinámica (por ejemplo: García et al., 2018). De forma complementaria se adopta la teoría de los recursos y capacidades (Barney, 1991) como lo hizo Pradana et al. (2020), esta teoría en esencia argumenta que la fuente de la ventaja competitiva radica en los recursos internos de la empresa como puede ser su personal con los individuos que lo integran.

En virtud de lo anterior, se fija como objetivo determinar los efectos que tienen la capacidad absorptiva y la innovación en el desempeño organizacional al nivel del individuo. La investigación está estructurada en cuatro apartados, el primero inicia con una revisión de la literatura, el segundo apartado contiene la metodología con que se llevó a cabo el estudio, posteriormente se presentan los resultados obtenidos, y finalmente en el cuarto apartado se cierra con la conclusión general.

Revisión de la literatura

Capacidad absorptiva (CA)

La capacidad absorptiva fue un concepto acuñado por Cohen y Levinthal (Ahmed et al., 2020; Brenner et al., 2022; Nahuat-román y Rodríguez-vargas, 2021; Sancho-Zamora et al., 2022; Zuñiga-Collazos et al., 2019) quienes la definieron como “la capacidad de una empresa para reconocer el valor de la información externa nueva, assimilarla y aplicarla con fines comerciales” (Cohen y Levinthal, 1990, p.128). Posteriormente, diversos autores han realizado aportaciones para la construcción del concepto destacando

Zahra y George (2002) por sus múltiples citas registradas en google académico. Estos autores conceptualizaron la CA como una capacidad dinámica relacionada con la identificación y adquisición del conocimiento externo y su integración con el conocimiento interno mediante la transformación y explotación.

La CA de acuerdo a Rezaei-Zadeh y Darwish (2016) existe en 3 niveles: individual, colectivo e interorganizacional. Este trabajo en especial profundiza en el nivel del individuo ya que representa la raíz de la capacidad absorptiva organizacional (Cohen y Levinthal, 1990). Una definición *ad hoc* al presente estudio sería: “como actividades de un individuo para reconocer, assimilar, transformar y explotar nuevos conocimientos externos” (Sandor et al., 2017, p.7), pensando en mantener un carácter individual que permita su medición.

Siguiendo con la capacidad absorptiva individual, Cohen y Levinthal (1990) identificaron que tiene tres dimensiones, mismas que Enkel et al. (2017, p.1) describen como: “la capacidad de los individuos para identificar conocimientos valiosos externos al entorno empresarial existente, la capacidad de los individuos para assimilar el conocimiento externo a la identidad de la organización existente y la capacidad de los individuos para abogar por la utilización del conocimiento externo dentro de una organización”.

Por otra parte, Majhi et al. (2020) afirman que la capacidad absorptiva individual se clasifica en potencial (actividades de reconocimiento y asimilación) y realizada (actividades de transformación y explotación), la primera de estas coadyuva en la generación de ideas y la segunda en su implementación. En esta línea, se siguió las investigaciones de Sandor et al. (2017) y Majhi et al. (2020) quienes la clasificaron en capacidad absorptiva potencial

(CAP) incluyendo los conceptos de reconocimiento y asimilación, y capacidad absorbente realizada (CAR) que incluye los conceptos de transformación y explotación.

Innovación

La innovación en la literatura se conoce como “el proceso de crear algo nuevo, ya sea en la creación de un nuevo producto, servicio o marketing en una empresa” (Siregar et al., 2020, p.28). Está presente en todos los procesos de negocio, coadyuva a enfrentar los cambios y permite alcanzar los objetivos organizacionales (Sancho-Zamora et al., 2021). Dicho de otra forma, es elemental para el éxito de la empresa (Siregar et al., 2020) despertando con ello el interés de la comunidad científica por identificar sus detonadores así como sus efectos.

Si bien se pueden encontrar en la literatura diversas sugerencias para profundizar en el tema de la innovación (Kafetzopoulos et al., 2019), el motivo de elegir el nivel del individuo se debe a que es la fuente del conocimiento y la innovación (Grant, 1996), desempeñando un rol clave como generador de ideas (Bettencourt et al., 2017). En la medida que se entienda que mueve al individuo a innovar será la forma en que las organizaciones podrán aprovechar mejor su potencial.

En otro sentido, al existir conceptos similares en la literatura, por ejemplo, innovación personal (Agarwal y Prasad, 1998), innovación individual (Batra y Vohra, 2016), comportamiento de respuesta a la innovación de los individuos (Goepel y Hölzle, 2012), comportamiento innovador del empleado (Janssen, 2005), comportamiento de trabajo innovador (Jong y Hartog, 2008), comportamiento individual innovador (Kleysen y Street, 2001) y comportamiento innovador en el lugar de trabajo (Yuan y Woodman, 2010), entre otros, después de un

análisis minucioso se decidió considerarlos sinónimos con el nombre de innovación al nivel del individuo que se entiende como las propuestas, desarrollo e implementación de nuevas ideas por parte del individuo con el fin de mejorar su desempeño individual dentro de la empresa.

Desempeño

Impulsar el desempeño es uno de los principales temas en la administración (Zuñiga-Collazos et al., 2019) ya que está estrechamente relacionado con los resultados vitales para las organizaciones. Así pues, se entiende el desempeño como la última medida del resultado de una empresa (Kafetzopoulos et al., 2019), compuesto por aquellos indicadores clave.

Ahora bien, cuando sus detonadores adoptan un enfoque a nivel del individuo resulta lógico pensar que el desempeño también será al nivel del individuo. En este sentido, algunos estudios han enriquecido este nivel de análisis, siendo uno de estos el trabajo de Koopmans et al. (2014) los cuales construyeron un cuestionario llamando la variable desempeño laboral individual. Mura y Longo (2013) lo nombran desempeño individual, integrado por el compromiso organizacional, satisfacción en el trabajo y la baja propensión a la rotación. Este trabajo es integrador en cuanto a la terminología y conceptualizaciones existentes ya que no existe actualmente un consenso en la academia y entiende el desempeño al nivel del individuo como aquel resultado final que genera el individuo mismo que se mide de forma independiente, pero que a la vez contribuye en el desempeño organizacional.

Relación de la capacidad absorbente, la innovación y el desempeño organizacional

En el plano organizacional existen diversas evidencias de la relación que tienen las

variables capacidad absorptiva, innovación y desempeño organizacional, por ejemplo:

Cruz-Rios et al., (2018) en Colombia estudiaron las empresas del sector turismo de las cuales obtuvieron 134 datos y aplicando la técnica de ecuaciones estructurales con análisis de la varianza encontraron que las 2 dimensiones de la CA influyen sobre la innovación en el servicio de entrega y que a la vez la innovación en el servicio de entrega influye sobre el desempeño.

Brenner et al. (2022) en su estudio bibliométrico aplicado a artículos de las bases *Web of Science* y *Scopus* relacionan la CA con la innovación de la empresa y el desempeño organizacional para llegar a la conclusión que la capacidad absorptiva es un antecedente de la innovación de la empresa y que tiene correlación con el desempeño organizacional.

Sancho-Zamora et al. (2021) en España obtienen 315 datos de empresas pequeñas y medianas de diferentes sectores y con la técnica de ecuaciones estructurales comprueban el efecto positivo de la capacidad absorptiva en la capacidad de innovación y el efecto positivo de esta última sobre el desempeño del negocio.

Pradana et al. (2020) en España con una población inicial de 520 empresas dedicadas a los vinos obtienen 138 datos de sus directores y utilizando ecuaciones estructurales con análisis de la varianza encuentran que la capacidad absorptiva tiene un efecto positivo sobre la innovación y el desempeño objetivo de forma indirecta y que de forma directa la innovación tiene un efecto positivo en el desempeño objetivo y subjetivo.

Singh et al. (2020) en los Emiratos Árabes Unidos recolectan mediante una encuesta datos de 291 empresas pequeñas y medianas

de la industria manufacturera y con ecuaciones estructurales comprueban que la capacidad de innovación media entre la capacidad absorptiva y el desempeño de la empresa.

García-Sánchez et al. (2018) en la Unión Europea utilizando la base de datos Amadeus desarrollan un cuestionario para aplicarlo en los 10 países que la integran (Alemania, Reino Unido, Francia, Italia, España, Polonia, Los Países Bajos, Bélgica, Austria y Dinamarca), los datos obtenidos son analizados con un modelo de ecuaciones estructurales y llegan a la conclusión que la capacidad absorptiva realizada impacta en la innovación organizacional y en el desempeño organizacional.

Planteamiento de hipótesis

Al nivel del individuo

La capacidad absorptiva es considerada un recurso del desempeño empresarial que escasamente ha sido abordado a nivel del individuo (Cassol et al., 2016), por ejemplo:

Majidi (2016) investiga como se relacionan los 3 niveles de capacidad absorptiva (individual, grupal y organizacional) en el desempeño organizacional. Para cumplir con su objetivo el autor encuesta 165 gerentes de empresas manufactureras y de servicios para posteriormente mediante una correlación de Pearson y un análisis de regresión con el software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) encontrar que la capacidad absorptiva al nivel del individuo es la que mayor correlación presenta con el desempeño organizacional.

Tian y Soo (2014) investigaron la capacidad absorptiva y el desempeño de la creatividad al nivel del individuo y mediante un cuestionario obtuvieron 125 datos coincidentes recopilados entre empleados y supervisores de una empresa china de diseño

de automóviles para posteriormente emplear el procedimiento de *bootstrapping* y calculando el intervalo de confianza alrededor del efecto indirecto lograron evidenciar que la capacidad absorbente realizada del empleado media la relación positiva entre la capacidad absorbente potencial y el desempeño de la creatividad. De lo anterior se desprende la primera hipótesis de investigación:

H1. Al nivel del individuo, la capacidad absorbente tiene un efecto positivo y significativo en el desempeño organizacional.

La innovación es vital para las empresas, pero para pensar en esta primero se tiene que pensar en los individuos que integran el personal de la empresa (Nejjari y Aamoum, 2020). Así pues, investigar al nivel del individuo resulta clave porque las organizaciones cada vez demandan una mayor aportación de sus empleados en la generación de innovación (Echebiri, 2020); no obstante, escasos trabajos han abordado los detonadores de la innovación al nivel del individuo (Bammens, 2015), entre estos se puede señalar a:

Majhi et al. (2020) en la India encuestan 121 gerentes de tecnología de cuatro empresas grandes dedicadas a la fabricación de equipos automotrices, considerando la capacidad absorbente en 2 variables (capacidad absorbente potencial individual y capacidad absorbente realizada individual) y aplicando la técnica de ecuaciones estructurales los autores no logran comprobar que la capacidad absorbente individual (tanto potencial como realizada) de un gerente mejora su comportamiento laboral innovador.

Enkel et al. (2017) consideran como unidad de análisis 104 gerentes de la tecnología de una empresa radicada en Stuttgart, Alemania, para analizar los efectos de los componentes de la CA a nivel individual en la innovación

exploratoria y en la innovación explotadora. Visualizando los componentes de la CA como tres variables independientes (identificación, asimilación y utilización del conocimiento externo) y con la técnica SEM-PLS comprueban algunas de sus hipótesis y otras no. Así pues, una segunda hipótesis de investigación es propuesta:

H2. Al nivel del individuo, la capacidad absorbente tiene un efecto positivo y significativo en la innovación

Ahora bien, aunque según Zhang (2022) se han realizado muchas aproximaciones para medir la influencia de la innovación en el desempeño de la empresa, existiendo evidencia en economías emergentes (Wadho y Chaudhry, 2018) como Chile y Perú (Heredia et al., 2018), solo algunas lo han llevado al nivel del individuo, por ejemplo:

Howell y Shea (2001) en empresas manufactureras de Norteamérica aplican inicialmente entrevistas y posteriormente una encuesta a tres fuentes (47 campeones, 47 gerentes de división y 237 miembros del equipo de innovación) para proponer entre sus hipótesis que enmarcar la innovación como una oportunidad se relaciona positivamente con el comportamiento de los campeones y que el comportamiento de los campeones se relaciona positivamente con el desempeño del proyecto. Los autores utilizan la técnica SEM-PLS y al final no comprueban la primera, pero si la segunda hipótesis.

Mura y Longo (2013) aplican una encuesta para recolectar 1,117 datos en una empresa líder en el mercado italiano de productos alimenticios. Visualizando la innovación como un constructo de primer orden del capital humano (constructo de segundo orden) y mediante SEM-PLS comprueban que este último afecta positivamente el desempeño individual. Lo anterior genera la última hipótesis del estudio:

H3. Al nivel del individuo, la innovación tiene un efecto positivo y significativo en el desempeño organizacional.

En la Figura 1 se presentan las relaciones propuestas.

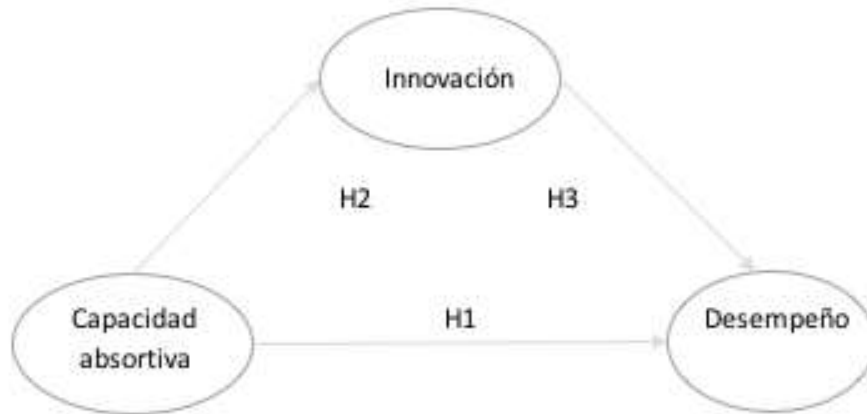


Figura 1. Modelo de la investigación. Fuente: elaboración propia.

2.Método

Tipo de investigación

Esta investigación tiene un enfoque empírico, cuantitativo, de corte transversal y naturaleza predictiva.

Muestra

La población objeto de estudio fueron egresados de una escuela de negocios que se desempeñan en la industria manufacturera en puestos gerenciales con el nombre de gerentes, jefes, supervisores, reponsables, entre otros, teniendo como características que la mayoría tiene personal a su cargo y que tiene una antigüedad ≥ 6 meses, esto con el fin que estuvieran compenetrados con las empresas donde laboran. Esta muestra coincide con la utilizada por Solís et al. (2019). La elección de la industria manufacturera del estado de Tamaulipas como contexto para este trabajo se justifica por ser una referencia en todo México (Gobierno del Estado, 2018).

En concreto, la muestra fue no probabilística y estuvo compuesta por 100 individuos de lo

cuales 58 (58%) eran hombres y 42 (42%) eran mujeres. Respecto a estudios de posgrado cursados, 34 (34%) de los individuos respondieron que si contaban con ello y 66 (66%) que no. Además, en la experiencia laboral predominó >3 años. Este análisis confirmó que los individuos seleccionados dispusieran de conocimientos y experiencia suficientes para contestar el cuestionario.

Instrumento de recolección de datos

Para recabar los datos sobre los constructos de investigación se construyó un cuestionario basado en percepciones mismo que se vuelve original al considerar únicamente reactivos que fueron pensados para el nivel del individuo en la literatura. En resumen, un total de 22 ítems integraron el cuestionario final y fueron medidos con una escala Likert de 7 puntos empezando con 1 que significaba totalmente en desacuerdo hasta alcanzar el 7 que significaba totalmente de acuerdo. En la Tabla 1 se puede observar de forma detallada cada variable y los ítems que las integran.

Tabla 1. Constructos y medidas.

Variable	
Ítem	descripción del ítem
<i>Capacidad absorbtiva (CA) (Sandor et al., 2017)</i>	
CARp1	A menudo pienso en buenas ideas con mis compañeros de trabajo.
CARp2	Asisto a reuniones con personas de diferentes departamentos para debatir nuevas ideas.
CARp3	Desarrollo nuevos conocimientos a partir del conocimiento que está disponible en mi empresa.
CARp4	Puedo convertir el conocimiento existente en nuevas ideas.
CARp5	A menudo aplico los conocimientos recién adquiridos a mi trabajo.
CARp6	Constantemente considero cómo puedo aplicar nuevos conocimientos para mejorar mi trabajo.
<i>Innovación (Kunz y Linder, 2015)</i>	
Ip1	Busco prácticas, procedimientos y procesos innovadores que cambien significativamente mi trabajo.
Ip2	Intento generar nuevas ideas para prácticas / procesos de trabajo.
Ip3	Experimento y evalúo la utilidad de nuevas alternativas de gestión y organización.
Ip4	
Ip5	Intento persuadir a otros de la importancia de realizar cambios significativos en el trabajo diario.
	Intento activamente implementar procedimientos y prácticas innovadores que cambien significativamente mi trabajo.
Ip6	Defiendo y tomo el riesgo de apoyar nuevas ideas de gestión.
Ip7	
	Comparto y promuevo ideas sobre cómo mejorar las prácticas con colegas de otras áreas potencialmente competidores.
Ip8	
	Me esfuerzo por obtener la aprobación de las ideas innovadoras y asegurar los fondos necesarios para implementarlas.
Ip9	Transformo ideas innovadoras de trabajo en aplicaciones útiles.
<i>Desempeño organizacional (Koopmans et al., 2014; Ribeiro et al., 2020)</i>	
Dp1	La planificación de mi trabajo es óptima.
Dp2	Puedo separar los problemas principales de los problemas secundarios en mi trabajo.
Dp3	Participo activamente en reuniones de trabajo.
Dp4	Soy un empleado efectivo.
Dp5	Mis compañeros me ven como un empleado muy productivo.
Dp6	Estoy satisfecho con la calidad de mi trabajo.
Dp7	Mi superior me ve como un empleado efectivo.

Fuente: elaboración propia con base en autores citados.

Técnica utilizada

Los datos recabados fueron tratados en 2 etapas, en la primera se realizó un análisis

descriptivo con el software *Statistical Package for the Social Sciences*, aquí se incluyó la revisión de datos atípicos o

ausentes, así como el análisis de las frecuencias, entre otros. La segunda etapa fue la inferencial eligiendo un modelo de ecuaciones estructurales con mínimos cuadrados parciales (SEM-PLS, por sus siglas en inglés de *structural equation modeling- partial least squares*). El paquete estadístico elegido fue SmartPLS versión 3.2.8. (Ringle et al., 2015). Entre las razones para elegir SEM-PLS se encuentra que permite manejar muestras pequeñas y que es menos estricto en lo referente a la normalidad de los datos recabados (Chin, 2010), además, en la revisión de la literatura se pudo constatar que es el método favorito de los investigadores para abordar el nivel del individuo (por ejemplo: Majhi et al., 2020; Sandor et al., 2017).

Para validar la significancia de las hipótesis se utilizó el procedimiento *bootstrapping* lo cual permitió examinar el estadístico t de todos los indicadores. Siguiendo a otros autores que utilizaron esta técnica (Cruz-Ros et al., 2018; Pradana et al., 2020; Sancho-Zamora et al., 2021) este procedimiento se llevó a cabo con 5.000 muestras y no se aceptaron los cambios de signo.

Procedimiento

La recolección de datos fue en el primer bimestre del año 2021 vía e-mail con algunas llamadas de seguimiento, asegurándoles a los encuestados que los fines de esta investigación eran estrictamente para cuestiones académicas. Con el fin de recabar el mayor número posible de datos se utilizó la página *google forms* (Google, 2021). Así pues, 144 cuestionarios fueron enviados y se recibieron 100 lo que indica una tasa de

respuesta del 69%. Los datos recabados se descargaron en una hoja de Excel y posteriormente se aplicó la técnica seleccionada.

3.Resultados

Ajuste del modelo de medida

La técnica SEM-PLS inició con el ajuste del modelo de medida en el que se revisó que las cargas factoriales de los ítems cumplieran con el mínimo exigido de 0.707 (Hair et al., 2017), al encontrarse algunos que no cumplían ese valor se procedió a una depuración de ítems. En total 7 ítems fueron eliminados del modelo (CARp1, CARp2, CARp3, Ip4, Dp1, Dp3, Dp6) restando 15 para continuar con el análisis.

La confiabilidad del instrumento por su parte, se validó mediante la consistencia interna de los constructos que lo componen empleando el Alfa de Cronbach y la fiabilidad compuesta (Werts et al., 1974) cumpliendo los 3 constructos con el $\geq .7$ sugerido por la literatura (Hair et al., 2017).

Respecto a la validez convergente que tiene como función comprobar que el grupo de indicadores representen un solo constructo (Henseler et al., 2009) se comprobó que cada constructo fuera explicado por una varianza media extraída (*average variance extracted* o AVE por sus siglas en inglés) $> .50$, lo que sugiere que la varianza explicada es mayor que la varianza del error (Hair et al., 2011). La Tabla 2 muestra con detalle los resultados obtenidos por constructo del AVE, el Alfa de Cronbach y la Fiabilidad compuesta.

Tabla 2. Valores finales al modelo de medida.

Constructo latente	Validez convergente	Criterios de calidad (consistencia interna)	
	AVE	Fiabilidad compuesta	Alfa de Cronbach
	>,50	>,70	>,70
Capacidad absorbtiva	0,607	0,822	0,824
Innovación	0,646	0,936	0,936
Desempeño organizacional	0,630	0,871	0,869

Fuente: elaboración propia a partir de SmartPLS.

Por último, para la validez discriminante se utilizó el criterio de Fornell-Larcker (Fornell y Larcker, 1981) mismo que evidenció que las correlaciones de cada constructo fueran diferentes de las otras (Hair et al., 2017). La Tabla 3 muestra la matriz de correlaciones, “la diagonal de esta matriz es la raíz cuadrada

de la varianza promedio extraída. Para una validez discriminante adecuada, los elementos diagonales deben ser mayores que los elementos fuera de la diagonal en las filas y columnas correspondientes, y exceder 0.5” (Mura y Longo, 2013, p.443), esto permitió avanzar con el estudio.

Tabla 3. Matriz de correlaciones

	Capacidad absorbtiva	Desempeño	Innovación
Capacidad absorbtiva	0,779		
Desempeño organizacional	0,607	0,794	
Innovación	0,662	0,793	0,804

Fuente: Elaboración propia a partir de SmartPLS.

Ajuste del modelo estructural

En el modelo estructural se validó que los constructos endógenos fueran explicados por los constructos exógenos propuestos a través de los coeficientes de determinación (R^2), siguiendo a Cohen (1988) quien califica como efecto pequeño un valor obtenido del 2%, un efecto mediano con valores del 13% al 25% y un efecto grande con un valor $\geq 26\%$,

hace suponer un modelo bien planteado y con una correcta revisión de la literatura.

Los coeficientes path (pesos de regresión estandarizados) todos fueron positivos y significativos al $p < 0.001$ (***) lo que permite aceptar las 3 hipótesis planteadas (H1, H2 y H3). En la figura 2 se puede ver un resumen de los resultados.

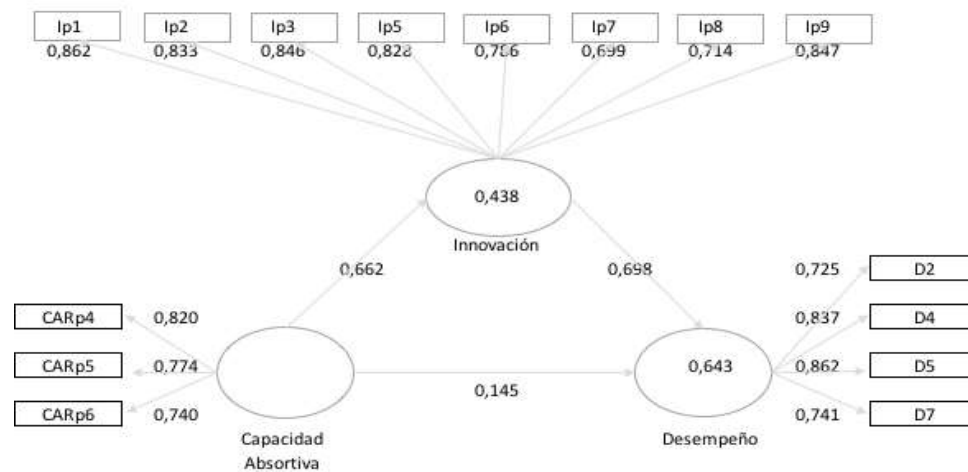


Figura 2. Modelo estructural final. Fuente: SmartPLS con datos de la investigación.

4. Discusión

De acuerdo a la Figura 2 existe evidencia que al nivel del individuo el efecto que tiene la CA en el desempeño organizacional (H1) y la innovación (H2) es positivo y significativo, de la misma forma se evidenció un efecto positivo y significativo de la innovación en el desempeño organizacional (H3) por lo que las hipótesis propuestas fueron estadísticamente aceptadas. El resultado obtenido es congruente con la revisión de la literatura realizada en la cual numerosos autores han sugerido una asociación positiva de la CA con la innovación y el desempeño organizacional (Brenner et al., 2022; García-Sánchez et al., 2018; Zahra y George, 2002).

Específicamente el resultado de la H1 es congruente con otros resultados que han medido la capacidad absorptiva con otros tipos de desempeño (por ejemplo: Fakhroazi et al., 2019; Tian y Soo, 2014). La capacidad absorptiva al nivel del individuo se convierte en un canal para adquirir conocimiento y ese conocimiento genera un resultado (desempeño). En el plano organizacional, también ha quedado demostrado con trabajos como el de Zuñiga-Collazos et al. (2019) en Colombia, aunque estos incluyeron adicional al sector industrial el sector servicios sugiriendo con esto que la causalidad

encontrada se puede dar de igual forma en otros sectores. Ahora bien, la capacidad absorptiva también puede fungir el papel de mediadora ante el desempeño, como ejemplo se puede señalar el trabajo de Ahmed et al. (2020).

Sobre el resultado de la H2, desde estudios pioneros como el de Cohen y Levinthal (1990) se ha comprobado que la CA favorece diversos tipos de innovación al representar las fuentes externas que dan lugar a nuevas ideas e innovaciones (Leal-Rodríguez et al., 2014). La evidencia encontrada es congruente con resultados previos a nivel organizacional (por ejemplo: Ortigueira-Sánchez et al., 2020; Solís et al., 2019).

En este sentido, es conveniente mencionar que en la literatura existe una diversidad de perspectivas de las variables capacidad absorptiva e innovación comprobándose la misma causalidad con ciertas particularidades, por ejemplo Ortiz et al. (2019) clasifican la CA como potencial y realizada encontrando que esta impacta en la innovación de procesos, no así en la innovación de productos. Ortigueira-Sánchez et al. (2020) clasifican la capacidad absorptiva en potencial y capacidad realizada y encuentran que afecta en la innovación, pero

difiere el grado de su efecto si se dividen las empresas estudiadas en micro, pequeñas y medianas. Por el lado de la innovación autores como Müller et al. (2020) la han clasificado en estrategia exploratoria de innovación y estrategia explotadora de innovación, el autor encuentra en su estudio que la capacidad absorbente potencial tiene un mayor efecto en ambos tipos de innovaciones que la capacidad absorbente realizada.

De la misma forma en la relación de causalidad de capacidad absorbente e innovación se han propuesto otras variables como mediadoras, por ejemplo en el trabajo de Sancho-Zamora et al. (2022) donde se propone al aprendizaje organizacional. Ahora bien, esta relación también ha sido analizada mediante revisiones de la literatura, como el meta-análisis realizado por Zou et al. (2018) comprobando que el grueso de la literatura sigue la misma línea, la CA favorece la innovación.

Por último, el resultado de la H3 comprobó que la innovación tiene un efecto positivo en el desempeño organizacional al nivel del individuo estando en la misma línea que resultados organizacionales previos, si bien el desempeño es un concepto ambiguo y la innovación tiene diversas clasificaciones se ha demostrado mediante diferentes planteamientos y contextos una relación de causalidad, por ejemplo: con dimensiones de innovación y desempeño empresarial bajo incertidumbre ambiental (Kafetzopoulos et al., 2019), midiendo los efectos de la innovación de producto en el desempeño de las exportaciones (Jusufi et al., 2020; Manjunatha, 2020), las afectaciones de la innovación en el desempeño financiero (Chouaibi, 2020) o sencillamente planteándolo como la influencia de la innovación en el desempeño de la empresa (Siregar et al., 2020). Llegando la mayoría de las veces a la misma conclusión, la innovación tiene un efecto positivo en el

desempeño sea cual sea la clasificación empleada.

En resumen, el análisis de las tres variables estudiadas al nivel del individuo tiene un comportamiento similar a investigaciones al nivel organizacional lo que permite ir construyendo una teoría al respecto.

5. Conclusiones

El trabajo cumplió con su objetivo determinando los efectos positivos y significativos que tienen la capacidad absorbente y la innovación en el desempeño organizacional al nivel del individuo. De la misma forma se comprobó que la capacidad absorbente tiene un efecto positivo y significativo en la innovación al nivel del individuo. El presente estudio genera una serie de contribuciones y reflexiones.

Por el lado práctico, este estudio pretende ser de utilidad para que las empresas valoren el potencial de los individuos que conforman su planta laboral y con ello enfocarse en desarrollarlos en beneficio de las mismas. El individuo como unidad elemental de cualquier organización representa la base de un desempeño colectivo.

Ahora bien, en el plano del conocimiento se comprobó que es viable estudiar al individuo con las mismas variables utilizadas en los estudios organizacionales. En este estudio también se pusieron a prueba únicamente reactivos al nivel del individuo generándose un cuestionario validado y probado para el modelo propuesto de investigación. La literatura al nivel del individuo principalmente en economías en desarrollo está en una etapa incipiente por lo cual este trabajo junto a algunos otros (por ejemplo: Nahuat, 2020) es pionero al utilizar esta perspectiva, y por lo tanto no podría adoptar una actitud concluyente en sus resultados,

sino, más bien, invita a seguir profundizando en esta línea.

Por último, esta investigación no está libre de limitaciones, la principal debilidad radica en la definición de la muestra, ya que al ser a conveniencia del investigador no puede ser representativa de una población. Para futuras líneas de investigación se propone replicar el estudio en otro contexto definiendo la muestra mediante un proceso más riguroso.

Referencias

Agarwal, R., & Prasad, J. (1998). A Conceptual and Operational in the Domain Personal Innovativeness Information of Technology. *Information Systems Research*, 9(2), 204–215.
<https://www.jstor.org/stable/23010927>

Ahmed, S. S., Guozhu, J., Mubarik, S., Khan, M., & Khan, E. (2020). Intellectual capital and business performance: the role of dimensions of absorptive capacity. *Journal of Intellectual Capital*, 21(1), 23–39.
<https://doi.org/10.1108/JIC-11-2018-0199>

Allameh, S. M. (2018). Antecedents and consequences of intellectual capital: The role of social capital, knowledge sharing and innovation. *Journal of Intellectual Capital*, 19(5), 858–874.
<https://doi.org/10.1108/JIC-05-2017-0068>

Armijos, F., Bermúdez, A., & Mora, N. (2019). Gestión de administración de los recursos humanos. *Universidad y Sociedad*, 9(2), 313–318.
<http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v11n4/2218-3620-rus-11-04-163.pdf>

Bammens, Y. P. M. (2015). Employees' Innovative Behavior in Social Context:

A Closer Examination of the Role of Organizational Care. *Journal of Product Innovation Management*, 33(3), 244–259.
<https://doi.org/10.1111/jpim.12267>

Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120.
<https://doi.org/10.1177/014920639101700108>

Batra, S., & Vohra, N. (2016). Exploring the linkages of cognitive style and individual innovativeness. *Management Research Review*.
<https://doi.org/10.1108/MRR-03-2014-0047>

Bettencourt, L., Bond III, Edward, Cole, M. S., & Houston, M. B. (2017). Domain-Relevant Commitment and Individual Technical Innovation Performance *. *Product Development & Management Association*, 34(2), 159–180.
<https://doi.org/10.1111/jpim.12339>

Brenner, A. L., Hermann, C., Severo, E. A., & Engelman, R. (2022). Tendencies of the Absorptive Capacity and Its Correlation with Innovation and the Incubated Companies' Performance. *Journal of Entrepreneurship and Innovation in Emerging Economies*, 8(1), 121–142.
<https://doi.org/10.1177/23939575211032096>

Cassol, A., Gonçalo, C. R., & Ruas, R. L. (2016). Redefining the relationship between intellectual capital and innovation: The mediating role of absorptive capacity. *BAR-Brazilian Administration Review*, 13(4), e150067.
<https://doi.org/10.1590/1807-7692bar2016150067>

Chin, W. (2010). How to Write Up and

- Report PLS Analyses. In W. H. (eds) In: Esposito Vinzi V., Chin W., Henseler J. (Ed.), *Handbook of Partial Least Squares*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Chouaibi, J. (2020). Innovation and Financial Performance in Manufacturing Companies: an Empirical Study Tunisian. *Journal of the Knowledge Economy*, (1997). <https://doi.org/10.1007/s13132-020-00692-8>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd.). New York: Psychology Press.
- Cohen, W., & Levinthal, D. (1990). Absorptive Capacity: A New Perspective-on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128–152. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-7223-8.50004-6>
- Cruz-Ros, S., Guerrero-Sánchez, D. L., & Miquel-Romero, M. J. (2018). Absorptive capacity and its impact on innovation and performance: findings from SEM and fsQCA. *Review of Managerial Science*, 15(2), 235–249. <https://doi.org/10.1007/s11846-018-0319-7>
- De los Santos, A., Morales, D., & Ferretiz, L. E. (2022). Percepciones sobre Capacidad Absortiva e Innovación en el Sector Farmacéutico Mexicano. *Trayectorias, Revista de Ciencias Sociales de La Universidad Autonoma de Nuevo León*, 24(54), 78–101. <https://trayectorias.uanl.mx/index.php/revista/article/view/6/4>
- Echebiri, C. K. (2020). An empirical study into the individual-level antecedents to employee-driven innovation. *Technology Innovation Management Review*, 10(6), 42–52. <https://doi.org/10.22215/timreview/1367>
- Enkel, E., Heil, S., Hengstler, M., & Wirth, H. (2017). Exploratory and exploitative innovation: To what extent do the dimensions of individual level absorptive capacity contribute? *Technovation*, 60–61(August), 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2016.08.002>
- Fakhrorazi, A., Hartini, H., & Islam, R. (2019). The outcomes of individual absorptive capacity among academicians in Malaysian public universities. *Humanities and Social Sciences Reviews*, 7(1), 228–238. <https://doi.org/10.18510/hssr.2019.7127>
- Fornell, C., & Larcker, D. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *American Marketing Association*, 109(4), 555–562. <https://doi.org/10.1177/002224378101800104>
- García-Sánchez, E., García-Morales, V., & Martín-Rojas, R. (2018). Influence of Technological Assets on Organizational Performance through Absorptive Capacity, Organizational Innovation and Internal Labour Flexibility. *Sustainability*, 1–25. <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/3/770>
- Gobierno del Estado. (2018). TAMAULIPAS ES REFERENTE INDUSTRIAL A NIVEL NACIONAL. Retrieved October 10, 2021, from <https://www.tamaulipas.gob.mx/desarrolloeconomico/2018/03/tamaulipas-es->

referente-industrial-a-nivel-nacional/

y2019icp35-55.html

- Goepel, M., & Hölzle, K. (2012). Individuals' Innovation Response Behaviour: A Framework of Future Research. *Creativity and Innovation Management*, 21(4), 412–426. <https://doi.org/10.1111/caim.12000>
- Google. (2021). Crea atractivos formularios. Retrieved January 1, 2021, from https://www.google.com/intl/es-419_co/forms/about/
- Grant, R. M. (1996). Prospering in dynamically-competitive environments: Organizational capability as knowledge integration. *Organization Science*, 7(4). doi:10.1287/orsc.7.4.375
- Hair, J. F. J., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2017). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)* (Segunda edición). Sage publications.
- Hair, J. F., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2011). PLS-SEM: Indeed a silver bullet. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 19(2), 139–151. <https://doi.org/10.2753/MTP1069-6679190202>
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sinkovics, R. R. (2009). The use of partial least squares path modeling in international marketing. *Advances in International Marketing*, 20(January), 277–319. [https://doi.org/10.1108/S1474-7979\(2009\)0000020014](https://doi.org/10.1108/S1474-7979(2009)0000020014)
- Heredia, J., Geldes, C., Kunc, M., & Flores, A. (2018). New approach to the innovation process in emerging economies: The manufacturing sector case in Chile and Peru. *Technovation*, 79, 35–55. <https://ideas.repec.org/a/eee/techno/v79>
- Howell, J. M., & Shea, C. M. (2001). Individual differences, environmental scanning, innovation framing, and champion behavior: Key predictors of project performance. *Journal of Product Innovation Management*, 18(1), 15–27. [https://doi.org/10.1016/S0737-6782\(00\)00067-9](https://doi.org/10.1016/S0737-6782(00)00067-9)
- Janssen, O. (2005). The joint impact of perceived influence and supervisor supportiveness on employee innovative behaviour. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 573–579. <https://doi.org/10.1348/096317905X25823>
- Jong, J. P. J., & Hartog, D. N. Den. (2008). Innovative work behavior: Measurement and Validation. *SCALES-Initiative (SCientific AnaLysis of Entrepreneurship and SMEs)*, (November). https://www.researchgate.net/publication/23528607_Innovative_Work_Behaviour_Measurement_and_Validation
- Jusufi, G., Ukaj, F., & Ajdarpašić, S. (2020). The effect of product innovation on the export performance of Kosovo SMEs. *Management*, 25(2), 215–234. <https://doi.org/10.30924/mjcmi.25.2.12>
- Kafetzopoulos, D., Psomas, E., & Skalkos, D. (2019). Innovation dimensions and business performance under environmental uncertainty. *European Journal of Innovation Management*, 23(5), 856–876. <https://doi.org/10.1108/EJIM-07-2019-0197>
- Kleysen, R. F., & Street, C. T. (2001). Toward a multi-dimensional measure of individual innovative behavior. *Journal*

- of Intellectual Capital.
<https://doi.org/10.1108/EUM00000000005660>
- Koopmans, L., Bernaards, C. M., Hildebrandt, V. H., De Vet, H. C. W., & Van Der Beek, A. J. (2014). Construct validity of the individual work performance questionnaire. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 56(3), 331–337.
<https://doi.org/10.1097/JOM.00000000000000113>
- Kunz, J., & Linder, S. (2015). With a view to make things better: individual characteristics and intentions to engage in management innovation. *Journal of Management and Governance*, 19(3), 525–556.
<https://doi.org/10.1007/s10997-013-9280-7>
- Leal-Rodríguez, A., Roldán, J., Ariza-Montes, J., & Leal-Millan, A. (2014). From potential absorptive capacity to innovation outcomes in project teams: The conditional mediating role of the realized absorptive capacity in a relational learning context. *International Journal of Project Management*, 32(6), 894–907.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263786314000064>
- Majhi, S. G., Snehrat, S., Chaudhary, S., & Mukherjee, A. (2020). The synergistic role of individual absorptive capacity and individual ambidexterity in open innovation: a moderated-mediation model. *International Journal of Innovation Management*, 24(7), 1–30.
<https://doi.org/10.1142/S1363919620500838>
- Majidi, K. (2016). Examining the Relationship between Absorption Capacity with Organizational Performance (Case Study : Companies of the Industrial Town in Ilam City). *International Journal of Humanities and Cultural Studies*, 942–950.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Examining-the-Relationship-between-Absorption-with-Majidi-Hajipour/e4cf99d013bee5a3757592d2b7b81f85dcbb8b79>
- Manjunatha, N. (2020). Internationalization and Innovation Capabilities Determine Export Performance of Indian Auto Component Manufacturing Industry. *Gurukul Business Review*, 16(Winter), 47–60.
http://www.pbr.co.in/2020/2020_month/September/11.pdf
- Müller, J. M., Buliga, O., & Voigt, K. (2020). The role of absorptive capacity and innovation strategy in the design of industry 4 . 0 business Models - A comparison between SMEs and large enterprises. *European Management Journal*, 39(3), 333–343.
<https://doi.org/10.1016/j.emj.2020.01.002>
- Mura, M., & Longo, M. (2013). Developing a tool for intellectual capital assessment: An individual-level perspective. *Expert Systems*, 30(5), 436–450.
<https://doi.org/10.1111/j.1468-0394.2012.00650.x>
- Nahuat, B. (2020). Influencia del capital intelectual en la innovación: una perspectiva al nivel del individuo. *Nova Scientia*, 12 (2), 1-29
<http://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2509>
- Nahuat-román, B., Rodríguez-vargas, M. y Gómez, M. del C. (2021). La función mediadora de la capacidad absorptiva en la relación entre el capital intelectual y la

- innovación en los institutos de educación superior del sur de Tamaulipas. *Nova Scientia*, 14(1), 1–28. <https://www.scielo.org.mx/pdf/ns/v13n27/2007-0705-ns-13-27-00023.pdf>
- Nahuat, B., Rodríguez, M., & Gómez, M. del C. (2021). Innovación , Responsabilidad Social Empresarial en grandes empresas. *Investigación Administrativa*, 50(128), 0–17. <https://doi.org/10.35426/iav50n128.01>
- Nejjari, Z., & Aamoum, H. (2020). Intellectual capital as a generator of innovation in companies: A systematic review. *Humanities and Social Sciences Reviews*, 8(1), 464–479. <https://doi.org/10.18510/hssr.2020.8158>
- Obeidat, B. Y., Tarhini, A., Ra', N. A., Masa', ed, deh, N. A., & Aqqad, N. O. (2017). The impact of intellectual capital on innovation via the mediating role of knowledge management: a structural equation modelling approach. *International Journal of Knowledge Management Studies*, 8(3/4), 273. <https://doi.org/10.1504/IJKMS.2017.087071>
- Ortigueira-Sánchez, L. C., Stein, W. C., Risco-martínez, S. L., & Ricalde, M. F. (2020). The Impact of Absorptive Capacity on Innovation in Peru. *J. Technol. Manag. Innov.*, 15(4), 19–29. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27242020000400019>
- Ortiz, M., Delgado, A., Herrera, B., Arevalo, M., & Barrera, A. (2019). Efectos de la Capacidad de Absorción en la Innovación del sector Industrial en el Norte de México. *Nova Scientia*, 11(23). <https://doi.org/10.21640/ns.v11i23.2039>
- Pradana, M., Pérez-Luño, A., & Fuentes-Blasco, M. (2020). Innovation as the key to gain performance from absorptive capacity and human capital. *Technology Analysis & Strategic Management*, 1–13. <https://doi.org/10.1080/09537325.2020.1714578>
- Real Academia Española. (2023). Diccionario. Retrieved from <https://dle.rae.es/empresa?m=form>
- Rezaei-Zadeh, M., & Darwish, T. K. (2016). Antecedents of absorptive capacity: a new model for developing learning processes. *Learning Organization*, 23(1), 77–91. <https://doi.org/10.1108/TLO-04-2015-0026>
- Ribeiro, N., Nguyen, T., Duarte, A. P., Torres de Oliveira, R., & Faustino, C. (2020). How managerial coaching promotes employees' affective commitment and individual performance. *International Journal of Productivity and Performance Management*. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-10-2018-0373>
- Ringle, C., Wende, S., & Becker, J. (2015). SmartPLS 3. <http://www.smartpls.com>.
- Sancho-Zamora, R., Gutiérrez-Broncano, S., Hernández-Perlines, F., & Peña-García, I. (2021). A Multidimensional Study of Absorptive Capacity and Innovation Capacity and Their Impact on Business Performance. *Frontiers in Psychology*, 12(October). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.751997>
- Sancho-Zamora, R., Hernández-Perlines, F., Peña-garcía, I., & Gutierrez-Broncano, F. (2022). The Impact of Absorptive Capacity on Innovation : The Mediating

- Role of Organizational Learning. *International Journal of Environment Research and PUBLIC Health*, 1–15. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020842>
- Sandor, L., Jeroen, K., & Aard, G. (2017). Antecedents and effects of individual absorptive capacity: a micro-foundational perspective on open innovation. *Journal of Knowledge Management*. Retrieved from <https://doi.org/10.1108/JKM-09-2016-0410>
- Singh, S. K., Giudice, M. Del, Nicotra, M., & Fiano, F. (2020). How Firm Performs Under Stakeholder Pressure : Unpacking the Role of Absorptive Capacity and Innovation Capability. *IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT*, 1–12. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9289009>
- Siregar, Z. M. E., Suryana, Ahman, E., & Senen, S. H. (2020). Knowledge management, innovation, and firm performance: The case of Batik industry in Indonesia. *Quality - Access to Success*, 21(179), 27–32. https://www.researchgate.net/publication/346581173_Knowledge_Management_Innovation_and_Firm_Performance_The_Case_of_Batik_Industry_in_Indonesia
- Solís, S. Y., Zerón, M., & Sánchez, Y. (2019). Efectos de la Capacidad de Absorción en la Innovación del sector Industrial en el Norte de México. *Nova Scientia*, 11(23), 447. <https://doi.org/10.21640/ns.v11i23.2039>
- Teece, D. D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509–533. https://doi.org/10.1142/9789812834478_0002
- Tian, A., & Soo, C. (2014). Absorptive Capacity and Creative Performance at the Individual Level. *Anzam.Org*, 1–20. Retrieved from http://www.anzam.org/wp-content/uploads/pdf-manager/1723_ANZAM-2014-379.PDF
- Wadho, W., & Chaudhry, A. (2018). Innovation and firm performance in developing countries: The case of Pakistani textile and apparel manufacturers. *Research Policy*, 47(7), 1283–1294. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.04.007>
- Werts, C., Linn, R., & Joreskog, K. (1974). Intraclass reliability estimates: testing structural assumptions. *Educational and Psychological Measurement*, 34(1), 25–33. <https://doi.org/10.1177/001316447403400104>
- Yuan, F., & Woodman, R. W. (2010). Innovative behavior in the workplace: the role of performance and image outcome expectations. *Academy of Management Journal*, 53(2), 323–342. <https://www.jstor.org/stable/25684323>
- Zahra, S., & George, G. (2002). Absorptive capacity: a review, reconceptualization, and extension. *Academy of Management Review*, 27(2), 185–203. <https://doi.org/10.2307/4134351>
- Zhang, H. (2022). Does combining different types of innovation always improve SME performance? An analysis of innovation complementarity. *Journal of Innovation and Knowledge*, 7(3),

100192.

<https://doi.org/10.1016/j.jik.2022.100192>

Zou, T., Ertug, G., & George, G. (2018). The capacity to innovate : a meta-analysis of absorptive capacity. *Innovation Organization & Management*, 20(2), 87–121.
<https://doi.org/10.1080/14479338.2018.1428105>

1428105

Zuñiga-Collazos, A., Lozada, N., & Perdomo-Charry, G. (2019). effect of absorption capacity acquired on organizational performance. *International Journal of Innovation Management*, 1–19.
<https://doi.org/10.1142/S1363919620500486>



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Patrones de consumo del comercio electrónico en México. Evidencia a partir del análisis de microdatos en los hogares

E-commerce consumption patterns in Mexico. Evidence from household microdata analysis

Jiménez-Cerra, E.*, Feitó-Madrigal, D., Portal-Boza, M.

Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma de Baja California, Parque Internacional Industrial Tijuana, 22390, B.C.

edgar.jimenez83@uabc.edu.mx*; duniesky.feito.madrigal@uabc.edu.mx; mportal@uabc.edu.mx

Innovación tecnológica: Identificación de patrones de consumo del comercio electrónico.

Área de aplicación industrial: E-commerce.

Recibido: 28 enero 2023

Aceptado: 03 julio 2023

Abstract

To evaluate the pattern of consumption of electronic commerce in Mexico, the microdata of the National Survey on Availability and Use of Information Technologies in Households (ENDUTIH 2018). A descriptive and correlational methodology was used with a quantitative approach. The results show that, of the 55,069 households examined, only 23.8% made purchases over the Internet with a frequency of consumption that is repeated every six months. Likewise, it was possible to identify that the products and services that had the greatest demand through electronic platforms were items for personal use and reservations and plane tickets, purchased 59.6% of the time through national internet sites. Other important findings were to identify that online purchases in homes are determined by the level of education, gender and age of its members. It was possible to corroborate that the characteristics of the households, referring to the geographical location, sociodemographic stratum, existence of technological means and Internet access, experience and frequency of access to the network, have significant impacts on the purchase intention. Although the aforementioned factors are decisive in the consumer's decision, the use of social networks turned out to be the variable with the greatest impact on the purchase of products online.

Keywords: e-commerce, households, consumption patterns, social networks.

Resumen

Para evaluar el patrón de consumo del comercio electrónico en México se manejaron los microdatos de la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH 2018). Se utilizó una metodología de tipo descriptiva y correlacional con un enfoque cuantitativo. Los resultados muestran que, de los 55,069 hogares examinados, sólo el 23.8% realizó compras por internet con una frecuencia de consumo que se repite, en mayor medida, cada seis meses. Asimismo, se pudo identificar que los productos y servicios que tuvieron mayor demanda a través de las plataformas electrónicas fueron, los artículos de uso personal y las reservaciones y boletos de avión, adquiridos en un 59.6% de las veces a través de sitios nacionales en internet. Otros de los hallazgos importantes fue identificar que las compras por internet en los hogares están determinadas por el nivel de escolaridad, género y la edad de sus integrantes. Igualmente se pudo corroborar que las características de los hogares, referidas con la ubicación geográfica, estrato sociodemográfico, existencia de medios tecnológicos y de acceso a internet, la experiencia y la frecuencia de acceso a la red, tienen impactos significativos en la intención de compra. Si bien, los factores antes mencionados son determinantes en la decisión del consumidor, el uso de las redes sociales resultó ser la variable de mayor impacto en la compra de productos en línea.

Palabras clave: comercio electrónico, hogares, patrones de consumo, redes sociales.

Introducción

En la actualidad la conectividad es un término habitual entre las personas, no se concibe la mayor parte de las actividades de la vida diaria sin la posibilidad de mejorarse mediante el uso de las tecnologías de la información. La sociedad ha evolucionado y continúa haciéndolo a un ritmo vertiginoso con el internet como factor transformador, en especial la manera de adquirir o comprar productos o servicios. La red de redes se utiliza como medio de distribución y comunicación entre las partes implicadas, permitiendo la realización de cualquier operación monetaria o electrónica a través de lo que se conoce como Comercio Electrónico (CE).

En contraste con décadas anteriores, la llegada del CE ha posibilitado la creación de una nueva concepción de negocios adaptados a las necesidades de un consumidor más

exigente que está en constante interacción a través de plataformas digitales. Entre las principales ventajas que ofrece el CE se destacan el aumento de la productividad relacionado con una mayor eficiencia al digitalizar todas las operaciones y el acceso a un nivel innumerable de nuevos proveedores, intermediarios y consumidores en el mercado global (Lin, 2014). Del mismo modo, ofrece a los consumidores un grupo de beneficios que se convierten en motivaciones que estimulan la intención de compra. Estas bondades son promovidas por los vendedores como estrategia para el desarrollo efectivo de las ventas de productos y servicios en línea, así como la creación de una relación de fidelidad basada en las características del cliente y sus intereses.

Tal ha sido el avance del Comercio Electrónico a nivel global que se estima que en 2018 alrededor de 1,800 millones de personas realizaron al menos una compra por

internet equivalente a 2,8 billones de dólares (eMARKETER, 2018). En el caso de México y de acuerdo a las cifras reflejas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) el valor agregado bruto del comercio electrónico entre 2013 y 2017 creció en un 50% y en la actualidad aporta un 4.6% al PIB nacional (INEGI, 2019). Estos valores ubican a México como el segundo país en Latinoamérica en cuanto a ventas minoristas de comercio electrónico (eMARKETER, 2018).

El estudio de los patrones de consumo en el comercio electrónico es esencial, tanto para las organizaciones como para los emprendedores en este sector, de forma que les permita comprender el mercado objetivo, identificar las oportunidades dentro del mismo, mejorar la experiencia del cliente brindando un servicio más cercano a sus necesidades y sobre esta base planificar estrategias de marketing más efectivas. Esto ayuda a las empresas a adaptarse a las necesidades cambiantes de los consumidores y a tener éxito en un entorno comercial cada vez más digital (Rohm y Swaminathan, 2004; Aljukhadar y Senecal, 2011).

La mayoría de las investigaciones que anteceden este estudio han caracterizado al consumidor electrónico tomando en cuenta indicadores sociodemográficos (Chong, 2013; Arbañil Cayata y Ruiz Terrones, 2021; Noriega Borbor, 2022), sin embargo, y a pesar de que existe una diversidad de estudios en este sentido son pocos los que han estudiado a los clientes con respecto a la toma de decisión al momento de comprar, y en menor grado se ha considerado el tema de las redes sociales como factor que incide en estas decisiones.

Derivado de lo anterior, y dada la relevancia que tiene el Comercio Electrónico en la economía mexicana, la presente investigación tiene como objetivo evaluar, a partir de la

Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares, cuáles son las principales características de los patrones de consumo del comercio electrónico en México, haciendo énfasis en los factores que determinan la decisión de compra de los usuarios en las diferentes plataformas electrónicas.

El empleo de medios electrónicos para la realización de operaciones mercantiles, principalmente financieras, se remonta algunos años antes de la aparición de la World Wide Web, por supuesto con grandes limitaciones en cuanto a funcionalidades y acceso, estando reservadas solo para algunos privilegiados a nivel mundial.

De acuerdo con Rodríguez (2003), la primera referencia al comercio electrónico proviene de los años 60 del siglo XX con la propuesta del intercambio de datos comerciales en forma estructurada por medios electrónicos (EDI), por sus siglas en inglés. Las tres principales características que lo definieron fueron: la transmisión de datos mediante un medio electrónico, los mensajes con una estructura única y acordada, y la velocidad de las comunicaciones entre las aplicaciones y computadoras del momento.

En 1978 comienza a operar el grupo denominado *Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication* (SWIFT), que estableció un enlace de comunicaciones para transacciones financieras internacionales, utilizando un lenguaje definido y la compartimentación de los datos a nivel global (Rodríguez, 2003). Estos dos casos mencionados se encuentran identificados dentro del espectro empresarial, manteniendo algunas posiciones hoy en día al tener enlaces dedicados y protocolos de comunicaciones específicamente definidos brindando elementos de seguridad que internet no garantiza.

El acceso desde los hogares comienza durante la década del 80 con la aparición de los Bulletin Board Systems (BBS), programas informáticos que permitieron a los usuarios con acceso a estas redes, mediante la vía telefónica, consultar informaciones que publican otros miembros de la misma (Rodríguez, 2003). Ya en la década de 1990 con el surgimiento del internet el Comercio Electrónico evoluciona exponencialmente, apareciendo nuevos modelos de negocio basados en la red, aumentando las oportunidades para los proveedores y los beneficios para los clientes, intensificándose la competencia debido a la reducción de las barreras físicas, se aceleran los procesos y se acortan los ciclos de vida de los productos (Del Águila, Jiménez y Padilla, 2000).

Varios autores conceptualizan el comercio electrónico desde perspectivas diferentes. Para Guerrero y Rivas (2005), el CE ha globalizado el mercado, incluyendo cualquier negocio que haga uso del Internet transformando las relaciones entre ofertantes y demandantes y explotando las oportunidades que surgen motivo de una economía interconectada. Siguiendo esta línea Tavera y Londoño (2014) lo describen como un concepto que acorta la distancia entre los compradores y vendedores, además que puede brindar una serie de ventajas a las empresas como la mayor rapidez para hacer llegar los productos al mercado, así como el incremento exponencial de las bases de datos de posibles clientes (Ganga y Águila, 2006).

Laudon y Guercio (2010) definen el Comercio Electrónico desde un punto de vista tecnológico a través de 8 elementos descriptivos: omnipresencia, globalidad, universalización de estándares, abundante transmisión, interacción, grandes volúmenes de información, ajuste a las necesidades del cliente y la vinculación negocios - tecnología – sociedad. Estos autores lo resumen como la posibilidad de acceder desde cualquier lugar,

en cualquier horario, en igualdad de condiciones a los productos y servicios e interactuar, crear y compartir contenido mediante redes sociales, mensajes, videos, audios, con calidad y a bajo costo, por parte de los consumidores.

En el caso de las empresas el empleo de las tecnologías de CE les permite conocer mucho más acerca de cómo compran los consumidores y cómo operan sus competidores obteniendo información relevante para el desarrollo de sus estrategias. En concordancia han cambiado su proyección de un modelo enfocado en el área geográfica y las ventas a uno sin fronteras virtuales y tomando como figura principal el consumidor. El consumidor, sin el cual no existiría el CE o tradicional, cada día se vuelve más eficiente, navega a través de diferentes canales y dispositivos accediendo a volúmenes elevados de información, según su conveniencia, para evaluar los productos o servicios que desea adquirir. La información que generan sus acciones de compra y el control sobre las características que condicionan las mismas son vitales y las empresas deben conocerlas para crear experiencias superiores a las expectativas que les permita sobrevivir.

De acuerdo con el informe *The truth about online consumers* publicado en el año 2019 por la prestigiosa firma KPMG, se estima que a nivel global se realizan en promedio 15.38 transacciones comerciales por persona al año. En estas operaciones sobresale el sexo masculino quienes gastan en promedio \$ 69 USD más que las mujeres, donde factores como la edad y el nivel de ingreso son determinantes importantes en las decisiones de consumo a través de plataformas electrónicas. También se señala que las experiencias obtenidas en las transacciones online, la publicidad y las recomendaciones realizadas en las redes sociales, son elementos que recientemente han cobrado

mucho valor. Las nuevas generaciones publican sus opiniones en sitios fuera del acceso y control de las compañías, lo que ha obligado a la incursión de las mismas en el mercado social mediante nuevas estrategias de marketing (KPMG, 2018).

En el terreno empírico existen diversas investigaciones que se han centrado en identificar los factores que inciden en la decisión de compra en internet, dentro de estas se encuentra el estudio realizado por Salazar, Mondaca y Cea (2018) quienes realizaron un análisis en Chile demostrando que la frecuencia de uso de internet, el género, el nivel de estudios, la edad, el nivel de ingresos, la forma de pago, las habilidades informáticas y las buenas experiencias en el uso de datos personales en internet, son variables determinantes.

Por su parte, San Martín y Prodanova (2013) establecen que en España la confianza y la satisfacción del consumidor, la familiaridad con las tecnologías de la información y el género del comprador, favoreciendo en este caso a las mujeres, constituyen elementos que tienen una relación positiva con las compras efectuadas por dispositivos móviles. Otros como Sudhakar y Syed (2019) profundizan en el tema haciendo un análisis en la India para una muestra de 170 compradores, identificando a la reputación del vendedor, la conveniencia y privacidad y el diseño de la página web del negocio, como los elementos que impacta de forma significativa en la decisión de compra. De igual manera identifican el género del comprador como una variable a tener en cuenta.

El estudio presentado por Pilik (2013) demuestra que la edad del consumidor, el no haber sufrido experiencias negativas con su información personal, la frecuencia de compra, así como sus habilidades en el uso del internet afectan de forma significativa la decisión de comprar online, Hernández,

Jiménez y Martín (2010) coinciden con lo encontrado y refieren que el comportamiento de los compradores experimentados se va modificando de acuerdo a las operaciones realizadas. Otra investigación relevante sobre este tópico es la realizada por Garín y Pérez (2011) en España, estos autores examinan sobre la existencia de una relación directa entre la intención de compra y las características del posible comprador, definiendo variables como: la edad, el género, el nivel de estudios, las habilidades informáticas, la confianza y la frecuencia de uso del internet logrando resultados positivos y significativos en cada caso.

Los consumidores en línea cada vez son más escépticos, desconfían de las valoraciones de los productos presentadas por los fabricantes, considerando que son elaboradas por profesionales con fines de marketing, por lo que aceptan más las opiniones de clientes o usuarios de las redes (Pilik, 2013). En la actualidad, el 55% de los compradores online realiza búsquedas en las redes sociales, práctica que ha ido en aumento, y el 41% de los que adquieren un producto realizan comentarios de sus compras a través de sus perfiles. Otro dato interesante es que el 72% declara seguir alguna marca en estas plataformas (IAB, 2019).

Las redes sociales facilitan la interacción social de los consumidores, favoreciendo un aumento de la confianza y creando valor agregado mediante la colaboración en fórums, comunidades y grupos, lo cual tiene un impacto positivo y significativo sobre la intención de comprar (Hajli, 2014). También mediante el empleo de aplicaciones, se favorece la difusión de las innovaciones desarrolladas por las empresas, haciéndolas llegar a millones de usuarios, lo cual implica una mejora considerable en los procesos comerciales (Pelc, 2017).

El CE sigue evolucionando, fusionándose con el fenómeno de las redes sociales, dando lugar a la nueva tendencia global conocida como comercio social. Las grandes empresas que dominan el ambiente social digital han introducido cambios importantes para lograr la retención de los usuarios buscando satisfacer sus necesidades de compra, han pasado de redireccionar hacia los sitios web de los negocios a incluir el servicio de e-shopping en sus plataformas. Frente a este contexto las redes sociales se convierten en otro factor determinante en las decisiones de los consumidores.

Metodología

En el estudio se utilizaron los microdatos de la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los

Hogares (ENDUTIH) 2018, específicamente los relacionados en el apartado *Experiencia de Comercio Electrónico*. Esta encuesta tiene la finalidad de obtener información sobre la disponibilidad y el uso de las tecnologías de información y comunicaciones en los hogares y su utilización por los individuos de seis años y más de edad en México (INEGI, 2019). Para el análisis estadístico se utilizó el software SPSS versión 23.

La muestra la componen personas que residen de manera permanente en el territorio nacional al cierre del segundo trimestre del año 2018. De este total el 51.2% son mujeres y el 48.8% son hombres con una edad promedio de 32 años. En relación al nivel de escolaridad el 70.9% de los encuestados se ubica entre los niveles: sin escolaridad y preparatoria terminada (Ver tabla 1).

Tabla 1. Nivel de escolaridad.

Categoría	Frecuencia absoluta (%)	Frecuencia acumulada (%)
Ninguno	0.4	0.4
Preescolar	1.5	1.9
Primaria	17.5	19.4
Secundaria	26.6	46.1
Normal Básica	0.2	46.3
Estudio técnico terminal con secundaria	1.8	48.0
Preparatoria terminada	22.8	70.9
Estudio técnico superior con preparatoria terminada	2.0	72.9
Licenciatura	24.3	97.2
Especialidad	0.4	97.6
Maestría	2.0	99.6
Doctorado	0.4	100

Nota: elaboración propia con base en la ENDUTIH, 2018.

Con relación a las características de los hogares, el 70.4% se encuentran ubicados en localidades de 100,000 y más habitantes, 8.9% en localidades de 15,000 a 99,999 habitantes y el 20.7 en localidades de 1 a 14,999 habitantes. El 8% pertenecen al estrato sociodemográfico¹ Bajo, el 47.6%

pertenecen al estrato Medio-Bajo, el 29.8% al estrato Medio-Alto y solo el 14.6% concentra al estrato sociodemográfico Alto.

La investigación identifica la cantidad de usuarios que realizan compras por internet, la frecuencia de consumo, los productos y

¹ Esta estratificación considera las características sociodemográficas de los habitantes de las viviendas, así como las

características físicas y el equipamiento de las mismas, expresadas por medio de 34 indicadores contruidos con información del Censo de Población y Vivienda 2010.

servicios que se adquieren, y la experiencia que han tenido los usuarios una vez realizada la compra. Asimismo, se describen las principales causas que según el criterio de los encuestados limita la decisión de adquirir productos y servicios en línea.

Por su parte el análisis correlacional permite analizar y establecer la relación que existe entre un conjunto de variables y la decisión de realizar compras por internet. Para ello se desarrolla un modelo probit donde se asume que la variable dependiente (Y_i) es una variable binaria que toma valores entre 0 y 1.

El valor 1 representa a los individuos que han realizado compras por internet y el valor 0 a los que no lo han hecho. Esta elección está condicionada a un conjunto de variables explicativas (X_i) que representan los factores que influyen en esta decisión (Ver Tabla 2). La especificación del modelo se representa en la Ecuación I donde los coeficientes B_i representan el cambio en la probabilidad de que la variable binaria pase del valor 0 a 1 asociado a un cambio en una unidad de la variable X_i , manteniendo constante el resto de los regresores.

$$Y_i = B_0 + B_1X_{i1} + B_2X_{i2} \dots \dots + B_kX_{ik} + u_i \quad (\text{Ec. I})$$

Tabla 2. Descripción de las variables explicativas del modelo probit.

Variables	Preguntas de la encuesta	Descripción
Sexo	Sexo	Dummy 1: es Hombre y 0 Mujer
Edad	Edad	Edad en años
Nivel educativo	¿Hasta qué año o grado aprobó la escuela?	Ninguno (0) Preescolar (1) Primaria (2) Secundaria (3) Normal Básica (4) Estudio técnico terminal con secundaria (5) Preparatoria (6) Estudio técnico superior con preparatoria terminada (7) Licenciatura (8) Especialidad (9) Maestría (10) Doctorado (11)
Estrato	Estrato sociodemográfico	Bajo (1) Medio bajo (2) Medio alto (3) Alto (4)
TLOC_1	Localidad de 100,000 y más habitantes	Dummy 1: 100,000 y más habitantes, y 0 en caso contrario
TLOC_2	Localidad de 15,000 a 99,999 habitantes	Dummy 1: 15,000 a 99,999 habitantes, y 0 en caso contrario
TLOC_3	Localidad de 1 a 14,999 habitantes	Dummy 1: 1 a 14,999 habitantes, y 0 en caso contrario
Computadora de escritorio	¿Usted usa computadora de escritorio?	Dummy 1: Utiliza computadora de escritorio, y 0 en caso contrario
Computadora portátil	¿Usted usa computadora portátil (laptop, notebook)?	Dummy 1: Utiliza computadora portátil y 0 en caso contrario
Tablet	¿Usted usa Tablet?	Dummy 1: Utiliza Tablet, y 0 en caso contrario
Celular inteligente	¿El celular que usa es inteligente (Smartphone)?	Dummy 1: El celular que usa es inteligente, y 0 en caso contrario

Frecuencia uso del internet	Generalmente, ¿con qué frecuencia hace uso del Internet?	Diario (5) Al menos una vez a la semana (4) Al menos una vez al mes (3) Al menos una vez cada tres meses (2) Con una frecuencia menor (1)
Habilidades en el uso del internet	¿Desde hace cuánto tiempo utiliza Internet?	Menos de un año (1) Entre 1 y hasta 2 años (2) Más de 2 y hasta 5 años (3) Más de 5 años (4)
Conex_computadora de escritorio	¿Se conecta a Internet por medio de computadora de escritorio?	Dummy 1: Se conecta a Internet por medio de computadora de escritorio, y 0 en caso contrario
Conex_computadora Portatil	¿Se conecta a Internet por medio de computadora portátil (laptop, notebook)?	Dummy 1: Se conecta a Internet por medio de computadora portátil (laptop, notebook), y 0 en caso contrario
Conex_tablet	¿Se conecta a Internet por medio de tablet?	Dummy 1: Se conecta a Internet por medio de Tablet, y 0 en caso contrario
Conex_televisión	¿Se conecta a Internet por medio de televisión con acceso a Internet (Smart TV), o algún dispositivo conectado a ésta?	Dummy 1: Se conecta a Internet por medio de televisión con acceso a Internet (Smart TV), o algún dispositivo conectado a ésta, y 0 en caso contrario
Conex_consola	¿Se conecta a Internet por medio de una consola de videojuego?	Dummy 1: Se conecta a Internet por medio de consola de videojuego, y 0 en caso contrario
Conex_celular	¿Se conecta a Internet por medio de celular inteligente (Smartphone)?	Dummy 1: Se conecta a Internet por medio de celular inteligente (Smartphone), y 0 en caso contrario
Redes sociales	En los últimos tres meses, ¿ha usado redes sociales?	Dummy 1: Ha utilizado redes sociales y 0 en caso contrario

Nota: elaboración propia con base en la ENDUTIH, 2018.

Para evaluar los criterios de bondad de ajuste del modelo probit se utiliza el estadístico de la razón de verosimilitud (LR), el pseudo R^2 de McFadden y el porcentaje de predicciones correctas en relación con el número de observaciones totales.

Resultados y discusión

Comportamiento del CE en los hogares en México

De acuerdo con los estadísticos descriptivos obtenidos del procesamiento de los microdatos se puede afirmar que en 2018 sólo el 23.8% de los hogares en México compraron algún tipo productos o servicio por internet (ver Figura 1), estos fueron adquiridos en un 59.6% de las veces a través de sitios en internet nacionales, 11.6% en sitios extranjeros y el 28.8% en sitios nacionales y extranjeros.

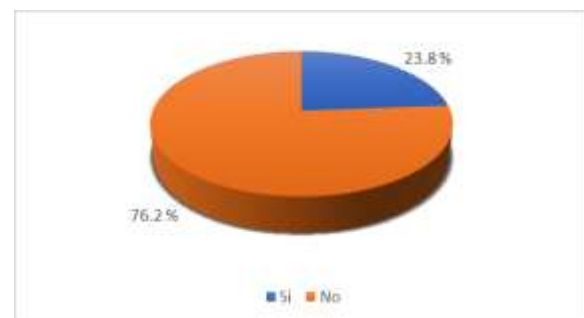


Figura 1. Comportamiento de las compras por internet (%).

Nota: elaboración propia con base en la ENDUTIH, 2018.

Al análisis anterior se le adiciona que estas compras no evidencian un consumo constante en el tiempo ya que el mayor porcentaje de la muestra (38.7%), planteó que suelen realizarlas con una frecuencia de al menos una vez cada seis meses (ver Figura 2).

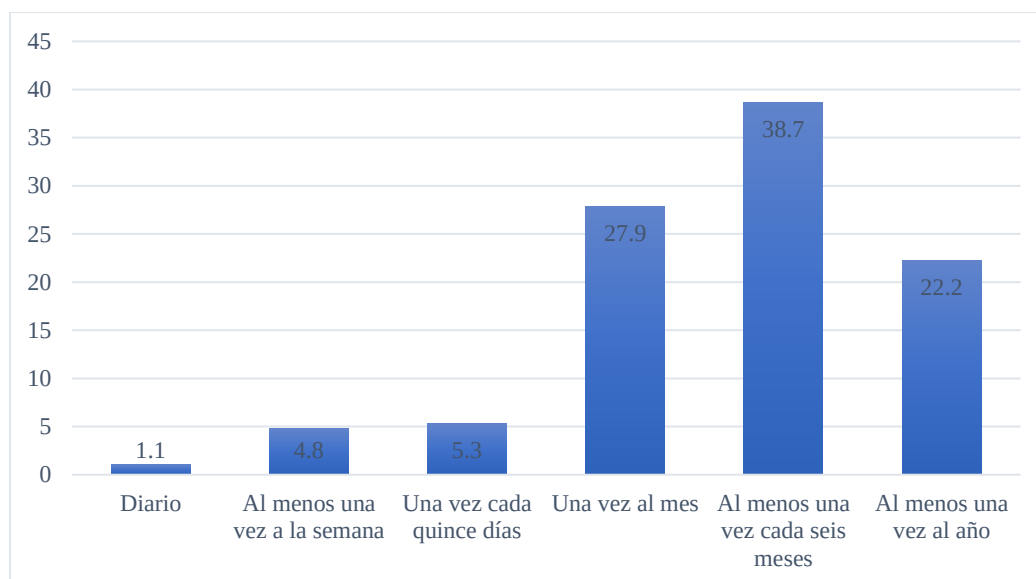


Figura 2. Frecuencia de compras por internet.

Nota: elaboración propia con base en la ENDUTIH, 2018.

Los principales productos y servicios que fueron adquiridos a través de las diferentes plataformas en línea fueron: artículos de uso personal (61.9%), reservaciones y boletos de avión (37.9%), celulares y accesorios (28.2%) y artículos para el hogar (26.8%).

Estos resultados son congruentes con el estudio realizado por la AMVO (2019) donde refiere que en 2018 la categoría con mayor porcentaje de ventas en línea, 77%, registradas en el país fue la relacionada con la moda (ropa, calzado, accesorios).

Tabla 4. Productos y servicios comprados por internet.

Categoría	Porcentaje de casos
Libros	15.8%
Música y videos	19.2%
Computadoras, Laptops o Tablets	8.8%
Celulares y accesorios	28.2%
Programas y aplicaciones	21.5%
Alimentos y bebidas	11.1%
Reservaciones y boletos	37.9%
Aparatos electrónicos	25.2%
Artículos de uso personal (incluye ropa y accesorios)	61.9%
Artículos para el hogar	26.8%
Refracciones para vehículos	14.5%

Nota: elaboración propia con base en la ENDUTIH, 2018.

Otro dato interesante es que de los 13,106 usuarios que adquirieron productos y servicios por internet, el 91.8% afirmó que no tuvo problemas al momento de realizar las compras y el 8.2% restante planteó que la mayor dificultad estuvo relacionada con la entrega de los productos. Asimismo, se pudo identificar que según el criterio de los

individuos que no realizaron compras en el periodo, las tres principales causas que limitan el adquirir productos en línea se asocian a la preferencia de los usuarios de comprar en persona (33.1%), a la desconfianza en la seguridad del proceso (20.9%) y a la falta de interés por esta modalidad (18.9%) (Ver tabla 5).

Tabla 5. Causas del no consumo por internet.

Categoría	Porcentaje de casos
Prefiere comprar en persona	33.1%
Falta de interés	18.9%
No tiene la necesidad	17.4%
Desconfía de la calidad del producto que recibirá	13.0%
Desconfía de la seguridad del proceso de compra	20.9%
No cuenta con tarjetas de crédito, débito o servicios de banca en línea	4.8%
No sabe cómo hacerlo	13.7%

Nota: elaboración propia con base en la ENDUTIH, 2018.

Factores que determinan las compras por internet en los hogares en México

Los resultados de la estimación del modelo Probit que se muestra en la tabla 6 indican que el modelo presenta un buen ajuste. En este sentido el estadístico de la razón de verosimilitud [LR] que sigue una distribución Chi-cuadrado resulta ser estadísticamente significativo (p-valor < 0.005), lo que permite afirmar que todos los coeficientes de la pendiente son diferentes de cero. Asimismo,

el pseudo R^2 de McFadden es superior a 0.2 lo que indica el buen ajuste del modelo y se obtuvo un 73.3% de predicciones correctas en relación al número total de observaciones.

Con respecto a los coeficientes se puede observar que la mayoría son estadísticamente significativos (p-valor < 0.05) y con los signos esperados, a excepción del coeficiente de la variable TLOC_3 (tamaño de la localidad 1 a 14,999 habitantes).

Tabla 6. Resultados del modelo Probit.

Variables	Coef	Z	P > [z]	[95% conf. Interval]	d _y /d _x	P > [z]
Género	0.220	17.53	0.00	0.191 / 0.239	0.070	0.00
Edad	-0.005	-11.24	0.00	-0.006 / -0.004	-0.001	0.00
Nivel educativo	0.114	35.18	0.00	0.107 / 0.120	0.038	0.00
Estrato	0.062	7.42	0.00	0.458 / 0.079	0.020	0.00
TLOC_1	0.168	6.81	0.00	0.120 / 0.217	0.055	0.00
TLOC_2	0.130	4.23	0.00	0.070 / 0.190	0.044	0.00
TLOC_3	-0.001	-0.24	0.81	-0.074 / 0.058	-0.002	0.81
Computadora de escritorio	-0.020	-2.58	0.01	-0.040 / -0.004	-0.020	0.01
Computadora portátil	0.073	2.86	0.00	0.023 / 0.124	0.024	0.00
Tablet	0.128	4.73	0.00	0.075 / 0.180	0.043	0.00
Celular inteligente	0.182	2.99	0.00	0.062 / 0.301	0.057	0.00
Frecuencia uso del internet	0.348	13.7	0.00	0.386 / 0.289	0.120	0.00
Habilidades en el uso del internet	0.293	26.3	0.00	0.271 / 0.315	0.100	0.00
Conex_computadora de escritorio	0.072	3.23	0.00	0.028 / 0.116	0.024	0.00
Conex_computadora Portatil	0.164	6.70	0.00	0.115 / 0.211	0.054	0.00
Conex_tablet	0.110	3.87	0.00	0.054 / 0.167	0.038	0.00
Conex_televisión	0.324	22.5	0.00	0.296 / 0.352	0.113	0.00
Conex_consola	0.108	14.3	0.00	0.124 / 0.103	0.040	0.00
Conex_celular	0.346	6.60	0.00	0.243 / 0.449	0.114	0.00
Uso de Redes sociales	0.553	23.21	0.00	0.506 / 0.600	0.160	0.00
LR chi2 = 11984.82 Prob > chi2 = 0.00 R ² de McFadden 0.4						

Los resultados destacan que ser hombre influye positivamente en la intención de compra a través de internet. Coincidiendo con otros estudios consultados como Garín y Pérez (2011), Azuela, Ochoa y Ayup (2019) y Valarezo, López y Pérez-Amaral (2019), donde los autores encontraron que los miembros de la población del sexo masculino tienen una mayor participación en la adquisición de bienes y servicios online, relacionándolo a su naturaleza de proveedores económicos del seno familiar y tomador de decisiones en las compras de mayor nivel de gastos como electrodomésticos, medios de transporte y viajes.

En cuanto a la variable edad se aprecia una relación negativa, lo que implica que los usuarios más jóvenes son los que tienen una mayor tendencia a las compras en internet, otras investigaciones como Mondaca y Guala (2016), Salazar, Mondaca y Sea (2018), AIMX (2018) y Sudhakar y Syed (2019) coinciden con este resultado y lo atribuyen a que este grupo tiene una mayor confianza en las operaciones comerciales online, hacen un mayor uso de las tecnologías y están más familiarizados con los componentes del medio.

Al considerar el nivel educativo se puede observar en los resultados del modelo una relación directa y positiva con la intención de compra, muy similar a lo hallado por Valarezo, López y Pérez-Amaral (2019), quienes explican que a medida que los individuos alcanzan mayores niveles educativos, existen mayores probabilidades de realizar adquisiciones online. Este tema tiene una relación directa con las capacidades cognitivas y económicas que deben poseer los miembros de la comunidad del CE, es decir deben ser personas con conocimientos sobre el funcionamiento del internet, los dispositivos de conexión y contar con un

soporte financiero para la ejecución de las operaciones.

La variable estrato sociodemográfico, presenta una relación positiva con la intención de compra. Los componentes que agrupa esta variable en la encuesta tomada como base para esta investigación describen el nivel de acceso de los hogares mexicanos a los diferentes servicios: salud, educación, empleo, salubridad, agua, electricidad y las condiciones físicas de la vivienda, así como los medios con los que cuenta la misma. El resultado coincide con lo publicado por el observatorio nacional de las telecomunicaciones y la seguridad informática en España (ONTSI, 2018), esta investigación identificó que las clases las clases alta y media-alta, o sea los hogares con mayores condiciones de vida son los que mayor cantidad de operaciones comerciales online realizan.

Otro elemento que resultó tener un impacto positivo es la densidad poblacional de la localidad donde se encuentra enclavado el domicilio, se evidencia que a mayor cantidad de habitantes hay un mayor consumo mediante el mercado virtual, incluso de las 3 variables incluidas en el modelo, la que describe las localidades de menos de 15000 personas resultó no significativa. Valarezo, López y Pérez Amaral (2019) coinciden con este resultado al relacionarlo con algunas de las características de las grandes urbes como son, la alta penetración del internet, la digitalización de los servicios, la concentración de grandes empresas, mejores empleos y una calidad de vida superior en los hogares. Todo esto se traduce en un mayor acceso de los individuos al mercado online y a la realización de compras.

En cuanto a las variables que relacionan la infraestructura disponible en los hogares mexicanos referentes al acceso a internet y los medios electrónicos que emplean para

realizar las compras, el uso del celular inteligente resultó ser la que mayor impacto tiene sobre la intención de consumir, siendo la televisión la que le sigue en este sentido, lo cual responde a las fuertes campañas publicitarias que se desarrollan a través de este medio. Azuela, Ochoa y Ayup (2019) encontraron algo semejante describiendo que los consumidores por lo general buscan información en su horario laboral, utilizando la PC de escritorio de su oficina, sin embargo, el medio que emplean para finalizar la compra es el teléfono inteligente.

Salazar, Mondaca y Sea (2018) obtienen como fruto de su investigación que los internautas deben contar con ciertas habilidades y conocimientos que les permitan acceder a los productos y comprar los diferentes bienes y servicios que se ofertan. Este resultado coincide con la evaluación de las variables relacionadas con la familiaridad del usuario con el internet. Se aprecia que los valores resultantes en cuanto a la frecuencia de conexión y las habilidades en el uso del internet resultan atributos que influyen directamente en la intencionalidad de comprar. Garín y Pérez (2011) concuerdan en que serán las personas con mayor preparación en este sentido y que pasen un mayor tiempo en línea los que podrán realizar más y mejores compras, que cubran mejor sus necesidades y las de su hogar.

La última variable analizada y que en este estudio resultó ser la más relevante es el acceso a redes sociales por parte de los encuestados, lo arrojado por el modelo indica que los mexicanos con mayor probabilidad de realizar compras son los que tienen perfiles en estas plataformas digitales. Este comportamiento parte del argumento expuesto por algunos autores como Hajli (2014) donde se plantea que los entornos virtuales empoderan a sus miembros al difundir contenidos, criterios y recomendaciones mediante agrupaciones en

internet, influyendo indirectamente en la intención de compra dada la confianza que existe en estas comunidades lo que ayuda a minimizar el riesgo al adquirir un producto.

Para evaluar el impacto de las variables independientes en la probabilidad de realizar compras por internet, resulta necesario analizar el efecto marginal (d_y/d_x) que representa el cambio parcial en la probabilidad ante un cambio marginal en la escala de la variable independiente considerando el resto de las variables constantes. Como se puede apreciar en la tabla 6 los cambios más significativos se registran en la variable uso de redes sociales. Según el efecto marginal de esta variable, cada incremento porcentual en el uso de las redes sociales propicia un aumento del 16% en la probabilidad de realizar compras en línea.

Estos resultados pueden ser explicados a partir de que en la actualidad los consumidores se han convertido en los principales promotores o detractores de las marcas, a través de las redes sociales emiten sus opiniones, sus experiencias, consultan, indagan y lo más importante, confían y toman sus decisiones basados en los criterios que son emitidos en estos medios por sus pares. Todo esto crea un ambiente muy favorable y atractivo para el CE. Kudeshia y Kumar (2017) apoyan este criterio y destacan que los patrones de consumo de los usuarios han sido impactados de forma positiva por la creciente presencia de marcas en las redes sociales y el llamado boca-oreja electrónico de los clientes potenciales. La empresa de investigación de mercado Globalwebindex (2019) emite en su reporte sobre comercio social datos que respaldan estos resultados, el 42% de los usuarios de redes sociales las emplea para buscar referencias sobre los productos, el 21% es impulsado a comprar por la cantidad de likes y comentarios favorables en las redes sociales, coincidiendo en que los canales

sociales son el espacio perfecto para el desarrollo del CE, pues crece el interés de los usuarios por la búsqueda de información sobre productos y servicios, así como el tiempo que allí permanecen. En la actualidad las grandes plataformas de redes sociales han dado el salto al CE, brindando la posibilidad a las marcas de efectuar las ventas sin salir de su ambiente, permitiendo al usuario que la experiencia de compra sea completa y mediante un canal único.

Conclusiones

A partir de la investigación realizada se puede concluir que son diversos los factores inciden en la decisión de comprar en línea, como el género, la edad, el nivel educativo, el estrato socioeconómico al cual pertenecen y la densidad poblacional de la localidad donde residen. Además, el acceso a internet y el uso de medios electrónicos, especialmente teléfonos inteligentes y redes sociales, también se relacionaron con una mayor intención de compra en línea. Todo esto demuestra la importancia de considerarlos al momento de desarrollar estrategias de comercio electrónico ya sean desde la política del país para incrementar sus indicadores como desde el punto de vista de los negocios para alcanzar mejores resultados.

De forma específica, una de las principales aportaciones del estudio radica en la identificación del uso de las redes sociales como un elemento que no se había considerado en investigaciones anteriores y que resultó ser el que mayor impacto tuvo en el análisis estadístico realizado. Esto permite concluir que en aras de acercarse más a los clientes las organizaciones deben obtener un mayor protagonismo en el ámbito social virtual, para mejorar su alcance e incrementar su competitividad en el mercado.

Referencias Bibliográficas

AIMX (2019). Estudio de Comercio Electrónico en México 2018. <https://www.asociaciondeinternet.mx/es/component/remository/Comercio-Electronico/orderby,7/lang,es-es/?Itemid=>

Arbañil Cayata, K. A., & Ruiz Terrones, C. E. (2021). Factores que fomentan el comercio electrónico en los consumidores limeños. Un análisis desde la perspectiva de género en el año 2020.

Aljukhadar, M., & Senecal, S. (2011). Segmenting the online consumer market. *Marketing Intelligence & Planning*, 29(4), 421-435.

<https://doi.org/10.1108/02634501111138572>

AMVO (2019). Estudio sobre venta online, México 2019. <https://www.amvo.org.mx/estudio-venta-online>.

Azuela, F., Ochoa, M. y Ayup, J. (2019). Segmentación del comprador online en México: un estudio con base en la frecuencia de compra electrónica. *CIENCIA ergo-sum*, 26(2).

Chong, A. Y. (2013). Mobile commerce usage activities: The roles of demographic and motivation variables. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(7), 1350-1359.

<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.12.011>

Del Águila, A., Padilla, A. y Quintero, J. (2000). Implicaciones estratégicas del comercio electrónico basado en Internet: modelos de negocio y nuevos intermediarios. *Información Comercial Española, ICE: Revista de economía*, 783, pp. 63-78.

EMARKETER (2019). Total retail sales, by country.

<https://www.emarketer.com/forecasts/5a53f4f2d8690c0d70ffaa06/5a564551d8690c06d46db1ec>

Ganga, F. y Águila, M. (2006). Las Tecnologías de información y comunicación (TIC) y su impacto en el sistema de compras y contrataciones públicas: El caso de la región de los Lagos en Chile. Cuadernos de Difusión, 11(21), pp. 41–67.

Garín, T y Pérez, T. (2011). Factores determinantes del comercio electrónico en España. Boletín económico de ICE, Información Comercial Española, (3016), pp. 51-65.

GLOBALWEBINDEX (2019). Social Commerce. Understanding how social media and commerce merge in day-to-day online behaviors.

<https://www.globalwebindex.com/reports/social-commerce>.

Guerrero, R., y Rivas, L. A. (2005). Comercio electrónico en México: Propuesta de un modelo conceptual aplicado a las pymes. Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades, XV, pp. 79-116.

Hajli, M. N. A (2014). Study of the impact of social media on consumers. International Journal of Market Research, 56(3), pp. 387-404.

Hernández, B, Jiménez, J, Martín, M. (2010). Customer behavior in electronic commerce: The moderating effect of e-purchasing experience. Journal of Business Research. Vol. 63, pp. 964-971. DOI: [10.1016/j.jbusres.2009.01.019](https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2009.01.019)

IAB (2019). Estudio anual de redes sociales.

[https://iabspain.es/wp-content/uploads/2019/06/estudio-anual-](https://iabspain.es/wp-content/uploads/2019/06/estudio-anual-redes-sociales-iab-spain-2019_vreducida.pdf)

[redes-sociales-iab-spain-2019_vreducida.pdf](https://iabspain.es/wp-content/uploads/2019/06/estudio-anual-redes-sociales-iab-spain-2019_vreducida.pdf).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) <https://www.inegi.org.mx/programas/dutih/2018/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2019). Valor agregado bruto del comercio electrónico.

https://www.inegi.org.mx/temas/vabcoel/default.html#Informacion_general.

KPMG (2019). The truth about online consumers.

<https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/xx/pdf/2017/01/the-truth-about-online-consumers.pdf>

Kudeshia, C. y Kumar, A. (2017). Social eWOM: does it affect the brand attitude and purchase intention of brands? Management Research Review, 40(3), pp. 310-330.

Laudon, K y Guercio, C. (2009). E-commerce negocios, tecnología, sociedad. México: Pearson Educación.

Lin, Z. (2014). An empirical investigation of user and system recommendations in e-commerce, Decision Support Systems, vol. 68, pp. 111-124.

Mondaca, C. y Guala, C. (2016). Determinantes de la compra por internet en servicios turísticos: el caso de Chile. Gestión Turística. 26, pp. 55-68.

Noriega Borbor, C. G. (2022). Características sociodemográficas del consumidor verde y su influencia en las prácticas de actividades 3R'S (reducir, reusar y reciclar) en usuarios de Lima Metropolitana.

ONTSI (2017). Estudio sobre comercio electrónico B2C. https://www.ontsi.red.es/ontsi/sites/ontsi/files/Estudio%20sobre%20Comercio%20Electr%C3%B3nico%20B2C%202017%20%28edici%C3%B3n%202018%29%20_0.pdf.

Pelc, K. (2017). Diffusion of Innovation in Social Networking. In: Zacher L. Technology, Society and Sustainability. Springer, Cham.

Pilik, M. (2013). On-line Shopping on B2C Markets in the Czech Republic. Journal Of competitiveness, 4(4), pp. 36-49.

Rodríguez, E. (2003). Comercio Electrónico. I. Nacimiento y Desarrollo. UPIICSA. Vol. IV. Pp. 2-7.

Rohm, A., y Swaminathan, V. (2004). A typolog y of online shoppers base on shopping motivations. Journal of Business Research, 57, 748-757. [https://doi.org/10.1016/S0148-2963\(02\)00351-X](https://doi.org/10.1016/S0148-2963(02)00351-X)

Salazar, C., Mondaca, C. y Cea, J. (2014). E-commerce in Chile: what factors affect the purchase decision? Revista Academia & Negocios, 4(1), pp. 1-14.

San Martin, S. y Prodanova, J. (2014). ¿Qué factores fomentan la compra por impulso en el comercio móvil? Revista Española de Investigación de Marketing ESIC. Vol. 18, pp. 32-42.

Sudhakar, F., SYED, H. (2019). Online Shopping and its Impact on Customer satisfaction considering the Role of Respondents Trust and Gender Influence. International Journal of Recent Technology and Engineering. 8(2S4), pp. 314-319.

Tavera, J.F. y Londoño, B. (2014). Factores determinantes de la aceptación tecnológica del e-commerce en países emergentes.

Revista Ciencias Estratégicas. 22(31), pp. 101-119.

Valarezo, A., López, R y Pérez-Amaral, T. (2019). Adoption of e-commerce by individuals and digital divide: Evidence from Spain. <https://eprints.ucm.es/55421/1/1919.pdf>.



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Niveles de salinidad del suelo, utilizando imágenes de vehículos aéreos no tripulados, redes neuronales y árboles de decisión

Soil salinity levels, using unmanned aerial vehicles imagery, neural networks and decision trees

Santoyo-de la Cruz, M.F.^{a*}, Flores-Magdaleno, H.^a, Gardezi, A.K.^a, Rubiños-Panta, J.E.^a, Mancilla-Villa, O.R.^b

^a Colegio de Postgraduados campus Montecillo. Departamento de Hidrociencias. Texcoco, C.P. 56230. Estado de México, México.

^b Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur. Departamento de Producción Agrícola. C.P. 48900. Autlán, Jalisco, México.

santoyo.mario@colpos.mx*; mhector@colpos.mx; kabdul@colpos.mx; ierpkike@colpos.com; oscar.mancilla@academicos.udg.mx

Innovación tecnológica: Detección y clasificación de la salinidad del suelo con drones y machine learning.

Área de aplicación industrial: En la producción agrícola y contaminación ambiental.

Recibido: 14 febrero 2022

Aceptado: 19 julio 2023

Abstract

Soil salinity is a global problem that threatens crop growth, and yields and impedes the and sustainable development of modern agriculture with major staple crops unable to complete their life cycle when soil NaCl concentrations exceed 200 mM. More than one third of the world's irrigated plots are affected by salinization. Unmanned aerial vehicles offer a viable alternative for acquiring remote sensing data. One way to classify and detect soil salinity variables are neural networks and decision trees. The objective of this work is the detection and classification of soil salinity through the use of multispectral images captured by drones as well as the use of decision tree models and neural networks, to estimate salinity variables: Exchangeable Sodium Percentage (ESP), Adjusted Sodium Adsorption Ratio (SAR_{aj}) and sodium concentration (mEq L⁻¹). Agricultural soil with salinity problems was sampled, processed in the laboratory, the results were interpreted and classified according to salinity levels. A drone overflight was conducted to capture

images and extract reflectances of the four multispectral bands (Green, red, red edge and near infrared). The salinity indexes were calculated to classify soil salinity using neural networks and decision trees. The neural networks classified 82.6% of the samples in the medium level category of ESP estimation. The model also presented an accuracy of 71.88% when determining sodium ion concentration in the neural networks. The Research work showed that it is possible to classify soil salinity with acceptable precision from images captured with unmanned aerial vehicles. Neural network models showed better accuracy in the estimation of soil salinity indicators with respect to decision trees. These technological procedures can be applied in soil salinity mapping to know the affected areas in an easy and fast way.

Key words: drones, multispectral images, precision agriculture, reflectances, salinity index.

Resumen

La salinidad del suelo es un problema mundial que amenaza el crecimiento y rendimiento de los cultivos e impide el desarrollo sostenible de la agricultura moderna, los principales cultivos básicos no pueden completar su ciclo de vida cuando las concentraciones de NaCl en el suelo superan los 200 mM. Más de un tercio de las parcelas de riego del mundo están afectadas por la salinización. Los vehículos aéreos no tripulados ofrecen una alternativa viable para adquirir datos de teledetección. Una manera para clasificar y detectar variables de salinidad en el suelo son las redes neuronales y los árboles de decisión. El objetivo de este trabajo es la detección y clasificación de la salinidad del suelo mediante el uso de imágenes multiespectrales capturadas mediante drones, así como el uso de modelos de árboles de decisión y redes neuronales, para estimar variables de salinidad: Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI), Relación de Adsorción de Sodio ajustado (RAS_{aj}) y concentración de sodio ($mEq\ L^{-1}$). Se muestreó suelo agrícola con problemas de salinidad, se procesaron en laboratorio, los resultados se interpretaron y se clasificaron de acuerdo a sus niveles de salinidad. Se realizó un sobrevuelo con un dron que capturó imágenes y se extrajeron las reflectancias de las cuatro bandas multiespectrales (Green, red, red edge y near infrared), se calcularon los índices de salinidad para clasificar la salinidad del suelo usando redes neuronales y árboles de decisión. Las redes neuronales clasificaron el 82.6% de las muestras en la categoría de nivel medio en la estimación de PSI. El modelo también presentó una precisión del 71.88% cuando se determinó la concentración de sodio en la red neuronal. El trabajo de investigación demostró que es posible clasificar la salinidad del suelo con aceptable precisión a partir de las imágenes capturadas con vehículos aéreos no tripulados. Los modelos de redes neuronales mostraron mejor precisión en la estimación de los indicadores de salinidad del suelo con respecto a los árboles de decisión, estos procedimientos tecnológicos pueden aplicarse en el mapeo de la salinidad del suelo para conocer las áreas afectadas de una manera fácil y rápida.

Palabras clave: agricultura de precisión, drones, imágenes multiespectrales, índices de salinidad, reflectancias.

1. Introducción

La salinidad del suelo es un problema mundial que amenaza el crecimiento y rendimiento de los cultivos e impide el desarrollo sostenible de la agricultura moderna. Más de un tercio de las parcelas de riego del mundo están afectadas por la salinidad. Las principales causas son el aumento de los niveles de agua subterránea con un alto contenido de sal, sistemas de riego y drenaje de mala calidad. Los principales cultivos básicos no pueden completar su ciclo de vida cuando las concentraciones de NaCl en el suelo superan los 200 mM, como consecuencia es la baja producción de alimentos agrícolas (1).

La agricultura de precisión tiene como objetivo adaptar el manejo agronómico de una manera coherente y holística, especialmente explotando la alta variabilidad espacial y temporal de los rasgos del cultivo y ambientales (2). Estas tecnologías como la teledetección, internet, vehículos aéreos no tripulados (VANT), análisis datos y aprendizaje automático son prometedoras y pueden tener un gran potencial en la agricultura (3). Los VANT ofrecen una alternativa viable a las plataformas convencionales para adquirir datos de teledetección de alta resolución a menor costo, mayor flexibilidad operativa y mayor versatilidad. La capacidad de los VANT para capturar imágenes concurrentes con observaciones de campo, resuelven un problema común de la teledetección (4).

La teledetección de recursos naturales se basa en un sistema de adquisición de datos a distancia sobre la biosfera, el cual está basado en la radiación electromagnética, su interacción con los materiales de la superficie terrestre y la capacidad de capturar información en suelos afectados por la salinidad (5). Las últimas décadas se ha mapeado la salinidad del suelo con éxito con

el uso de sensores remotos en combinación con datos de campo, además se han incorporado varios algoritmos y modelos que han sido desarrollados para procesar datos de teledetección (6). Las imágenes de escala, media y baja resolución han demostrado ser adecuadas para detectar salinidad en suelo. Sin embargo, el tamaño del terreno, el suelo fragmentado y las prácticas contrastantes que conducen a una alta variabilidad espacial de la degradación del suelo; por consiguiente, los métodos de baja resolución espectral plantean desafíos importantes (7).

Las redes neuronales están formadas por neuronas conectadas entre sí; a su vez, cada conexión de una red neuronal es asociada con un peso que dicta la importancia de esta relación en la neurona cuando se multiplica por el valor de entrada, cada neurona tiene una función de activación que define la salida de la neurona (8). Otro método de clasificación son los árboles de decisión, que se han aplicado en varios dominios. Estos necesitan una discriminación multinivel para determinar a qué clase pertenece un patrón específico, son flexibles para la clasificación de múltiples clases y binarios (9).

Los métodos convencionales de estimación de salinidad de suelos en laboratorio son costosos y tardados. Con estas tecnologías se espera poder estimar de manera aceptable las variables de salinidad de suelos, por lo tanto, el objetivo principal del presente estudio consistió en la detección y clasificación de la salinidad del suelo mediante el uso de imágenes multiespectrales capturadas mediante un VANT y dos métodos para obtener clasificadores en un suelo agrícola de la región del valle de México.

2. Materiales y métodos experimentales

2.1 Zona de estudio y muestreo

Se obtuvieron 156 muestras de suelo de acuerdo con la NOM-021-RECNAT_2000

(10). La superficie de estudio es de cuatro hectáreas, suelo con arcillas esmectitas de origen lacustre, pH de 8.2, conductividad eléctrica de 65 dS m^{-1} y es un terreno de uso agrícola, ubicado en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Texcoco, México, $19^{\circ}27'52'' \text{ N}$ y $98^{\circ}54'44'' \text{ O}$ y altitud de 2239 m (Figura 1). Posteriormente se midieron las coordenadas geográficas de alta precisión con el uso de la

estación receptora GPS-GNSS, marca Hi Target en cada estación de muestreo, el trabajo se realizó en el año 2020. Se utilizó el proceso analítico de laboratorio de (11) y (12) para salinidad de suelos: pH (potenciométrico); conductividad eléctrica (conductimetría); calcio y magnesio (volumetría); sodio y potasio (flamometría); carbonato, bicarbonato y cloruro (volumetría) y sulfato (turbidimetría).

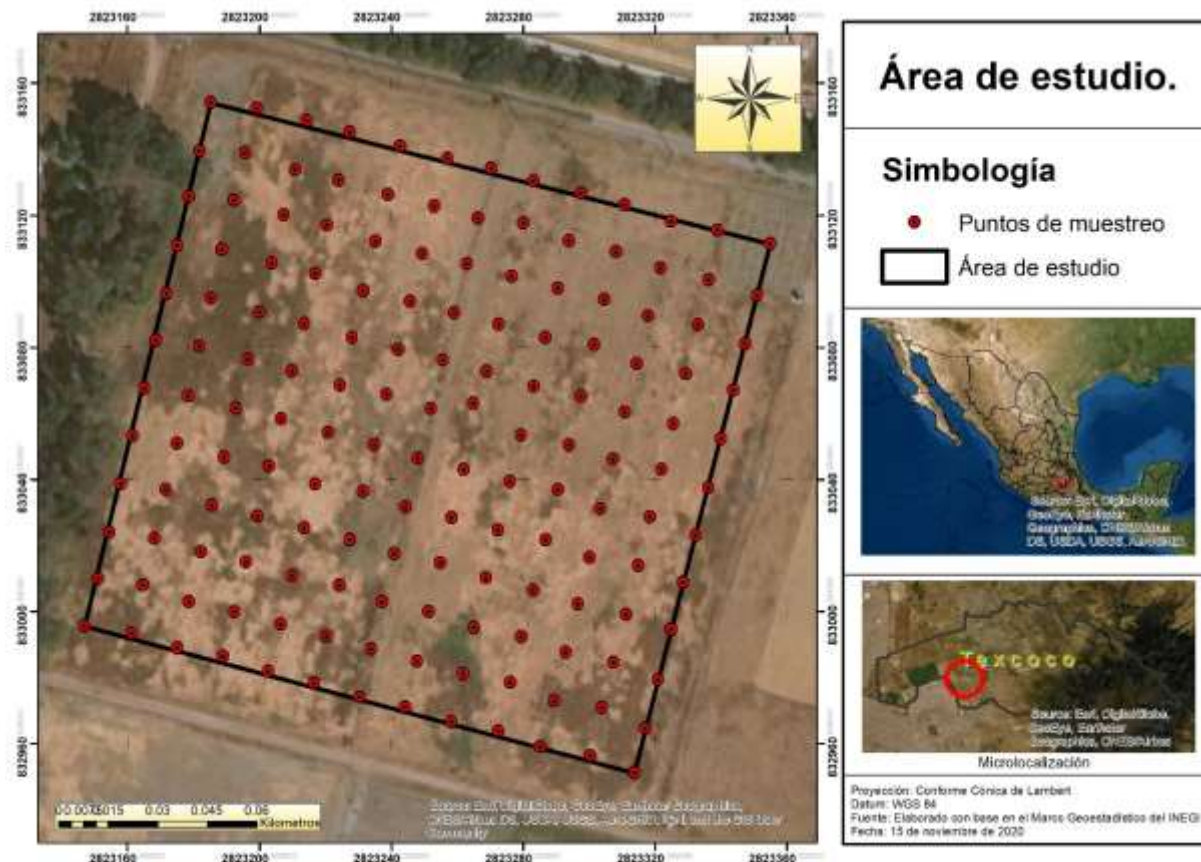


Figura 1. Mapa de la zona de estudio.

2.2 Cálculos de los datos

En la verificación de la exactitud de los datos obtenidos se utilizaron los procedimientos del balance anión-catión; conductividad eléctrica medida y la suma de cationes y aniones (13).

Posteriormente se calculó la Relación Adsorción de Sodio ajustada (RAS_{aj}) ecuación propuesta por (14) de la siguiente manera: en la Ec. (1) considera únicamente la

precipitación de Ca^{2+} ; es decir, esta ecuación no tiene en cuenta la disolución de cationes de los minerales del suelo.

$$RAS_{aj} = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} [1 + (8.4 - pH_c)] \quad (Ec. 1)$$

Dónde:

RAS_{aj} : es la relación de adsorción de sodio ajustado, bajo condiciones de alcalinidad.

Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} : corresponde a la concentración ($mEq\ L^{-1}$).

pHc: es el pH calculado a partir de la fuerza iónica y la concentración que se encuentra en la Ec. (2).

$$Ca^{2+} \text{ y } (CO_3^{2-} + HCO_3^-) \quad (\text{Ec. 2})$$

Se calculó el Porciento de Sodio Intercambiable (PSI) que expresa el porcentaje de Na^+ respecto a los demás cationes adsorbidos en el complejo de cambio. El PSI indica el porcentaje de cargas negativas utilizadas u ocupadas con iones de sodio mediante la ecuación propuesta por (12) y se calcula de la siguiente manera de acuerdo a la Ec. (3).

$$PSI = \frac{100(-0.0126 + 0.01475 RAS)}{1 + (-0.0126 + 0.01475 RAS)} \quad (\text{Ec. 3})$$

Con base a las sales solubles presentes en la solución del suelo y el porciento de la capacidad de intercambio catiónico ocupada por iones de sodio, se estima el porcentaje de sodio intercambiable, el cual se presenta en la Tabla 1, así como la clasificación para cuando los suelos presentan problemas de ensalitramiento (15).

Tabla 1. Clasificación de los suelos con problemas de sodio intercambiable, conductividad eléctrica y pH.

	Salino	Sódico	Salino-Sódico
dS m^{-1}	>4	<4	>4
PSI	<15	>15	>15
pH	<8.5	8.5-10	<8.5

Porciento de sodio intercambiable (PSI), conductividad eléctrica en ($dS\ m^{-1}$) y potencial de hidrogeniones (pH).

2.3 Obtención de imágenes con el uso del vehículo aéreo no tripulado

Después de la recolección de las muestras, se realizó el sobrevuelo con el dron marca SenseFly eBee plus con el cual se adquieren imágenes 1.5 cm de distancia por píxel y

resolución de 20 MP. Este dron trae cámara Parrot Sequoia desmontable, la cual tiene un sensor que detecta la cantidad de luz que absorbe y refleja el suelo gracias a sus dos sensores, uno multispectral y otro de luz solar. Esta cámara con bandas multispectrales consta de cuatro sensores monocromáticos sincronizados, de banda estrecha de 1,2 millones de píxeles (Green, Red, Red edge y Near infrared) y RGB. También cuenta con calibración radiométrica automática para mediciones consistentes y es compatible con RTK / PPK para resultados georreferenciados precisos.

Posteriormente las imágenes y la creación de ortomosaico se generaron con el software Pix4Dmapper (Pix4D SA, Lausanne, Suiza). En primer lugar, se hace una calibración geométrica de la cámara, posteriormente, se hace la extracción de puntos comunes entre imágenes, geolocalización y generación de informe de calidad. En el segundo paso se procesan los puntos y la malla para la creación del ortomosaico y con el Modelo Digital de Superficie (MDS) se emplean los puntos extraídos para cada imagen y se trasponen con los puntos en común de las imágenes de mayor precisión. En el tercer paso se genera el MDS, ortomosaicos e índices con cada una de las imágenes calibradas y proyectadas de puntos en común con las imágenes obtenidas. El resultado de estos tres pasos es un MDS y ortomosaico que se guarda en formato TIFF (Tagged Image File Format) para su empleo en el análisis de este estudio. Las resoluciones obtenidas se encuentran en el rango de 0.75 – 0.80 cm por píxel en los ortomosaicos. Después se extraen los valores de reflectancia con el uso del programa de sistemas de información geográfica QGIS.

2.4 Clasificación de las variables de salinidad con redes neuronales y árboles de decisión

La Tabla 2 contiene algunos de los índices espectrales de salinidad de suelos con sus respectivas formulas en las Ec. (4, 5, 6, 7, 8,

9, 10) más utilizados que fueron encontrados en la literatura y que se usaron en este trabajo.

Tabla 2. Índices de salinidad y vegetación propuestos y utilizados para la detección de salinidad.

Índices		Ecuación		Referencia
1	Normalized Differential Salinity Index	$NDSI = \frac{(R - NIR)}{(R + NIR)}$	(4)	(16)
2	Salinity Index 2	$SI2 = \sqrt{G * R}$	(5)	(16)
3	Salinity Index 4	$SI4 = \sqrt{G^2 + R^2}$	(6)	(16)
4	Salinity Index 14	$SI14 = \frac{R * NIR}{G}$	(7)	(16)
5	Normalized Differential Vegetation Index	$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$	(8)	(17)
6	Soil Adjusted Vegetation Index	$SAVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R + L * (1 + L))}$	(9)	(16)
7	Red-Near infrared (NIR)	$RNIR = \frac{R}{NIR}$	(10)	(17)

Se utilizaron redes neuronales perceptrón multicapa en el programa Statgraphics centurión 19 (Statgraphics Technologies, Inc ©. The Plains, Virginia, EUA), esta red presenta lo siguiente: Variables de entrada: identificación de las variables de entrada. Número de casos en el conjunto de entrenamiento: el número de observaciones n en el conjunto de entrenamiento. Número de casos en el conjunto de validación: el número de casos retenidos del conjunto de formación. Parámetro de espaciado utilizado: método para determinar la función de densidad de probabilidad. Conjunto de entrenamiento: el número y porcentaje de observaciones en el conjunto de entrenamiento que fueron correctamente clasificados. Conjunto de clasificación bayesiana: el número y porcentaje de observaciones retenidas del entrenamiento que fueron clasificados correctamente (18).

Para la clasificación con árboles de decisión se utilizaron los Árboles de Decisión Frugales y Rápidos (ADFR) se utilizó el software FFTrees (Fast and Frugal Trees) versión 1. 3. 2. disponible en versiones 2.1.0 de R o mayor. En ellos se ilustra la compensación entre sensibilidad (sens) y especificidad (spec) en algoritmos de clasificación. A medida que aumenta la sensibilidad, la especificidad

disminuye, equilibrado la exactitud (bacc) que es el promedio de sensibilidad y especificidad y su promedio ponderado es (wacc). El rendimiento ideal (bacc = 1.0). El objetivo del algoritmo es maximizar las decisiones correctas (aciertos y rechazos correctos), mientras minimiza errores (fallos y falsas alarmas), (19). Para definir la precisión de un algoritmo de decisión, se contrastan sus decisiones con verdaderos valores de criterio en una tabla de confusión donde se tabulan las decisiones del algoritmo (filas) con verdaderos valores de criterio (columnas) y contiene recuentos de observaciones para las cuatro celdas resultantes. También cuenta con celdas h_i y c_r que se refieren a decisiones correctas debido a la coincidencia entre lo previsto y valores de criterio, mientras que los conteos en las celdas f_a y m_i se refieren a errores debido a una falta de coincidencia entre lo predicho y lo verdadero. Aunque la precisión general es una medida importante y útil, puede ser engañoso y debe interpretarse en relación al tipo base del criterio. Por ejemplo, en un conjunto de datos con una tasa base baja del 1% (por ejemplo, 100 casos y solo un caso con un valor de criterio positivo), un algoritmo de línea de base que simplemente predice que todos los casos son negativos lograría una precisión total del 99%. Para más

información al respecto dirigirse al artículo de (19).

Las variables (PSI, RAS_{aj} y sodio) en las muestras estudiadas pertenecen a la categoría de salinas, sódicas o salino-sódicas (en menor o mayor grado) de acuerdo con (12) por lo que dentro de esta categoría se decidió utilizar un rango que divide en dos partes iguales el conjunto de datos de cada variable (del medio rango al valor mínimo es clasificación media y del medio rango al dato máximo es clasificación elevada).

La idea es utilizar un porcentaje de los datos de laboratorio (RAS_{aj} , PSI y sodio) para generar el modelo y otro porcentaje para validar el modelo y de esa manera hacer clasificaciones con nuevos datos de reflectancia. Se propone utilizar redes neuronales y arboles de decisión como método de clasificación y relación.

Al conjunto de datos originales se les aplicaron cuartiles estadísticos para eliminar los datos atípicos y se seleccionaron aleatoriamente para los dos métodos (RAS_{aj} 67 datos de entrenamiento y 23 datos de prueba); (PSI 67 datos de entrenamiento y 23 datos de prueba) y (Sodio 64 datos de entrenamiento y 23 de prueba).

Con sus respectivos índices de salinidad y los valores de reflectancia de las bandas multiespectrales mencionadas con anterioridad, se entrenaron y probaron modelos de árboles de decisión y redes neuronales para clasificar la RAS_{aj} , PSI y Na^+ (Sodio en $mEq L^{-1}$) y se seleccionaron los mejores porcentajes de aciertos correctos.

3. Discusión de resultados

En la presente sección se analizaron las variables anteriormente mencionadas que permitieron estimar el nivel de salinidad a partir de los índices de salinidad estimados y las cuatro bandas de reflectancia obtenidas.

A continuación, se describen los mejores modelos de árboles de decisión y de redes neuronales obtenidos que permitieron estimar el nivel de salinidad, de acuerdo al RAS_{aj} , PSI y concentración de Sodio.

3.1 Valores obtenidos de las variables de salinidad

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos en laboratorio de las variables de salinidad, donde el ion sodio es más representativo en los cationes mientras que en los aniones es el ion sulfato.

Tabla 3. Estadística descriptiva de las variables de salinidad obtenidas en laboratorio.

	CE	pH	Na^{+1}	K^{+1}	Ca^{+2}	Mg^{+2}	CO_3^{-3}	HCO_3^{-}	Cl ⁻	SO_4^{-2}	RAS_{aj}	RAS	PSI aj	PSI
	dS m ⁻¹		mEq L ⁻¹											
Media	65,47	8,20	49,03	9,76	6,28	9,76	0,59	6,88	18,19	53,75	40,42	20,00	35,51	21,42
Mediana	61,40	8,19	44,05	9,26	5,50	8,80	0,60	6,66	17,02	51,25	34,39	16,61	33,09	18,85
Moda	42,10	8,05	46,60	9,40	4,00	6,00	0,40	6,00	12,80	31,28	N/A	N/A	N/A	N/A
Desv. Est.	25,69	0,25	16,68	4,10	2,26	2,97	0,19	1,70	4,70	17,36	16,51	8,01	8,89	6,67
Varianza	659,83	0,06	278,31	16,78	5,12	8,81	0,04	2,87	22,12	301,39	272,58	64,19	79,04	44,53
Rango	107,90	1,21	64,63	17,29	8,35	9,80	0,70	8,04	15,22	70,20	62,86	31,77	32,40	24,99
Mínimo	28,00	7,58	27,87	3,01	3,65	6,00	0,30	3,14	12,58	30,67	20,55	11,36	22,51	13,41
Máximo	135,90	8,79	92,50	20,30	12,00	15,80	1,00	11,18	27,80	100,87	83,41	43,13	54,91	38,41

CE: Conductividad eléctrica; pH: potencial de hidrogeniones; RAS: Relación de adsorción de sodio; aj: ajustado y PSI: Porcentaje de sodio intercambiable.

3.2 Árboles de decisión frugales y rápidos (ADFR) de cuatro bandas espectrales y varios índices de salinidad para realizar la estimación del nivel de la relación de sodio ajustada (RAS_{aj})

El conjunto de datos de entrenamiento constó de 67 datos, de los cuales 40 estimaron un RAS_{aj} medio y 27 estimaron un RAS_{aj} elevado para el terreno estudiado según la clasificación de los (ADFR). Esto significa que 60% de los datos es medio y el 40% es elevado. En este caso el umbral fue la señal

red edge, que indica menor o igual a 0.1453 que estima a un RAS_{aj} elevado y la segunda señal near infrared mayor a 0.1471 estima un RAS_{aj} medio. En la prueba se corrieron 23 datos, de los cuales 61% estimaron RAS_{aj} medio y 39% un RAS_{aj} elevado. La frugalidad del árbol ignoró las demás señales, seleccionando el umbral de red edge menor o igual a 0.1453 decide RAS_{aj} medio y near infrared mayor a 0.1471 que estima un RAS_{aj} medio (Figura 2). El rendimiento de este proceso es $bacc = 67$.

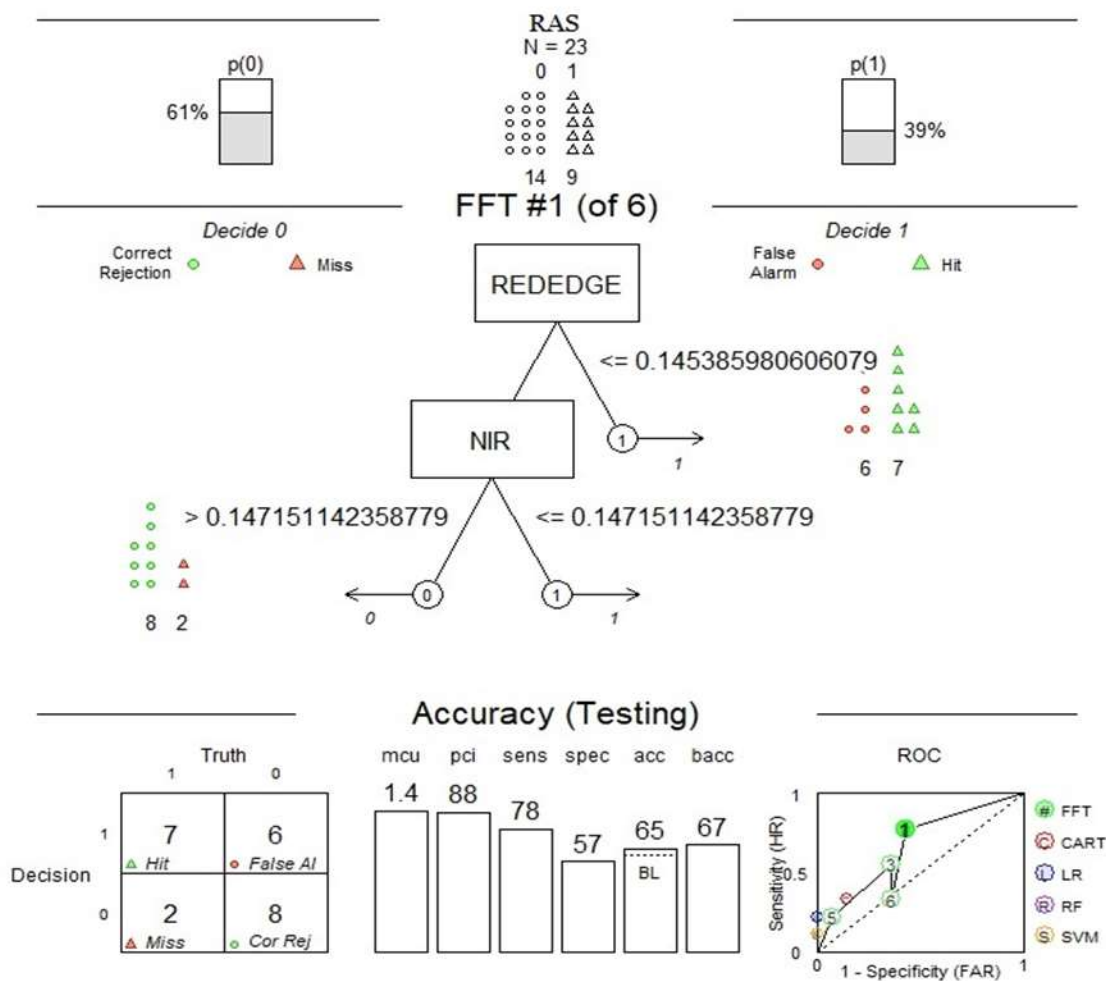


Figura 2. FFTree creado en prueba para clasificación de RAS_{aj} . En donde 0 decide medio y 1 decide elevado.

Las bandas de longitud infrarroja de onda corta que el ADFR seleccionó (near infrared

y red edge), las cuales pueden utilizarse como aproximación para la estimación de la

salinidad del suelo agrícola. (20) encontraron que concentraciones elevadas de sal pueden inferirse mediante la detección de firmas espectrales a través de malezas y plantas halófitas, y que algunos minerales como el hierro o sales de sodio exhiben una mayor reflectancia sobre longitudes de onda largas de infrarrojo cercano y en el caso de la materia orgánica se absorbe fuertemente en longitudes de onda más cortas de infrarrojo cercano. La reflectancia puede disminuir proporcionalmente al contenido de limo y condiciones de humedad, en el caso del terreno de estudio se podría explicar la selección de las señales umbral por presentar en algunas zonas agrietamientos y costras blancas debido al acumulo de sales de sodio.

El modelo generado de ADFR presentó las cinco mejores señales en el entrenamiento, las cuales son (Red edge, near infrared, SI14, NDVI y NDSI). Esta información puede ser útil para guiar un proceso descendente de futuras construcciones de un ADFR.

3.3 Redes neuronales utilizando normalized difference vegetation index (NDVI) y soil adjusted vegetation index (SAVI) para realizar la estimación del nivel de la relación de adsorción de sodio ajustada (RAS_{aj})

Uno de los pasos más importantes en el proceso de desarrollo de modelo de red neuronal es determinar las variables de entrada. En este clasificador bayesiano se estimó el nivel de la RAS_{aj} a partir de los índices de salinidad NDVI y SAVI. El experimento consto de 67 datos de entrenamiento de los cuales se clasificaron 17 elevados y 50 medios (25.33% y 74.5% de los casos respectivamente), por lo tanto, el porcentaje de casos correctamente clasificados fue de 80.6% Este procedimiento utiliza una red probabilística neural para clasificar, basándose en dos variables de

entrada. Se probó el modelo con 23 datos de los cuales se clasificaron correctamente 19 (82.11%) e incorrectamente 4 (17.89%), esto es derivado de usar la regla de clasificación para asignar tanto casos observados y casos nuevos a grupos.

El autor (21) demostró que los índices NDVI y SAVI son adecuados para distinguir las áreas con vegetación y sin vegetación del suelo con problemas de ensalitramiento, tienen un alto grado de precisión en la clasificación de áreas de cobertura vegetal y suelo desnudo. De acuerdo a lo anterior, el índice SAVI y NDVI que la red neuronal propuso son una herramienta analítica útil para modelar suelo desnudo, en este caso con problemas de salinidad y sodicidad. Las variaciones del suelo están efectivamente normalizadas y no influyen en la medición de la vegetación, ya que los índices espectrales se calibrarán con SAVI. El índice SAVI se puede aplicar para resolver los efectos del ruido de fondo del suelo mediante la introducción de un factor de corrección del brillo del suelo que pudieran presentar algunas costras blancas de sal.

3.4 Árboles de decisión rápidos y frugales (ADRF) de cuatro bandas espectrales y la estimación del nivel del porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

La principal señal de entrenamiento se refiere a la banda red edge, el procedimiento sugiere que si es mayor a 0.1453 es de PSI medio. Los datos de prueba muestran que, de las 23 muestras, 12 son de PSI medio y 11 de PSI elevado. La matriz de confusión muestra la precisión general del modelo en los datos de prueba y equivalen al 65% de las señales de PSI medio y 35% de la señal de PSI elevado (Figura 3). La banda red edge presenta la mejor sensibilidad de 62, mientras que la especificidad es de 60, el promedio de estas anteriores es bacc 61.

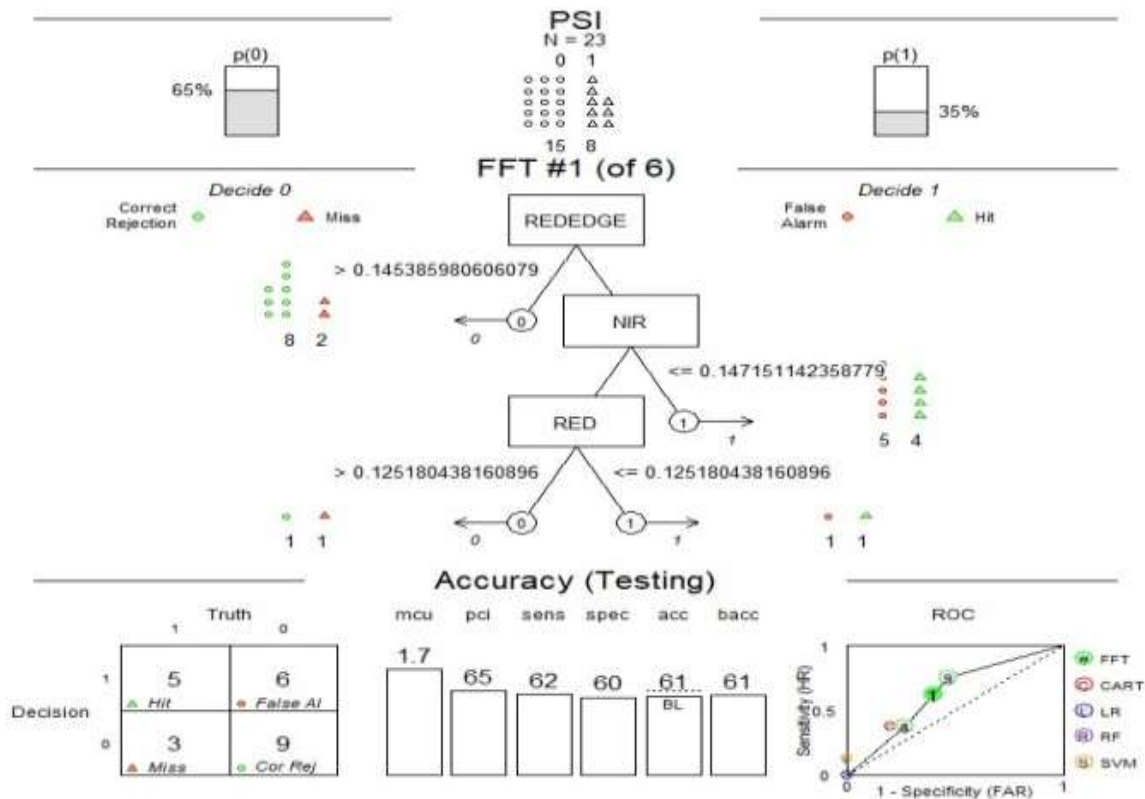


Figura 3. FFTree creado en prueba para clasificación de PSI. En donde 0 decide medio y 1 decide elevado.

En el método utilizado por (22) se probaron los siguientes modelos: support vector regression (SVR) y support vector regression ondicular (W-SVR) con el uso de varios índices de salinidad y se encontró que (W-SVR) tuvo un mejor desempeño mejor ($R=0.91$), a diferencia de (SVR) que obtuvo un coeficiente de correlación de ($R=0.77$), en donde también se combinó una alta gama de covariables ambientales, lo que infiere resultados son similares a los porcentajes de clasificación del PSI de este trabajo y revelan que las covariables de índices de salinidad obtenidas de los sensores remotos y en el terreno de estudio son predictores útiles para clasificar con modelos la salinidad del suelo. Según (23) la idea es generar un marco probabilístico bayesiano de incertidumbre con respecto a las predicciones realizadas por el árbol de decisión con el fin de proporcionar una estimación de probabilidad para cada decisión binaria tomada. Se entiende entonces que si la señal umbral red edge en

las clasificaciones de las muestras, es mayor a 0.1453 en este tipo de terrenos salinos, será de PSI medio.

3.5 Redes neuronales utilizando normalized differential vegetation index (NDVI) y soil adjusted vegetation index (SAVI) en la estimación del nivel del porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

En este apartado se analiza los resultados obtenidos con el conjunto de datos de estudio donde se probó el NDVI y SAVI con el PSI, dando su mejor rendimiento en 76.12% de casos clasificados correctamente. De los 67 casos analizados de entrenamiento, 19 fueron clasificados como PSI elevado y 48 como PSI medio. El conjunto de datos de prueba considero 23 datos, de estos 17 casos son correctos (14 de PSI medio y 3 de PSI elevado), el algoritmo falló en seis casos, lo que corresponde a 73.91% de casos clasificados correctamente y 26.08% de casos

clasificados incorrectamente respectivamente.

El estudio elaborado por (24) que estimaron valores de salinidad del suelo utilizando redes neuronales imágenes Landsat 7 y muestras reales de suelo. Se encontró 94% de precisión en su modelo, por lo es posible que los datos de reflectancia de este trabajo no son los mejores para estimar PSI. Sin embargo, pueden considerarse aceptables.

Es importante señalar que los índices NDVI y SAVI encontrados en los numerosos ensayos experimentales tienen los mayores porcentajes de clasificación y son los mismos índices en la red neuronal de RAS_{aj} y PSI, por lo que se asume que puede ser debido a que el PSI procede necesariamente del RAS_{aj} en los cálculos. Sin embargo, el acomodo de clasificación es diferente.

3.6 Árboles de decisión frugales y rápidos (ADFR) de cuatro bandas espectrales y varios índices de salinidad para realizar la estimación del nivel de sodio

El entrenamiento de ADFR para la predicción de resultados de clasificación de sodio muestra la precisión de las señales y se resaltan dos con los valores de precisión ponderados más altos en el entrenamiento que fueron las siguientes: el índice NDSI con sensibilidad 56, especificidad 83 y bacc 69. En la prueba las señales con los dos valores más altos de waac se seleccionaron como nodos para la predicción de resultados de

clasificación de sodio, 59% de las muestras son de clasificación elevada de sodio (6 correctos aciertos y 3 falsas alarmas) (Figura 4). El 41% de las muestras son clasificación media de sodio (6 aciertos y 7 fallos). El ADFR decidió a NDSI como umbral y decidió que si es mayor a -0.0786 es clasificación elevada y la segunda señal RNIR expresó que si es menor o igual a 0.8542 es de clasificación de sodio media. Cabe mencionar que, aunque el modelo ADFR es simple, su precisión era comparable a la de otros algoritmos de clasificación de otras variables de salinidad, por lo tanto, nuestros hallazgos sugieren que el modelo FFTrees no solo es rápido y frugal, si no también útil para predecir los resultados de clasificación de sodio a pesar de que bacc no es tan cercano a 1. El NDSI mostró mejor porcentaje de clasificación en los árboles frugales y rápidos para la estimación de sodio. Según lo reportado por (17) este índice ha mostrado buenos resultados en otros trabajos de teledetección de diferentes clases de sales, normalmente la vegetación insalubre tiene una actividad fotosintética más baja, lo que provoca un aumento de la reflectancia visible y una reducción de la reflectancia de los espectros infrarrojos como el índice NDSI del suelo. Este patrón se ha encontrado en varias plantas sometidas a estrés por salinidad. Por lo tanto, con base en este hallazgo, se han utilizado varios índices de vegetación como el NDVI, SAVI, NDSI y SI, como indicadores indirectos para evaluar y clasificar la salinidad del suelo (17).

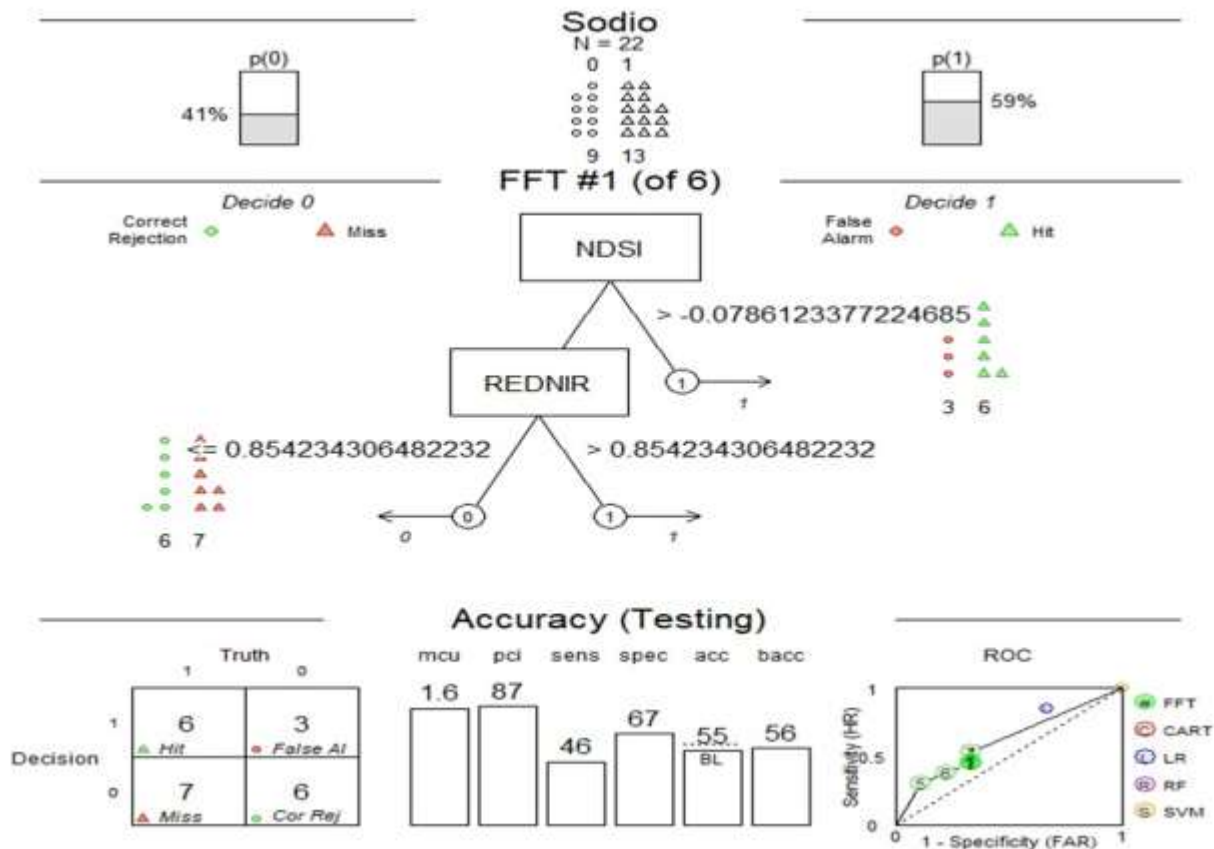


Figura 4. FFTree creado en prueba para clasificación de sodio. En donde 0 decide medio y 1 decide elevado.

3.7 Redes neuronales utilizando los índices normalized differential salinity index (NDSI) y red-near infrared (RNIR) en la estimación del nivel del sodio

Como es conocido, los modelos no deben ser validados con los mismos datos usados para el entrenamiento. En este método se divide el entrenamiento con 80% de los datos y la prueba en 20% de los datos. Los datos de entrenamiento tienen 71.88% de clasificación correcta mientras que los de prueba 72%. Las clasificaciones de entrenamiento correctas mostraron 21 miembros de concentración de sodio elevada y 43 media. En el resultado del set de prueba se encontró que 12 de clasificación de concentración de sodio media y 11 para elevada.

Según (25) lograron clasificar con 66% de precisión, varias clases de suelos salinos (suelos no salinos; ligeramente salinos,

moderadamente salinos y fuertemente salinos) utilizando imágenes de satélite y modelos digitales de elevación junto con modelos de clasificación supervisada de NDSI, observándose que la precisión de entrenamiento de este trabajo es superior. El índice RNIR junto con NDSI han mostrado buen desempeño utilizando redes neuronales en la estimación de los niveles de sodio, ya que utiliza las bandas infrarrojas que se sabe son de reflectancias apropiadas para la detección de salinidad de suelos desnudos.

La Figura 5 presenta el diagrama de dispersión 2D que traza los datos de dos de las variables, las cuales produjeron el modelo de red neuronal para cada variable analizada, visualizándose la clasificación elevada y media, así como la clasificación del modelo para comprender mejor cómo la región definida por la clasificación (elevada y

media) se dividen en áreas que darían lugar a que las muestras se clasifiquen como pertenecientes a diferentes grupos. Cada región codificada por colores sombríos

corresponde a un grupo diferente. Dos de las variables se utilizan para definir los ejes horizontal y vertical, mientras que las otras variables se mantienen en valores fijos.

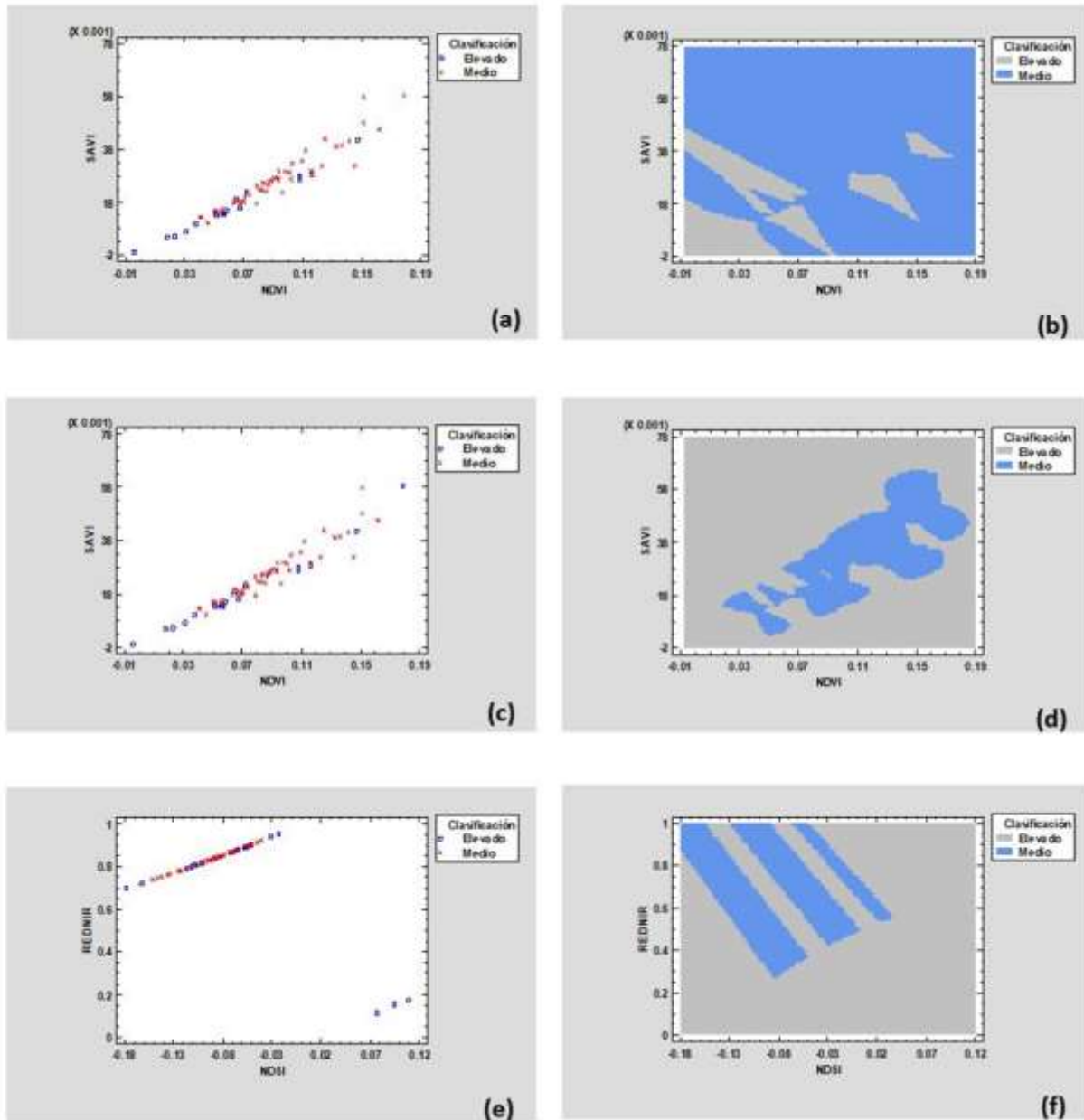


Figura 5. Graficas de dispersión del modelo de red neuronal: a) RAS_{aj} , c) PSI y e) sodio y graficas de regionalización del modelo de red neuronal: b) RAS_{aj} , d) PSI y f) sodio.

3.8 Comparación de los modelos de árboles de decisión y redes neuronales en la estimación de los niveles de por ciento de

sodio intercambiable (PSI), relación de adsorción de sodio ajustado RAS_{aj} y Sodio

En la Figura 6 se muestra la precisión encontrada en la determinación de los niveles

de RAS_{aj}, PSI, y sodio para los modelos de árboles de decisión y los modelos de redes neuronales. Se puede apreciar que los modelos de redes neuronales presentaron la

mejor precisión para los tres indicadores de salinidad de suelo estudiados en el presente trabajo.

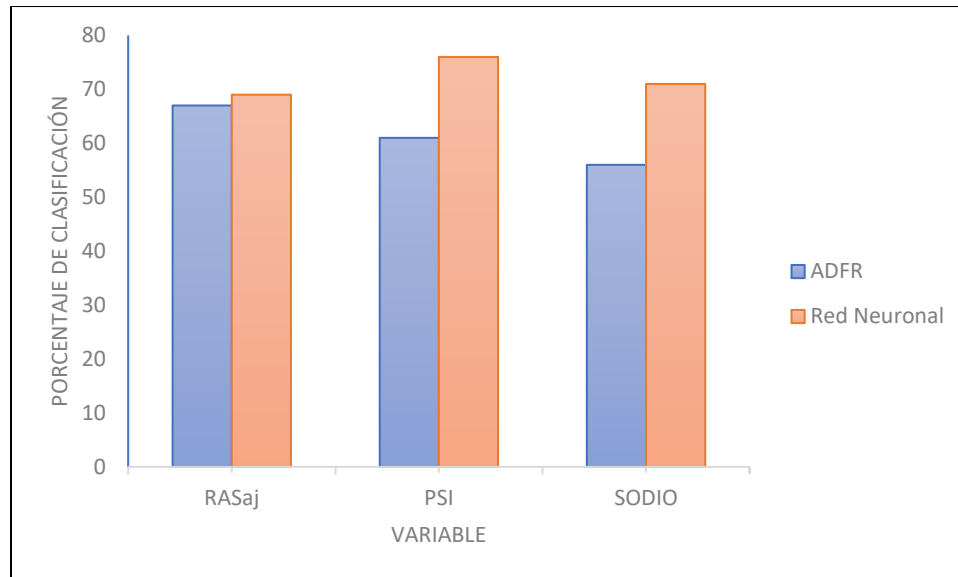


Figura 6. Comparación de las precisiones entre el modelo ADFR y las redes neuronales.

Numerosos autores han experimentado con índices de salinidad y vegetación para detectar y clasificar la salinidad del suelo como los autores (26) quien utilizaron varios índices de vegetación para detectar salinidad del suelo, pero solo el Índice de Salinidad de Respuesta de Canopy (CRSI) ($r = -0.78$) logró la correlación más fuerte en 80 sitios de muestreo y (21) quien implementó un algoritmo ML usando Super Regression Vector Wavelet (SVR-W) para predecir un suelo con problemas de salinidad en el cual encontró 91% de rendimiento en el modelo en profundidades del suelo de 0 a 30 cm.

4. Conclusiones

El trabajo de investigación demostró que es posible clasificar la salinidad del suelo en niveles propuestos con aceptable precisión a partir de las imágenes capturadas con vehículos aéreos no tripulados. Los modelos de redes neuronales mostraron una mejor precisión en la estimación de los tres indicadores de salinidad utilizados en este

estudio (Porcentaje de Sodio Intercambiable, Relación de Adsorción de Sodio y concentración de sodio) con respecto a los árboles de decisión. Los rangos de precisión encontrados para los modelos de redes neuronales fluctuaron entre 69 y 76% mientras que los árboles de decisión mostraron precisiones entre 56 y 67%. Los muestreos del sitio y su análisis de laboratorio además del uso de las señales de entrada para los modelos de clasificación de la salinidad del suelo como lo son las reflectancias en las bandas red, near infrared, green y red edge, así como índices de salinidad calculados a partir de las reflectancias mencionadas anteriormente, son una herramienta poderosa para detectar y clasificar áreas afectadas por la salinidad. El modelo propuesto y el grado de precisión obtenido, lo convierten en una herramienta prometedora para su uso en la predicción y clasificación de la salinidad del suelo. Estos procedimientos tecnológicos pueden aplicarse en el mapeo de la salinidad del suelo para conocer las áreas afectadas de

una manera fácil, rápida y económicamente viable.

5. Agradecimientos

Al Centro de Tecnología Biomédica de la Universidad Politécnica de Madrid. A la Dra. Consuelo Gonzalo Martín y Dr. Mario Lillo por sus recomendaciones que ofrecieron para este trabajo de investigación.

6. Referencias

1. Chunzhao, Z., Heng, Z., Chunpeng, S., Jian-Kang, Z. and Shabala, S. (2020) "Mechanisms of Plant Responses and Adaptation to Soil Salinity". *The Innovation*, 1: (1), 100017. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100017>
2. Finger, R., Scott, M. S., Benni, N. L. and Walter, A. (2019) "Precision Farming at the nexus of agricultural production and the environment". *Annual Review of Resource Economics*, (1): 313-335. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100518-093929>
3. Boursianis, A. D., Papadopoulou, M. S., Diamantoulakis, P., Liopa, T. A., Barouchas, P., Salahas, G., Karagiannidis, G., Wan, S. and Goudos, S. K. (2020) "Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming: A comprehensive review". *Internet of Things*, 1001187, 2542-6605. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100187>.
4. Klemas, V. V. (2015) "Coastal and environmental remote sensing from unmanned aerial vehicles: An Overview". *Journal of Coastal Research*, 31(5): 1260-1267. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-15-00005.1>.
5. Sacristan, F. R. (2006) "La tecnología al servicio del medio ambiente". *Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública*. 24: 1. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-386X2006000100014&lng=en&nrm=iso. ISSN 0120-386X.
6. Abbas, A., Khan, S., Hussai, N., Hanjra, M. A. and Akbar, S. (2013) "Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach". *Physics and Chemistry of the Earth*, 55-57, 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.12.004>
7. Daliakopoulos, I.N. and Tsanis, I. K. (2014) *Greece: Agro-pastoral over-exploitation and its implications in Messara Valley (Crete)*. Paris, CIHEAM. CIHEAM Watch Letter 28, Land issues in the mediterranean countries.
8. Torres, J. A. I. (2018) *Deep learnig. Introducción practicas con Keras (primera parte)*. Barcelona, Ed. What this space.
9. Wang, F., Nie, F., Li, Z., Yu, W. and Ren, F. (2020) "A linear multivariate binary decision tree classifier based on K-means splitting". *Pattern Recognition*, (107): 107521. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2020.107521>
10. SEGOB, Secretaría de Gobernación (2000) Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México. Edición 31 de diciembre de 2002. 64 p.
11. Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. and Eaton, A. D. (1998) *Estandar methods for examination of water and wastewater*. Washington, D. C. U.S.A

- 20 ed. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association. Water Pollution Control Federation.
12. Richards, L. A. (1982) *Suelos Salinos y Sódicos*. Ciudad de México. Editorial Limusa.
13. Can, C. A., Ramírez, A. C., Ortega, E. H. M., Trejo, L. C. and Cruz, D. J., (2008) "Evaluación de la relación de adsorción de sodio en las aguas del río Tulancingo, estado de Hidalgo, México". *Terra Latinoamericana*, 26 (3), 243-252.
14. Bower, C. A., Ogata, G. and Tucker, J. M. (1968) "Sodium hazard of irrigation waters as influenced by leaching fraction and by precipitation or solution of calcium carbonate". *Soil Science*, 106: (1), 29-34.
15. Aceves, N. E. (2011). *El ensalitramiento de los suelos bajo riego*. Cd de México. Editorial Biblioteca Básica de Agricultura.
16. Allbed, A., Kumar, L. and Aldakheel, Y. Y. (2014) "Assessing soil salinity using soil salinity and vegetation indices derived from IKONOS high-spatial resolution imageries: Applications in a date palm dominated region". *Geoderma*, 230-231, 1-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.03.025>
17. Allbed, A. and Kumar, L. (2013) "Soil salinity mapping and monitoring in arid and semi-arid regions using remote sensing technology: A review". *Advances in remote sensing*, 2: 373-385. DOI:10.4236/ars.2013.24040
18. Statgraphics, Neural network classifier (2020) Classifierneuralclassifier.sgp. (Consultado el 12 de agosto de 2020).
19. Phillips, N. D., Neth, H., Woike, J. K. and Gaissmaier, W. (2017) "FFTrees: A toolbox to create, visualize and evaluate fast-and-frugal decision trees". *Judgment and Decision Making*, 12: (4), 344-368. <http://journal.sjdm.org/17/17217/jdm17217.pdf>
20. Alexakis, D. D., Daliakopoulos, I. N., Panagea, I. S. and Tsanis, I. K. (2018). "Assessing soil salinity using WorldView-2 multispectral images in Timpaki, Crete, Greece". *Geocarto International*, 33: (4) 321-338. DOI: 10.1080/10106049.2016.1250826.
21. Rhyma, P.P., Norizah, K., Hamdan, O., Faridah, I. H. and Zulfa, A. W. (2020) "Integration of normalised different vegetation index and Soil-Adjusted Vegetation Index for mangrove vegetation delineation". *Remote sensing applications: Society and environment*, 17: 100280. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100280>
22. Taghizadeh, M. R., Schmitt, K., Toomanian, N., Heung, B., Behrens, T., Mosavi, A., Band, S.S., Amirian, C. A., Fathabadi, A. and Scholten, T. (2021) "Improving the spatial prediction of soil salinity in arid regions using wavelet transformation and support vector regression models". *Geoderma*, 383: 114793. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114793>
23. Gadzinski, G. and Castello, A. (2020) "Fast and frugal heuristics augmented: when machine learning quantifies bayesian uncertainty". *Journal of behavioral and experimental finance*, 26: 100293. [10.1016/j.jbef.2020.100293](https://doi.org/10.1016/j.jbef.2020.100293).
24. Amir, D. M., Naderi, A., Ghorbani, Y., Mehrpouyan, A. and Bakhshi, A. (2020) "Nity mapping by remote sensing south of Urmia Lake, Iran". *Geoderma Regional*, 22: e00317.

- <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00317>
25. Zewdu, S., Suryabhagavan, K. V. and Balakrishnan, M. (2017) "Geo-spatial approach for soil salinity mapping in sego irrigation farm, South Ethiopia". *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16: (1), 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2014.12.003>.
26. Ramos, T. B., Castanheira, N., Oliveira, A. R., Paz, A. M., Darouich, H., Simionesei, L., Farzadian, M. and Goncalvez, M. C. (2020) "Soil salinity assessment using vegetation indices derived from Sentinel-2 multispectral data, application to Lezíria Grande, Portugal". *Agricultural Water Management*, 241: 106387. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106387>



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Tratamiento integral de las aguas residuales de origen universitario a través de un reactor anaerobio de flujo ascendente

Comprehensive treatment of university wastewater through an anaerobic up flow reactor

Castro-Sierra, A.^a, Houbron, E.^b, Sosa-Villalobos, C.A.^{c*}, Rustrián-Portilla, E.^b, Galaviz-Villa, I.^d

^a Instituto Politécnico Nacional; Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada; C.P. 90700 Tepetitla, Tlaxcala.

^b Universidad Veracruzana; Facultad de Ciencias Químicas; C.P. 94340 Orizaba, Veracruz.

^c Tecnológico Nacional de México; Instituto Tecnológico de Veracruz; C.P. 91897 Veracruz, Veracruz.

^d Tecnológico Nacional de México; Instituto Tecnológico de Boca del Río; C.P. 94290 Boca del Río, Veracruz.
andres.castro.sierra21@gmail.com; ehoubron@uv.mx; cinthya.sv@veracruz.tecnm.mx*; erustrian@uv.mx;
itzelgalaviz@bdelrio.tecnm.mx

Innovación tecnológica: Alternativa sostenible para la obtención de biogás y tratamiento de aguas.

Área de aplicación industrial: Tratamientos de aguas, biorrefinerías e investigación.

Recibido: 01 enero 2023

Aceptado: 15 junio 2023

Abstract

Water suffers a complex and alarming deterioration due to the various pollutants present in it as a result of anthropogenic activities. Therefore, several technologies have been used for its treatment, an example of these are the up flow anaerobic reactors, which are a compact alternative that, due to their structure, take advantage of gravity together with the mineralizing action of microorganisms to eliminate the pollution present in the effluent up to considerable levels. Under this premise, the present work aims to evaluate the optimal operating conditions of a laboratory level anaerobic reactor for biogas production and wastewater treatment under five different volumetric loads rate (VLR) (4, 8, 12, 16 and 20 g COD/L*day) at room temperature (25 ± 5 °C). The parameters evaluated were: pH, biogas, percentage of methane in the biogas, chemical oxygen demand removal and suspended solids. In addition, to ensure the integral management of the treated effluent, its phytotoxicity in radish and its impact on the growth rate of azalea (*Rhododendron simsii*) and mint (*Mentha x piperita*) were evaluated. The largest amount of biogas (115.33 mL) and methane (45 mL) occurred in the 4 g COD/L*day loading. The above results are attributed to the effect of temperature, microbial activity limited by hydraulic retention times (TRH) and

relatively low organic load of the substrate. These conditions allowed the microorganisms to focus more on biomass production (68.37 – 77.30%) than on methane gas (CH₄) generation (22.70–31.63%). On the other hand, the maximum removal of COD (98%), fixed suspended solids (90.16%), volatile solids (94.18%) and total suspended solids (92.87%), occurred at the lowest VLR (4 g COD/L*day). It was also demonstrated that the treated effluent is not phytotoxic and was able to increase the growth rate of the evaluated crops. In conclusion, the up flow anaerobic reactors proved to be a simple, efficient and recommendable technology for the treatment of wastewater of university origin, because high percentages of pollutants removal (COD and suspended solids) and the potential in the biogas generation.

Key words: anaerobic reactor, biogas, university wastewater, upflow.

Resumen

El agua sufre un deterioro complejo y alarmante por los diversos contaminantes presentes en ella, debido a las actividades antropogénicas. Por ende, diversas tecnologías han sido empleadas para su tratamiento, un ejemplo de estas son los reactores anaerobios de flujo ascendente, los cuales, son una alternativa compacta que por su estructura aprovecha la gravedad junto con la acción mineralizante de los microorganismos para eliminar la contaminación presente en el efluente hasta niveles considerables. Bajo esa premisa, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar las condiciones óptimas de operación de un reactor anaerobio de nivel laboratorio para la producción de biogás y el tratamiento de aguas residuales bajo cinco cargas volumétricas (Cva) distintas (4, 8, 12, 16 y 20 g de Demanda de Química de Oxígeno DQO/L*día) a temperatura ambiente (25 ± 5 °C). Los parámetros evaluados fueron: pH, biogás, porcentaje de metano en el biogás, remoción de la demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos. Adicionalmente, para garantizar la gestión integral del efluente tratado se evaluó su fitotoxicidad en rábano, e impacto en la tasa de crecimiento de azalea (*Rhododendron simsii*) y menta (*Mentha x piperita*). La mayor cantidad de biogás (115.33 mL) y metano (45 mL) se dio en la carga de 4 g de DQO/L*día. Los resultados anteriores son atribuidos al efecto de la temperatura, a la actividad microbiana limitada por los tiempos de retención hidráulicos (TRH) y relativamente baja carga orgánica del sustrato. Estas condiciones propiciaron que los microorganismos se enfocaran más en la producción de biomasa (68.37 – 77.30 %) que en la generación de gas metano (CH₄) (22.70 – 31.63 %). Por su parte, la máxima remoción de DQO (98%), sólidos suspendidos fijos (90.16%), volátiles (94.18%) y totales (92.87%), se dio en la carga más baja (4 g de DQO/L*día). Asimismo, se demostró que el efluente tratado no es fitotóxico y pudo aumentar la tasa de crecimiento de los cultivos evaluados. En conclusión, los reactores anaerobios de flujo ascendente demostraron ser una tecnología simple, eficiente y recomendable para el tratamiento de aguas residuales de origen universitario; debido a que se obtienen altos porcentajes de remoción de contaminantes (DQO y sólidos suspendidos) y con potencial en la generación de biogás.

Palabras clave: Aguas residuales universitarias, biogás, flujo ascendente, reactor anaerobio.

1. Introducción

El agua participa en todos los procesos naturales, antropogénicos e industriales que dan sustento a la vida, no obstante, las propiedades que le confieren esa versatilidad, también la proveen de una alta vulnerabilidad. Situación que propicia la generación de aguas residuales, las cuales, tienen implicaciones sociales, económicas y ambientales, siendo estas últimas las que generan una mayor problemática [1]. En este sentido, las afectaciones al ecosistema van desde la contaminación del agua hasta la alteración del ciclo hídrico, pasando por la eutrofización del medio, el traslado y bioacumulación de material tóxico, así como también, la liberación de metano (CH_4), el gas de efecto invernadero más contaminante al ambiente, con daños que en su mayoría son imperceptibles hasta que las alteraciones han alcanzado niveles irreversibles [2].

Por consiguiente, es de vital importancia realizar el tratamiento de las aguas residuales garantizando que este sea eficiente y asequible según el entorno que los rodea [3]. La elección de un tratamiento depende de los siguientes factores: naturaleza del agua residual, uso, compatibilidad entre los sistemas de tratamiento, medios disponibles de eliminación de los contaminantes finales; y de los costos de operación [4]. Sin embargo, aun cuando es necesario reintegrar el agua al ciclo natural, el porcentaje de aguas residuales tratadas no es significativo. Tan solo en México, el 63% de las aguas residuales son tratadas [5], si bien es superior a la media, sigue siendo insuficiente. Esto puede deberse principalmente a la falta de recursos económicos y a una ineficiente gestión ambiental [6].

Por tanto, para solventar este problema se debe proponer e integrar en nuestro entorno

tecnologías sostenibles, viables, fáciles de operar, y con una aplicación real [7]. Dentro de este campo, resaltan los reactores anaerobios de flujo ascendente; Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) por sus siglas en inglés o Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) en español. Estos son reactores multifase, en los cuales los microorganismos degradan los compuestos orgánicos del agua y generan biogás de forma eficiente sin ocupar grandes cantidades de espacio [8].

Asimismo, para garantizar la gestión integral del agua, el efluente tratado puede ser empleado para el riego agrícola, actividad en la que los nutrientes aún presentes en el agua pueden ser asimilados propiciando el desarrollo del cultivo y reintegrándolos a sus ciclos naturales [9: 10]. Por lo anterior, la presente investigación, tiene como objetivo evaluar las condiciones óptimas de operación de un reactor anaerobio a nivel laboratorio para la producción de biogás y el tratamiento de aguas residuales de una institución académica, desde un enfoque sostenible.

2. Materiales y equipos

Se utilizó un reactor UASB (Fig. 1) que consiste en una columna de cristal de 53 cm de altura y 7.5 cm de diámetro interno con un volumen total de 2.5 L y volumen útil de 2.3 L. La determinación de las condiciones hidráulicas, se realizó con base en la literatura [11], por lo que se establecieron las siguientes cargas volumétricas: 4, 8, 12, 16 y 20 g DQO/L*día, además de los siguientes TRH: 2.64, 1.32, 0.88, 0.66 y 0.53 horas. Se operó el experimento a una temperatura de operación del experimento fue a una temperatura de 35 °C para asegurar condiciones mesofílicas del proceso.

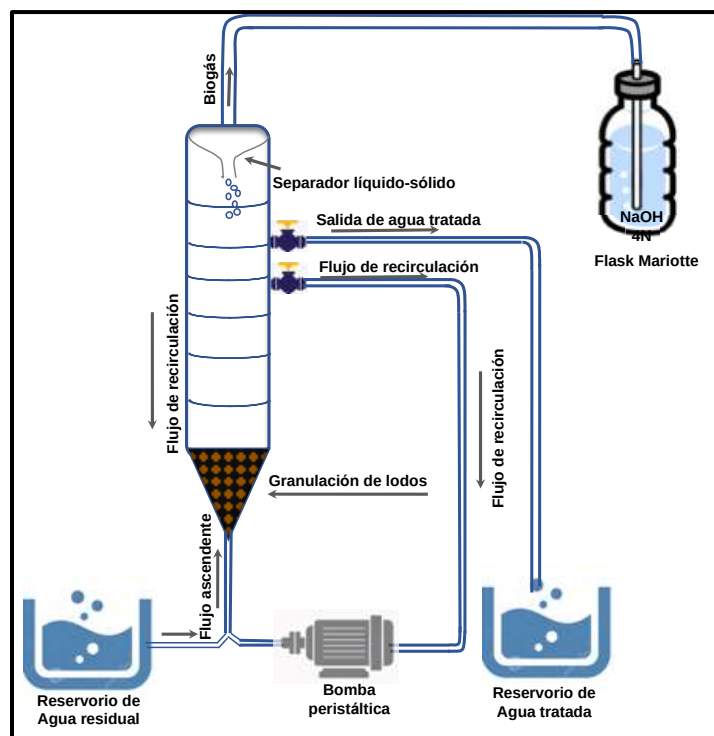


Figura 1. Reactor UASB.

Se empleó una bomba peristáltica de velocidad variable (6-600 rpm) de la marca Masterflex para alimentar y recircular el reactor. Se instaló un separador trifásico gas-sólido-líquido en la parte superior del reactor para la captación del biogás. Para garantizar la pureza del metano, se colocó un dispositivo mariotte flask que contenía una solución de 4 N de NaOH.

3. Métodos experimentales

El efluente empleado, se obtuvo de un reactor UASB instalado en una facultad de una universidad, el cual recibe aguas residuales generadas de los baños y cafetería principalmente. La toma de muestra fue en época de estiaje. El reactor UASB se inoculó con 250 mL de lodo granular proveniente de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), la cual capta una mezcla de aguas residuales urbanas, industriales, tales como: industria cervecera, papel, producción de medicamentos, químicos, acero, petroquímica y otras.

3.1. Eficiencia de remoción de los contaminantes

Para determinar la Demanda Química de Oxígeno (DQO), se tomó como referencia la NMX-AA-030-SCFI-2012, utilizando dicromato de potasio como oxidante. Posterior a ello, se determinaron los sólidos suspendidos totales (SST), volátiles (SSV) y fijos (SSF) de acuerdo a la NMX-AA-034-SCFI-2015.

3.2. Estimación del porcentaje de metano presente en el biogás

Para estimar la cantidad de biogás, se colocó un dispositivo mariotte flask en la parte superior del reactor, que contenía una solución 4 N de NaOH [12]. Una vez obtenidos los resultados se calculó el porcentaje de metano contenido en el biogás, el cual se comparó con los márgenes establecidos por Varnero (2011) [13] para un biogás aprovechable.

3.3. Evaluación del potencial del agua tratada para riego agrícola

Se evaluó el porcentaje de germinación del rábano (*Raphanus sativus*), para ello, se sembraron semillas en tres contenedores plásticos (5 semillas por contenedor), a una

profundidad de 5 cm, con un riego cada dos días durante un mes. Así mismo, la tasa de crecimiento de la azalea (*Rhododendron simsii*) y la menta (*Mentha × piperita*) regada con este efluente por seis meses, lo anterior fue realizado por triplicado (Fig. 2).

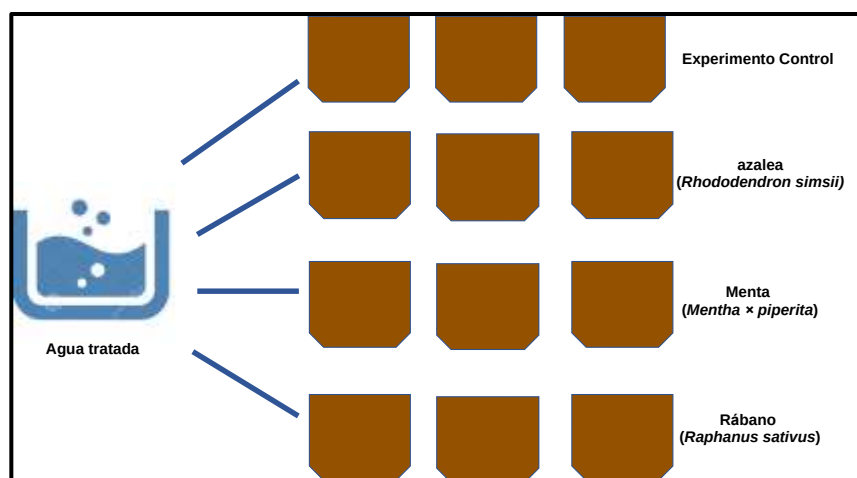


Figura 2. Esquema del experimento de tasa de crecimiento de plantas

La frecuencia de riego fue diaria con 250 mL de agua tratada. Para los controles se usó agua del suministro público. Adicionalmente, se realizaron pruebas porcentuales de germinación.

4. Discusión de Resultados

4.1. Eficiencia de remoción de la materia orgánica

Para determinar la eficiencia de remoción de la materia orgánica en el reactor UASB durante el tratamiento de aguas residuales, se procedió a realizar un análisis del pH y de la DQO postratamiento [Tabla 1].

Tabla 1. Determinación del pH y la DQO, después del tratamiento biológico.

Carga volumétrica [g DQO/L*día]	pH	DQO [mg/L]	Remoción DQO [%]
4	5.94 ± 0.66	12.28 ± 2.44	97.21
8	5.80 ± 0.46	46.33 ± 1.84	89.46
12	5.77 ± 0.65	134.11 ± 10.63	69.49
16	5.87 ± 0.05	145.75 ± 16.30	67.06
20	7.05 ± 0.31	126.13 ± 1.84	71.30

4.1.1 pH

El primer parámetro evaluado fue el pH, para lograr un adecuado funcionamiento de los sistemas biológicos es indispensable generar las condiciones ambientales favorables de pH para el desarrollo y crecimiento de la biomasa [14]. Al inicio del experimento, se obtuvo un

valor de pH de 7.46 ± 0.62 resultados dentro del rango esperado [4]. En las aguas residuales, el pH se encuentra entre 6.5-8.5, rango que aún favorece el sustento de la vida [15].

Por su parte, el efluente tratado mantuvo un pH de entre 5.77 y 5.94, lo que demuestra una ligera acidificación del medio; de acuerdo con Cajigas (2005) [14] todos los procesos de potabilización o depuración propician la disminución del pH y no representa ningún problema mientras permanezcan dentro de los límites inhibidores del crecimiento biológico ($5 < \text{pH} < 9.2$).

De ahí que, en la mayoría las muestras se observa una ligera tendencia hacia la acidificación del medio, excepto en la carga volumétrica (CVA) de 20 g de DQO/L*día; esto puede deberse a que el efluente se mantuvo durante un tiempo reducido a su paso por el reactor y posiblemente no se logró completar la degradación metabólica por parte de los microorganismos anaerobios [16].

4.1.2 Demanda química de oxígeno (DQO)

La caracterización inicial de la DQO del agua colectada (439.5 ± 6.56 mg/L), se puede clasificar en un rango medio-bajo para aguas residual de tipo doméstico y similares [15]. De acuerdo, con Orozco (2014) [17] esta concentración es idónea porque se encuentra por encima del rango limitante para los reactores UASB (< 250 mg/L de DQO).

En la tabla 1, se observa que la DQO disminuye conforme la carga volumétrica (CVA) aplicada es menor, esto se debe a que una CVA reducida permite tiempos de retención hidráulica prolongados, en los cuales los microorganismos presentes en el reactor pueden descomponer la materia orgánica existente de manera más eficiente [18]. Pese a ello, cabe destacar que en todas las cargas volumétricas empleadas se redujo la carga orgánica hasta cumplir con los límites máximos permisibles que establece la norma NOM-001-SEMARNAT-2021 para ser vertida en ríos, arroyos, canales, o usarse para el riego agrícola.

De acuerdo con Torres (2012) [11], las condiciones ambientales tropicales y subtropicales de Latinoamérica permiten en este tipo de reactores remociones del 80% en DQO sin necesidad de adicionar calor al reactor. Durante el experimento, se observó este comportamiento en las dos cargas más bajas (4 y 8 g DQO/L*día), aunque en casi todos los casos se superó el 70% de remoción, lo que concuerda con los porcentajes de remoción alcanzados, bajo condiciones similares, por [17].

En general, los reactores UASB son sistemas recomendados para el tratamiento de aguas residuales con alta carga de materia orgánica, debido a que tienen eficiencias de remoción de DQO superiores al 90% con velocidades de carga orgánica de hasta 20 g DQO/L*d [18]. En este estudio, los porcentajes de DQO removida, en las dos cargas volumétricas más bajas, demuestran la eficiencia del proceso para la depuración de aguas residuales de origen universitario o similares [11]. Aunque para evitar la acidificación del medio, baja granulación en el lodo residual y, en consecuencia, el mal funcionamiento del reactor, se recomienda una concentración inicial de al menos 250 mg/L [17].

4.1.3 Sólidos suspendidos

Los sólidos suspendidos totales son los principales formadores de lodos residuales; la concentración de estos sólidos en aguas residuales domésticas oscila entre 100 y 350 mg/L [15]. Adicionalmente, estos están fuertemente ligados a la producción de biogás porque representan la biomasa. Los resultados de los sólidos suspendidos totales (SST), volátiles (SSV) y fijos (SSF) del agua residual previa al tratamiento fueron 342.81 ± 2.48 mg/L, 229.21 ± 1.17 mg/L y 112.89 ± 3.02 mg/L, respectivamente. En la tabla 2, se muestran el promedio de las concentraciones

postratamiento y su equivalente en porcentaje de remoción.

Tabla 2. Porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos.

Carga volumétrica [g DQO/L*día]	SST		SSV		SSF	
	[mg/L]	Remoción [%]	[mg/L]	Remoción [%]	[mg/L]	Remoción [%]
4	24.44	92.87	13.33	94.18	11.11	90.16
8	81.11	76.34	60.00	73.82	21.11	81.30
12	134.44	60.78	80.00	65.10	54.44	51.77
16	115.56	66.29	106.67	53.46	8.89	92.13
20	155.56	54.62	83.33	63.64	72.22	36.02

Como se puede observar, existe una relación inversa entre la carga volumétrica y porcentajes de remoción los sólidos suspendidos, como se observó con la DQO. De acuerdo con lo establecido por la NOM-001-SEMARNAT-2021 los resultados obtenidos en las cargas volumétricas de 4 y 8 g DQO/L*día permiten que el agua residual tratada pueda ser vertida en aguas nacionales, sin embargo, las cargas de 12, 16 y 20 g de DQO/L*día exceden el límite máximo permisible (84 mg/L) para su vertimiento;

aunque todas las cargas pueden ser empleadas para riego agrícola.

4.2. Estimación del porcentaje de metano presente en el biogás

Los reactores UASB, destacan no solo por su buen índice de remoción de contaminantes y diseño compacto, sino también por la generación de biogás [19]. En la tabla 3 se muestra la captación de biogás total y metano para cada carga volumétrica.

Tabla 3. Producción de biogás y metano.

Carga volumétrica [g DQO/L*día]	Biogás [mL]	Metano [mL]	Metano en biogás [%]
4	115.33 ± 7.37	45.00 ± 2.65	39.02
8	114.33 ± 3.78	38.67 ± 1.53	33.82
12	67.00 ± 10.58	27.33 ± 4.16	40.79
16	52.33 ± 4.50	23.00 ± 2.00	43.95
20	37.67 ± 2.30	18.33 ± 1.15	48.66

Se observa una producción de biogás y metano inversamente proporcional a las cargas volumétricas; esto se debe al tiempo de retención hidráulica, ya que al disminuir el tiempo del influente en el reactor disminuye la producción de biogás, tal como lo describieron Arango y Sanches (2009) [18].

Sin embargo, se observó un aumento en el porcentaje de metano en el biogás a medida que la producción de biogás fue disminuyendo. De igual manera, se observa

que en ninguna carga volumétrica se superó el 50% de metano en el biogás. No obstante, de acuerdo con Varnero (2011) [13], para que un biogás sea inflamable y aprovechable debe superar el 45% de metano en su composición, dato obtenido únicamente en la carga de 20 g de DQO/L*día.

En estudios similares, se han alcanzado porcentajes de metano de hasta el 82.4% [20]. Estas disparidades se atribuyen a la baja concentración inicial de la DQO ($439.5 \pm$

6.56 mg/L), así como al volumen del reactor (2.3 L de volumen útil), ya que, de acuerdo con Orozco (2014) [17] este tipo de reactores

tiende a disminuir su eficiencia, tanto de remoción como de obtención de biogás, cuando la concentración de DQO es baja.

Tabla 4. Distribución de la DQO removida.

Carga volumétrica [g DQO/L*día]	DQO removida [mg/L]	DQO empleada para CH ₄		DQO empleada para biomasa	
		[mg/L]	[%]	[mg/L]	[%]
4	427.22	135.15	31.63	292.08	68.37
8	393.17	123.59	31.43	269.58	68.57
12	305.39	83.58	27.37	221.81	72.63
16	294.75	75.58	25.64	219.17	74.36
20	313.37	71.13	22.70	242.24	77.30

Así también, es posible que los microorganismos emplearan la materia orgánica para la producción de biomasa en vez de la generación de biogás, tal como se muestra en la tabla 4. Esto se debe a la alta disponibilidad de nitrógeno y fósforo, ya que los procesos de digestión anaerobia se caracterizan por su baja necesidad de estos nutrientes, sin embargo, al estar disponibles se emplean para la síntesis de nueva biomasa [13].

4.3. Evaluación del potencial del agua tratada para riego agrícola

Los reactores UASB pueden ser eficientes en la remoción de materia orgánica y sólidos, pero no de nutrientes como el nitrógeno o fósforo [20]. Con base en ello, una opción sostenible para la reintegración de estos nutrientes a los ciclos biogeoquímicos es el empleo de este tipo de efluentes en el riego de agrícola [21].

4.3.1 Porcentaje de germinación

Las semillas de rábano regadas con agua proveniente del suministro público obtuvieron entre el 50 y 60% de germinación mientras que las hortalizas con riego de agua residual germinaron entre un 70 y 80 % (Fig. 3)



Figura 3. Germinación de los rábanos (*Raphanus sativus*).

Los porcentajes de germinación obtenidos se encuentran por debajo de los rangos que establecen las distribuidoras de semillas, los cuales oscilan entre 95 y 98 %, estos porcentajes de germinación se alcanzan en condiciones controladas en incubación [22]. Sin embargo, Hernández (2020) [23] obtuvo un resultado de 70% en la germinación de rábano utilizando agua residual como agente de riego, este dato concuerda con los resultados obtenidos en este estudio.

4.3.2. Tasa de crecimiento

Se evaluó la tasa de crecimiento de la azalea (*Rhododendron sp.*) y de la menta (*Mentha sp.*), los resultados se muestran en la tabla 6.

Tabla 5. Tasa de crecimiento de azalea y menta.

Cultivos	Tasa de crecimiento	
	Agua tratada [cm/día]	Agua suministro público [cm/día]
Azalea	0.12 ± 0.02	0.09 ± 0.03
Menta	0.33 ± 0.02	0.28 ± 0.01

La azalea es un arbusto de flores del género *Rhododendron*, son plantas perennes de lento crecimiento que cambian constantemente sus flores. De acuerdo con Shaughnessy (2019) [24] la tasa de crecimiento promedio de la azalea es de 0.07 cm/día, los resultados obtenidos tanto para el control como la regada con agua tratada superan ligeramente este rango.

**Figura 4.** Crecimiento de la menta (*Rhododendron simsii*).

El aumento del 13.33%, en la tasa de crecimiento para la azalea regada con agua tratada es un indicador indirecto de la presencia de nitrógeno y fósforo [25].

Cabe mencionar que el tamaño promedio de las hojas durante el experimento se mantuvo dentro del parámetro normal y la floración no presento anomalías por lo que pueden ser aprovechadas para el comercio de plantas de ornato o la extracción de grayatoxina [24].

Por su parte, la menta que es una planta herbácea perenne y aromática tiene una tasa de crecimiento de entre 0.16 y 0.33 cm/día (ver fig. 5).

**Figura 5.** Crecimiento de la menta (*Mentha x piperita*).

Los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango antes mencionado. Adicionalmente, la talla promedio de las hojas, en ambos casos, se encuentra dentro

del rango aprovechable para su consumo o para la obtención de mentol [26].

En ambos casos, con menta y azalea, se demostró un aumento numérico en la tasa de

crecimiento, esto puede deberse a la asimilación de los nutrientes no removidos en el proceso de tratamiento [27]. Emplear aguas residuales o tratadas para el riego sigue siendo un tópico por debatir, sin embargo, Orozco (2014) [17] indica que mientras el efluente cumpla con las características mínimas requeridas según la normatividad de cada país este puede ser empleado para el riego en el cultivo de productos comestibles.

5. Conclusiones

Los reactores anaerobios tipo UASB operados con cargas volumétricas de 4 a 20 g de DQO/L*día remueven más del 70% materia orgánica. Lo que permite cumplir con los límites máximos permisibles que establece el marco legal en México; tanto de DQO como de sólidos suspendidos. Se encontró, que el aumento de la carga volumétrica limita ligeramente la remoción de los contaminantes antes mencionados, por lo cual se recomienda emplearlo con cargas menores o bien dentro del rango de 4 y 8 g de DQO/L*día para alcanzar remociones de hasta el 98%.

La generación de biogás y metano fue afectada por una actividad microbiana limitada, producto de un bajo tiempo de adaptación en cada carga, lo que propició que los microorganismos se enfocaran más en la producción de biomasa que en la generación de gas metano. Esto dio como resultado una generación mínima de biogás con porcentajes de metano que limitan su uso. Por tanto, se recomienda controlar los tiempos de estabilización después cada cambio de carga volumétrica y realizar mayores estudios que consideren mantener el control de la actividad microbiana.

El aumento en la tasa de crecimiento de la azalea (*Rhododendron simsii*) y la menta (*Mentha x piperita*) demostró la presencia de nutrientes disueltos no removidos del agua

residual universitaria postratamiento por el reactor anaerobio tipo UASB, lo que a su vez confirmó que el fitotratamiento puede ser una alternativa eficiente y ecológica para aprovechar los nutrientes excedentes, puesto que los reintegran a los ciclos biogeoquímicos por medio de su asimilación.

Para el tratamiento de aguas residuales de origen universitario, el reactor anaerobio de flujo ascendente demostró ser una tecnología simple, eficiente y recomendable. Lo anterior, se debe a que se obtienen altos porcentajes de remoción de materia orgánica y con potencial en la generación de biogás.

6. Agradecimientos

A la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del Instituto Tecnológico de Boca del Río, agradezco a CONAHCYT por la beca otorgada (966741), así como también al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por el financiamiento del proyecto (13377.21-P). Agradecimiento especial al Laboratorio de Gestión y Control de la Contaminación Ambiental de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana.

7. Referencias

- [1] Fernández Cirelli, A. (2012). El agua: Un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 147–170.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86325090002>
- [2] Houbbron, E., Canul Chan, M., González López, G. I., Rodríguez Guzmán, A., Rustrián Portilla, E., y Buendía Díaz, V. H. (2020). Agua y cambio climático. En *Veracruz, una década ante el cambio climático* (pp. 75–100). Gobierno del Estado de Veracruz.
- [3] Rojas, R. (2002). *Sistemas de tratamiento de aguas residuales*. 1–19.

- [4] Ramalho, R. S. (1990). *Tratamiento de aguas residuales*. Reverte.
- [5] CONAGUA. (2018). Infraestructura hidráulica. En *Estadísticas del agua en México* (pp. 100–132). Gobierno de México. <https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004>
- [6] Reynolds, K. A. (2002). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. *Agua Latinoamericana*, 1–4.
- [7] Pérez, A., y Torres, P. (2008). Índices de alcalinidad para el control del tratamiento anaerobio de aguas residuales fácilmente acidificables. *Ingeniería y Competitividad*, 10(2), 41–52. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291323482002>
- [8] Pérez Montiel, J. I., Aldana Villasmil, G. J., y Rojano Alvarado, R. E. (2016). Evaluación hidráulica de un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) usando un modelo de dispersión axial. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(3). <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.03.03>
- [9] Galindo Pardo, F. V., Jacobo-Salcedo, M. del R., Cueto-Wong, J. A., Reta Sánchez, D. G., García Hernández, J. L., y Vázquez-Vázquez, C. (2020). Caracterización de aguas residuales tratadas de la comarca lagunera y su viabilidad en el riego agrícola. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(1), 189–201.
- [10] Mateo-Sagasta, J. (2017). *Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe: Estado, principios y necesidades*. FAO.
- [11] Torres, P. (2012). Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. *Revista EIA*, 18(1), 115–129. <https://doi.org/10.24050/reia.v9i18.264>
- [12] Sosa Villalobos, C. A. (2013). *Aplicación de un tratamiento biológico a las aguas residuales provenientes de una destilería de alcohol de caña, utilizando un reactor UASB*. Universidad Politécnica de Madrid.
- [13] Varnero Moreno, M. T. (2011). *Manual del biogás*. FAO.
- [14] Cajigas Cerón, A. A., Pérez Vidal, A., y Torres Lozada, P. (2005). Importancia del pH y la alcalinidad en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. *Scientia Et Technica*, 11(27), 243–248. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84911698045.pdf>
- [15] Metcalf y Eddy. (2013). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw-Hill Education.
- [16] Madigan, M. T. (2015). *Brock: Biología de los microorganismos* (14va ed.). Prentice-Hall.
- [17] Orozco Gaviria, C. A., Triviño Cabrera, C. C., y Manrique Losada, L. (2014). Arranque de un Reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales domésticas en condiciones andino-amazónicas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 10(2).

- <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/328/125>
- [18] Arango Bedoya, O., y Sanches E Sousa, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo UASB. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(2), 24–31.
- [19] Lorenzo, Y., y Obaya, M. C. (2006). La digestión anaerobia y los reactores UASB. Generalidades. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 40(1), 13–21. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223121549002>
- [20] Salazar-Larrota, L., Uribe-García, L., Gómez-Torres, L., Zafra-Mejía, C., Salazar-Larrota, L., Uribe-García, L., Gómez-Torres, L., y Zafra-Mejía, C. (2019). Análisis de la eficiencia de reactores UASB en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales. *DYNA*, 86(209), 319–326. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.70332>
- [21] Guadarrama-Brito, M. E., y Galván Fernández, A. (2015). Impacto del uso de agua residual en la agricultura. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 4(7).
- [22] García-López, J. I., Ruiz-Torres, N. A., Lira-Saldivar, R. H., Vera-Reyes, I., y Méndez-Argüello, B. (2014). Técnicas para evaluar germinación, vigor y calidad fisiológica de semillas sometidas a dosis de nanopartículas. *Agro Nanotecnología*, 129–140.
- [23] Hernández Aguilar, H. N. (2020). *Evaluación del índice de germinación en semillas de rábano (raphanus sativus) usando aguas tratadas*. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- [24] Shaughnessy, D., Polomski, R. F., y Ham, D. L. (2019). *Azalea Care*. Home & Garden Information Center | Clemson University, South Carolina.
- [25] Guzmán Palomino, J. M., y López Gálvez, J. (2004). *Ferti-Riego: Tecnologías y programación en agroplasticultura*. CYTED.
- [26] Drost, D., y Buckland, K. (2020). Mint in the Garden. *Horticulture*, 1–2.
- [27] Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., y Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua.