

Revista Tecnocientífica URU



M. A. en Des. Econ. Alfredo León, Rector
MgS. Ramón Rincón, Vicerrector Académico
MgS. Oscar Urdaneta, Secretario

Dr. Cezar García
Decano de la Facultad de Ingeniería

Ing. Rómulo Rincón
Decano de la Facultad de Ciencias Agropecuarias

Ing. Gilberto Araujo
Director de la Escuela de Ingeniería de Computación
Director de la Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones

Ing. Carlos Espinoza
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Ing. Gereli Gutierrez
Directora de la Escuela de Ingeniería Eléctrica

Ing. Ángel González
Director de la Escuela de Ingeniería Química

Ing. Fernando Inciarte
Director de la Escuela de Ingeniería Industrial

Arq. María Medina
Directora de la Escuela de Arquitectura

Esp. Hosglas Sanchez
Directora del Fondo Editorial



Revista Tecnocientífica URU

No. 26 Enero - Junio 2024

ISSN 2343 - 6360 / Depósito legal: ppi 201402ZU4464

Maracaibo - Venezuela

Producción Editorial

Hosglas Sanchez, Gestión Editorial
Liliana González, Asistente
Míbsay Contreras, Diseño y Maquetación
Cezar Garcia, Revisor de las Traducciones
Yanin Dávila, Portada



Revista Tecnocientífica URU

Depósito legal: ppi 201402ZU4464
ISSN: 2343 - 6360
Periodicidad: Semestral
Cobertura: Enero- Junio /Julio Diciembre

2024 © Universidad Rafael Urdaneta, Fondo Editorial

Se edita en colaboración con la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Urdaneta.

Sitio web:

Tecnocientífica URU: <https://revistas.fondoeditorial.uru.edu/index.php/tecnocientificauru>
Revistas URU: <https://revistas.fondoeditorial.uru.edu/>

Teléfono: (58) (261) - 2000892
Correo Electrónico: tecnocientifica@uru.edu

Los artículos publicados en **Tecnocientífica URU** representan los resultados de investigaciones originales y han sido seleccionados a través de un riguroso proceso de revisión por pares. **Los autores son los únicos responsables del contenido de sus trabajos, incluyendo la precisión de los datos, la metodología empleada y las conclusiones presentadas.** La revista no se hace responsable de cualquier error u omisión que pueda aparecer en los artículos publicados. Los autores garantizan la originalidad de su trabajo y que no infringe los derechos de autor de terceros.



Todos los contenidos publicados en esta revista se encuentran bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 (CC BY-SA 4.0). Esta licencia garantiza la libre distribución, reproducción y modificación de los artículos, siempre y cuando se cite de manera adecuada a los autores originales y a la **Revista Tecnocientífica URU**. Los usuarios están autorizados a compartir, adaptar y distribuir el material en cualquier medio o formato, incluso con fines comerciales, bajo la condición de que se otorgue el crédito correspondiente y que las obras derivadas se distribuyan bajo la misma licencia. Esta medida fomenta la difusión del conocimiento y garantiza el reconocimiento de la labor investigadora. Para mayor información sobre los términos y condiciones de esta licencia, por favor consulte: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.es>

Comité Editorial

Dra. Laugeny Chiquinquirá Díaz Borrego.

Universidad Rafael Urdaneta (URU), Facultad de Ingeniería y Facultad de Ciencias Agropecuarias.

 <https://www.orcid.org/0000-0002-8263-081X>

Editora Jefe

Dr. César Octavio García.

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería.

 <https://www.orcid.org/0000-0003-2401-8355>

Dr. Alexi Ramón Sarmiento.

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería.

 <https://www.orcid.org/0009-0000-3297-6989>

Dr. José Rafael Fermín Sánchez.

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería.

 <https://www.orcid.org/0000-0003-4334-4826>

Dra. María de Lourdes Pérez Arevalo.

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

 <https://www.orcid.org/0009-0005-5200-7620>

Dra. Laura R. Soto Arrieta.

Universidad del Zulia, Facultad Experimental de Ciencias.

 <https://www.orcid.org/0000-0002-4250-5088>

Dra. Alexandra Lisbeth Vera Bonilla.

Universidad del Zulia, Facultad de Agronomía.

 <https://www.orcid.org/0000-0002-0875-2965>

Dra. Charity Elizabeth Andrade Ruiz.

Universidad del Zulia, Facultad Experimental de Ciencias.

 <https://www.orcid.org/0000-0001-5609-2010>

Dr. Edixon Cristóbal Gutierrez Gonzalez.

Universidad del Zulia, Facultad de Ingeniería.

 <https://www.orcid.org/0000-0002-9468-3644>

Dr. Julio César Marín Leal.

Universidad del Zulia, Facultad de Ingeniería.

 <https://www.orcid.org/0000-0003-2770-5978>

Dra. Altamira Díaz .

Universidad del Zulia, Facultad de Ingeniería

 <https://www.orcid.org/0000-0001-7013-5267>

Comité de Asesores

MSc. Oscar Urdaneta (Venezuela)

Dr. Shyam Kalla (India)

Dr. Cezar García (Venezuela)

Dr. José Sarabia (Venezuela)

Dr. José Rincón (Venezuela)

MSc. Zulay Mármol (Venezuela)

Dra. Cateryna Aiello (Venezuela)

Dra. Elba Michelena (Panamá)

Dr. Rafael Aracil (España)

MSc. Salvador Conde (Venezuela)

Dr. Ever Morales (Ecuador)

Dra. Nola Fernández (Venezuela)

Dr. Helí Lugo (Venezuela)

Dr. Ras Patnaik (Estados Unidos)

Dr. Gerardo Aldana (Venezuela)

Dra. Susana Salinas (Estados Unidos)

MSc. Lenin Herrera (Venezuela)

Dra. Anali Machado (Canadá)

MSc. Ramón Cadenas (Venezuela)

Dr. Maulio Rodríguez (Venezuela)

Dr. Katsuyuki Nishimoto (Japón)

Mgs. Waldo urribarri (Chile)

Dra. Yaxcelys Caldera (Venezuela)

Dra. Oladis de Rincón (Venezuela)

Dr. Nelson Márquez (Venezuela)

Dr. Ramón Cova (Canadá)

Dr. Mourad E.H. Ismail (Estados Unidos)

Dra. Marinela Colina (Venezuela)

Dr. Freddy Isambert (Venezuela)

Dr. Miguel Sánchez (Venezuela)

Dr. Jorge Barrientos (Venezuela)

Dr. Ernesto Cornieles (Venezuela)

MSc. Augusto Galo (Venezuela)

MSc. Nerio Villalobos (Venezuela)

Revista Tecnocientífica URU es un instrumento de divulgación científica adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela. Es una revista arbitrada con periodicidad semestral, contentiva de artículos científicos originales no publicados en las áreas de Ingeniería y Arquitectura y otras disciplinas directamente relacionadas con éstas, de autoría individual o colectiva, que cumplan con las normas de publicación.

Dirigir la correspondencia a: Dra. Laugeny Díaz, Editora Jefe de **Tecnocientífica URU**. Correo electrónico: tecnocientifica@uru.edu (alternativo: publicaciones@uru.edu).

Tecnocientífica URU no cobra por la publicación de artículos. Fomentamos la difusión libre y gratuita del conocimiento científico.

Contenido

Presentación <i>Laugeny Díaz</i>	11
Lineamientos para la gestión y control del proceso de colocación de asfalto en Maracaibo, Zulia. Guidelines for the management and control of the asphalt installation process in Maracaibo, Zulia. <i>Luis E. Forino-Morán y Armando E. Rodríguez-Montero.</i>	12
Capacidad de remoción de plomo (II) en aguas industriales por carbón activado obtenido de residuos textiles. Lead (II) removal capacity in industrial waters by activated carbon obtained from textile waste. <i>Karla V. Sabino-Montero, María G. Urdaneta-Tulli y Douglas J. Linares-Moya.</i>	29
Desarrollo de una aplicación móvil para publicitar tiendas de centros comerciales. Development of a mobile application to advertise mall stores. <i>Jesús D. Ortega-Briceño, Diego A. Rincón-Ferrer y Jubert J. Pérez Zabala.</i>	47
Calidad composicional de leche de vacas doble propósito en el municipio La Cañada de Urdaneta, estado Zulia. Compositional quality of milk from dual-purpose cows in the municipality of La Cañada de Urdaneta, Zulia state <i>Luis R. Bohórquez-Pirela, Pedro J. Urdaneta-Mill, Laura Soto-Arrieta y Alexandra L. Vera-Bonilla.</i>	61
Factores que inciden en la planificación y control de obras civiles. Factors that affect the planning and control of civil works. <i>Mary C. Ramírez-Escalona y Carlos E. Sandoval-Fernández.</i>	77
La geometría como aspecto fundamental para la optimización de estructuras en la construcción de edificaciones. Geometry as a fundamental aspect for the optimization of structures in the construction of buildings. <i>Jesús A. Medina-Flores.</i>	99
Análisis de implementación de red SDN en una universidad privada de la región zuliana. Analysis of SDN network implementation in a private university in the Zulia region. <i>Gabriel J. Abreu-Rosales y Gilberto J. Araujo-Fernández.</i>	113
Caracterización de un alimento probiótico preparado con zumo de granada (<i>Punica granatum</i>) Characterization of a probiotic food prepared with pomegranate juice (<i>Punica granatum</i>) <i>Luis P. Lugo-Salazar y Laugeny Ch. Díaz-Borrego</i>	127
Detección de aniones inorgánicos en sales comerciales mediante métodos analíticos. Detection of inorganic anions in commercial salts by analytical methods. <i>Luis M. Ballesteros-Pérez, Edwin A. Montilla-Uzcategui y Arelis J. Arrieta</i>	139

Presentación

Este número de la Revista Tecnocientífica URU cristaliza el trabajo del nuevo Comité Editorial de la revista, que con gran esfuerzo y dedicación pudo impulsar esta publicación en la que se presentan artículos originales de investigación y artículos de revisión de diferentes áreas de la ingeniería.

Del área de la Ingeniería Civil se tienen tres artículos, uno que versa sobre la aplicación de las formas geométricas en las edificaciones, a través de un enfoque innovador; otro artículo que propone un esquema y árbol de actividades del proceso idealizado junto a los lineamientos a considerar en la gestión del proceso de colocación del asfalto; y, finalmente, un artículo que habla sobre la importancia que tienen las estimaciones y el diseño técnico en la elaboración de una planificación y estrategias específicas para las obras civiles.

De Ingeniería Química destacan tres artículos de diseño experimental. La investigación sobre la caracterización de la calidad general de un alimento tipo yogur, que conjuga las propiedades probióticas del alimento con el aumento del valor proteico y de minerales del producto con la adición del zumo de granada; otro trabajo aplica métodos de detección analíticos de aniones de importancia en la salud humana en sales comerciales, como lo son el flúor y el sulfato; y para finalizar, un artículo de interés en el área ambiental, donde se emplean carbones activados hechos a base de residuos textiles para la remoción de plomo (II), un importante agente contaminante de aguas industriales textiles.

Por otro lado, se presenta el trabajo de Ingeniería de Telecomunicaciones que investiga sobre la implementación de una red SDN en una universidad de la región zuliana, mediante integración progresiva de equipos hacia una red híbrida, que satisfagan los requerimientos de la universidad.

Del área de Ingeniería de Computación se presenta el artículo que detalla el proceso de desarrollo de una herramienta útil basada en la metodología de cascada, para la obtención de una aplicación móvil funcional que permite publicitar tiendas de centros comerciales.

Finalmente, de Ingeniería de Producción Animal se muestra un trabajo que indaga sobre la calidad composicional de leche de vacas doble propósito, destacando que ejemplares de la raza Mosaico Perijanero exhiben mayor producción de leche; mientras que el mestizaje Mosaico Perijanero x Criollo Limonero presentaron mayores proporciones de nutrientes en la leche.

Dra. Laugeny Díaz

Editora Jefe

Revista Tecnocientífica URU

 <https://orcid.org/0000-0002-8263-081X>

Lineamientos para la gestión y control del proceso de colocación de asfalto en Maracaibo, Zulia

Guidelines for the management and control of the asphalt installation process in Maracaibo, Zulia

Luis E. Forino-Morán

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil. Maracaibo, Venezuela.

 <https://www.orcid.org/0009-0006-1121-695X> | Correo electrónico: leforino11@gmail.com

Armando E. Rodríguez-Montero

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil. Maracaibo, Venezuela.

 <https://www.orcid.org/0009-0008-1237-2705> | Correo electrónico: rodriguezmonteroarmando@gmail.com

Recibido: 23-04-2024 Admitido: 05-05-2024 Aceptado: 31-05-2024

Resumen

Las vías terrestres requieren de un mantenimiento adecuado y oportuno, para garantizar el transporte seguro y eficiente de personas y mercancías, y la buena gestión de los recursos invertidos por los entes gubernamentales. Actualmente en Maracaibo, profesionales del área de mantenimiento vial, manifiestan que hay frecuentes retrasos en el tiempo de colocación de asfalto. Estas demoras elevan los costos de ejecución y hacen que el reasfaltado deje de ser atractivo financieramente para el sector de la construcción. El objetivo de esta investigación es proponer lineamientos para la gestión y control del proceso de reasfaltado en Maracaibo, previniendo pérdidas monetarias en el sector vial. Para alcanzar este objetivo se definieron varias fases metodológicas: estudio de la situación actual del proceso de colocación de asfalto en la ciudad de Maracaibo, comparación entre la gestión de actividades que se realizan y un procedimiento óptimo equivalente, identificación de aquellos factores que inciden de manera negativa en los tiempos de ejecución de un proyecto de este tipo, y por último el establecimiento de lineamientos que los profesionales de la industria puedan utilizar al momento de planificar y controlar la ejecución de actividades en un proyecto de reasfaltado. Esta investigación es de tipo proyectiva y con diseño de campo, transeccional no experimental. La observación directa del proceso de colocación del asfalto y entrevistas a expertos en el área se lograron definir los tiempos de las actividades del proceso de reasfaltado, su ruta crítica, así como identificar los factores que afectan negativamente la realización del proceso. En base al análisis de actividades realizado se propone un esquema de actividades y árbol de decisiones del proceso idealizado junto con los lineamientos a considerar en la gestión del proceso de colocación de asfalto que permite minimizar las demoras y pérdidas económicas en las empresas públicas y privadas de este sector económico.

Palabras clave: Mantenimiento vial, pavimentos flexibles, optimización de proyectos de obras civiles, reasfaltado con mezcla asfáltica en caliente

Abstract

Land transportation roads require adequate and timely maintenance to guarantee the safe and efficient transportation of people and goods, and the good management of resources invested by government entities. Currently in Maracaibo, professionals in the road maintenance area state that there are frequent delays in the hot-mix asphalt installation time. These delays increase execution costs and make asphalt installation no longer financially attractive to the construction sector. The objective of this research is to propose guidelines for the management and control of the asphalt installation process in Maracaibo, preventing monetary losses in the road development sector. To achieve this objective, several methodological phases were defined: study of the current situation of the asphalt installation process in the city of Maracaibo, comparison between the management of activities as currently executed and an equivalent optimal procedure, identification of those factors that influence negatively the execution times of a project of this

type, and finally, the establishment of guidelines that industry professionals can use when planning and controlling the execution of activities in an asphalt installation project. This research is projective, field-based, non-experimental and transactional. Direct observation of the asphalt laying process and interviews with experts in the area led to define the times of the installation process activities, its critical path, as well as identify the factors that affect negatively the prompt completion of the process. Based on the analysis of activities carried out, a scheme of activities and a decision tree of the idealized process is proposed along with the guidelines to be considered in the management of the asphalt installation process, that allows minimizing delays and economic losses in public and private companies developing projects in this economic sector.

Keywords: Road maintenance, flexible pavements, optimization of civil works projects, hot-mix asphalt installation

Introducción

Las vías terrestres son infraestructuras esenciales diseñadas y construidas para permitir el desplazamiento de personas y mercancías. Esta requiere de un diseño específico adaptado a las necesidades de distintos grupos de usuarios y de un mantenimiento constante.

La correcta gestión del mantenimiento de vías terrestres permite abordar el deterioro de las estructuras de pavimentos para garantizar un transporte seguro para evitar incidir de manera negativa en la seguridad del usuario y en los costos de mantenimiento de los vehículos [1, 2].

En la ciudad de Maracaibo en el estado Zulia, existe una problemática en torno al mal estado de las vías terrestres por las que transitan los usuarios en la ciudad la cual está caracterizada por el deterioro del asfalto en distintas partes de la red vial. Para dar respuesta a esta problemática la Alcaldía de Maracaibo empezó un plan el cual consiste en corregir las imperfecciones en las calles y avenidas de la ciudad en el primer trimestre del año 2023 [3].

El plan contó con la participación de distintas empresas privadas y organismos públicos. En la gestión de este plan, el ingeniero Jassiel Flores quien trabajó con una de las empresas participantes, denotó un aumento excesivo de los costos de ejecución del mantenimiento trayendo consigo un incremento significativo en los costos del servicio, donde las horas extras para el transporte de maquinaria y mezcla asfáltica representa alrededor de 30 dólares que suman a los costos del proyecto, representando pérdidas en la rentabilidad del proceso de mantenimiento. Esta problemática conlleva entonces a que actividades de mantenimiento tan necesarias, dejen de ser atractivas financieramente para el sector de la construcción.

En este caso, el mantenimiento de vías corresponde a la colocación de una nueva carpeta de pavimento asfáltico, el cual abarca desde el transporte de la mezcla, siguiendo con la preparación de la superficie existente, la aplicación del ligante asfáltico y la aplicación de la mezcla asfáltica. Dada las características del asfalto los retrasos en los tiempos de ejecución afectan la calidad del pavimento, ya que la mezcla debe estar a una temperatura específica en las distintas etapas de proceso y esta tiende a bajar con el pasar del tiempo.

La disminución de temperatura genera vacíos de aire que puntos fríos los cuales se relacionan con la disgregación del agregado y la disminución de la densidad de la mezcla asfáltica, lo que induce en la mayoría de los casos de estudio al deterioro de la carpeta asfáltica, y si bien es inevitable que la temperatura descienda con el tiempo una vez sea suministrada, un correcto manejo de la misma puede evitar el enfriamiento [4].

Conociendo la situación actual del proceso de colocación del asfalto en Maracaibo y tomando en cuenta cómo afecta el incremento en los tiempos de colocación del asfalto a la calidad y costo de las obras esta investigación buscó proponer unos lineamientos para llevar a cabo la gestión del proceso de colocación del asfalto. Este objetivo se logró a través del estudio de las características del proceso en Maracaibo, su comparación con un proceso ideal equivalente que permitió evaluar los factores que inciden en el proceso, para definir los lineamientos a seguir.

Metodología

Esta investigación es del tipo proyectiva, de campo, transeccional y univariable, para la cual como unidad de análisis para el estudio del proceso de colocación del asfalto se tomó en cuenta como caso de estudio el proyecto realizado por la empresa CAMELOT ASFALTADO C.A., en la Av. Los Haticos específicamente al frente del Centro Comercial Angelini en la ciudad de Maracaibo. El proyecto se llevó cabo en un tramo de longitud de 195,5 m lineales y 1388,05 m² aproximadamente.

Utilizando la muestra de estudio, se caracterizó el proceso de colocación del asfalto en la ciudad de Maracaibo a través de la observación directa. Se identificaron y se describieron cada una de las actividades que conforman el proceso, se establecieron prelaciónes entre las mismas y se les asignaron restricciones con base a lo establecido en la normativa actual en Venezuela, aplicables para la ejecución de este tipo de obra civil, según la norma COVENIN 2000-87 [5] y la Gaceta Oficial No. 42.779 del 15 de diciembre de 2023, Art.1 [6]. También, se definió la mano de obra y maquinaria necesaria para llevar a cabo las actividades.

Posteriormente, se realizó una encuesta a profesionales en el área de mantenimiento vial de la región, con el fin de conocer los tiempos esperados para cada una de las actividades que conforman el proceso de colocación en la ciudad, según las dimensiones que pueda tener el proyecto (m/h, m²/h, h/volteo). En la encuesta también se consultó los profesionales sobre el conocimiento de aquellos factores que inciden de manera negativa en el proceso.

Con las dimensiones obtenidas, se calcularon los tiempos esperados para la muestra de estudio y se llevó a cabo el cálculo de la ruta crítica, tomando en cuenta también las prelaciónes y restricciones anteriormente establecidas. Junto a esto y mediante al uso de la observación directa, se tomaron mediciones de los tiempos de ejecución de las actividades de la muestra, para validar los tiempos esperados obtenidos.

Luego, comparando los tiempos obtenidos en el cálculo de la ruta crítica con los medidos por actividad de la muestra anteriormente, se definieron las diferencias entre los tiempos ideales y los de ejecución actual equivalente. Para establecer los factores que inciden de manera negativa en el proceso, se consideraron observaciones en campo al momento en la gestión de la muestra y aquellos obtenidos por los profesionales en la encuesta. Así, se realizó un análisis que determinó qué factores afectan perjudican la gestión del proceso.

Por último, se generó un flujograma con lineamientos a seguir para gestión y control de las actividades de la obra, sustentado en condicionantes obtenidas por parte de los factores que perjudican el proceso y las técnicas y normativas que rigen la gestión de este tipo de obra civil en el país.

Resultados y discusión

Descripción de la situación actual del proceso de colocación del asfalto en la ciudad de Maracaibo

Con la observación directa, se pudieron analizar las distintas actividades que confirman el proceso de colocación de asfalto en la ciudad de Maracaibo, Estado Zulia, tomando como enfoque, la definición de manera concreta los aspectos que engloban cada una de estas actividades específicamente.

Así, se definieron las actividades que comprenden las etapas del proceso de asfaltado en la ciudad, la descripción de estas actividades, los aspectos constructivos a tomar en consideración por parte de la normativa existente, la secuencia de ejecución de las actividades (con base en las prelaciónes entre las mismas), la mano de obra necesaria y la maquinaria utilizada en el proceso.

En la Tabla 1 se muestra un extracto de la estructura desagregada del proyecto, la cual expone las prelaciónes entre las actividades que conforman las etapas del proceso, resultado del estudio de con las actividades se encadenan entre sí. En la Tabla 2, se expone una descripción de las actividades y restricciones constructivas, proporcionadas por la normativa existente.

Tabla 1. Estructura desagregada del proyecto

Estructura desagregada del proyecto			
Símbolo	Micro actividad	¿Qué precede a?	¿Qué sigue a?
1.1.1	Transporte de máquinas desde su origen hasta el proyecto	-	1.1.3
1.1.2	Cierre de la vía	-	1.2.1
1.1.3	Ubicación de maquinaria de asfaltado	1.1.1 - 1.2.1	1.3.1 - 1.1.5
1.1.4	Transporte de volteos con mezcla asfáltica	-	1.1.5
1.1.5	Ubicación de volteos con mezcla asfáltica	1.1.3 - 1.1.4	2.1
1.2.1	Recolección y bote de residuos a hombre	1.1.2	1.1.3
1.3.1	Riego de adherencia	1.1.3	1.3.2
1.3.2	Colocación de la mezcla asfáltica	1.3.1 - 2.1	1.3.3
1.3.3	Compactación de la mezcla asfáltica	1.3.2	1.3.4

Tabla 2. Descripción y restricciones de actividades

Descripción y restricciones de actividades		
Actividades	Definiciones	Aspecto a tomar en cuenta
Transporte de máquinas desde su origen hasta el proyecto	Proceso de traslado de la maquinaria necesaria para la ejecución del proyecto (distribuidores de riego, pavimentadoras, aplanadoras y barredoras) desde el lugar de origen hasta el sitio donde se llevará a cabo la obra.	Según Gaceta Oficial N 42.779 del 15 de diciembre de 2023 Art.1, la velocidad máxima de transporte de carga pesada mayor a 3500 kg, se limita a 45km/h por las carreteras, autopistas, y vías urbanas.
Cierre de la vía	Comprende el impedimento temporal de el paso de vehículos y peatones en una vía para realizar trabajos de limpieza, colocación y extensión de mezcla asfáltica.	
Ubicación de maquinaria de asfaltado	Situación estratégica de las máquinas y equipos utilizados en la distribución de riego, colocación, compactación y pulitura del asfalto durante la obra. Incluye también inspección de rutina de los equipo y preparación para iniciar la operación de la maquinaria.	
Transporte de volteos con mezcla asfáltica	Desplazamiento de camiones volteo con lonas protectoras cargados con mezcla asfáltica desde la planta de producción hasta el lugar de aplicación en la obra.	Según Gaceta Oficial N 42.779 del 15 de diciembre de 2023 Art.1, la velocidad máxima de transporte de carga pesada mayor a 3500 kg, se limita a 45km/h por las carreteras, autopistas, y vías urbanas. Según la norma COVENIN 2000-87 la temperatura a la cual debe descargar el camión volteo debe estar entre 135 y 163 grados centígrados.

Cont. Tabla 2. Descripción y restricciones de actividades

Descripción y restricciones de actividades		
Actividades	Definiciones	Aspecto a tomar en cuenta
Ubicación de volteos con mezcla asfáltica	Colocación estratégica de los camiones volteo cargados con asfalto en el sitio de trabajo para facilitar la descarga y distribución eficiente de la mezcla.	
Recolección y bote de residuos a hombre	Proceso de recoger los desechos previamente a la obra mediante el barrido y depositarlos en camiones volteos o lugares designados manualmente, por parte de la cuadrilla de limpieza.	
Riego de adherencia	Aplicación de un ligante sobre la superficie existente antes de la colocación de una nueva capa asfáltica para mejorar la adherencia entre las capas. Esto se lleva cabo por la cuadrilla de asfalto mediante al uso de los distribuidores de asfalto.	Según la norma COVENIN 2000-87 párrafo 12-2.47, el tiempo de aplicación del riego de adherencia y la mezcla asfáltica nueva no debe exceder de 12 horas.
Colocación de la mezcla asfáltica	Proceso de extender y nivelar la mezcla asfáltica en la superficie de la carretera a través de equipos especializados manipulados por los operadores.	Según la norma COVENIN 2000-87 la temperatura a la cual debe descargar el camión volteo debe estar entre 135 y 163 grados centígrados. Se debe llevar a cabo con máquinas pavimentadoras, salvo la utilización de otros métodos para la colocación en áreas de difícil acceso para la pavimentadora.
Compactación de la mezcla asfáltica	Consiste en comprimir y consolidar la mezcla asfáltica recién colocada para lograr la densidad y resistencia requerida en la superficie. La compactación se lleva a cabo mediante el uso de las aplanadoras manipuladas por los operadores.	Según la norma COVENIN 2000-87 en el párrafo 12-10.47, las ruedas deben estar húmedas para evitar que la mezcla asfáltica de adhiera, y se debe manipular lenta y uniformemente con las ruedas a tracción hacia la maquina pavimentadora, evitando hacer cambios bruscos, a una velocidad que no debe exceder de 5 km/h para las ruedas lisas de acero, ni de 9 km/h las de ruedas neumáticas.
Pulitura de la mezcla asfáltica	Acción de dar los acabados finales a la superficie asfáltica para obtener una textura uniforme y duradera. Se lleva a cabo con una pulidora de asfalto operada por el personal especializado.	
Verificación de temperatura.	Control y medición de la temperatura de la mezcla asfáltica durante su transporte, colocación y compactación para garantizar su correcta manipulación y calidad.	Según la norma COVENIN 2000-87 la temperatura a la cual debe descargar el camión volteo debe estar entre 135 y 163 grados centígrados.
Ensayo de obtención de core drills.	Procedimiento para extraer muestras cilíndricas de la mezcla asfáltica con el fin de realizar ensayos y verificar sus propiedades. Este ensayo es llevado a cabo por laboratorios o personal de la empresa dedicado a testeos de calidad en la construcción. Una vez extraída la(s) muestra(s), se deberá rellenar los espacios generados en el pavimento siguiendo las especificaciones de diseño, realizando todas las actividades que involucra el proceso.	Se debe cumplir con el procedimiento establecido en la ASTM D 979-01: Método Estándar para el Muestreo de Mezclas Asfálticas.

Cont. Tabla 2. Descripción y restricciones de actividades

Descripción y restricciones de actividades		
Actividades	Definiciones	Aspecto a tomar en cuenta
Ensayo verificación de espesor y densidad del asfalto	Prueba para medir el espesor y la densidad de la capa asfáltica aplicada, asegurando que cumple con las especificaciones requeridas. Este ensayo es llevado a cabo por laboratorios o personal de la empresa dedicado a testeos de calidad en la construcción.	Se debe cumplir con lo establecido por la ASTM D 1188-07: Método de Ensayo Estandarizado para la Gravedad Específica a Granel de Mezclas Bituminosas Compactas Usando Muestras Recubiertas.
Recolección y bote de residuos en el área trabajada	Recogida y disposición adecuada de los desechos generados durante los trabajos realizados en el sitio de la obra. Comprende el barrido de las zonas de trabajo una vez completada la colocación.	
Transporte de máquinas desde el proyecto hasta su origen	Proceso de retorno de la maquinaria utilizada en el proyecto de regreso a su lugar de origen una vez finalizada la obra.	Según Gaceta Oficial N 42.779 del 15 de diciembre de 2023 Art.1, la velocidad máxima de transporte de carga pesada mayor a 3500 kg, se limita a 45km/h por las carreteras, autopistas, y vías urbanas.

En las Tablas 3 y 4, se plasman los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto. En la Tabla 3 se expone la maquinaria a utilizar en el proceso incluyendo una descripción de las máquinas. En la Tabla 4, se presentan los recursos humanos necesarios para en el proceso, con una descripción de cada uno de los cargos y los aspectos a considerar para garantizar su correcto aporte al proceso.

También, se recopiló información acerca de aquellos datos necesarios para la planificación de actividades de un proyecto de colocación de asfalto, correspondientes a la muestra de estudio, utilizando la matriz de datos de proyecto (Tabla 5).

Tabla 3. Recursos-maquinaria

Tabla de recursos-maquinaria		
Nombre	Tipo	Descripción
Pavimentadora	Máquina	Las pavimentadoras de asfalto producen una capa de superficie uniforme y con precompactación homogénea, a fin de proporcionar una estabilidad suficiente a la mezcla para que el rodillo inicie el proceso de compactación.
Aplanadoras	Máquina	Se utiliza para aplanar de manera uniforme la mezcla asfáltica extendida hasta alcanzar la densidad de diseño, lo cual se logra a través de varias pasadas hasta llegar a la altura ideal.
Pulidora	Máquina	Se utiliza para garantizar un buen acabado de la capa de rodamiento recién instalada y garantizar la correcta fluidez y adherencia de los vehículos y peatones.
Cisterna	Camión	El camión cisterna se utiliza para transportar el agua que necesitan las máquinas como las aplanadoras, para su funcionamiento.
Distribuidor de asfalto a presión	Camión	Permite la aplicación del riego de adherencia para para la colocación de la nueva capa asfáltica a través del rocío del material de manera uniforme en el área a aplicar el riego.
Volteo	Camión	El camión volteo es utilizado para el transporte de la mezcla asfáltica desde la planta hasta la obra. Este a su vez utiliza una lona para evitar la contaminación de la mezcla a lo largo del recorrido y mantener la temperatura de la misma.

Cont. Tabla 3. Recursos-maquinaria

Tabla de recursos-maquinaria		
Nombre	Tipo	Descripción
Lowboy	Equipo	Se refiere a un tipo de remolque de plataforma baja que son remolcados por una gandola y son las más adecuadas para todo tipo de cargas pesadas y materiales de grandes dimensiones.
Gandola	Vehículo	Tipo de vehículo automotor de gran tamaño al que se puede acoplar un remolque.
Camioneta	Vehículo	Son vehículos con una zona de carga en la parte trasera en la cual introducir objetos voluminosos.

Tabla 4. Recursos humanos

Tabla de recursos humanos		
Nombre	Descripción	Aspectos a considerar
Ingeniero residente	Funge de supervisor y coordinador de las diferentes fases de la obra, su papel es esencial para garantizar el éxito del proyecto.	Conocimiento teórico/practico Experiencia Capacidad de resolución de problemas
Cuadrilla de limpieza	Están encargados de barrer y recoger la basura de las calles, veredas y zanjas.	-
Cuadrilla de asfalto	Garantizan la eliminación de impurezas y la calidad del asfalto durante su proceso de colocación, extensión, compactación y pulido. Siendo la misma un apoyo para las máquinas.	Experiencia Entendimiento del proceso
Operadores	Conocen acerca operatividad y rendimiento de las máquinas, así como del acabado final de la mezcla asfáltica. Manipulan y maniobran la maquinaria. Se encargan del traslado y de la maquinaria y la mezcla asfáltica.	Experiencia Entendimiento del proceso Entendimiento de las máquinas

Evaluando las precedencias entre actividades con expuestas en la estructura desagregada del trabajo, se pudo apreciar que la mayoría de las actividades se desarrollan de manera lineal, exceptuando ciertas actividades como el transporte de maquinarias con el cierre de la vía y el transporte de la mezcla asfáltica, y la ubicación de volteos con el riego de adherencia. Esta característica conlleva a que aquellos retrasos e inconvenientes que se presenten en alguna de las etapas del proyecto, pueda afectar en cadena a las demás actividades que suceden.

El estudio de las restricciones reveló qué aspectos importantes regula normativa existente en nuestro país, destacando la velocidad a la cual se debe transportar tanto la maquinaria a utilizar como la mezcla asfáltica [6] y la temperatura a la cual se debe transportar y colocar la mezcla asfáltica [5]. Sin embargo, la normativa actual presente en el país, no regula desde el punto de tiempos de ejecución, cómo se debe llevar a cabo el cierre de la vía, la ubicación de los volteos con mezcla asfáltica y la maquinaria, la ejecución del pulido de la superficie compactada y la recolección y bote de residuos, al principio y al final de la obra.

Al no existir una regulación que permita proyectar de manera precisa cómo se llevan a cabo todas las actividades, existe la probabilidad de que, al momento de la planificación, no se puedan plasmar estas actividades de manera precisa, generando inconvenientes al momento de su ejecución en obra e incidiendo en el proceso en forma de retrasos que incrementen los costos presupuestados.

Con respecto a la maquinaria a utilizar a lo largo del proyecto, se determinó que consta de los siguientes elementos clave: la pavimentadora para la extensión del asfalto, la aplanadora para la compactación de la superficie, la pulidora para garantizar la fluidez en el uso de la vía y los distribuidores de riego para la adherencia de la nueva capa asfáltica, que conforman parte de la ejecución de la colocación de asfalto propiamente dicha. También, se requirió del uso de una cisterna para el agua necesaria para el proyecto, y de camiones volteo, gandolas, camionetas y remolques, necesarios para el transporte de maquinaria e insumos hasta el lugar de la obra.

En lo que respecta a los recursos humanos, se establecieron los siguientes: Ingeniero residente, quien funge como supervisor de la obra, una cuadrilla de limpieza, quienes garantizan el barrido y recolección de todos aquellos residuos existentes y que genere la gestión del proyecto, la cuadrilla de asfalto, que se encarga de la eliminación de impurezas en la extendida del asfalto, y los operadores, quienes conocen acerca del uso y rendimiento de la maquinaria a utilizar, y llevan a cabo el transporte, colocación, compactación y pulido de la mezcla asfáltica.

La maquinaria utilizada en el transporte, colocación, compactación y pulido de la mezcla requieren ser trasladados y operados por personal especializado, ya que se necesita de la experticia que asegure la correcta manipulación de los dispositivos para evitar que se vean afectados, y se produzcan mayores gastos en el mantenimiento de equipos o la inversión en nuevas unidades, que normalmente tienen un valor comercial alto.

El conocimiento acerca del trabajo a realizar por cada uno de los participantes de un proyecto de colocación de asfalto, se hace entonces de vital importancia, ya que cuando no se sabe acerca de cómo debe ser llevada a cabo alguna actividad, pueden de igual forma generar retrasos que conlleven a mayores costos.

Se puede decir entonces que el proceso de colocación de asfalto en la ciudad de Maracaibo, estado Zulia se caracteriza por ser un proceso en el cual la variabilidad, al momento de llevar a cabo las actividades que lo componen, puede incrementar de manera decisiva los costos de ejecución, ya que las actividades poseen una relación temporal lineal, que las hace depender unas de otras, por lo cual es necesario conocer acerca de aquellos aspectos que pueden alterar el orden en la gestión de este tipo de proyectos, lo cual se logra a través del estudio de las actividades a realizar.

Procedimiento óptimo para llevar a cabo el proceso de colocación del asfalto en Maracaibo

Con los datos registrados en la matriz de registro aplicada a la muestra de estudio y los tiempos esperados por dimensión, suministrados por parte de los profesionales del área de mantenimiento vial por encuesta, se calcularon los tiempos esperados tomando en cuenta las dimensiones del proyecto analizado. Esto se hizo

considerando la colocación de la mezcla asfáltica correspondiente a un volteo, cargado con 16 toneladas de asfalto, lo cual, para la muestra de estudio, representó un tramo de 20 metros lineales.

Posteriormente, se estableció un diagrama PERT con las restricciones por parte de la normativa actual y las prelacións establecidas en la fase anterior, y se calculó el método de la ruta crítica (CPM) para determinar el tiempo óptimo de ejecución con la aplicación Microsoft Project. El modelado del diagrama PERT se realizó utilizando la herramienta Microsoft Visio (Figura 1).

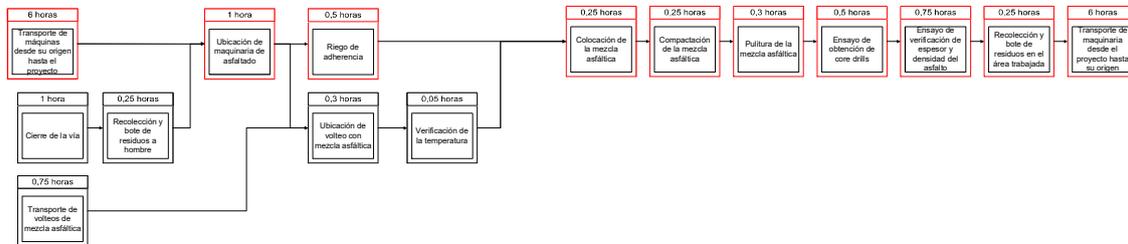


Figura 1. Diagrama PERT-CPM del proyecto

Aunado a esto, se recolectaron los tiempos de ejecución en obra de las actividades para poder validar los tiempos esperados obtenidos, y se utilizaron datos estadísticos de la gestión del Servicio Autónomo de Materiales y Ensayos del Zulia (SEDEMAEZ), el cual realiza los ensayos de calidad necesarios en este tipo de obra en la región, para evaluar los tiempos que ocupan la realización de los mismos.

A continuación, se muestra una tabla resumen de los tiempos esperados en horas para cada actividad y el diagrama PERT-CPM del proyecto estudiado.

Tabla 6. Tiempos esperados por actividad calculados

Tiempos estimados (encuesta)	
Actividad	Tiempo
Transporte de máquinas desde su origen hasta el proyecto	6 horas
Cierre de la vía	1 horas
Ubicación de maquinaria de asfaltado	1 horas
Transporte de volteos con mezcla asfáltica	0,75 horas
Ubicación de volteos con mezcla asfáltica	0,3 horas
Recolección y bote de residuos a hombre	0,25 horas
Riego de adherencia	0,5 horas
Colocación de la mezcla asfáltica	0,25 horas
Compactación de la mezcla asfáltica	0,15 horas
Pulitura de la mezcla asfáltica	0,3 horas
Verificación de temperatura	0,05 horas
Ensayo de obtención de core drills	0,5 horas
Ensayo de verificación de espesor y densidad del asfalto	0,75 horas
Recolección y bote de residuos en el área trabajada	0,25 horas
Transporte de máquinas desde el proyecto hasta su origen	6 horas

El proyecto ideal planteado tendría una duración total de 15,7 horas, incluyendo 6 horas del transporte de maquinaria. Es importante destacar que el transporte de la mezcla de maquinaria toma mucho tiempo en comparación a las demás actividades, ya que normalmente el lugar donde se almacena la maquinaria suele estar ubicado en la periferia de la ciudad y la velocidad de transporte de este tipo de carga es lenta, con lo cual,

se estila realizar la movilización de estas máquinas un día anterior a la ejecución del resto del proceso hasta un sitio provisional cerca del sitio de la obra, para no interferir en el tiempo usual disponible en una jornada laboral de 8 horas. Con base en esto, el proceso de colocación para un volteo tendría una duración 9,7 horas, muy cercano a lo que vendría siendo una jornada laboral completa.

En el estudio de los tiempos del proceso, se toma en cuenta la entrada y salida de camiones volteo. Cuando el proyecto requiera más de un camión, la incidencia en lo que respecta al tiempo del transporte del nuevo volteo está en el tiempo que se estima de uso para un camión principal desde su llegada en obra, con lo cual, se determina el tiempo de llegada del siguiente camión con la duración de la colocación de la mezcla con la cual se cargó el anterior. Así, se mantiene un proceso de colas de camiones volteos a la par de la ejecución de las actividades en obra. Dado los tiempos de ejecución planteados, el proceso no se ve mayormente afectado por la introducción de nuevos camiones, solamente en 15 minutos extra.

Con el estudio de la ruta crítica, se pudo observar que existen actividades que se pueden llevar a cabo en simultáneo, especialmente al inicio del proceso, donde las actividades de transporte de máquinas desde su origen hasta el lugar el proyecto, el cierre de la vía y el transporte de volteos de mezcla asfáltica, definen el inicio de actividades dependiendo de cuál tenga la mayor duración. También, se pueden realizar en simultáneo las actividades de ubicación de volteo con la mezcla asfáltica y verificación de la temperatura, con el riego de adherencia.

Descripción de los factores que afectan de forma perjudicial el proceso de colocación de asfalto en Maracaibo

Utilizando los tiempos esperados para cada actividad calculados en la fase anterior y los tiempos de ejecución de cada actividad tomados del evento de estudio, se procedió a calcular la diferencia de tiempos entre ambos escenarios.

Luego, por medio de la observación directa y la consulta a los profesionales, se definieron los factores que afectan de manera negativa el proceso de colocación de asfalto, con base en la mayor frecuencia de factores nombrados en las encuestas y aquellos factores en obra que generaron mayores retrasos, ambos por actividad. En la siguiente tabla, se exponen por actividad, los tiempos para cada escenario, sus diferencias y los factores que inferen en la ejecución.

Tabla 7. Cuadro comparativo de los tiempos esperados y los tiempos obtenidos en obra

Cuadro comparativo de los tiempos esperados y los tiempos obtenidos en la obra				
Actividad	Tiempo de diseño (horas)	Tiempo en obra (horas)	Diferencia (horas)	Observación
Transporte de máquinas desde su origen hasta el proyecto	6	6	0	
Cierre de la vía	1	1	0	
Ubicación de maquinaria de asfaltado	1	1	0	
Transporte de volteos con mezcla asfáltica	0,70	0,75	0,05	Alto tráfico
Ubicación de volteos con mezcla asfáltica	0,33	1,80	1,47	Contratiempos con la pavimentadora. Debido a un daño en dos (02) volteos se dejaron descargar al llegar, atrasando a los demás En ciertos puntos se hicieron bacheos a hombre atrasando el proceso. Radio de giro de las máquinas.

Cont. Tabla 7. Cuadro comparativo de los tiempos esperados y los tiempos obtenidos en obra

Cuadro comparativo de los tiempos esperados y los tiempos obtenidos en la obra				
Actividad	Tiempo de diseño (horas)	Tiempo en obra (horas)	Diferencia (horas)	Observación
Recolección y bote de residuos a hombre	0,23	0,40	0,17	Cantidad de personal y/o implementos
Riego de adherencia	0,47	0,50	0,03	
Colocación de la mezcla asfáltica	0,25	0,40	0,15	Bacheos hechos a hombre. Experiencia de los conductores de volteos y/u operadores de máquinas
Compactación de la mezcla asfáltica	0,17	0,20	0,03	
Pulitura de la mezcla asfáltica	0,33	0,42	0,08	La mezcla necesitó más tiempo de pulido en ciertas zonas.
Verificación de temperatura	0,03	0,03	0,00	
Ensayo de obtención de core drills	0,50	0,50	0,00	
Ensayo de verificación de espesor y densidad del asfalto	0,75	0,75	0,00	
Recolección y bote de residuos en el área trabajada	0,10	0,12	0,02	
Transporte de máquinas desde el proyecto hasta su origen	6	6	0	

Luego de observar y analizar la comparación de los tiempos respecto a cada actividad (Tabla 7), se encontraron incidencias de gran relevancia, como lo son el alto tráfico, percances con la maquinaria y los volteos, y fallas en la cantidad de personal obrero (cuadrilla de limpieza). Las actividades que presentan más retrasos significativos son: la ubicación de los volteos con mezcla asfáltica, recolección y bote de residuos a hombre, y la colocación de la mezcla asfáltica, en ese orden correspondiente.

De los factores identificados la mayoría no pueden ser controlados, como el alto tráfico, el daño de los volteos, los contratiempos con la pavimentadora, el bacheo a hombre en áreas específicas y el radio de giro de las máquinas. Solo dos de los factores pueden ser controlados como los son la experiencia de los operadores de la maquinaria del asfalto, y la cantidad de personal e implementos necesarios. Si bien algunos no se pueden controlar, estos mismos se pueden prever al momento de llevar a cabo la planificación, e incluso, algunos se pueden gestionar mediante revisiones o chequeos al momento de llevar a cabo el proceso.

Después de evaluar los resultados se puede concluir que, las incidencias presentadas están centradas en las actividades referentes a la ubicación de los volteos con mezcla asfáltica, donde se obtuvo una gran diferencia respecto al tiempo estimado previamente, lo cual generó retrasos significativos en comparación a las demás actividades, producto de la segmentación en tramos del proyecto, que supuso realizar maniobras y movilizar la maquinaria de un lugar a otro en sitio, lo cual requiere de previa planificación y experiencia. Se puede decir entonces, que esta vendría siendo la actividad más crítica del proyecto.

Descripción del desarrollo de unos lineamientos para optimizar tiempos en el proceso de colocación de asfalto en Maracaibo

Por último, con los resultados obtenidos en las fases anteriores se procedió a la elaboración de una lista con aspectos importantes a tomar en cuenta al momento de la planificación de este tipo de proyecto y de un el flujograma destinado a la toma de decisiones en obra. Para ello se consideraron las prelacións entre actividades, las normas venezolanas, las actividades que se pueden realizar en simultáneo y la incidencia de los factores perjudiciales en las actividades.

Como resultado, se obtuvo primeramente una lista que permite a los profesionales de área de mantenimiento vial, conocer de antemano los aspectos importantes a tomar en cuenta la planificación de actividades. Esta lista abarca puntos relacionados con descripción del proyecto y elementos del entorno de la obra que deben considerarse al momento de planear lo que se va a hacer.

Igualmente se obtuvo un árbol de decisiones, el cual se encuentra acompañado de las condicionantes a tomar en cuenta a lo largo del proceso, para su evaluación en cada actividad. Esta estructura contempla de igual manera, la posibilidad del uso de distintos volteos, para la ejecución de proyectos que así los requiera, y señala aquellos puntos donde se pueden producir demoras por el trabajo en segmentos de un proyecto, que afectan principalmente la ubicación de la maquinaria de asfaltado y la compactación en los distintos segmentos. También, se toman en consideración las demoras generadas cuando no se garanticen los parámetros de calidad necesarios, y cuando se produzcan retrasos en el transporte de equipos.

La herramienta se compone de tres páginas, la primera es una página introductoria, en la segunda página se expone el listado de factores a tomar en cuenta para la planificación del proyecto, y en la tercera se encuentra el flujograma del proceso en conjunto con indicaciones a considerar en el desarrollo de las actividades, tal y como se muestra a continuación (Figuras 2, 3 y 4).

LINEAMIENTOS PARA LA GESTIÓN Y CONTROL DEL PROCESO DE COLOCACIÓN DE ASFALTO EN MARACAIBO,
EDO. ZULIA

Realizado por:

Br. Forino Moran, Luis Eduardo
Br. Rodríguez Montero, Armando Enrique

El objetivo de esta guía es proporcionar unos lineamientos a seguir para llevar a cabo la planificación y control de las actividades que conforman el proceso de colocación de asfalto en la ciudad de Maracaibo, Edo, Zulia, para el mantenimiento correctivo en pavimentos flexibles. El alcance de estos lineamientos, abarca distintas actividades que conforman las etapas de transporte de la mezcla asfáltica: Preparación de la superficie, aplicación del material bituminoso, la aplicación de la mezcla asfáltica en caliente, que incluye la descarga, extendida, colocación y pulido de la mezcla asfáltica. Excluyendo el escarificado de la superficie a donde se dispondrá la nueva capa asfáltica.

También se toman en cuenta controles de calidad y la limpieza final del sitio de la obra, bajo lo establecido en la normativa existente en Venezuela, la norma COVENIN 2000-87 "SECTOR CONSTRUCCIÓN. ESPECIFICACIONES. CODIFICACIÓN Y MEDICIONES. PARTE 1. CARRETERAS" y la Gaceta Oficial N 42.779 del 15 de diciembre de 2023.

Esta guía consta de un listado de factores a tomar en consideración para la planificación del proceso de colocación de asfalto y un flujograma de actividades con observaciones que permiten seguir un flujo de trabajo secuencial, en el cual, se prevén distintas condicionantes comunes en la ejecución del proceso en la ciudad de Maracaibo, a fin de poder minimizar los tiempos que toman llevar a cabo las actividades del proyecto.

Figura 2. Página introductoria de la herramienta

LINEAMIENTOS PARA LA GESTIÓN Y CONTROL DEL PROCESO DE COLOCACIÓN DE ASFALTO EN MARACAIBO, EDO. ZULIA
LISTA DE FACTORES A CONSIDERAR PARA LA PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES

- Es necesario analizar y estimar bien el área a asfaltar, con lo cual se deben utilizar equipos especializados, como el odómetro utilizado para medir largas distancias, con el fin de definir bien la cantidad de recursos (maquinaria, mano de obra, insumos) a utilizar.
- En caso de que así lo requiera el proyecto, se debe analizar con precisión en cuales tramos se debe segmentar la obra con respecto a las anomalías existentes en el mantenimiento de la superficie de pavimento afectada.
- Cuando se trabaja con distintos tramos (segmentación), se debe tomar en cuenta la movilización de la maquinaria y volteos entre segmentos, de tal forma que en la programación de actividades se vea reflejado un control que evite incurrir en daños a las superficies de trabajo adyacentes, y que se pueda asignar personal especializado para maniobrar los equipos, cuya experticia evite la generación de demoras.
- Si son necesarios bacheos a hombre, se debe tomar en cuenta la experiencia de los trabajadores, al momento de seleccionar al personal necesario para cumplir esta función.
- Para la determinación de la duración de actividades relacionadas con la distancia de los trayectos de los volteos es necesario tomar en consideración no solo la distancia en sí, si no también el tráfico que se pueda presentar en el trayecto y que esta se puede realizar en simultaneo con las actividades de preparación de la superficie en proyecto, con lo cual, se plantea la siguiente ecuación, con base en la restricción de máximo 45 km/h de movilidad y un factor de incidencia de tráfico estimado:

$$TTV = TREP + TVIAJE$$

Para:

$$TVIAJE = Finc \left(\frac{45km/h}{d} \right)$$

Donde:

- TTV: Tiempo de transporte de volteos de mezcla asfáltica (en horas)
- TPREP: Tiempo total sumado para el cierre de la vía, la recolección y bote de residuos y la ubicación de la maquinaria de asfaltado.
- TVIAJE: Tiempo de que tarda el volteo en desplazarse de un lugar a otro.
- Finc: Factor de incidencia de tráfico, dado por la siguiente clasificación:

Tipo de Vía	Factor de incidencia
Vía rápida (solo se cuenta con la incidencia de semáforos)	1,2
Vía media (interfieren los semáforos y poco tráfico)	1,5
Vía congestionada (indican semáforos y poco tráfico)	2

- d: Distancia entre la planta de mezcla asfáltica y el sitio de la obra.
- La secuencia de trabajos para la pavimentación asfáltica se debe planificar de manera que las áreas a ser cubiertas con el riego de adherencia se les aplique el mismo día la capa asfáltica subsiguiente.
- Para no afectar la jornada laboral en el día de colocación de mezcla, se debe prever, siempre que sea necesario, programar el transporte de la maquinaria un día antes de la ejecución de actividades hasta un sitio provisional, cercano a la obra, cuando el depósito de la maquinaria quede lejos de la obra.

Figura 3. Lista de factores a tomar en cuenta para la planificación de actividades

Se puede decir que para la optimización del proceso de colocación de asfalto, no solo deben considerarse aquellos aspectos que son básicos para llevar a cabo este tipo de obra, como las cantidades de asfalto necesarias junto al tipo de equipos, sino que también se deben tomar en cuenta factores como las distancias de traslado de mezcla asfáltica, el tráfico, la capacitación de los trabajadores, la segmentación del trabajo en distintos tramos, entre otros aspectos, que no se consideran comúnmente.

Es necesario estar al tanto de la incorporación de los camiones volteos, ya que representan la actividad crítica dentro del proceso. Si bien, para los camiones se hace una petición con respecto al tiempo de vaciado de los camiones en obra, es necesario establecer controles que permitan actuar, cuando haya cambios relacionados con la segmentación, el transporte de la maquinaria o cualquier eventualidad que incurra en incrementos de tiempo en las actividades que preceden a la llegada a la llegada del camión. Así, ante la posible generación de una demora, esta se puede planificar de tal forma que no se infiera de manera negativa en la cola de camiones volteo, para no afectar la calidad del producto final.

Cuando se producen retrasos en la cola, esto conlleva a que se generen cambios en la temperatura del pavimento, generando temperaturas diferenciales entre distintos puntos de cada sección, que, si bien no son tan altas tomando en cuenta el clima caluroso de la ciudad de Maracaibo, puede terminar afectando la uniformidad en la mezcla, lo cual disminuye la calidad de la capa asfáltica.

En conjunto, la lista de factores para la planificación y el flujograma para la toma de decisiones en obra, engloban aquellos factores que se consideran básicos para la gestión de un proyecto de este tipo, junto al valor añadido de prever, aquellas eventualidades negativas comunes en el proceso en la ciudad de Maracaibo, para lograr la efectividad y calidad de la colocación de asfalto en la ciudad, siguiendo un proceso de flujo continuo que garantiza las mismas condiciones al momento de gestionar la obra.

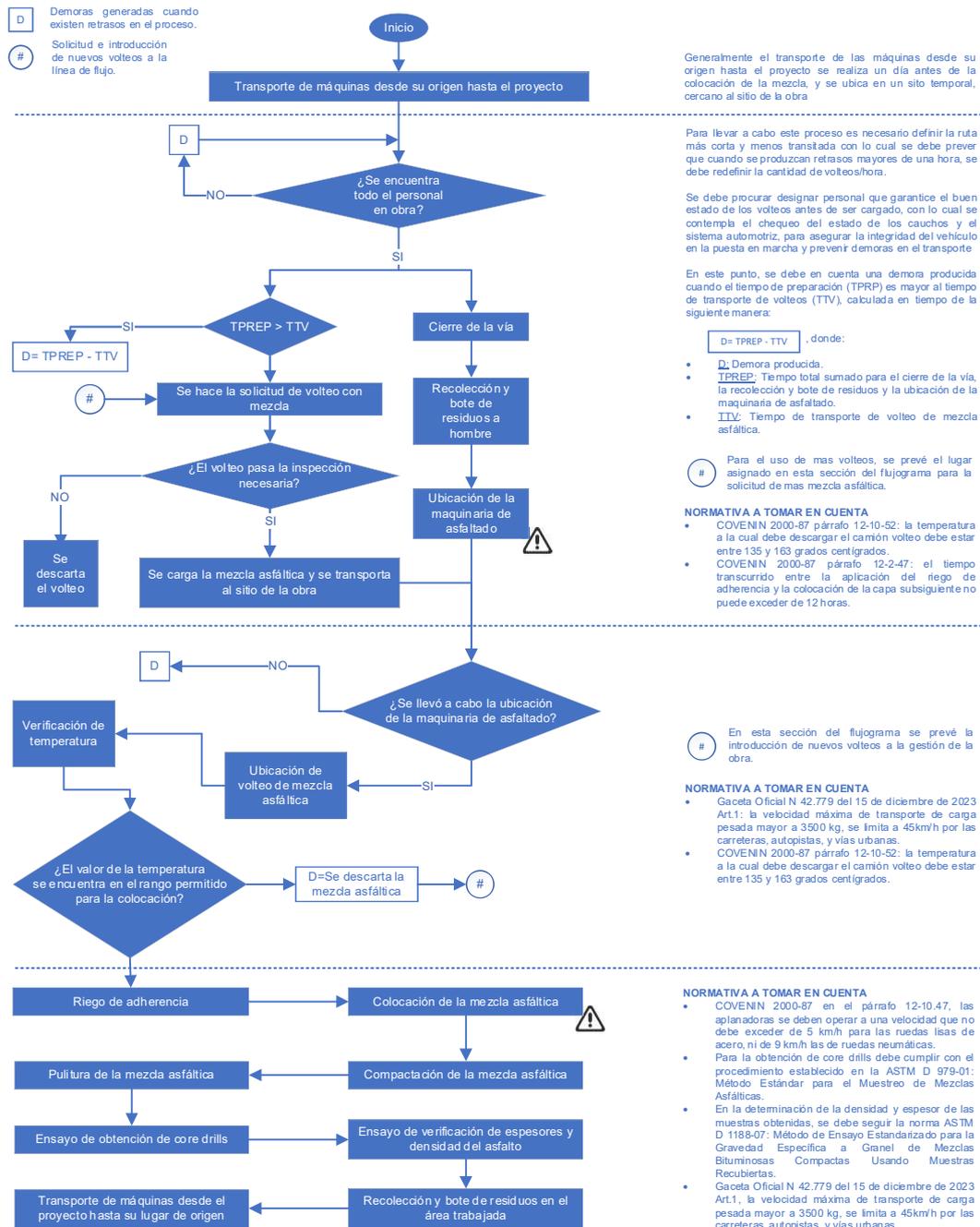


Figura 4. Árbol de decisiones con los lineamientos a seguir

Conclusiones

El proceso de colocación de asfalto en el mantenimiento vial en la ciudad de Maracaibo, se compone de 15 actividades principales, de las cuales la mayoría poseen una relación temporal lineal entre sí, con lo cual un retraso en una de ellas puede incurrir en el incremento de los costos. Por otra parte, para mejorar o disminuir los tiempos de ejecución y prevenir las demoras de las actividades, es necesario identificar aspectos que puedan alterar el orden en la gestión del proyecto, en el estudio de actividades.

Se estableció que, para la colocación de 16 toneladas de mezcla asfáltica, incluyendo las actividades principales se toman 9,7 horas. Además, la inclusión de nuevos camiones volteos con mezcla asfáltica no afecta realmente la duración total, ya que la incorporación de la mezcla se hace en simultáneo con las actividades y el incremento producido no es significativo con respecto al tiempo total.

Algunas actividades del proceso se pueden llevar a cabo en simultáneo, y dada la variabilidad de los tiempos, la actividad de mayor duración relacionada generalmente con el transporte, rige la secuencia de las actividades, con lo cual se debe tomar en cuenta que todas las actividades en simultáneo terminen al mismo tiempo, antes de la actividad que las precede.

Los factores que inciden de manera negativa en el proceso de colocación de asfalto están centrados en la ubicación de los volteos con mezcla asfáltica, la cual es la actividad crítica del proyecto. Se identificaron varios factores que inciden negativamente en el proceso de colocación de asfalto, entre los cuales destacan el alto tráfico de vehículos, falta de personal presente en la obra, experiencia de los conductores de volteos y los operadores de máquinas, la segmentación de la actividad en tramos, daño de los volteos en sitio, el radio de giro de las máquinas, los bacheos a hombre en sitios específicos, y el pulido extra en zonas en las cuales se requirió.

Se generó una secuencia de decisiones y controles a tomar en cuenta para mejorar los tiempos de ejecución del proceso de colocación del asfalto, eliminando la posibilidad de demoras que puedan incrementar los costos de ejecución y afectar la calidad del producto final obtenido, a través de la planificación y gestión eficiente.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la empresa CAMELOT ASFALTADOS, C.A, por brindar su apoyo en llevar a cabo este trabajo de investigación.

Referencias

- [1] World Road Association (PIARC). “The importance of road maintenance.” 2014. [En Línea]. Disponible en: https://nc-piarc.si/wp-content/uploads/2019/10/Importance_of_road_maintenance_2014-4.pdf
- [2] O. Akuirene, M. Atie, C. Ishiekwene, E. Nwose “Effect of poor road network and maintenance on safety and security in Delta State Nigeria: Mixed perceptions in industrialized oil-producing community”, *Biomed Res Rev*, Vol. 4, 1-6, 2020.
- [3]. “Con 125 toneladas de asfalto aplicadas, la Alcaldía de Maracaibo entregó el primer tramo del Plan Bacheo 2023”. Alcaldía de Maracaibo, 2023. [En Línea]. Disponible en: <https://www.maracaibo.gob.ve/con-125-toneladas-de-asfalto-aplicadas-la-alcaldia-de-maracaibo-entrego-el-primer-tramo-del-plan-bacheo-2023/>
- [4] K. Willoughby, J. Mahoney, L. Pierce, J. Uhlmeyer, K. Anderson, S. Read, S Muench, T. Thompson, and R. Moore, “Construction-related asphalt concrete pavement temperature differentials and the corresponding density differentials”. Washington State Transportation Center, Seattle, Washington, Estados Unidos, 2001.
- [5] Sector construcción. Especificaciones. Codificación y mediciones. Parte 1. Carreteras. COVENIN (2000-1987). Caracas, Venezuela: Fondonorma, 1987.
- [6] Gaceta Oficial No. 42.779 Ordinaria de fecha de 15 de diciembre de 2023. Ministerio del Poder Popular para el Transporte y para Relaciones Interiores, Justicia y Paz.

Capacidad de remoción de plomo (II) en aguas industriales por carbón activado obtenido de residuos textiles

Lead (II) removal capacity in industrial waters by activated carbon obtained from textile waste

Karla V. Sabino-Montero

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0002-5853-4550> | Correo electrónico: karlavsm6@gmail.com

María G. Urdaneta-Tulli

 <https://orcid.org/0009-0001-2051-7395> | Correo electrónico: mariurdanetatulli@gmail.com

Douglas Linares-Moya

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Maracaibo, Venezuela

 <https://orcid.org/0000-0002-0337-0715> | Correo electrónico: douglas.linares.moya@gmail.com

Recibido: 15-04-2024 Admitido: 29-04-2024 Aceptado: 30-05-2024

Resumen

La investigación realizada tuvo como objetivo general la determinación de la capacidad de remoción de plomo (II) en aguas industriales textiles sintéticas por acción de dos carbones activados obtenidos a partir de residuos textiles. Para ello, se llevó a cabo su obtención a partir de tela de Franela Tubular (CA 1) y tela Cottone (CA 2), con una composición del 70 % y 93 % de algodón respectivamente, luego, se caracterizaron los carbones activados para determinar sus propiedades fisicoquímicas, las cuales fueron comparadas con el carbón activado comercial tomado como referencia, y por último, se determinaron los porcentajes de remoción de Pb (II) en aguas industriales textiles sintéticas con concentraciones iniciales de 400, 600, 800 y 1000 mg/L. Se registraron rendimientos de 15,46 % para el CA 1, y de 21,90 % para el CA 2. Los valores obtenidos de porcentaje de humedad, cenizas, material volátil, densidad aparente y área superficial, resultaron ser de 11,31 %, 43,16 %, 61,37 %, 0,284±0,023 g/mL y 945,667±70,685 m²/g, para el CA 1; de 11,43 %, 39,90 %, 64,62 %, 0,549±0,007 g/mL y 1290,000±130,000 m²/g para el CA 2; y de 23,12 %, 34,76 %, 55,42 %, 0,500±0,005 g/mL y 1570,000±95,394 m²/g para el CA Comercial, respectivamente, observando que el CA 2 presentó mejores resultados de cenizas, material volátil y área superficial. Por último, se registraron resultados de porcentaje de remoción de Pb (II) de 13,90 %, 11,82 %, 11,49 % y 10,70 % para el CA 1, 20,46 %, 18,74 %, 18,02 % y 17,82 % para el CA 2, y 36,91 %, 34,49 %, 33,52 % y 32,50 % para el CA Comercial, respectivamente para las concentraciones iniciales mencionadas, obteniendo que el CA 2 presentó mayor eficiencia de remoción entre los dos carbones activados obtenidos.

Palabras clave: carbón activado, remoción, caracterización, Franela Tubular, Cottone

Abstract

The general objective of the research was to determine the removal capacity of lead (II) in synthetic textile industrial waters by the action of two activated carbons obtained from textile waste. It was obtained from Tubular Flannel fabric (CA 1) and Cottone fabric (CA 2), with a composition of 70 % and 93 % cotton respectively, then the activated carbons were characterized to determine its physicochemical properties, which were compared with the commercial activated carbon taken as a reference, and finally, the removal percentages of Pb (II) in synthetic textile industrial waters with initial concentrations of 400, 600, 800 and 1000 mg/L were determined. Yields of 15,46 % were recorded for CA 1, and 21,90 % for CA 2. The values obtained for the percentage of humidity, ash, volatile material, apparent density and surface area, were 11,31 %, 43,16 %, 61,37 %, 0,284±0,023 g/mL and 945,667±70,685 m²/g for CA 1; 11,43 %, 39,90 %, 64,62 %, 0,549±0,007 g/mL and 1290,000±130,000 m²/g for CA 2; and 23,12 %, 34,76 %, 55,42 %, 0,500±0,005 g/mL and 1570,000±95,394 m²/g for CA Commercial, respectively, observing that CA 2 presented better results of ash, volatile material and surface area. Finally, results of lead (II) removal percentage of 13,90 %, 11,82 %, 11,49 % and 10,70 % for CA 1, 20,46 %, 18,74 %, 18,02 % and 17,82 % for CA 2, and 36,91 %, 34,49 %, 33,52 % and 32,50 % for CA Commercial, respectively for the initial concentrations mentioned, obtaining that CA 2 presented higher efficiency of removal between the two activated carbons obtained.

0,500±0,005 g/mL and 1570,000±95,394 m²/g for Commercial CA, respectively. CA 2 presented better results for ashes, volatile material and surface area. Finally, Pb (II) removal percentage results of 13,90 %, 11,82 %, 11,49 % and 10,70 % were recorded for CA 1, 20,46 %, 18,74 %, 18,02 % and 17,82 % for CA 2, and 36,91 %, 34,49 %, 33,52 % and 32,50 % for Commercial CA, respectively for the initial concentrations mentioned, obtaining that CA 2 presented a greater removal efficiency between the two activated carbons obtained.

Keywords: activated carbon, removal, characterization, Tubular Flannel, Cottone

Introducción

A nivel mundial, el sector de las industrias textiles representa una problemática que se ha visto incrementada con el paso de los años, debido a los efluentes que dichas industrias generan, los cuales contienen una gran cantidad de colorantes y metales pesados que son utilizados en los procesos. Dichos efluentes reciben un tratamiento deficiente, o incluso, no cuentan con el debido tratamiento, por la gran cantidad de recursos que se necesitan [1]. Algunos de los metales pesados que se encuentran en mayor proporción son el plomo (Pb) y el níquel (Ni), los cuales, al ser descargados en los cuerpos de agua, pueden generar graves consecuencias al ser humano, y al ecosistema en general.

De igual modo, otra problemática a nivel mundial consiste en el incremento de los residuos textiles generados, ya que el 90 % de éstos contribuye a la contaminación de océanos, suelos y aire, debido a que son sometidos a tratamientos de pirólisis y combustión, provocando la contaminación del aire [2]. La elevada generación de residuos textiles ha incrementado con el paso de los años, tanto en países europeos como latinoamericanos, lo que implica el aumento de la contaminación ambiental generada por éstos. El carbón activado presenta diversas aplicaciones ambientales, destacando la adsorción de iones metálicos de plomo [3]. Por ello, ante la problemática expuesta, se han desarrollado estudios basados en la obtención de carbones activados a partir de residuos, y su empleo en el tratamiento de efluentes industriales, disminuyendo de esta forma los costos de producción y generando nuevas alternativas para el reciclaje de dichos residuos [4].

Con base en la problemática planteada, la presente investigación propone la obtención de carbón activado a partir de residuos textiles para remover iones de plomo (II) en aguas industriales, contribuyendo de este modo a la reducción de contaminantes en dichos efluentes, y disminuyendo su impacto al ambiente, lo que favorece el reciclaje de estos residuos y los convierte en una alternativa para el tratamiento de las aguas industriales provenientes del sector textil. De igual forma, las telas basadas en fibras vegetales constituyen materiales candidatos para la producción de carbón activado, debido a las propiedades que les confiere la celulosa. A partir de lo expuesto se puede afirmar que la tela de Franela Tubular y la tela Cottone, con porcentajes de algodón del 70 y 93 % respectivamente, resultan aptas como materiales precursores para la producción de carbón activado. En el estudio publicado por Sánchez [5] se evaluaron las propiedades adsorbentes del carbón activado obtenido a partir de residuos de telas de algodón, obteniendo que, para el carbón activado elaborado a partir de tela de 100 % de algodón, se obtuvo una mayor eficiencia de remoción, del 85,5 %; mientras que en el estudio realizado por Rodríguez *et al.* [6], se avaluó la obtención de telas de carbón activado a partir de tela de 100 % algodón, con un rendimiento del 21 %.

Con base a esto, el presente estudio tiene como objetivo determinar la capacidad de remoción de plomo (II) de los carbones activados generados a partir de residuos textiles en aguas industriales, lo cual se llevó a cabo mediante su obtención a partir de telas basadas en fibras vegetales, por activación química, la determinación de sus propiedades fisicoquímicas por medio de su caracterización y, por último, su uso en la remoción de iones de Pb (II) en aguas industriales textiles sintéticas.

Materiales y Métodos

La presente investigación es de tipo correlacional, analítica y descriptiva, con un nivel aprehensivo y un diseño experimental, ya que se manipularon las variables en un laboratorio; transeccional correlacional-causal, debido a que se estudia la relación entre la concentración inicial y la remoción; y cuantitativo, por haber obtenido resultados numéricos. Se trabajó con dos unidades de análisis, el carbón activado y el efluente textil

sintético. De esa manera, para cumplir con el objetivo planteado, se ejecutaron las fases correspondientes al procedimiento experimental descrito a continuación:

Fase I. Obtención del carbón activado

Para la obtención del carbón activado se tomaron en cuenta dos tipos de tela basadas en fibras vegetales, bajo las denominaciones de Franela Tubular, cuya composición es de 70 % algodón y 30 % poliéster, y Cottone, con 93 % de algodón y 7 % de elastano [7, 8].

Actividad I. Preparación del material precursor

Se procedió a recortar las telas adquiridas en trozos correspondientes a un tamaño de 5 cm de cada lado, de forma aproximada.

Actividad II. Activación química

Para la activación química empleando como agente activador el $H_3PO_4/FeCl_3$, se empleó la metodología modificada por Sánchez (2017) [5]. En primer lugar, se impregnaron las telas de algodón con H_3PO_4 al 70 % en volumen durante 24 h, utilizando una relación de volumen de agente activante y masa del material precursor de 5:2. Posterior a ello, se pre-carbonizaron las telas en una estufa a 85 °C durante 24 h, y luego, se carbonizaron en la mufla a 456 °C durante 2 horas aproximadamente, hasta que se presenciara la reducción de vapor emitido durante el calentamiento. En este paso no se utilizó la atmósfera inerte de argón, debido a la carencia del equipo necesario, por lo que se emplearon los crisoles con sus respectivas cubiertas para la disminución de la entrada de aire.

Luego, se trituraron los carbones activados con el empleo de un mortero, y se lavaron con HCl al 10 % en peso, NaOH al 1 % en peso, y agua destilada, hasta alcanzar un pH neutro, el cual fue determinado a través de una cinta indicadora de pH. Posterior a ello, se secaron los carbones activados en una estufa a 100 °C por 24 h, y se tamizaron con un tipo de tela en forma de malla, bajo la denominación de Organza.

En seguimiento al proceso, se adicionó el agente activante $FeCl_3$ con concentración de 0,56 M, a una relación de 10:3 de volumen de tricloruro de hierro y masa de carbón activado, en condiciones de vacío. Luego, se agitó durante 15 minutos sobre una plancha de calentamiento, en conjunto a un agitador magnético, y se dejaron en reposo por 48 horas. Fueron sometidos a condiciones de 110 °C por 6,8 h, para luego ser lavados con agua destilada y sometidos a condiciones de 110 °C por 6.8 h en la estufa. Por último, se almacenaron en un desecador.

Fase II. Rendimiento

La estimación del rendimiento de los dos carbones activados obtenidos fue calculada utilizando la Ecuación 1, la cual fue tomada del estudio realizado por Vanegas [4].

$$\%Rendimiento = \frac{Masa\ del\ CA\ resultante\ (g)}{Masa\ del\ material\ precursor\ (g)} \cdot 100 \quad (Ec. 1)$$

Fase III. Análisis fisicoquímicos

Se realizó el análisis fisicoquímico para los dos carbones activados obtenidos, y para el carbón activado comercial tomado como referencia (Scharlau CA0351).

I. Humedad

El contenido de humedad se obtuvo de acuerdo al proceso establecido por la norma NTC 4467 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 1998) [9]. Para ello, se secaron 2 gramos de carbón activado en la estufa a 110 °C por 2 horas. Luego, se colocó en un desecador durante 20 minutos,

y se pesó de manera inmediata. Este último paso se repitió hasta obtener un peso constante, registrando la diferencia de masa en la Ecuación 2.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Masa CA inicial (g)} - \text{Masa CA final (g)}}{\text{Masa CA inicial (g)}} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

II. Cenizas

El contenido de cenizas se obtuvo a través del proceso establecido por la norma NTC 4467 (ICONTEC, 1998) [9]. Para ello, se secó una muestra de carbón activado hasta peso constante a 150 °C por 3 h en la estufa. Luego, se calcinó 1 gramo de la muestra en la mufla a 650 °C por 5 horas. Se colocó en el desecador, y se registró la masa resultante, lo cual se realizó hasta obtener un peso constante. Por último, el porcentaje de cenizas fue calculado por la Ecuación 3.

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{\text{Masa Cenizas (g)}}{\text{Masa CA inicial en base seca (g)}} \cdot 100 \quad (\text{Ec.3})$$

III. Material volátil

El contenido de material volátil en base seca fue determinado mediante el método American Society for Testing and Materials (ASTM D3175-20, 2020) [10]. Para ello, se calentó 1 gramo de carbón activado a 950 °C por 7 minutos en la mufla, registrando la masa final, y calculando la diferencia según la Ecuación 4. El porcentaje de material volátil en base seca se determina por la Ecuación 5.

$$\% \text{ Pérdida de masa} = \frac{\text{Masa CA inicial (g)} - \text{Masa Cenizas (g)}}{\text{Masa CA inicial (g)}} \cdot 100 \quad (\text{Ec.4})$$

$$\% \text{ Material volátil} = \% \text{ Pérdida de masa} - \% \text{ Humedad} \quad (\text{Ec.5})$$

IV. Densidad aparente

La densidad aparente se determinó según el procedimiento establecido por la Norma NTC 4467 (ICONTEC, 1998) [9]. Para ello, se pesaron 10 g de carbón activado. Luego, se transfirió una tercera parte a un cilindro graduado de 50 mL, se apisonó suavemente, y se agregó mayor cantidad hasta terminar con la muestra. Se apisonó por 5 minutos, y luego por períodos de 2 minutos, hasta completar el asentamiento. Por último, se registró el volumen del carbón activado, y se aplicó la Ecuación 6.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (\text{Ec.6})$$

V. Área superficial

Se siguió el procedimiento descrito por Tubert y Talanquer [11], preparando inicialmente soluciones de ácido acético de concentraciones de 0,5, 0,4, 0,3, 0,2, 0,1 y 0,05 M, a las cuales se añadieron muestras de 2 g de CA 1, CA 2 y CA Comercial por 1 hora, sometidas a agitación. Luego, se filtraron las soluciones por gravedad, y se valoraron con NaOH 1 M. Se determinaron las concentraciones desconocidas de las soluciones de ácido acético tratadas, y se construyeron las isoterms de Langmuir y Freundlich. Para ello, se determinaron las capacidades de adsorción con la Ecuación 7 [12].

$$q_e = \frac{(C_i - C_b)}{W} \cdot V \quad (\text{Ec.7})$$

Luego, para el modelo de Langmuir, se siguió el procedimiento descrito por Montenegro [13], graficando la isoterma siguiendo la forma linealizada de dicho modelo, la cual está expresada en la Ecuación 8, para lo cual, se calcularon y graficaron los valores de $1/C_e$ en el eje X y $1/q_e$ en el e:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{C_e} \cdot \frac{1}{k \cdot q_m} \quad (\text{Ec.8})$$

Seguidamente, para la construcción de las isotermas siguiendo el modelo de Freundlich, se graficó la curva en función de la Ecuación 9 [13].

$$\log q = \log k + \frac{1}{n} \log C_e \quad (\text{Ec.9})$$

Una vez construidas las isotermas de adsorción de ácido acético para el CA 1, CA 2 y CA Comercial, se seleccionó el modelo con mayor valor de correlación en cada caso, determinando la cantidad máxima de adsorbato que adsorbe un gramo de carbón activado (N_{\max}), siendo el inverso de la pendiente de la isoterma. De esa manera, sustituyendo el valor del número de Avogadro (N_0), y el valor asumido de área molecular teórica de ácido acético (σ), se calculó el área superficial a partir de la Ecuación 10.

$$A = N_{\max} \cdot N_0 \cdot \sigma \quad (\text{Ec.10})$$

Fase IV. Preparación y análisis de muestras

I. Muestras de soluciones acuosas de plomo

Se prepararon soluciones de Pb (II) con concentraciones de 400, 600, 800 y 1000 mg/L. Luego, se añadió 1 g de CA 1, CA 2 y CA Comercial a cada 30 mL de solución acuosa, por 24 h, con 30 minutos de agitación continua. Adicionalmente, se prepararon muestras control, referidas a soluciones acuosas expuestas al ambiente del laboratorio, a las mismas concentraciones iniciales, sin adicionar carbón activado, por 24 h. Una vez transcurrido el tiempo, se filtraron todas las muestras, menos las de control, y se procedió a determinar sus concentraciones finales. En primer lugar, se determinó la longitud de onda adecuada para realizar las lecturas de absorbancias del Pb (II) por medio de un barrido espectral, lo cual se llevó a cabo empleando el espectrofotómetro UV Visible modelo SP-MUV5100 de la marca INFITEK, realizando lecturas de absorbancia a una solución acuosa de plomo de 400 mg/L, diluida con 1 mL de EDTA 0,01 M y 1 mL de solución buffer de pH 10, formando así un complejo de plomo con EDTA, en un rango de 190 a 1100 nm, seleccionando la longitud de onda con mayor valor de absorbancia.

Una vez identificada la longitud de onda adecuada para el Pb (II), se construyó la curva de calibración, a partir de los valores de absorbancia para soluciones estándar de 500, 375, 250, 200 y 150 mg/L (diluidas previamente con EDTA y solución buffer). Posterior a ello, se leyeron las absorbancias para las soluciones acuosas resultantes de la remoción por cada carbón activado, para luego realizar las lecturas en el espectrofotómetro, obteniendo los valores respectivos de concentración a partir de la ecuación de la recta de la curva de calibración. Cabe resaltar que el valor de concentración fue duplicado, ya que la solución leída se diluyó a la mitad con EDTA y buffer para la formación del complejo.

II. Muestras de aguas industriales textiles sintéticas

En primer lugar, se realizaron barridos espectrales a las soluciones preparadas de 8,2 mg/L de níquel, concentración que fue tomada del estudio de Febres y Montesdeoca [14], y 100 mg/L de los colorantes Wiki Wiki, Rojo Congo y Azul de Metileno, concentración tomada del estudio de Ramírez y Valero [15],

siendo preparadas por separado, a modo de seleccionar un colorante que no interfiera con la longitud de onda establecida para el Pb (II). Luego, se prepararon las muestras de aguas industriales textiles sintéticas, con el objetivo de simular los efluentes textiles, a partir de concentraciones constantes de 8,2 mg/L de níquel y 100 mg/L del colorante seleccionado, y concentraciones iniciales de 400, 600, 800 y 1000 mg/L de plomo. El ensayo de remoción y filtrado de soluciones, además de la determinación de la concentración final de plomo, fue realizado del mismo modo que para las soluciones acuosas, empleando la curva de calibración elaborada previamente. Todos los ensayos se realizaron por triplicado.

Fase V. Construcción de isotermas de adsorción de Pb (II)

Se aplicó la Ecuación 7, para muestras de 1 g de carbón y 30 mL de solución, y las respectivas concentraciones iniciales y finales. Luego, se aplicaron las Ecuaciones 8 y 9 para construir las isotermas de Langmuir y Freundlich, seleccionando el modelo al que más se ajustan los datos por medio de su valor de coeficiente de determinación (R^2). Luego, para el modelo de Freundlich se calcularon las constantes, determinando el valor de n como el inverso de la pendiente y K como se muestra en la Ecuación 11, donde b es el corte con el eje Y:

$$K=10^b \quad (\text{Ec.11})$$

Fase VI. Cálculo del porcentaje de remoción de plomo

Una vez realizada la remoción de plomo por acción del CA 1, CA 2 y CA Comercial, se calculó el porcentaje de remoción en cada muestra, en base a las concentraciones finales e iniciales de éste en cada una de ellas, siguiendo la Ecuación 12, la cual fue descrita por Sime [12].

$$\text{Remoción}(\%) = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \cdot 100 \quad (\text{Ec.12})$$

Fase VII. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa Statistix versión 10. Se aplicaron las pruebas F y t de Student para la comparación de los rendimientos del CA 1 y CA 2. Por otro lado, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar los resultados de la caracterización y remoción para los dos carbones activados obtenidos y el comercial tomado como referencia, y por último, la prueba de Dunn, para analizar la distribución de los datos entre los grupos pareados, los cuales pudieron presentar diferencias significativas.

Fase VIII. Comparación del carbón activado obtenido con el comercial

Se aplicó la Ecuación 13 para comparar los valores obtenidos del análisis fisicoquímico y los porcentajes de remoción del CA 1 y CA 2 con respecto al CA Comercial.

$$Ep(\%) = \frac{CA_{\text{experimental}} - CA_{\text{Comercial}}}{CA_{\text{Comercial}}} \cdot 100 \quad (\text{Ec.13})$$

Resultados

Obtención de carbón activado a partir de los residuos de dos tipos diferentes de telas basadas en fibras vegetales, mediante activación química

En primer lugar, se registraron en la Tabla 1 los resultados de masa y rendimiento (obtenidos por triplicado) para cada material precursor y de los dos carbones activados obtenidos, los cuales fueron generados a partir de la tela Franela Tubular (CA 1), y la tela Cottone (CA 2).

Tabla 1. Masa del material precursor, de los carbones activados obtenidos, y el rendimiento promedio para el CA 1 y el CA 2

Tipo de tela	Algodón (%)	Masa del material precursor (g)	Masa del carbón activado (g)	Rendimiento (%)	Rendimiento promedio (%)
Tela 1 (Franela Tubular)	70	89,360	14,377	16,09	15,46
		90,456	12,876	14,24	
		89,021	14,284	16,05	
Tela 2 (Cottone)	93	94,342	22,225	23,56	21,90
		95,224	21,038	22,09	
		95,897	19,221	20,04	

Como se puede evidenciar, para el CA 1 se obtuvo un rendimiento promedio del 15,46 %, mientras que para el CA 2 se registró uno de 21,90 %. Se denota que a partir del tipo de tela Cottone se obtuvo un mayor rendimiento, con un incremento del 29,41 %, lo que implica que se produce una mayor cantidad de carbón activado a partir de una misma cantidad de material precursor, en comparación del tipo de tela Franela Tubular. Según lo establecido en el estudio realizado por Vanegas [4], se reporta que el carbón activado generado mediante activación química con H_3PO_4 , a partir de la tela mezclilla, presentó un rendimiento del 42,12 %, mientras que el generado por $FeCl_3/ZnCl_2$ registró uno de 46 %. Esto indica que el empleo de $FeCl_3$ en conjunto con el $ZnCl_2$ como activantes logran un mayor efecto en el rendimiento del carbón activado a partir de tela, lo cual pudo influir en el bajo rendimiento de la presente investigación, en donde se empleó la combinación de H_3PO_4 y $FeCl_3$, sin tomar en cuenta el $ZnCl_2$.

Cabe resaltar que en el estudio mencionado anteriormente, se empleó la tela mezclilla como material precursor, con una composición de 74 % de algodón, mientras que, las telas empleadas en la presente investigación, se componen de 70 % y 93 % de esta fibra para el tipo de tela Franela Tubular y Cottone, respectivamente, por lo que se deja en evidencia que el porcentaje de algodón no fue un factor para la reducción del rendimiento obtenido, tomando en consideración que a mayor cantidad de fibras vegetales en la tela como material precursor, más carbono poroso se genera en el proceso de producción, dado que el algodón está constituido por 91 % de celulosa, 8 % de agua, 0,52 % de proteína, 0,35 % de grasas y ceras, y 0,13 % de cenizas [5]. Otro factor influyente en la disminución del rendimiento de los carbones activados obtenidos resulta en la dificultad de sellar los crisoles de manera hermética al momento de realizar la carbonización.



Figura 1. Carbón activado resultante, a) CA 1 a partir de la tela Franela Tubular, b) CA 2 a partir de la tela Cottone y c) CA Comercial tomado como referencia.

Por otro lado, en la Tabla 2 se aprecian los resultados de la prueba F para evaluar la homogeneidad de la varianza, y de la prueba t de Student para dos muestras independientes según el método adecuado, en cuanto a los porcentajes de rendimiento del CA 1 y CA 2.

Tabla 2. Resultados obtenidos de la prueba F y t de Student para el rendimiento del CA 1 y CA 2

Pruebas	p
F plegada (ambos lados)	0,529
t de Student (método Pooled)	0,006

Se observa que el valor de p para la prueba F es mayor al nivel de significancia establecido de 0,05, lo que indica que las varianzas de las dos muestras son iguales. En ese sentido, al ubicar el valor de p correspondiente al método Pooled, el cual se utiliza para dos muestras independientes sin diferencia en la varianza, se observa que éste es menor a 0,05, por lo que existe una diferencia significativa de la media entre los rendimientos de los carbones activados obtenidos.

Efectos de la composición química de cada tipo de tela empleado como material precursor por medio de la caracterización de las propiedades fisicoquímicas

Se lograron obtener los resultados de porcentaje de humedad, cenizas, material volátil, densidad aparente y área superficial por triplicado, cuyos promedios logran apreciarse en la Tabla 3. Además, en la Tabla 4 se plantean los errores porcentuales entre cada parámetro fisicoquímico evaluado tanto para el CA 1 como para el CA 2, con respecto a los registrados para el CA Comercial.

Tabla 3. Resultados promedio de la caracterización fisicoquímica para el CA 1, CA 2 y CA Comercial

Parámetros fisicoquímicos	CA 1	CA 2	CA Comercial
Humedad (%)	11,31	11,43	23,12
Cenizas (%)	43,16	39,90	34,76
Material volátil (%)	61,37	64,62	55,42
Densidad aparente (g/mL)	0,284±0,023	0,549±0,007	0,500±0,005
Área superficial (m ² /g)	945,667±70,685	1290,000±130,000	1570,000±95,394

Tabla 4. Errores porcentuales de los parámetros fisicoquímicos del CA 1 y CA 2 con respecto al CA Comercial

Error porcentual	Humedad	Cenizas	Material volátil	Densidad aparente	Área superficial
CA 1 (%)	51,08	24,17	10,74	43,20	39,77
CA 2 (%)	50,56	14,79	16,60	9,80	17,83

Tal y como se observa, el promedio del porcentaje de humedad para el CA 1 fue de 11,31 %, mientras que para el CA 2 fue de 11,43 %. Se denota que ambos resultados fueron muy similares entre sí, con una diferencia del 1,06 %, sin embargo, en comparación con el CA Comercial, cuyo porcentaje de humedad fue del 23,12 %, el CA 1 y CA 2 se reducen en un 51,08 % y 50,56 % respectivamente, siendo una variación significativa bajo iguales condiciones de medición. Esta variación pudo deberse al tiempo de almacenamiento, ya que, al exponer los carbones activados al ambiente, estos empiezan a adsorber el vapor de agua contenido en el aire, razón por la cual se registró un mayor porcentaje de humedad en el comercial, cuyo tiempo de almacenaje es mucho mayor al de los carbones activados obtenidos. En ese sentido, teniendo en cuenta que para estos

últimos el tiempo de exposición hacia el ambiente fue de dos semanas al momento de realizar el ensayo de humedad, puede apreciarse que el CA 1 reportó un resultado ligeramente menor que el CA 2, lo cual puede deberse a la mayor capacidad de adsorción que presenta este último, relacionado al hecho de que contiene una mayor fracción de algodón en su composición, sin embargo, el incremento del porcentaje de humedad implica que el vapor de agua ocupa sitios de poros que ya no estarán disponibles para la adsorción de plomo, por lo que al momento de realizar la remoción sin una previa deshidratación del carbón activado, es probable que se reporten menores porcentajes.

Se puede cotejar la información experimental recolectada con los resultados del estudio realizado por Carrasco y Londa [16], donde se obtuvo un porcentaje de humedad del carbón activado de cáscara de coco con ácido fosfórico al 40 % y 85 % de 9,638 % y 9,296 %, respectivamente. Puede notarse que a pesar de que la concentración de ácido fosfórico en el presente estudio fue alta (del 70 %), se obtuvieron mayores porcentajes de humedad que lo registrado por la información referenciada, lo cual puede deberse a la diferencia existente del material precursor, ya que en el trabajo mencionado se trabajó con cáscaras de coco, mientras que en la presente investigación se utilizó la tela basada en fibras vegetales.

En seguimiento a los parámetros fisicoquímicos, logra apreciarse que el promedio del porcentaje de cenizas del CA 1 fue de 43,16 %, y, el correspondiente al CA 2 fue de 39,90 %. Se observó que ambos resultados fueron ligeramente similares entre sí, con una diferencia del 7,55 %, sin embargo, en comparación con el CA Comercial, del cual se registró un resultado de 34,76 %, el porcentaje de cenizas para el CA 1 y CA 2 se incrementó en un 24,17 % y 14,79 %, respectivamente, siendo una variación significativa bajo los mismos efectos de condiciones de medición. El aumento apreciado se debe al tipo de material precursor, el cual pudo contener mayor cantidad de óxidos metálicos, impurezas, entre otros materiales que no se vaporizaron a la temperatura indicada del método. En cuanto a la diferencia observada entre el CA 1 y el CA 2, se evidenció que ambos fueron producidos a través del mismo método de activación, por lo que los factores de tiempo, temperatura y tipo de activador empleado, no influyeron en la variación descrita, lo cual si se le puede atribuir a un posible aumento de material inorgánico e impurezas presentes en la composición del material precursor del CA 1 (Franela Tubular).

En ese sentido, es importante destacar que mientras menor sea el contenido de cenizas, mayor es el área superficial y la capacidad de adsorción que tendrá el carbón activado [16], lo que implica que el CA 2 tiene mayor probabilidad de presentar mejores resultados de remoción. De esa manera, los resultados obtenidos para el presente estudio pueden compararse con los registrados por Arévalo y Reátegui [17], en donde para un proceso de activación química con ácido fosfórico al 30 y 60 %, para un mayor tiempo de activación experimentado de 75 minutos, se obtuvieron los porcentajes de 11,04±0,14 % y de 8,75±0,11 % de cenizas respectivamente, apreciando una relación inversa entre la concentración de ácido fosfórico utilizado en el proceso de activación y el porcentaje de cenizas. A partir de lo expuesto, puede afirmarse que el uso de la concentración del agente activador H_3PO_4 del 70 % en el presente estudio se considera correcto, dado que, según los datos referenciados, podría reducirse la cantidad de materia inorgánica que no aporta en la remoción de plomo sobre la muestra residual textil.

También se caracterizó el porcentaje de material volátil en base seca, siendo de 61,37 % para el CA 1, y de 64,62 % para el CA 2. Se evidenció que ambos resultados fueron muy similares entre sí, con una variación del 5,30 %, sin embargo, en comparación con el CA Comercial, cuyo resultado fue del 55,42 %, el CA 1 y CA 2 se alejan en 10,74 % y 16,60 % respectivamente. Esta variación pudo deberse al tipo de material precursor empleado o al método de activación química ejecutado, donde se estableció un contacto del carbón activado con diferentes compuestos como el H_3PO_4 , el HCl y el $FeCl_3$, los cuales pudieron contenerse en los poros del carbón activado final en pequeñas trazas que no lograron ser retiradas durante el proceso de producción. De esa manera, las diferencias observadas entre los carbones activados obtenidos pueden deberse a que el CA 2 logró retener mayores trazas de los compuestos, por lo que, al momento de calentarlo a la temperatura indicada por el método seleccionado, tuvo un incremento en la reducción de masa. También puede estar relacionado de manera directa con el porcentaje de carbono fijo, ya que el CA 2 presenta mayor proporción de fibra vegetal en

su composición, por lo que, al activarlo y carbonizarlo, pudo mantener una mayor fracción de carbono fijo, la cual se evaporó como dióxido de carbono por la presencia de oxígeno durante el ensayo realizado.

Comparando los resultados experimentales con los reportados en el estudio de Fernández [18], donde se analizaron tres muestras de carbón activado llevados a cabo a partir de la activación física, se obtuvieron menores porcentajes de material volátil, del 30,76 %, 30,16 % y 29,76 % para el carbón lavado (CL), carbón oreganal (CO) y el carbón tipo D (CT) respectivamente. Esto confirma el hecho que dependiendo del método de activación que se ejecute se obtendrá un porcentaje distinto de material volátil. En ese sentido, es de destacar que los resultados encontrados en la literatura diferencian el material volátil del porcentaje de carbono fijo generalmente, debido a que cuentan con los equipos necesarios para lograr determinar cada parámetro por separado, razón por la cual los valores de material volátil serán reducidos en mayor proporción al no tomar en consideración la vaporización del carbono fijo como dióxido de carbono durante el ensayo.

En relación a la densidad aparente, se obtuvieron los resultados de $0,284 \pm 0,023$ y $0,549 \pm 0,007$ g/mL para el CA 1 y el CA 2 respectivamente. Se denota una variación significativa entre ambos resultados, ya que se obtuvo un error porcentual del 48,27 %, sin embargo, en comparación con el CA Comercial con densidad aparente de $0,500 \pm 0,005$ g/mL, el CA 1 y CA 2 se alejan en un 43,20 % y 9,80 %, de forma respectiva. Es de resaltar que las partículas del CA 1 se observan de menor tamaño que las del CA 2, por lo que ocupan mayor espacio, sin embargo, en vez de aumentar la densidad aparente se aprecia que la misma disminuye. A partir de lo anterior, la diferencia de dicho parámetro no se debe a los factores geométricos del tamaño de las partículas, la forma o el grado de compactación, por lo que se le atribuye a la composición de la tela como material precursor, diferenciándose por la cantidad de fibra vegetal, lo cual puede generar diferencias de peso entre las partículas de cada material. En comparación con estudios realizados previamente, se pueden cotejar los resultados con los reportados por Acevedo (2018) [19], quien determinó la densidad aparente de dos carbones activados de tipo granular, uno con el material precursor basado en coco, y el segundo basado en madera, obteniendo un promedio de 0,44 y 0,24 g/mL de forma respectiva, lo cual deja en evidencia el hecho de que la composición del material precursor influye en gran medida sobre la relación de masa y volumen del material, bajo las mismas condiciones de producción, y basados en un mismo tipo de partícula (granular).

Por último, se obtuvieron mayores valores de área superficial para el CA 2 a comparación del CA 1, siendo estos de $1290,000 \pm 130,000$ y $945,667 \pm 70,685$ m²/g, respectivamente, tomando como referencia el valor obtenido para el CA Comercial, siendo este de $1570,000 \pm 95,394$ m²/g. En el estudio publicado por Ramírez *et al.* [20] se obtuvo que los carbones activados producidos a partir de fibra y cáscara de palma de aceite presentaron áreas superficiales de 835,30 y 575,13 m²/g, y mostraron capacidades máximas de adsorción de 763,4 y 724,6 mg/g, lo que implica que una mayor área superficial permite adsorber una mayor cantidad de contaminantes, por lo cual, en la presente investigación se puede afirmar que el CA Comercial presenta mayor probabilidad de tener un incremento en la capacidad de remoción, seguido del CA 2 y, por último, el CA 1.

De igual forma, en la investigación tomada como antecedente, siendo este el estudio publicado por Rodríguez *et al.*, [6], se prepararon dos telas de carbón activado a partir de la activación química de textiles de algodón, para las cuales se obtuvieron valores de área superficial de 796 m²/g y 951 m²/g, presentando similitud con los obtenidos en la presente investigación. También, los resultados obtenidos se asemejan a los reportados en el estudio realizado por Quintana *et al.*, [21], donde se obtuvo que el área superficial del carbón activado producido a partir de cascarilla de café resultó ser de 1263 m²/g.

En cuanto al análisis estadístico, en la Tabla 5 se observa el valor de *p* obtenido tras la realización de la Prueba de Kruskal – Wallis (K-W), siendo una prueba no paramétrica basada en el rango de medias, la cual se utiliza para corroborar si existen diferencias relevantes a nivel estadístico entre los tres grupos independientes, referidos al CA 1, CA 2 y CA Comercial. Cabe resaltar que se emplea una prueba ANOVA no paramétrica, ya que no se puede asumir distribución normal o varianzas iguales entre los grupos que se comparan, por presentar solo tres datos por muestra. En adición a ello, también se observan los resultados obtenidos de la Prueba de Dunn, utilizada para verificar una distinción estadísticamente significativa entre la distribución de muestras pareadas. Para ello, se empleó el abecedario, asignando la letra A a la muestra con el rango de medias

de mayor valor, y así de manera secuencial, repitiendo la letra designada en aquellas muestras que no presentan diferencias significativas en cuanto a la distribución estadística de sus resultados.

Tabla 5. Resultados de la Prueba de Kruskal – Wallis y la Prueba de Dunn para CA 1, CA 2 y CA Comercial en cuantos a los parámetros fisicoquímicos

Parámetros fisicoquímicos	CA 1	CA 2	CA Comercial	p (K-W)
Humedad (%)	B	AB	A	0,001
Cenizas (%)	A	AB	B	0,007
Material volátil (%)	AB	A	B	0,001
Densidad (g/mL)	B	A	AB	0,001
Área superficial (m ² /g)	B	AB	A	0,001

Se observó que, para todos los parámetros fisicoquímicos evaluados durante la caracterización, el valor de *p* de la Prueba de Kruskal – Wallis fue menor al nivel de significancia establecido de 0,05, por lo cual, se rechaza la hipótesis nula, lo que implica que existen diferencias estadísticamente significativas entre algunas de las distribuciones de las muestras.

Por otro lado, en cuanto a la Prueba de Dunn, logra apreciarse que el rango de medias de la humedad promedio correspondiente al CA Comercial es identificado con la letra A, lo que implica que los valores de las observaciones de ese grupo tienden a ser mayores que el resto, sin embargo, estadísticamente no existen diferencias significativas de la distribución de los datos, con respecto al porcentaje de humedad del CA 2, debido a que ambos se identifican con la letra A. De igual forma, el porcentaje de humedad del CA 1 es considerado estadísticamente igual que el del CA 2, caso contrario al porcentaje de humedad entre el CA Comercial y el CA 1, donde sí se encontraron diferencias significativas. En relación al porcentaje de cenizas, se aprecia que el rango de medias reportado para el CA 1 es superior al resto, sin embargo, estadísticamente no existen diferencias significativas de la distribución de los datos con respecto al porcentaje de cenizas del CA 2, siendo este último similar al CA Comercial, caso contrario al porcentaje de cenizas entre el CA 1 y el CA Comercial, donde sí se establecieron diferencias.

En el caso del porcentaje de material volátil en base seca, se aprecian similitudes en cuanto al CA 2 con el CA 1, y el CA 1 con el CA comercial, siendo los valores correspondientes al CA 2 superior al resto, mientras que en relación a la densidad aparente, las similitudes fueron apreciadas en el CA 2 con el CA Comercial, y en este último con el CA 1, caso contrario a la relación entre el CA 2 y el CA 1, donde sí se encontraron diferencias significativas en cuanto a la distribución de sus resultados. Por último, para el área superficial, se apreciaron similitudes en el CA Comercial con el CA 2, y en el CA 1 con el CA 2, mientras que entre el CA Comercial y el CA 1 si existen diferencias significativas.

Capacidad de remoción de plomo (II) en muestras de aguas industriales textiles sintéticas por acción de cada carbón activado obtenido, en función de la concentración inicial del metal.

Una vez realizado el barrido espectral para el plomo, se determinó que la longitud de onda adecuada para realizar las lecturas de absorbancia en el espectrofotómetro para dicho metal es de 283,3 nm, lo cual confirma lo obtenido por Acuña (2012) [22] en su investigación, donde la longitud de onda utilizada para el plomo fue de 283,31 nm. En la Figura 2, se apreció el barrido espectral realizado para el plomo, junto con la curva de calibración construida para éste.

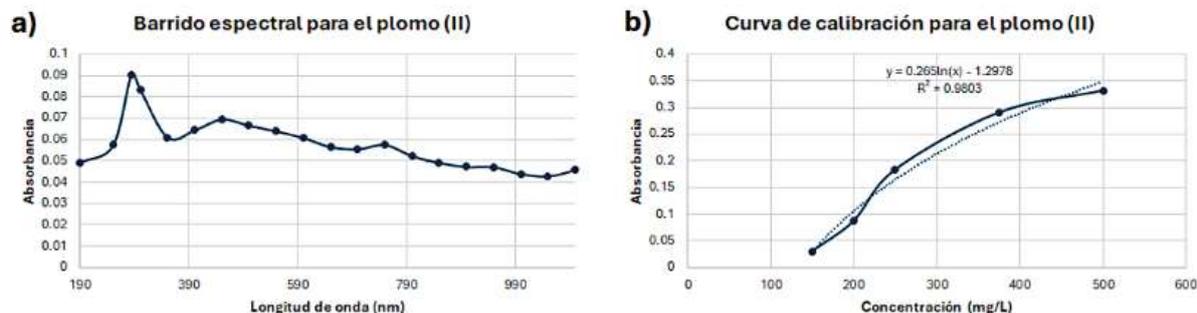


Figura 2. a) Barrido espectral para el plomo a 400 mg/L, y b) Curva de calibración construida para el plomo a 283,3 nm.

Luego, en la Tabla 6 se reportaron los resultados promedio obtenidos del triplicado de porcentajes de remoción de Pb (II) en las soluciones acuosas de plomo, y las aguas industriales textiles sintéticas, tratadas por el CA 1, CA 2 y CA Comercial. También, en la Tabla 7 se plantean los errores porcentuales entre los porcentajes de remoción de Pb (II) por acción del CA 1 y CA 2 con respecto a los registrados para el CA Comercial.

Tabla 6. Porcentajes de remoción de Pb (II) promedio en soluciones acuosas y aguas industriales textiles sintéticas por acción del CA 1, CA 2 y CA Comercial, para concentraciones iniciales de plomo de 400, 600, 800 y 1000 mg/L

Concentración inicial teórica (mg/L)	Porcentaje de remoción promedio de Pb (II) (%)					
	Soluciones acuosas de plomo			Aguas industriales textiles sintéticas		
	CA 1	CA 2	CA Comercial	CA 1	CA 2	CA Comercial
400	19,15	28,34	48,39	13,90	20,46	36,91
600	16,36	25,21	46,47	11,82	18,74	34,49
800	15,30	25,02	46,20	11,49	18,02	33,52
1000	15,01	24,74	45,29	10,70	17,82	32,50

Tabla 7. Error porcentual de porcentajes de remoción del CA 1 y CA 2 con respecto al CA Comercial

Error porcentual	Porcentaje de remoción de Pb (II) en soluciones acuosas				Porcentaje de remoción de Pb (II) en aguas industriales textiles sintéticas			
	Concentración inicial teórica (mg/L)				Concentración inicial teórica (mg/L)			
	400	600	800	1000	400	600	800	1000
CA 1 (%)	60,43	64,79	66,88	66,86	62,34	65,73	65,72	67,08
CA 2 (%)	41,43	45,75	45,84	45,37	44,57	45,67	46,24	45,17

Se observa que el CA Comercial alcanzó los porcentajes de remoción más altos en soluciones acuosas de plomo, encontrándose estos entre 48,39 % y 45,29 %. De igual forma, se reportó que el CA 2 presentó los porcentajes de remoción de Pb (II) más altos entre los dos carbones activados obtenidos, encontrándose estos entre 28,34 % y 24,74 %, alejándose del CA Comercial de un 41,43 % a 45,37 %, mientras que para el CA 1 se obtuvieron valores entre 19,15 % y 15,01 %, alejándose del CA Comercial de un 60,43 % a 66,86 %. Por otro lado, para las aguas industriales textiles sintéticas (conformadas por plomo, níquel y colorante Wiki Wiki, ya que estos dos últimos no produjeron interferencia con la lectura de las absorbancias del plomo) se alcanzaron

porcentajes de remoción de 36,91 % a 32,50 % para el CA Comercial, de 20,46 % a 17,82 % para el CA 2 (alejándose del CA Comercial en un 62,34 % a 67,08 %) y de 13,90 % a 10,70 % para el CA 1 (alejándose del CA Comercial en un 44,57 % a 45,17 %), con lo cual, se obtuvo de igual manera que el CA 2 alcanzó los mayores valores de porcentajes de remoción entre los dos carbones activados obtenidos. Esto concuerda con lo obtenido previamente en los valores de área superficial, donde el CA 2 presentó el mayor valor entre los dos carbones activados, lo cual le confiere una mayor capacidad de adsorción.

De igual forma, se obtuvo que la concentración inicial de Pb (II) desempeña un papel importante en la remoción de dicho metal, ya que, al aumentar la concentración inicial de 400 a 1000 mg/L en las soluciones acuosas de plomo, para una muestra constante de carbón activado de 1 g, se evidencia una disminución en los porcentajes de remoción del CA 1, CA 2 y CA Comercial, los cuales fueron descritos anteriormente, tanto para las soluciones acuosas como para las aguas industriales textiles sintéticas. Lo anterior concuerda con lo obtenido en el trabajo de Sime [12], donde se obtuvo que, para un aumento de la concentración inicial de plomo de 70 a 130 mg/L, los porcentajes de remoción disminuyeron de 97,12 a 94,77 %. De este modo, la reducción del porcentaje de remoción se debe a que, con el incremento de la concentración inicial de plomo (para una cantidad de adsorbente constante) se produce un aumento de la cantidad de iones de plomo adheridos a la superficie del adsorbente, provocando la saturación de este último, ya que el sitio activo no resulta suficiente [12].

Luego, en el estudio realizado por Sánchez [5], se obtuvieron valores de eficiencia de remoción de arsénico desde 7,81 % a 17,19 %, 46,87 % hasta 65,63 % y 70,31 % hasta 75,78 % empleando 50 g de muestras de carbón activado producido a partir de telas con un 25 %, 50 % y 100 % de algodón, respectivamente, obteniendo una mayor eficiencia de remoción a medida que se aumenta el porcentaje de algodón del material precursor del carbón activado. Esto concuerda con lo obtenido en el presente estudio, donde se obtuvo que el CA 2 presentó una mayor eficiencia de remoción que el CA 1, tanto en soluciones acuosas de plomo como en aguas industriales textiles sintéticas, lo que implica una relación positiva entre el porcentaje de remoción de Pb (II) y el porcentaje de algodón presente en el material precursor.

Por otro lado, se puede denotar que los porcentajes de remoción alcanzados para las muestras de aguas industriales textiles sintéticas son inferiores a los alcanzados para las muestras de soluciones acuosas, lo que implica que la eficiencia de remoción disminuye cuando el plomo se encuentra acompañado de otras sustancias (níquel y colorante), las cuales también fueron adsorbidas. En el estudio publicado por Tejada-Tovar [23] se explica que la diferencia obtenida en los porcentajes de remoción de plomo y níquel, en una misma solución, se deben a la rápida saturación de los sitios activos debido a la competencia de los iones por éstos, por lo cual, existe una adsorción competitiva entre dichos metales.

Luego, en cuanto al análisis estadístico, en la Tabla 8 se observan los valores de p obtenidos tras la realización de la prueba de Kruskal - Wallis y la prueba de Dunn:

Tabla 8. Resultados de la Prueba de Kruskal – Wallis y la Prueba de Dunn para el CA 1, CA 2 y CA Comercial en cuanto a los porcentajes de remoción de Pb (II) en soluciones acuosas y aguas industriales textiles sintéticas

Porcentaje de remoción (%)	CA 1	CA 2	CA Comercial	p (K-W)
Soluciones acuosas	C	B	A	0,000
Aguas industriales textiles sintéticas	C	B	A	0,000

Se observa que el valor de p de la Prueba de Kruskal – Wallis para todos los porcentajes de remoción analizados es menor a 0,05, por lo cual, se afirma que existen diferencias estadísticamente significativas entre las distribuciones de las muestras. Luego, en cuanto a la Prueba de Dunn, se aprecia que todos los grupos se identifican con letras diferentes (A, B y C), de modo que los porcentajes de remoción obtenidos para el CA Comercial se identifican con la letra A y son mayores que el resto, mientras que los obtenidos para el CA 1

se identifican con la letra C y son menores que el resto, encontrando diferencias significativas entre todos los porcentajes de remoción para los tres carbones activados estudiados, tanto para las soluciones acuosas como para las aguas industriales textiles sintéticas. Por otro lado, los resultados obtenidos de concentraciones finales de plomo promedio en las muestras control, tanto para las soluciones acuosas como para las aguas industriales textiles sintéticas, se reportan en la Tabla 9.

Tabla 9. Concentraciones finales promedio de las muestras control de soluciones acuosas de plomo y aguas industriales textiles sintéticas

Concentración inicial teórica de Pb (II) (mg/L)	Concentración final promedio de Pb (II) (mg/L)	
	Soluciones acuosas de plomo	Aguas industriales textiles sintéticas
400	403,151±0,879	401,635±1,748
600	599,172±3,457	598,415±2,258
800	804,224±1,754	803,216±3,031
1000	1000,991±2,182	988,476±2,174

Como se pudo observar, no hubo un cambio significativo en las concentraciones de Pb (II) de las soluciones que no fueron tratadas con carbón activado (muestras control). Las leves diferencias obtenidas se encuentran dentro del error experimental permisible. Esto implica que los factores externos no produjeron pérdidas ni incrementos en las concentraciones de plomo sin tratar por carbón activado, lo que implica que la remoción se llevó a cabo únicamente a la acción de los carbones activados.

En las Figuras 3 y 4 se observan las isotermas de adsorción de Pb (II) en soluciones acuosas y aguas industriales textiles sintéticas por acción del CA 1, CA 2 y CA Comercial, siguiendo los modelos de Langmuir y Freundlich, y, en la Tabla 10, sus respectivos valores de correlación.

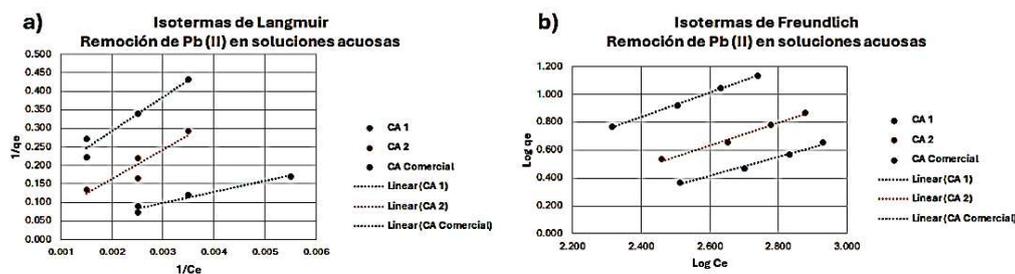


Figura 3. Isotermas de adsorción de Pb (II) siguiendo los modelos de a) Langmuir, y b) Freundlich, en soluciones acuosas por acción del CA 1, CA 2 y CA Comercial.

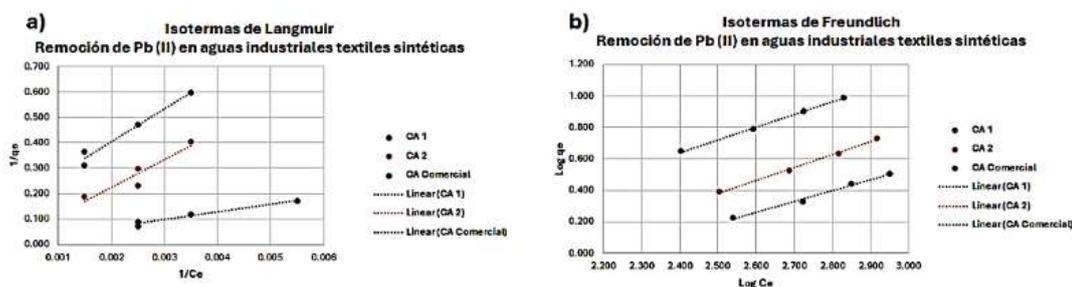


Figura 4. Isotermas de adsorción de Pb (II) siguiendo los modelos de a) Langmuir, y b) Freundlich, en aguas industriales textiles sintéticas por acción del CA 1, CA 2 y CA Comercial.

Tabla 10. Coeficientes de determinación para las isotermas de adsorción de Pb (II) en soluciones acuosas y aguas industriales textiles sintéticas por acción del CA 1, CA 2 y CA Comercial

Coeficiente de determinación (R ²)	Adsorción de Pb (II) en soluciones acuosas			Adsorción de Pb (II) en aguas industriales textiles sintéticas		
	CA 1	CA 2	CA Comercial	CA 1	CA 2	CA Comercial
Modelo de Langmuir	0,9793	0,9825	0,9979	0,9824	0,9947	0,9979
Modelo de Freundlich	0,9885	0,9890	0,9990	0,9909	0,9973	0,9993

Se obtuvieron mayores valores de correlación para las isotermas de Freundlich en la adsorción de Pb (II) tanto en soluciones acuosas como en aguas industriales textiles sintéticas, por acción del CA 1, CA 2 y CA Comercial, en comparación del modelo de Langmuir, lo que implica que la data se ajusta mejor al modelo de Freundlich, indicando que el proceso de adsorción ocurre en multicapas [23]. Luego, en cuanto a las constantes de Freundlich, se obtuvieron valores de n de 1,4524, 1,232 y 1,139, y K resultó en valores de 23,643, 29,971 y 18,694, para el CA 1, CA 2 y CA Comercial en soluciones acuosas, respectivamente, mientras que, en la remoción de plomo en aguas industriales textiles sintéticas, n obtuvo valores de 1,448, 1,230 y 1,241, y K resultó tener valores de 34,332, 44,854 y 19,561, para el CA 1, CA 2 y CA Comercial, respectivamente. Dado que los valores obtenidos de n son mayores a 1, el proceso de adsorción ocurre de manera favorable [25].

Conclusiones

En relación a la obtención de carbón activado a partir de los residuos textiles, se obtuvo un rendimiento de 15,46 % para el CA 1, y de 21,90 % para el CA 2, lo que implica una relación positiva entre la composición de algodón en el material precursor y el rendimiento de carbón activado generado.

Se establecieron los efectos de la composición química de cada tipo de tela por medio de la caracterización de cada carbón activado generado, reportando de esa manera que el CA Comercial presentó un mayor porcentaje de humedad de 23,12 %, debido a su mayor tiempo de almacenamiento, en comparación al CA 2 (11,43 %) y el CA 1 (11,31 %), los cuales se diferencian por la proporción de fibra vegetal en la composición de su material precursor. Se obtuvo un mayor porcentaje de cenizas sobre el CA 1 (43,16 %), seguido del CA 2 (39,90 %), y por último el CA Comercial (34,76 %), lo cual puede deberse a la presencia de impurezas en la composición del material precursor. Por otro lado, el porcentaje de material volátil fue mayoría en el CA 2 (64,62 %), seguido del CA 1 (61,37 %), y por último el CA Comercial (55,42 %), lo cual se debe al tipo de activación y una mayor cantidad de carbono fijo.

El CA 2 registró una mayor densidad aparente de 0,549±0,007 g/mL, a diferencia del CA 1 con 0,284±0,023 g/mL, y del CA Comercial con 0,500±0,005 g/mL. La diferencia de dicho parámetro no se debe a los factores geométricos del tamaño de las partículas, la forma o el grado de compactación, por lo que se le atribuye a la composición de la tela como material precursor. Además, se registraron valores de área superficial de 945,667±70,685, 1290±130,000 y 1570±95,394 m²/g para el CA 1, CA 2 y el CA Comercial respectivamente, lo cual le aportó a este último una mayor eficiencia de remoción.

En la remoción de Pb (II) en aguas industriales textiles sintéticas por acción de cada carbón activado, se obtuvieron porcentajes de remoción para el CA 1 de 13,90 %, 11,82 %, 11,49 % y 10,70 %; 20,46 %, 18,74 %, 18,02 % y 17,82 % para el CA 2; y de 36,91 %, 34,49 %, 33,52 % y 32,50 % para el CA Comercial, con concentraciones iniciales de 400, 600, 800 y 1000 mg/L, de forma respectiva, obteniendo que el CA Comercial presentó las mejores eficiencias de remoción, seguido del CA 2 y, por último, el CA 1. También, se obtuvo que la presencia de níquel y colorante disminuyó la cantidad de plomo (II) adsorbida, ya que se obtuvieron porcentajes de remoción menores que los registrados para las soluciones acuosas. Además, no se reportaron cambios significativos en las concentraciones de las muestras control. De igual modo, se registró que el proceso de adsorción de Pb (II) en soluciones acuosas y en aguas industriales textiles sintéticas por acción del CA 1,

CA 2 y CA Comercial se ajustó mejor al modelo de Freundlich, lo que implica que el proceso de adsorción ocurre en multicapas.

Referencias

- [1] D. C. Aguirre, “Determinación de la capacidad de bioadsorción en la cáscara de naranja para la remoción de cadmio en aguas residuales de dos fábricas de textiles en el cantón Pelileo Provincia de Tungurahua”, Trabajo de fin de grado, ESPOCH., Orellana, Ecuador, 2017 [En Línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7856/1/236T0289.PDF>
- [2] A. P. Huerta, y D. A. Irrazabal, “Análisis de la economía circular aplicada a la industria textil para la fabricación de textiles a partir de residuos textiles pre y post consumo”, Tesis de fin de grado, Univ. Católica San Pablo., Arequipa, Perú, 2020 [En Línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucsp.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/59811e4f-ff53-4e29-b829-c28b6e9ece1e/content>
- [3] F. Colpas, A. Taron, y R. Gonzalez, “Área superficial de carbones activados y modificados obtenidos del recurso agrícola Saccharum officinarum”, *Rev. de CC. Agrícolas*, vol. 34, no. 2, pp. 62-72, 2017 [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.22267/rcia.173402.72>
- [4] G. Vanegas, “Preparación y caracterización de Carbón activado obtenido a partir de residuos textiles de mezclilla”, Tesis de Maestría, Univ. Nacional de Colombia., Bogotá, Colombia, 2021 [En Línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/81024/1033793506.2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [5] S. Sánchez, “Adsorción de Arsénico de efluente textil con carbón activado obtenido a partir de residuos de tela de algodón en la industria textil Corporación Wama S.A.C.”, Tesis de Grado, Univ. César Vallejo., Lima, Perú, 2017 [En Línea]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/21160/S%c3%a1nchez_BSA.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- [6] G. Rodríguez, L. Giraldo, y J. Moreno, “Preparación y caracterización de carbón activado. Influencia del material precursor de algodón”, *Rev. Colombiana de Quim.*, vol. 36, no. 1, pp. 43-53, 2007 [En Línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042007000100004
- [7] E. Baxter, y M. Trelles, “Especificaciones técnicas de las bases textiles que se ofertan en el medio. Manual informativo dirigido a estudiantes, diseñadores y vendedores del ramo”, Trabajo de fin de grado, Univ. del Azuay., Cuenca, Ecuador, 2014. [En Línea]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/3859>
- [8] “Especificaciones Técnicas Franela”. Textil Jadue, (s.f.). [Ficha técnica]. Disponible en: <https://textiljadue.cl/wp-content/uploads/2019/04/Ficha-T%C3%A9cnica-Franela.pdf>
- [9] Productos Químicos Industriales. Carbón activado. Métodos de ensayo. Norma Técnica Colombiana NTC 4467:1998, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, Bogotá, Colombia: 1998. [En Línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/103831105/Azul-de-Metileno>
- [10] Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke, American Society for Testing and Materials, ASTM D3175-20. Pennsylvania, United States, 2020.
- [11] I. Tubert, y V. Talanquer, “Sobre adsorción”, *Rev. Educ. Química*, vol. 8, no. 4, pp. 186-190, 1997 [En Línea]. Disponible en: <https://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/66595>
- [12] T. Sime, “Investigation of activated carbon as adsorbent for paint industry wastewater treatment”, Tesis de Maestría, Addis Ababa Science and Technology University., Adís Abeba, Etiopía, 2018 [En Línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/72666889/Investigation_of_Activated_Carbon_as_Adsorbent_for_Paint_Industry_Wastewater_Treatment
- [13] M. Montenegro, “Evaluación del proceso de adsorción en tres tipos de carbón activado granular para una fuente de agua superficial”, Trabajo de fin de grado, Univ. de los Andes., Bogotá, Colombia, 2017 [En

Línea]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/2c3e7669-7a5b-473a-896f-0a6781edfdca/content>

[14] J. Febres, y D. Montes, “Aplicación de tecnología de electrocoagulación para remoción de metales pesados: níquel, cobalto, cromo hexavalente y DQO en efluente eoca, K textil”, Tesis de fin de grado, Univ. de Guayaquil., Guayaquil, Ecuador, 2021

[15] Y. Ramírez, y L. Valero, “Combinación de ozono y nano partículas magnéticas verdes para la degradación de azul de metileno en agua residual sintética textil”, Trabajo de fin grado, Univ. Católica de Colombia., Bogotá, Colombia, 2021 [En Línea]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/b423ef00-ae74-43d6-a8a8-8024bed2b479/content>

[16] B. Carrasco, y E. Londa, “Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de coco “Cocos nucifera L”, Trabajo de fin de grado, Univ. de Cuenca., Cuenca, Ecuador, 2018 [En Línea]. Disponible en: <https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/63ec02b1-df3e-47ae-98fa-814220181b80/content>

[17] L. Fernández, “Síntesis de pellets de carbón activado a partir de carbón mineral del Cerrejón”, Tesis de maestría. Univ. Nacional de Colombia., Bogotá, Colombia, 2015 [En Línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/54724/1032417226.2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[18] F. Arévalo, y K. Reátegui, “Calidad y rendimiento del carbón activado de la cáscara del fruto de calabaza (*Cucurbitaficifolia*) obtenido por método químico”, *Revista Forestal del Perú*, vol. 35, no. 1, pp. 21-30, 2020 [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.21704/rfp.v35i1.1473>

[19] D. Acevedo, “Pruebas de adsorción y regeneración química de carbón activado granular de madera y de cáscara de coco para el tratamiento de agua residual de la industria del teñido textil”, Tesis de Maestría, Univ. Autónoma Metropolitana., Ciudad de México, México, 2018 [En Línea]. Disponible en: <https://zaloamati.azc.uam.mx/server/api/core/bitstreams/b0dfd2ab-5ace-4d8c-be64-6520f4665d2c/content>

[20] A. Ramírez, S. Giraldo, E. Flórez, y N. Acelas, “Preparación de carbón activado a partir de residuos de palma de aceite y su aplicación para la remoción de colorantes”, *Revista Colombiana de Química*, vol. 46, no. 1, pp. 33-41, 2017 [En Línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/66276/62851-322040-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[21] G. Quintana, J. Velásquez, C. Gómez, y Y. Echavarría, “Adsorción de Ni (II) en carbón activado de cascara de café”, *Revista Investigaciones Aplicadas*, no. 3, pp. 01-06, 2008 [En Línea]. Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/7188/ADSORCI%c3%93N%20DE%20NI%28II%29%20EN%20CARB%c3%93N%20ACTIVADO%20DE%20CASCARILLA%20DE%20CAF%c3%89.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[22] V. Acuña, “Determinación espectrofotométrica de plomo (II) con ditizona en solución micelaraniónica”, Tesis de fin de grado, Univ. Nacional Mayor de San Marcos., Lima, Perú, 2012 [En Línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/323344309.pdf>

[23] C. Tejada-Tovar, J. Gallo-Mercado, J. Moscote, A. Villabona, y D. Acevedo-Correa, “Adsorción competitiva de plomo y níquel sobre cáscara de ñame y bagazo de palma en sistema continuo”, *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 16, no. 1, pp. 52–61, 2018 [En Línea]. Disponible en: <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/bioteologia/article/view/1145>

[24] F. Delgado, “Determinación de isothermas de adsorción, capacidad y la cinética de adsorción de la pepa de aceituna, en la adsorción de As”, Tesis de doctoral, Univ. Nacional Mayor de San Agustín de Arequipa., Arequipa, Perú, 2021 [En Línea]. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/52b1ba2a-4981-4021-9bb5-091bb1886d8c/content>

[25] M. Chiban, G. Carja, G. Lehtu, y F. Sinan, "Equilibrium and thermodynamic studies for the removal of As (V) ions from aqueous solution using dried plants as adsorbents". *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 9, supl. 2, pp. 988-999, 2016 [En Línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535211002632>

Desarrollo de una aplicación móvil para publicitar tiendas de centros comerciales

Development of a mobile application to advertise mall stores

Jesús D. Ortega-Briceño

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Computación. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0003-7856-0569> | Correo electrónico: jesudaniolob@gmail.com

Diego A. Rincón-Ferrer

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Computación. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0003-7071-9782> | Correo electrónico: diegorinconf1@gmail.com

Jubert J. Pérez-Zabala

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Computación. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0003-8615-9927> | Correo electrónico: jubert.perez.10233@uru.edu

Recibido: 17-04-2024 Admitido: 24-04-2024 Aceptado: 30-05-2024

Resumen

El trabajo de investigación tuvo como objetivo desarrollar una aplicación móvil para publicitar tiendas de centros comerciales. Esta aplicación se desarrolló para promover una herramienta de marketing digital que ayude a las tiendas y los consumidores. La aplicación fue desarrollada usando el framework React Native. El servidor HTTP, usado para procesar la información de la aplicación, fue desarrollado con Node.js. Por otra parte, la base de datos utilizada para el almacenamiento de la información fue creada con MongoDB. La investigación fue de tipo descriptiva proyectiva y de diseño documental no experimental con componente exploratorio. El desarrollo de la aplicación se realizó siguiendo la metodología de desarrollo en cascada, estando la misma dividida en cinco fases distintas. Con la ejecución de todas las fases de la metodología se consiguió crear una aplicación funcional, que es una herramienta útil, tanto para las tiendas, como para los consumidores.

Palabras clave: Aplicación móvil, React Native, Node.js, MongoDB, tiendas, centros comerciales, publicidad, marketing digital

Abstract

The objective of this research was the development of a mobile application to advertise shopping center stores. This application was developed to promote a new digital marketing tool that helps stores and consumers. This application was developed using the framework React Native. The HTTP server, used to process application data, was developed with Node.js. While the database used to store the information was created with MongoDB. The research was descriptive and projective, with a non-experimental documentary design and exploratory component. The development of the application was carried out following the waterfall model methodology, being divided into five different phases. With the execution of all phases of the methodology, it was possible to create a functional application, which is a useful tool, both for stores and for consumers.

Keywords: Mobile application, React Native, Node.js, MongoDB, stores, shopping mall, advertising, digital marketing

Introducción

Los avances tecnológicos de la última década han cambiado por completo la forma en la que las personas interactúan entre sí, cada vez las tecnologías de información y comunicación se encuentran más presentes en la sociedad y en la vida cotidiana de las personas. Una de las tecnologías más importantes de la actualidad son los teléfonos inteligentes, al contar estos equipos con aplicaciones que han digitalizado muchos procesos y actividades que previamente tenían que realizarse de forma presencial.

En este mundo cada vez más digital, donde los consumidores están constantemente saturados con información, las tiendas de los centros comerciales se enfrentan al reto de encontrar nuevas estrategias para atraer clientes. En este contexto, las aplicaciones móviles se presentan como una herramienta útil para la promoción de productos, permitiendo a las tiendas comunicarse con los potenciales consumidores de una forma más efectiva. Asimismo, las aplicaciones móviles se caracterizan por poder usarse desde cualquier ubicación, en la mayoría de los casos sólo requiriendo conexión a Internet, lo cual permite a los usuarios adquirir información o realizar acciones desde la comodidad de sus hogares.

Según Quintero y Andrade [1] una aplicación móvil, comúnmente referida como app, se describe como un programa informático creado para operar en dispositivos móviles con el propósito de realizar diversas funciones, ya sea en ámbitos educativos, profesionales, de entretenimiento, salud, entre otros.

Por otro lado, Lavandeira [2] explica que la publicidad es un proceso comunicativo público. Este proceso incluye un emisor, un receptor y un mensaje, entre otros elementos. La función de la publicidad es captar la atención de potenciales clientes o seguidores para persuadirlos a apoyar los productos o servicios ofrecidos por el anunciante. Además, la publicidad digital se refiere a los anuncios que aparecen en internet. Según el mencionado autor, la publicidad digital se destaca por ser más sencilla, interactiva, económica y con un mayor alcance que otros tipos de publicidad.

La publicidad digital es una manera alterna de llegar a los consumidores y es efectiva en la medida del impacto que genere en el público objetivo. Este modelo de negocio no genera publicidad masiva sino inteligente, direccionada hacia consumidores con mayor porcentaje de adaptación, según sus propios gustos, perfil, aspectos psicológicos, demográficos, entre otros [3].

González Pino [3] en su trabajo sobre: “Modelo de negocio para una aplicación interactiva móvil de publicidad de locales comerciales en centros comerciales de la ciudad de Medellín” obtuvieron un modelo de negocio construido de acuerdo a la metodología Lean Startup de Eric Ries y con ayuda del lienzo Canvas de Alex Osterwalder, en el que se analiza el segmento de clientes, la propuesta de valor por entregar a usuarios, la monetización del negocio, los recursos necesarios para su consecución, las alianzas clave, y demás ítems, que se vio plasmada en una aplicación móvil de publicidad digital que integra las características del modelo de negocio realizado [3].

Por otro lado, Oliva Velásquez [4] en su trabajo: “Diseño e implementación de un sistema de notificación de ofertas comerciales en tiempo real vía un aplicativo móvil aplicado en las campañas publicitarias de los centros comerciales de la región Lambayeque”, desarrolló un aplicativo móvil basado en el aumento del uso de celulares 3G y dispositivos portátiles como laptops, tablets, entre otros, que incorporan tecnología Wifi y sistemas operativos que permiten el desarrollo de aplicativos como el caso concreto de Android, en el que se puso a prueba el sistema en un centro comercial de la región, obteniendo resultados positivos [4].

El presente trabajo de investigación se basa en el desarrollo de una aplicación móvil con React Native para la promoción de productos en tiendas de centros comerciales. La aplicación se enfoca en ofrecer una experiencia alternativa y satisfactoria a los consumidores, en lo referente a la recepción de información y ofertas de las tiendas desde sus dispositivos móviles. Asimismo, la aplicación ofrece a las tiendas de centros comerciales una plataforma eficaz para aumentar su visibilidad, promocionar sus productos y fidelizar a sus clientes.

Metodología

Este trabajo de investigación se enmarcó en un tipo de investigación descriptiva-proyectiva. La parte descriptiva de la investigación se evidenció en el análisis detallado del proceso de desarrollo de la aplicación, buscando comprender su naturaleza y comportamiento, de acuerdo a los requerimientos previstos. Por otro lado, la naturaleza proyectiva del estudio radicó en la intención de resolver una problemática específica, es decir, la necesidad de una herramienta que promueva las tiendas en centros comerciales. Aunque no se implementó la solución en un contexto real ni se evaluó su efectividad, el trabajo implicó un proceso de diseño basado en una investigación profunda.

El diseño del estudio se basó en un enfoque documental no experimental con componente exploratorio, donde la investigación se centró en la comprensión y descripción de fenómenos existentes sin manipular variables, adaptando tecnologías y procesos a través del diseño de la aplicación. En este orden de ideas, se empleó un diseño documental, al realizar una amplia búsqueda, análisis e interpretación de datos provenientes de fuentes documentales, como estudios previos, información técnica sobre las tecnologías utilizadas y otras fuentes relevantes. A su vez, el componente exploratorio provino de la necesidad de recolectar algunos datos primarios para obtener los requerimientos necesarios en el desarrollo del proyecto.

Según Fowler [5], la población es un conjunto de elementos que poseen información relevante para el estudio. Para el presente trabajo se definen dos poblaciones. La primera, formada por dueños o gerentes de tiendas de centros comerciales ubicados en la ciudad de Maracaibo. La segunda, constituida por usuarios consumidores de entre 18 y 30 años que frecuentan centros comerciales en la ciudad de Maracaibo.

En cuanto a la muestra, esta se define como un subconjunto de la población que se selecciona para representar a toda la población [6]. De esta manera, se tuvo como muestra de la investigación dos grupos. El primero, constituido por veinte (20) dueños o gerentes de tiendas de centros comerciales, y el segundo, representado por veinte (20) usuarios consumidores de entre 18 y 30 años que frecuentan centros comerciales.

Para el desarrollo de la aplicación móvil, la técnica de recopilación de información principal fue la observación documental, la cual está definida por Hurtado [7, Pág.427] como “una técnica en la cual se recurre a información escrita, ya sea bajo la forma de datos que pueden haber sido producto de mediciones hechas por otros, o como textos que en sí mismos constituyen los eventos de estudio.”.

Además de la observación documental, también se utilizaron encuestas como técnica de recolección de datos. Según Dillman *et al.*, [8], las encuestas pueden ser de preguntas cerradas, donde los encuestados eligen una respuesta de un conjunto predefinido de opciones o de preguntas abiertas, donde los encuestados pueden responder libremente. En el transcurso de la investigación se hicieron encuestas a las muestras definidas, con el fin de obtener datos sobre los requerimientos funcionales de la aplicación o para realizar pruebas de aceptación.

La presente investigación toma como base metodológica de desarrollo al “modelo cascada” o “metodología cascada” para lograr el cumplimiento del objetivo general. La característica principal del modelo es su enfoque secuencial para el desarrollo de software, consistiendo de una serie de fases ordenadas de manera lineal. Cada fase debe completarse y producir entregables que sirvan como cimientos antes de pasar a la siguiente. Las fases de modelo cascada, adaptadas en base a los objetivos y alcance de la investigación, se componen de requerimientos, diseño, desarrollo, pruebas y despliegue de demostración.

Resultados

En esta sección se detalla el proceso de desarrollo de la aplicación móvil, apreciando la forma cómo se ejecutaron cada una de las cinco fases de la metodología de desarrollo en cascada, las cuales llevaron al cumplimiento del objetivo de la investigación.

Fase 1. Requerimientos de la aplicación móvil para publicitar tiendas de centros comerciales

La aplicación desarrollada en la presente investigación debe estar diseñada para poder servir tanto a clientes, como a tiendas de centros comerciales, facilitando la comunicación e interacción entre ambos.

Se buscó ayudar a las tiendas a ofrecer sus productos, al permitir publicar información importante de los mismos, así como promociones que podrían ser de interés a los consumidores. De esta forma, los usuarios podrán visualizar desde sus casas el contenido publicado por las tiendas y, en caso de que haya algún producto que satisfaga sus necesidades y les interese, podrían dirigirse a la tienda en el centro comercial para comprarlo.

Asimismo, la presente aplicación debe permitir a los usuarios realizar acciones como enviar mensajes o reseñas a una tienda o sus productos, con la finalidad de que las tiendas tengan un centro de retroalimentación para su constante mejora. De manera similar, los usuarios deben poder marcar su interés por productos o tiendas para ser informados sobre cualquier actualización a los productos o promociones, o también para visualizar la información de sus tiendas preferidas de forma sencilla.

En el aspecto de distribución de la aplicación, se busca un sistema genérico, que pueda ser adoptado por cualquier centro comercial interesado con solo hacer cambios mínimos de personalización, según las peticiones del mismo centro comercial para seguir su marca.

Con el fin de recolectar la información necesaria mediante la cual determinar los requerimientos funcionales, se realizaron dos encuestas, una para tiendas y otras para usuarios. A partir de las respuestas se pudo determinar una serie de requerimientos funcionales para definir el alcance que debe tener la aplicación móvil.

Fase 2. Diseño de la arquitectura de la aplicación móvil según los requerimientos de las tiendas de centros comerciales.

Para el diseño de la arquitectura de la aplicación se realizó un análisis de las distintas tecnologías y arquitecturas que podrían ser utilizadas para el desarrollo de la aplicación, tomando en cuenta los requerimientos definidos, con el fin de realizar los diagramas y prototipos necesarios para el desarrollo del sistema (Figuras 1 y 2)

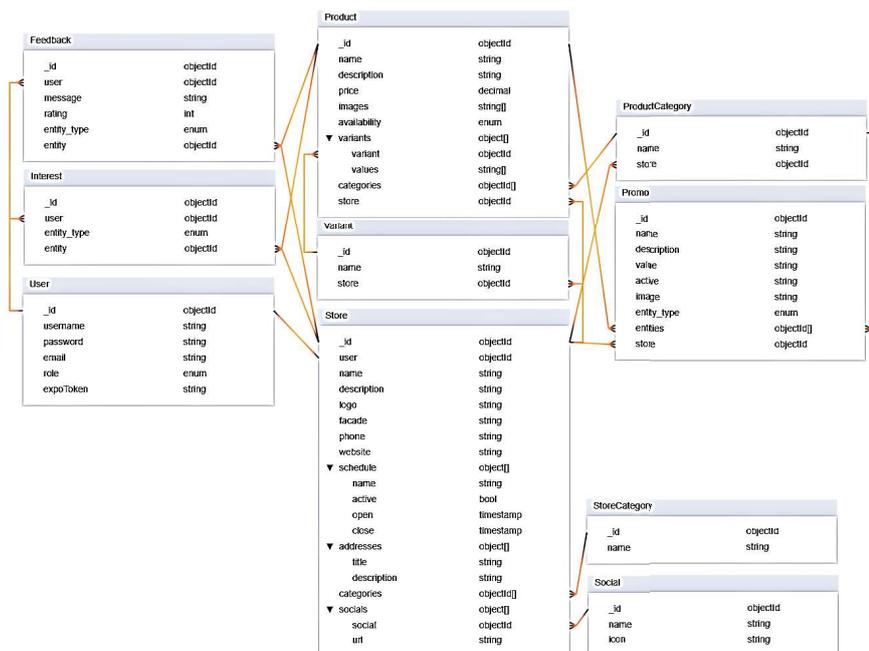


Figura 1. Diagrama entidad relación de la base de datos.

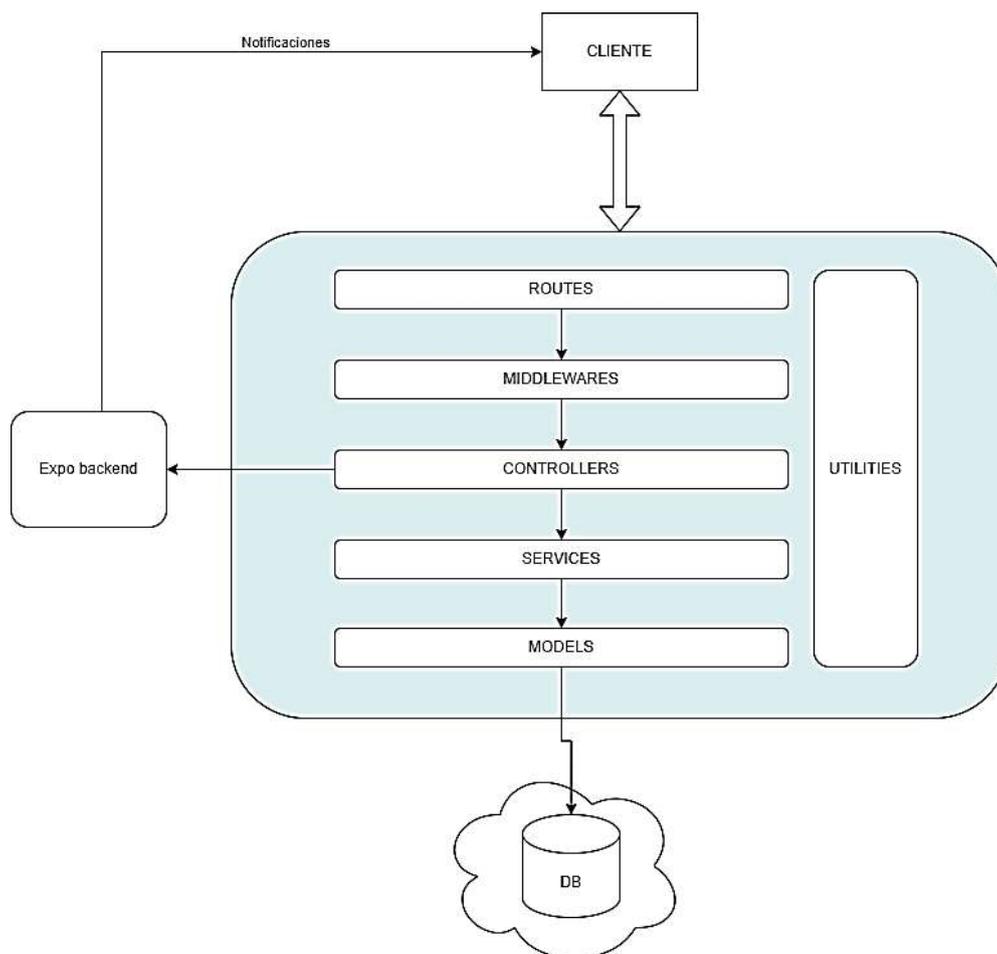


Figura 2. Arquitectura del servidor de la aplicación.

Estructura de la API del servidor

El servidor está configurado con una estructura de rutas organizada para facilitar la navegación y comprensión de las funcionalidades disponibles. Las rutas se agrupan en secciones lógicas que representan diferentes entidades dentro del sistema. Estas rutas se dividen de acuerdo a la entidad principal que es manejada por la ruta o la función que esta cumple, teniendo así rutas de autenticación (auth), usuarios (users), tiendas (stores), productos (products) o promociones (promos).

Asimismo, cada ruta del servidor posee una permisología con los roles que tienen acceso a las misma, el método HTTP (GET, POST, PUT, DELETE) de la ruta y el endpoint al que se le hace la llamada. Cada ruta debe cumplir uno o varios requerimientos funcionales.

Diagramas de caso de uso de la aplicación

Los casos de uso, introducidos por Ivar Jacobson en 1987 [9], son una técnica fundamental, incorporada a UML, usada para capturar los requisitos funcionales de un sistema. Se basan en la idea de describir cómo los usuarios, o “actores”, interactúan con el sistema para lograr sus objetivos específicos.

Estos casos de uso se realizaron tomando en cuenta todas las funcionalidades que los usuarios, ya sean consumidores, tiendas o administradores. La Figura 3 representa un diagrama que describe el caso de uso de gestionar las promociones, siendo el actor que ejecuta la acción las tiendas del centro comercial.

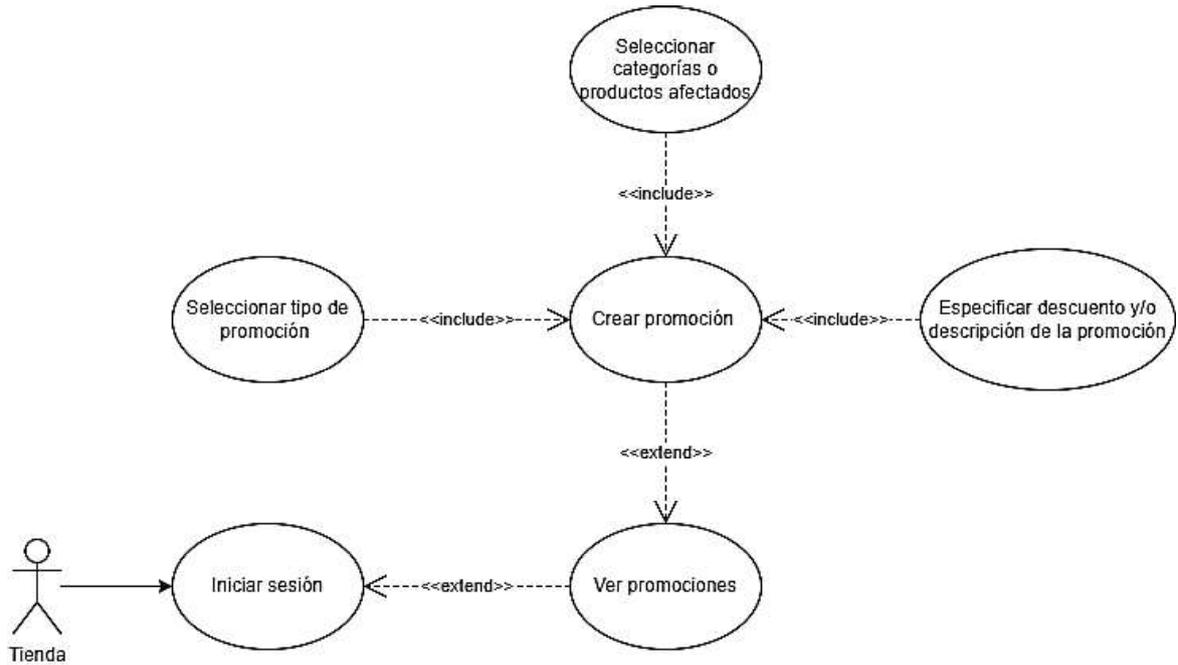


Figura 3. Caso de uso de gestionar promociones.

Prototipos de pantallas de la aplicación

Para el desarrollo de los prototipos de las pantallas de la aplicación, se crearon diseños con la plataforma Figma, la cual ofrece herramientas de diseño utilizadas para realizar interfaces gráficas, representando las distintas vistas que serán visualizadas por los usuarios de la aplicación. Los prototipos de las pantallas sirvieron como la base al momento de desarrollar la interfaz de usuario de la aplicación móvil. En la Figura 4 se observa el prototipo para la pantalla de exploración que tiene un usuario consumidor y en la Figura 5 se presenta la arquitectura del cliente de la aplicación.



Figura 4. Prototipo de pantalla de exploración.

La Figura 5 muestra el diagrama de la arquitectura del cliente de la aplicación.

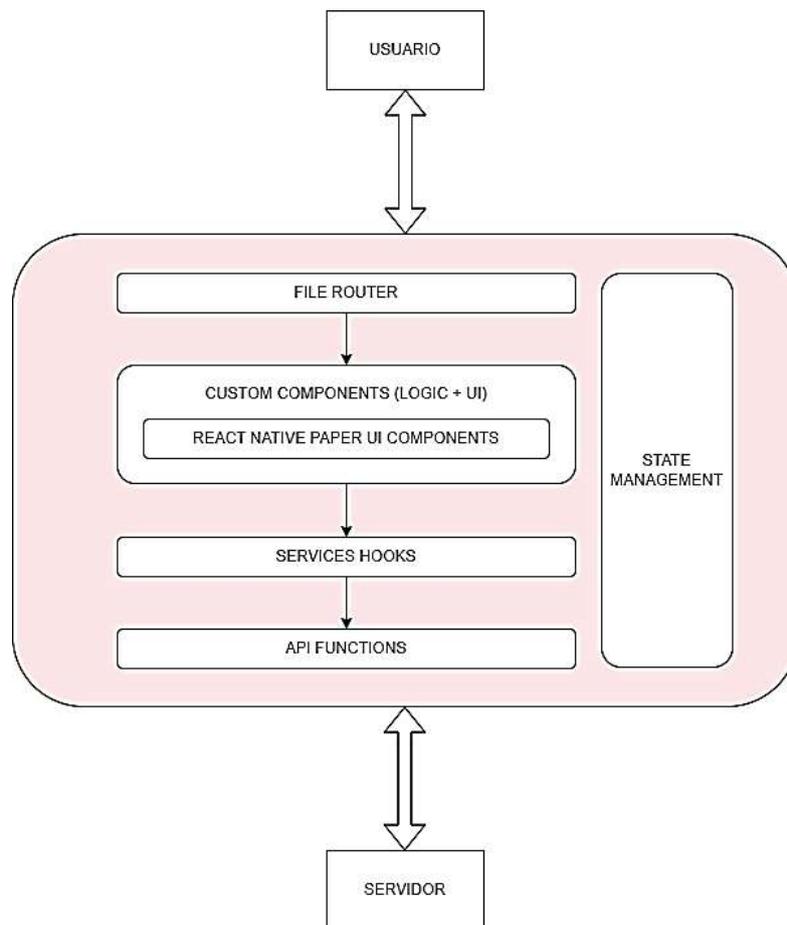


Figura 5. Arquitectura del cliente de la aplicación.

Fase 3. Desarrollo del código de la aplicación móvil para las tiendas de centros comerciales

Para poder manejar el código escrito de manera versionada, se crearon dos repositorios de GitHub, uno para el servidor y otro para la aplicación de React Native. En esta fase se creó una aplicación funcional, lista para la fase de pruebas.

El servidor consiste en distintos archivos que se aseguren de preservar la modularidad del proyecto. Naturalmente, se tiene la carpeta raíz, la cual puede ser apreciada usando el entorno de desarrollo de Visual Studio Code, tal como se visualiza en la Figura 6.

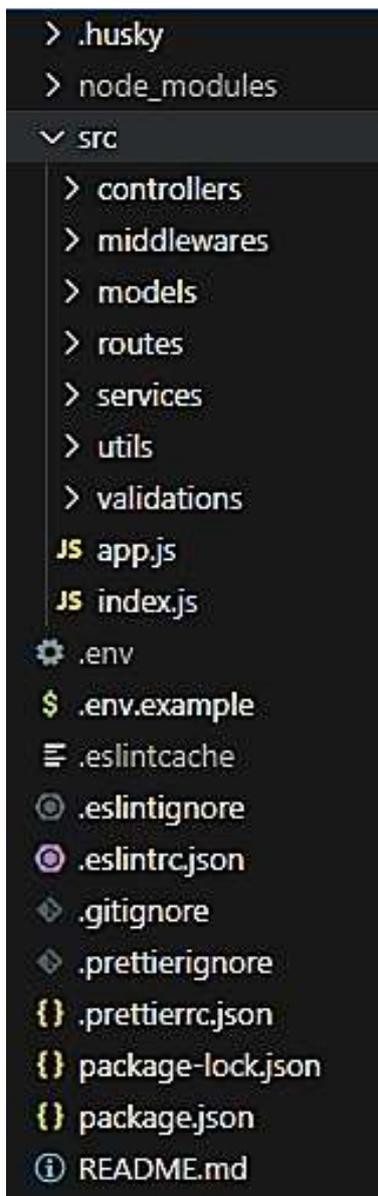


Figura 6. Estructura de las carpetas del servidor.

De esta manera, se encuentran distintos elementos como son:

- **package.json, package-lock.json:** archivos donde se encuentran las distintas dependencias, las configuraciones básicas y los scripts del proyecto.
- **.gitignore:** archivo donde se especifican los elementos que serán ignorados por el controlador de versiones a la hora de registrar un cambio.
- **.eslintrc.json, .eslintignore, .prettierrc.json, .prettierrc.json:** archivos de configuración de Prettier y ESLint, que son extensiones externas que facilitan la implementación de buenas prácticas al redactar el código.
- **src:** carpeta donde se encuentran los recursos de la aplicación, en esta carpeta se encuentra lo siguiente:
 - **controllers:** es la carpeta que contiene los archivos en los que se maneja la lógica de la API.
 - **middlewares:** es la carpeta donde se encuentran los distintos middlewares que serán usados por la aplicación de express durante las llamadas a las rutas.

- **models:** esta carpeta contiene los archivos que definen la estructura de los datos que serán usados por la librería de mongoose para administrar la base de datos de MongoDB.
- **routes:** esta carpeta tiene los archivos con las distintas rutas de la API.
- **services:** es la carpeta donde se encuentran los archivos que manejan las interacciones de la aplicación con la base de datos de mongoDB.
- **utils:** esta carpeta contiene archivos con funciones comunes que se reutilizan en todo el proyecto.
- **validations:** carpeta que contiene las validaciones para los procesos que reciben datos en el cuerpo (body) de la petición HTTP.
- **app.js:** es el archivo donde se realiza la configuración esencial de la aplicación de express.
- **index.js:** es el archivo principal de la API, es el que se encarga de iniciar la conexión a la base de datos de mongoDB y de inicializar la aplicación de Express.js en un puerto configurado en las variables de entorno.

Asimismo, el cliente de la aplicación, de manera similar que el servidor, está dividido en distintas carpetas y archivos para conseguir modularidad en el código, con el objetivo de conseguir una estructura de código mantenible. Desde la raíz del proyecto, se tiene la estructura de carpetas como se ve en la Figura 7.



Figura 7. Estructura de las carpetas del cliente.

De esta estructura, se resaltan los elementos principales que componen la base fundamental del cliente de la aplicación móvil:

- **package.json, package-lock.json:** archivos donde se encuentran las distintas dependencias, las configuraciones básicas y los scripts del proyecto.
- **.gitignore:** archivo donde se especifican los elementos que serán ignorados por el controlador de versiones a la hora de registrar un cambio.
- **.eslintrc.js, .eslintignore, .prettierrc:** archivos de configuración de Prettier y ESLint, que son extensiones externas que facilitan la implementación de buenas prácticas al redactar el código.
- **app.json:** archivo de configuración de la aplicación. En esta configuración se definen elementos como el ícono, pantalla de despliegue y el nombre de la aplicación, siendo este último el que verá el usuario al instalarla.
- **google-services.json:** archivo de configuración para conectarse a los servicios de Google, usados por los servicios de Expo para enviar notificaciones a los dispositivos móviles.
- **src:** carpeta donde se encuentran los recursos de la aplicación, en esta carpeta se encuentra lo siguiente:
 - **app:** es el punto de entrada de la aplicación. Esta carpeta es usada por el enrutador de archivos de Expo Router para definir las rutas y pantallas que serán usadas para navegar a través de la aplicación. Dentro, existen otras carpetas y archivos, donde un archivo representa una ruta y una carpeta su ruta padre. Las carpetas que contengan paréntesis “()” en su nombre, no contarán como rutas de la aplicación, por lo que la estructura `<(auth)/login.jsx>` daría como resultado la ruta `“/login”`, a diferencia de la estructura `<store/reviews.jsx>` que da como resultado `“/store/reviews”`. Dentro de los archivos se encuentra el código de las pantallas de cada ruta. Por otra parte, se encuentran los archivos `<_layout.jsx>`, los cuales definen la navegación de la carpeta de ruta en la que se encuentren.
 - **components:** es la carpeta donde se encuentran los distintos componentes creados con React Native. Estos representan las piezas de código de interfaz de usuario reutilizables a través de toda la aplicación. Están contruidos a partir de componentes propios de React Native y los incluidos en la librería de React Native Paper.
 - **hooks:** en esta carpeta se encuentran las piezas de lógica de negocio reutilizables que hacen uso de los hooks de React. Entre los hooks se encuentra `<useImagePicker.js>`, el cual reutiliza la capacidad de tener acceso a la galería del usuario para obtener imágenes, por ejemplo.
 - **screens:** a pesar de que las pantallas están definidas y escritas dentro de la carpeta `<app>`, es posible que haya que repetir la misma pantalla en una ruta diferente. Para evitar la duplicación de código, la carpeta `<screens>` contiene pantallas como componentes de React. Por ejemplo, se tiene la pantalla para visualizar el detalle de un producto, que puede ser accedida por un usuario o por una tienda.
 - **services:** es la carpeta donde se encuentran encapsulada las peticiones a la API del servidor. Dentro se pueden conseguir dos carpetas, siendo `<api>` donde se contiene las funciones puras de fetch utilizando la librería de Axios para realizar las peticiones HTTP, y hooks donde se contienen funciones creadas con la librería Tanstack Query, que realizan las peticiones y permiten obtener una serie de parámetros con los que se puede acceder a los datos, estados de carga y errores de manera eficiente y reutilizable.
 - **settings:** esta carpeta contiene los archivos de configuración para los datos estáticos y personalizables del centro comercial, como puede ser el nombre, el logo o el tema de la aplicación. Asimismo, se tiene un archivo de configuración de Firebase, utilizado para guardar las imágenes que se suban a la aplicación.

- **stores:** contiene archivos de configuración para almacenamiento de estado global, haciendo uso de la librería Zustand. De esta manera, se puede acceder a datos y enviarlos entre componentes de la aplicación en tiempo de ejecución de manera eficiente y mantenible.
- **utils:** esta carpeta contiene archivos con funciones comunes que se reutilizan en todo el proyecto.

Pantallas de la aplicación

Las pantallas de la aplicación representan el punto final del desarrollo de la interfaz de usuario del proyecto. Estas utilizan los componentes construidos y aplican la lógica necesaria para cumplir con los requerimientos funcionales. En la Figura 8 se muestra la pantalla de exploración luego de haber finalizado la fase de desarrollo de código, es decir, es la interfaz de usuario final.

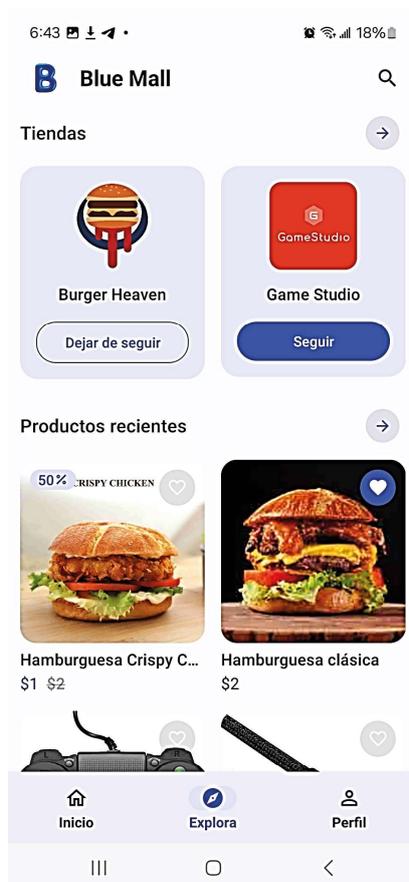


Figura 8. Pantalla de exploración.

Fase 4. Pruebas de software a la aplicación móvil para las tiendas de centros comerciales.

Una vez realizada la aplicación móvil y el servidor, se realizó una serie de pruebas con el objetivo de garantizar que la aplicación cumpla todos los requerimientos del sistema. Se practicaron pruebas de integración que se encargaron de verificar que todos los elementos que componen el sistema funcionan correctamente al probarlos en grupo y por lo tanto se encuentran bien integrados. Asimismo, con el fin de probar los tiempos de respuesta y el porcentaje de peticiones realizadas de manera exitosa ante una carga elevada, se usó la herramienta de Apache JMeter, la cual permite simular peticiones paralelas a través de hilos. Mediante estas pruebas se pudo comprobar que no hubo ningún error en las peticiones, por lo que el servicio es confiable en la entrega de datos.

Finalmente, se realizaron pruebas de aceptación. Según Zap [10], las pruebas de aceptación “son el último paso del proceso de desarrollo de software. En esta fase del proceso, se compila un producto finalizado

y se envía a una serie de usuarios del mundo real para que den su opinión”. Según lo mencionado, es importante realizar esta prueba para saber que el producto es usable y tiene una buena experiencia de usuario.

Para el caso de la aplicación móvil desarrollada en este trabajo, se seleccionó a un grupo de veinte (20) personas pertenecientes a la muestra de usuarios consumidores y se realizó una encuesta de escala Likert, la cual contiene diez (10) preguntas que los usuarios deben responder, lo cual permitió saber que la aplicación es completamente funcional, aunque es posible realizar mejoras, específicamente en los aspectos referentes al diseño y el rendimiento de la aplicación.

Fase 5. Demostración de la aplicación móvil para publicitar tiendas de centros comerciales

Una vez realizadas las pruebas de software pertinentes para confirmar que la aplicación funcione de forma correcta y eficiente, es necesario realizar un despliegue del servidor y de la aplicación móvil, de forma que cualquier persona con la APK y conexión a internet pueda utilizarla en su propio dispositivo. Para propósitos de este proyecto, se realizó un despliegue haciendo uso de servicios gratuitos de internet como Render y Expo Application Services (EAS).

En la Figura 9 se muestra un diagrama de despliegue de la aplicación de demostración. En este diagrama el cliente se comunica con el servidor en Render a través del APK de la aplicación. El servidor se comunica con la base de datos en MongoDB para obtener cualquier dato necesario de una petición. A su vez, el servidor se comunica con el servidor de Expo para solicitar el envío de notificaciones a los clientes cuando se amerite.

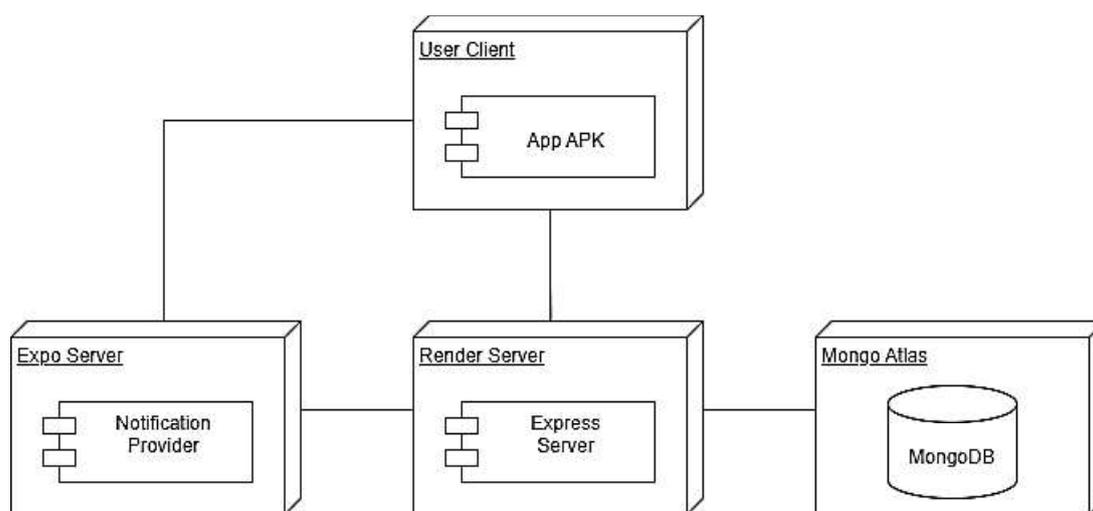


Figura 9. Diagrama de despliegue de la demostración.

Para el servidor de Express, se realizó el despliegue en la plataforma en línea conocida como Render. Esta plataforma fue elegida debido a su facilidad para realizar despliegues de servidores hechos en Node.js de forma gratuita. Simplemente fue necesario iniciar sesión, ya sea con GitHub, GitLab, Google o una cuenta propia de Render, seleccionar el repositorio para crear un servicio web y realizar las configuraciones básicas del despliegue, como los comandos de construcción, inicio o las variables de entorno.

El ejecutable de la aplicación es la pieza y objetivo final del proyecto, pues representa la culminación de todas las fases de la metodología de desarrollo propuestas. Para los propósitos de esta demostración, se utilizaron los servicios de aplicación de Expo para construir un ejecutable de tipo APK (Android). Para crear el ejecutable fue necesario configurar el archivo eas.json, iniciar sesión en EAS (usando el paquete de interfaz de línea de comandos (cli) de EAS), hacer que el proyecto sea compatible con EAS, prepara el proyecto para la construcción y construir el APK. A partir del APK, se puede instalar la aplicación en cualquier dispositivo Android compatible.

Conclusiones

El desarrollo de esta investigación surge ante la necesidad de una herramienta de marketing digital especializada para las tiendas de centros comerciales, por lo que se dio inicio a un proyecto que busca crear un software que permita a las tiendas y sus clientes tener un medio centralizado para acceder y distribuir su información de catálogo de manera sencilla, mejorando la publicidad de las tiendas y la experiencia del cliente.

Se realizó una recopilación de datos mediante el uso de encuestas y entrevistas no estructuradas, siendo estos datos utilizados en un análisis para identificar las necesidades de las tiendas y los clientes, a partir de las cuales se logró determinar los requerimientos de la aplicación móvil para publicitar tiendas de centros comerciales. Tomando en cuenta los anteriores requerimientos que debe satisfacer el software, se pudo crear una serie de diagramas, modelos y prototipos, los cuales representan el diseño de la arquitectura de la aplicación móvil.

La arquitectura diseñada se implementó correctamente durante la creación de la base de datos de MongoDB y el desarrollo de los repositorios del servidor y de la aplicación móvil, siendo la arquitectura la base a partir la cual se consiguió desarrollar el código de la aplicación móvil para publicitar tiendas de centros comerciales.

Con la finalidad de comprobar la calidad del software desarrollado, se realizaron pruebas de software a la aplicación móvil, lo cual fue de suma importancia para evaluar el rendimiento, la calidad y la efectividad del software, confirmando que la aplicación móvil desarrollada cumple todos los requerimientos definidos y que su uso está justificado. Las pruebas realizadas fueron de integración, rendimiento y aceptación.

Una vez finalizado el desarrollo y las pruebas de software, se consiguió desplegar una aplicación móvil demostrativa para publicitar tiendas de centros comerciales. Para el despliegue se hizo uso de una base de datos de MongoDB en su servicio de Mongo Atlas, un servidor de Express en Node.js en los servicios en la nube de Render y la creación del APK de la aplicación móvil totalmente funcional con los servicios de aplicación de Expo, afirmando de esta manera que el proyecto logró alcanzar exitosamente el objetivo de desarrollar una aplicación para publicitar tiendas de centros comerciales.

Sin embargo, como cualquier software, esta aplicación móvil tiene la capacidad de seguir desarrollándose, para convertirse en un mejor producto. Se podrían hacer mejoras en los aspectos señalados por los usuarios en las pruebas de aceptación realizadas. De igual manera, se podría encuestar y tratar de recolectar más información con la finalidad de agregar funcionalidades como módulos o servicios de compra en línea, envíos a domicilio, realizar reservaciones o encargos en línea, así como buscar más oportunidades de generar interacción con el centro comercial que esté interesado en la aplicación.

Referencias

[1] J. Quintero, y L.Andrade “Desarrollo de Solución Tecnológica para Centros Comerciales con Geolocalización como Funcionalidad Base”. Trabajo de fin de grado, Univ. Central de Venezuela. Caracas, Venezuela, 2017.

[2] S.Lavandeira, “Publicidad digital”. Humanidades Digitales: desafíos, logros y perspectivas de futuro. *Janus*, Anexo. 1, 257-262, 2014.

[3] P. González, y R. David, “Modelo de negocio para una aplicación interactiva móvil de publicidad de locales comerciales en centros comerciales de la ciudad de Medellín”. Tesis de Maestría. Univ. EAFIT. Medellín, Colombia, 2015.

[4] J.L. Oliva Velásquez, “Diseño e implementación de un sistema de notificación de ofertas comerciales en tiempo real vía un aplicativo móvil aplicado en las campañas publicitarias de los centros comerciales de la región Lambayeque”. Trabajo de fin de grado. Univ. Señor de Sipam, Pimentel. Lambayeque, Perú, 2014

[5] F.J. Fowler, *Survey research methods*. 4th edition. SAGE Publications, Inc., 2009.

[6] E. R. Babbie, *The practice of social research*. 12th edition. Wadsworth, Cengage Learning, 2010.

[7] J. Hurtado, *Metodología de la investigación Holística*. Caracas. SYPAL, 2000.

[8] D.A.Dillman, J. D. Smyth, & L. M. Christian, *Internet, phone, mail, and mixed-mode surveys: the tailored design method*. 4th edition. John Wiley & Sons, 2014.

[9] I.Jacobson, I. Spence, K.Bittner, *Casos de uso 2.0. La guía para ser exitoso con los casos de uso*. Ivar Jacobson International, 2013.

[10] A. Zap “Pruebas UAT – ¡Una inmersión profunda en el significado de aceptación del usuario, tipos, procesos, enfoques, herramientas y más!”. Zaptest, 2024. [En Línea]. Disponible en: <https://www.zaptest.com/es/pruebas-uat-una-inmersion-profunda-en-el-significado-de-aceptacion-del-usuario-tipos-procesos-enfoques-herramientas-y-mas>

Calidad composicional de leche de vacas doble propósito en el municipio La Cañada de Urdaneta, estado Zulia

Compositional quality of milk from dual-purpose cows in the municipality of La Cañada de Urdaneta, Zulia state

Luis R. Bohórquez-Pirela

 <https://orcid.org/0009-0000-4468-5011> | Correo electrónico: luisbohorquez2109@gmail.com

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Ingeniería de Producción Animal, Maracaibo-Venezuela.

Pedro J. Urdaneta-Mill

 <https://orcid.org/0009-0002-3378-2515> | Correo electrónico: pedrourdaneta26@gmail.com

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Ingeniería de Producción Animal, Maracaibo-Venezuela.

Laura Soto-Arrieta

 <https://orcid.org/0000-0002-4250-5088> | Correo electrónico: laurasotoarrieta@gmail.com

Universidad del Zulia, Facultad Experimental de Ciencias, Departamento de Química, Maracaibo, Venezuela.

Alexandra L. Vera-Bonilla

 <https://orcid.org/0000-0002-0879-2765> | Correo electrónico: avera@fa.luz.edu.ve

Universidad del Zulia, Facultad de Agronomía, Departamento de Química, Maracaibo, Venezuela.

Recibido: 09-01-2024 Admitido: 30-01-2024 Aceptado: 27-03-2024

Resumen

Con el objetivo de analizar la calidad composicional de la leche de vacas doble propósito en el municipio La Cañada de Urdaneta, se realizó una investigación de tipo descriptiva, analítica y comparativa. La población la constituyeron vacas seleccionadas en función del nivel de mestizaje del animal: Mosaico Perijanero x Criollo Limonero, Mosaico Perijanero x Gyr y Mosaico Perijanero. Se tomaron seis muestras de cada estrato para un total de dieciocho (18) muestras, sin repeticiones a lo largo del tiempo. El análisis de los resultados en laboratorio permitió concluir que la calidad sanitaria de leche de los diferentes mestizajes estuvo dentro de los rangos permitidos por la Norma COVENIN 903-22, los valores de calidad composicional se encontraron superiores a los valores mínimos establecidos por la misma norma. La mayor producción en kilogramos de leche la obtuvo el grupo Mosaico Perijanero, mientras que la menor reportada fue para animales mestizados con Criollo Limonero. Los animales Mosaico Perijanero x Criollo Limonero presentaron mayores proporciones de grasa, proteínas, sólidos totales, sólidos no grasos y cenizas en leche.

Palabras clave: Calidad composicional, mestizaje, producción de leche, doble propósito.

Abstract

In order to analyze the compositional quality of milk from dual-purpose cows in the municipality of Cañada de Urdaneta, a descriptive, analytical and comparative research was carried out. The population consisted of cows selected according to the level of interbreeding of the animal: Mosaico Perijanero x Criollo Limonero, Mosaico Perijanero x Gyr and Mosaico Perijanero. Six samples were taken from each stratum for a total of eighteen (18) samples, with no repetitions over time. The analysis of the results in the laboratory allowed us to conclude that the sanitary quality of the milk of the different crossbreeds was within the ranges allowed by the Covenin 903-22 Standard, the compositional quality values were found to be higher than the minimum values established by the same standard. The highest production in kg of milk was obtained by the Mosaico Perijanero group, while the lowest reported was for animals mixed with

Criollo Limonero. The Mosaico Perijanero x Criollo Limonero animals presented higher proportions of fat, proteins, total solids, non-fatty solids and ash in milk.

Keywords: *Compositional quality, crossbreeding, milk production, dual purpose.*

Introducción

Desde hace muchos años en la ganadería zuliana doble propósito se han generado mestizajes rotacionales y en algunos casos sin registros, entre razas criollas, europeas y cebuínas, buscando así adaptabilidad y rendimientos productivos lecheros deseables de las razas europeas, así como rendimientos cárnicos aceptables. Estos animales llamados Mosaico Perijanero son de gran importancia en la producción nacional y regional en materia de adaptabilidad y productividad, ellos proporcionan aproximadamente el 40% del rebaño bovino nacional y 70% de la producción nacional de leche. El sistema ganadero doble propósito genera uno de los mayores aportes de leche y carne en América tropical y en Venezuela, representando aproximadamente el 90% de la leche y el 50% de la carne [1].

Actualmente en la zona de la Cañada de Urdaneta, estado Zulia, Venezuela, son muy utilizados cruces entre ejemplares Mosaico Perijanero con animales criollos, como el Criollo Limonero, o con animales de razas cebuínas de aptitud lechera, como la raza Gyr. Estos ofrecen una gran adaptabilidad, resistencia y precocidad en el trópico, así como un buen desempeño productivo lechero en sus hembras. Las razas empleadas en estos cruces juegan un papel importante en la calidad de la leche suministrada a las industrias lácteas, factor limitante en el control de rendimiento, esta se expresa como los kilogramos de queso obtenido con los kilogramos o litros de leche empleada. Entre los aspectos más importantes tenemos la composición de la leche, una leche alta en sólidos totales tendrá un mayor rendimiento [2].

Los productores bufalinos son favorecidos hasta con un 50% más sobre el precio por litro de leche de búfala por las plantas procesadoras de leche y queseros, con respecto al precio por litro de leche de los productores de ganado vacuno, esto debido a una mayor tasa de grasa y proteínas presentes en la leche de búfala, componentes indispensables en el rendimiento de productos lácteos [3].

Hoy día la mayoría de las unidades de producción de leche vacuna no toman en cuenta a la hora de realizar sus planes de cruzamientos, parámetros de composición y calidad de la leche, de las razas o líneas genéticas a usar, para poder llegar a obtener algún beneficio en materia de precios por litro de leche. De igual forma, las plantas procesadoras y queseros artesanales deben tomar en cuenta la calidad de la leche de sus distribuidores para obtener una mayor cantidad de kilogramos de productos lácteos por litro de leche comprada, buscando el máximo rendimiento posible para la elaboración de sus derivados lácteos.

La calidad composicional e inocuidad de la leche es de vital importancia para la industria láctea, considerando que el mercado es cada día más exigente y el consumidor final pide un producto de buena calidad nutricional e inocuo. Además, el rendimiento y la calidad de los productos resultantes de procesos industriales lácteos son mayores si la leche presenta mayor calidad composicional. Por esta razón, la realización de esta investigación se justifica por la importancia que tiene para los productores de las ganaderías doble propósito, quienes están en busca de estrategias para ofrecer a las plantas procesadoras de derivados lácteos un producto de calidad, para de esta manera obtener beneficios a la hora de comercializar su producto.

De igual forma, se busca concientizar a las empresas lácteas de incentivar al productor a ofrecer un producto que aumente los rendimientos dentro la empresa. A su vez es importante dentro del marco de la producción animal, cuidar todos los parámetros que permitan un desempeño óptimo de producción de los animales, en este caso, animales productores de leche y su producción láctea. Además, es importante porque ofrece a la población, derivados lácteos con un buen contenido de proteínas, grasas, minerales y lactosa, por su alto valor nutricional dentro de la dieta diaria de las personas.

A pesar de la gran importancia de los componentes en la calidad y valor de la leche, existe una escasa información sobre este aspecto en el genotipo animal de la zona (Mosaico Perijanero), así como los cruces

con razas cebuínas y criollas. Esta carencia de datos limita la capacidad de productores para evaluar y mejorar la eficiencia y calidad de la producción lechera. Por ello esta investigación tiene como propósito orientar al sector ganadero, en materia de datos y análisis comparativo sobre algunos parámetros de composición y calidad de la leche de las razas vacunas y líneas genéticas más usadas en la zona, como el Criollo Limonero y Gyr, para planes de cruzamientos con animales pertenecientes al genotipo animal Mosaico Perijanero de la zona de la Cañada de Urdaneta. A la luz de lo anterior, el objetivo general del estudio fue analizar la calidad composicional de la leche de vacas doble propósito en el municipio la Cañada de Urdaneta, estado Zulia, Venezuela. Para ello se planteó analizar la calidad composicional de la leche de vacas Mosaico Perijanero x Criollo Limonero, así como evaluar la calidad composicional de la leche de vacas Mosaico Perijanero x Gyr, y comparar la calidad composicional de la leche entre los cruces a estudiar y el genotipo Mosaico Perijanero.

Metodología

Para el desarrollo de la investigación, se utilizó una investigación de tipo descriptiva, analítica y comparativa, con diseño no experimental y de campo. Las vacas estuvieron sometidas a un pastoreo rotacional, en potreros con pasto alternado de Pasto Guinea (*Panicum maximum* Jacq.) y Pasto Guinea Massai (*Panicum maximum* cv. *Massai*), con aproximadamente 16 horas al día de pastoreo, teniendo en los corrales de ordeño para el libre consumo, una suplementación a base de una mezcla de sales minerales con melaza, además, las vacas fueron recogidas dos veces diarias para su ordeño. En cuanto al plan sanitario, todo el rebaño contó con vacunas para la rabia, aftosa, estomatitis, brucelosis, leptospirosis y se realizaron desparasitaciones de ecto y endoparásitos, estipuladas en los periodos establecidos por los órganos gubernamentales correspondientes y por el médico veterinario de la hacienda.

Se realizó un muestreo probabilístico de tipo aleatorio estratificado, el cual consistió en dividir la población en grupos en función de un carácter determinado [4, 5]. En este caso el carácter correspondió al nivel de mestizaje del animal: Mosaico Perijanero x Criollo Limonero, Mosaico Perijanero x Gyr y Mosaico Perijanero y después se muestreó cada grupo aleatoriamente. Se tomaron seis muestras de leche de cada estrato para un total de dieciocho (18) muestras en un solo momento, sin repeticiones a lo largo del tiempo, cada una de 200 mL de una población total de animales que cumplía con el periodo de lactancia establecido entre 3-6 meses: 15 vacas Mosaico Perijanero x Gyr, 17 vacas Mosaico Perijanero x Criollo Limonero y 12 vacas Mosaico Perijanero.

Las muestras de leche fueron procesadas en el Laboratorio de Química de Alimentos de la Universidad del Zulia, donde se realizaron los análisis fisicoquímicos. Se determinó la acidez mediante la titulación de alícuotas del producto siguiendo el procedimiento descrito en la norma venezolana COVENIN 658-1997. Para la determinación de grasa, el protocolo empleado se basó en el método gravimétrico de Roese Gottlieb, descrito en la norma venezolana COVENIN 931-1997 [6]. Por otro lado, el procedimiento utilizado para el cálculo de sólidos totales se basó en la medición de densidad de la leche a 20° C y el porcentaje de grasa de la muestra según la Norma Técnica del INEN [7]. El contenido de cenizas se determinó por el método descrito en la norma COVENIN 368-1997 [8], la determinación de proteínas se realizó por el método de Kjeldahl para leche y sus derivados de la Norma COVENIN 370:1997 [9], la lactosa se determinó según lo establecido en la norma COVENIN 1910-82 [10], el pH se determinó con un Microprocessor pH-metro modelo ION 700, según lo descrito en la norma COVENIN 1315-79 [11].

Para el análisis de la calidad composicional de la leche, se realizó una estadística descriptiva y los resultados se expresaron en valores promedios con sus respectivas desviaciones estándar. Para establecer diferencias entre la calidad composicional de la leche de los diferentes cruces, se realizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA), estableciendo subconjuntos homogéneos mediante la prueba de comparación de medias Tukey con un nivel de significancia del 95%. Todos los resultados fueron procesados mediante el software estadístico SPSS versión 23 para Windows.

Resultados

Calidad composicional de leche de vacas Mosaico Perijanero x Criollo Limonero

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a la calidad y composición de la leche de vacas pertenecientes al mestizaje 50% Mosaico Perijanero/50% Criollo Limonero (Tabla 1).

Tabla 1. Calidad sanitaria de leche de vacas Mosaico Perijanero x Criollo Limonero

No. Muestra	pH	COVENIN 903-22 pH	Acidez titulable (mL NaOH /100 mL-leche)	COVENIN 903-22 Acidez Titulable
1	6,60		18,20	
2	6,61		15,80	
3	6,60		18,80	
4	6,61		17,60	
5	6,78		15,20	
6	6,64		16,20	
Promedio	6,64	6-50-6,70	16,96	15-19
Desviación estándar	± 0,07		± 1,44	

En la Tabla 1, se observó los resultados de los análisis de calidad sanitaria de las muestras de leche pertenecientes a seis ejemplares del mestizaje anteriormente mencionado, en la cual se midieron los valores de pH y acidez titulable en cada una de las muestras. Al hablar de la calidad de la leche se debe hacer referencia al grado en que cumpla con los requisitos establecidos en las diferentes normas y reglamentos vigentes en Venezuela, específicamente, la Norma COVENIN 903-22 [12], para leche cruda y la resolución sobre leche y sus derivados (MSDS, 1959) [13]. Para ello, se consideraron tres aspectos bien definidos que fueron las características organolépticas, físico-químicas y microbiológicas, reseñadas en las mencionadas normativas.

Se obtuvo que el valor mínimo de pH registrado en las muestras de leche fue de 6,60, el máximo fue de 6,78 con un valor promedio de $6,64 \pm 0,07$, valor que se encontró en el rango normal establecido en la norma COVENIN 903-22 [12]. De igual forma el valor promedio de la acidez de las muestras seleccionadas se mantuvo en un promedio de $16,96 \pm 1,44$ mL NaOH 0,1 N/100 mL, considerado dentro de los parámetros establecidos por la norma COVENIN 903-22 [12], este valor de acidez permite inferir que las muestras de leche provenientes de las vacas Mosaico Perijanero x Criollo Limonero se encuentran libres de bacterias dañinas para el producto.

Por otra parte, se puede confirmar que el tiempo de traslado desde el lugar de toma de muestra hasta el lugar de laboratorio, así como la refrigeración para las mismas, aseguró su correcta conservación, manteniéndose dentro de los rangos regulatorios. Por lo tanto, el análisis de acidez sirve por un lado como indicativo de la riqueza de la leche en proteínas y fosfatos, y por otro lado, para detectar posibles alteraciones. Dichos valores permiten mantener la inocuidad de la leche para luego ser utilizada en el procesamiento de productos derivados lácteos.

Tabla 2. Producción lechera en kilogramos (kg) de vacas Mosaico Perijanero x Criollo Limonero

No. Muestra	Producción (kg)
1	3,10
2	3,00
3	2,80
4	2,50
5	4,00
6	3,00
Promedio	3,06
Desviación estándar	± 0,50

En cuanto a los kilogramos de producción de leche de estos animales en ordeño manual (Tabla 2), se obtuvo un rendimiento promedio de 3,06 Kg de leche con picos de 4 kg como valor máximo. Cabe destacar que esta producción perteneció al turno de ordeño de tarde, al ser un sistema de ordeño manual de dos turnos, se obtendría un rendimiento promedio aproximado de 6 Kg/animal/día. Estos valores de producción de leche están en el rango del promedio normal, tanto para vacas Mosaico Perijanero como para vacas Criollo Limonero.

Los resultados obtenidos concuerdan con los reportados por Pirela *et al.*, [14], quienes obtuvieron una producción de leche de 6,02 kg/vaca/día, bajo una suplementación de alimento concentrado, pero en contraste con las hembras empleadas en la presente investigación, estas no recibieron suplementación y fueron mestizadas con el genotipo Mosaico Perijanero, el cual dentro de su composición genotípica contiene genes de animales *Bos taurus*, reconocidos por su alta producción de leche, pudiendo incidir en los kilogramos de leche obtenidos en las hembras.

Tabla 3. Composición de leche vacas Mosaico Perijanero x Criollo Limonero

No. muestra	Grasa (%)	Proteína (%)	Lactosa (%)	Sólidos totales (%)	Sólidos no grasos (%)	Cenizas (%)
1	3,70	3,22	5,31	12,73	9,03	0,69
2	3,41	3,47	5,44	12,38	8,97	0,70
3	3,64	3,57	5,50	12,66	9,02	0,79
4	3,63	3,35	5,42	12,65	9,02	0,71
5	3,58	3,42	5,36	12,59	9,01	0,65
6	3,61	3,52	5,48	12,62	9,01	0,55
Promedio	3,60	3,43	5,41	12,61	9,01	0,68
Desviación estándar	± 0,10	± 0,13	±0,07	±0,12	±0,02	±0,08

Con base en los resultados presentados en la tabla anterior en lo que respecta al contenido de grasa, la normativa COVENIN 903-22 [12] dicta que la leche cruda debe contener como mínimo un 3,2% sin establecer valores máximos. En este sentido se observó que las muestras de leche de las vacas estudiadas presentaron un valor promedio 3,595±0,09% de grasa, el cual estuvo dentro de los parámetros establecidos por la norma. Estos valores se asemejan con los obtenidos por Cervantes *et al.*, [15], quienes evidenciaron que los animales criollos cruzados con *Bos taurus*, arrojaron 3,53% de grasa en la leche. Por otro lado, los resultados difirieron de los

alcanzados por Pirela *et al.*, [14], quienes consiguieron valores del 4,85% de grasa en vacas criollas limoneras puras, bajo suplementación de alimento concentrado.

En cuanto al valor de proteínas de 3,43%, se evidenció que al igual que las grasas, se encontró dentro de los valores establecidos por la normativa COVENIN 903-22 [12], la cual señala que este valor debe ser mayor al 3%; coincidente con los resultados promedio obtenidos de esta investigación con el $3,425\% \pm 0,126\%$ de proteínas. Igualmente se corresponden con lo reportado por Cervantes *et al.*, [15], con porcentaje de 3,42% de proteínas en leche de hembras mestizas criollas con Pardo Suizo. Por lo cual, se puede inferir que dentro de la fracción genética de los animales muestreados del Mosaico Perijanero cruzado con Criollo Limonero, se encuentra una alta carga genética de *Bos taurus*. No obstante, estos resultados difieren de los valores encontrados por Briñez *et al.*, [16] los cuales fueron superiores al 3,66% de proteínas.

Para la lactosa se presentaron valores máximos de 5,50 % y mínimos de 5,31 %, con un promedio de $5,41\% \pm 0,07$, los cuales difieren a lo establecido por Vargas [17] quien en su trabajo encontró que el valor promedio de la lactosa en leche se encontró entre 4,8% y 5,2%. Asimismo, difieren de los resultados mostrados por Cervantes *et al.*, [15], cuyos valores se presentaron dentro del rango establecido por la norma venezolana.

Los valores de sólidos totales y de sólidos no grasos, se encontraron dentro de los rangos establecidos en la norma COVENIN 903-22 [12], con valores de $12,61\% \pm 0,12$ y de $9,01\% \pm 0,02$ respectivamente. Estos resultados de sólidos totales fueron semejantes a los reportados por Cervantes [18] en su investigación con vacas mestizas de criollas con suizo, lo cual pudiera deberse a la incidencia del cebú y criollo dentro del Mosaico Perijanero, que pudo influir en el aumento de los niveles de sólidos en la leche.

Los autores Calderón *et al.*, [19] clasifican la leche de acuerdo con su composición en “excelente”, “buena”, “regular” y “mala”, y afirman que si los porcentajes de lactosa, proteína, grasa, sólidos totales y sólidos no grasos están por encima a 5,3%, 3,2%, 3,5%, 12,2% y 8,7% respectivamente; la leche se encuentra dentro de categoría “excelente”, por lo cual tomando como referencia estos indicadores se infiere que la leche de las vacas pertenecientes al cruce 50% Mosaico Perijanero y 50% Criollo Limonero, entran dentro de la mencionada categoría.

El parámetro mínimo establecido para el porcentaje de cenizas por la normativa venezolana de 0,7%, se mantiene ligeramente por encima de lo arrojado por las pruebas de laboratorio a las hembras muestreadas, las cuales obtuvieron como promedio $0,68\% \pm 0,08$ de cenizas en leche. Los resultados encontrados son similares a los reportados por Vallejo *et al.*, [20], quienes obtuvieron valores de cenizas entre 0,68 y 0,69%.

A continuación, presentan los resultados obtenidos a partir del análisis en laboratorio de control de calidad de leche, pH y acidez titulable, así como el análisis físico-químico de la leche de vacas pertenecientes al mestizaje 50% Mosaico Perijanero/50% Gyr y las producciones en kilogramo de leche en el ordeño del turno de la tarde de cada una de las hembras muestreadas (Tablas 4 y 5).

Calidad composicional de la leche de vacas Mosaico Perijanero x Gyr

La Tabla 4 se exhibe los resultados de calidad sanitaria y producción de leche de vacas pertenecientes al cruce entre Mosaico Perijanero y la raza Gyr.

Tabla 4. Calidad sanitaria de leche de vacas Mosaico Perijanero x Gyr

No. muestra	pH	COVENIN 903-22 pH	Acidez titulable (mL NaOH/100 mL-leche)	COVENIN 903-22 Acidez titulable
1	6,55		18,80	
2	6,58		15,20	
3	6,63		14,60	
4	6,78		14,60	
5	6,75		17,0	
6	6,62		16,40	
Promedio	6,65	6,50-6,70	16,10	15-16
Desviación estándar	±0,09		±1,64	

Se observó que el valor promedio de pH en la leche es de 6,65, el cual se ubicó dentro del rango establecido por la normativa venezolana para leche cruda (6,5-6,7). Estos resultados cumplen con lo descrito por Briñez *et al.*, [16], quienes establecen que la leche cruda tiene una reacción iónica cerca a la neutralidad, cuyo pH puede estar comprendido entre 6,5 y 6,7 para leches normales; y que este valor puede ser afectado por factores como el ambiente, la salud del animal, los días de lactancia y la alimentación.

De igual manera, el parámetro de acidez titulable se encontró dentro de los rangos establecidos por la norma venezolana [12], con un promedio de 16,10±1,64 mL NaOH/100 mL de leche para las muestras analizadas, aunque hacia el margen del mínimo establecido por la normativa.

La Tabla 5 muestra las diferentes producciones de leche en kilogramos, de las vacas muestreadas en el ordeño de forma manual pertenecientes al turno de la tarde.

Tabla 5. Producción lechera en kg de vacas Mosaico Perijanero x Gyr

No. de muestra	Producción (kg)
1	3,50
	3
	3,4
	3,6
	3,2
2	3,00
	3,
3	3,40
4	3,60
5	3,20
6	4,50
Promedio	3,53
Desviación estándar	± 0,52

Con respecto a la producción de kilogramos de leche en el ordeño vespertino, en la tabla anterior se muestran resultados promedio de 3,53 kg de leche con picos de hasta 4,5 kg, con un promedio aproximado

de 7 kg/día/vaca de leche en dos ordeños; resultados superiores a los señalados por Briñez y Valbuena [21], en vacas doble propósito con mestizaje de 50% cebú -50% *Bos taurus*, con una producción en el ordeño vespertino de 3 kg de leche, esto probablemente debido a la cualidad del Gyr de ser una raza cebuina pero con aptitud lechera, lo que permite mantener la rusticidad pero a la vez una considerable producción de leche, lo cual es fundamental en sistemas doble propósito. A su vez, dicha producción entra en los rangos promedios establecidos por Enciso [22] entre 6 y 10 litros de leche por día, bajo condiciones de manejo y alimenticias similares en vacas Gyr puras.

En la Tabla 6 se evidencian los parámetros de composición de la leche de seis vacas pertenecientes al cruce de Mosaico Perijanero con la raza Gyr. En primer lugar, se observa un promedio de grasa de 3,40%±0,06 difiriendo de lo reportado por Silva *et al.*, [23], con resultados de 4,14% de grasa en vacas Gyr puras. Del mismo modo, el porcentaje de proteínas promedio se encontró en 3,21% para estas vacas doble propósito, semejantes a lo descrito por dicho autor en vacas Gyr. Ambos parámetros se encontraron dentro de lo estipulado por la regulación venezolana.

Con respecto al parámetro de la lactosa, se encontraron resultados promedio de 5,42%±0,11, superiores a lo establecido por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) de 5% de lactosa, y de igual forma superior al valor máximo establecido por Vargas [17], de 5,2%.

En relación con los valores de sólidos totales, estos promediaron 12,37%±0,60 estando por debajo de lo establecido por VIATECA [24], donde los ejemplares Gyr puros tienen promedios de 12,8% de sólidos totales en leche, y por encima de lo planteado por Cervantes *et al.*, [15], en su investigación con vacas 50% cebú x 50% *Bos taurus* con resultados de 12,23% de sólidos totales.

Tabla 6. Composición fisicoquímica de leche de vacas Mosaico Perijanero x Gyr

No. muestra	Grasa (%)	Proteína (%)	Lactosa (%)	Sólidos totales (%)	Sólidos no grasos (%)	Cenizas (%)
1	3,49	3,37	5,37	12,48	8,99	0,73
2	3,43	3,19	5,31	12,41	8,97	0,80
3	3,33	3,05	5,57	12,28	8,95	0,78
4	3,42	3,22	5,44	12,39	8,97	0,58
5	3,38	3,18	5,52	12,34	8,96	0,61
6	3,36	3,25	5,32	12,32	8,96	0,60
Promedio	3,40	3,21	5,42	12,37	8,97	0,67
Desviación estándar	± 0,06	±0,10	±0,11	±0,60	±0,01	±0,09

En cuanto a la proporción de sólidos no grasos presentes en la leche, se obtuvo un promedio de 8,97%±0,01, superiores a lo sustentado por Silvestre *et al.*, [25] con promedios de 8,52%±0,92 en animales Gyr en Brasil. Así mismo, los valores de sólidos totales como de sólidos no grasos permanecieron por encima del valor mínimo propuesto por la norma COVENIN 903-22 [12].

Los animales muestreados pertenecientes a este cruce mostraron resultados promedio en su contenido de cenizas de 0,67%±0,09, mostrando una diferencia menor de 0,03% a lo descrito por la norma venezolana para leche crudas, pero dentro de los rangos establecidos por la Universidad de Murcia (s.f.), indicando que el contenido de cenizas en la leche, expresado en porcentaje, debe ser mayor al 0,64%.

A continuación, se evidencian los resultados de los análisis de la composición y calidad sanitaria de la leche, así como la producción de leche en vacas Mosaico Perijanero (Tabla 7). De igual forma, se establecen comparativas estadísticas entre los cruces estudiados y el genotipo animal anteriormente mencionado.

Tabla 7. Calidad sanitaria de leche de vacas Mosaico Perijanero

No. muestra	pH	COVENIN 903-22. pH	Acidez titulable. (mL NaOH/100 mL-leche.)	COVENIN 903-22. Acidez titulable
1	6,61		15,20	
2	6,64		13,40	
3	6,68		14,00	
4	6,6		17,00	
5	6,64		16,40	
6	6,61		18,20	
Promedio	6,63	6,50-6,70	15,70	15-19
Desviación estándar	±0,03		±1,84	

Se evidenció que el valor de pH de estas vacas doble propósito con genotipo indeterminado, fue de $6,63 \pm 0,03$, ubicado por encima del valor mínimo indicado por la norma venezolana para leche cruda de pH 6,5, pero por debajo de lo reportado por Briñez *et al.*, [16] para vacas mosaico con pH de 6,73 en su investigación. En cuanto a los valores de acidez titulable, estos se establecieron dentro de los límites permitidos por las regulaciones venezolanas, con ligera cercanía al mínimo establecido, con un promedio de $15,70 \pm 1,84$.

En la Tabla 8 se muestra la producción de leche de las vacas muestreadas pertenecientes al Mosaico Perijanero, bajo un ordeño manual en el turno de la tarde con el becerro atado a la pata de la hembra para promover el apoyo de la leche, dentro de un sistema de ordeño de dos turnos, vespertino y diurno.

Tabla 8. Producción de leche de vacas Mosaico Perijanero

No. muestra	Producción (Kg)
1	4,10
2	3,80
3	3,00
4	5,20
5	4,80
6	3,60
Promedio	4,08
Desviación estándar	± 0,81

Como producción láctea promedio de los animales muestreados se obtuvo $4,08 \text{ kg} \pm 0,81$ de leche, con valor máximo de 5,2 kg de leche dentro del grupo analizado. De esto se puede estimar una producción kg/vaca/día de 8 kg de leche en un sistema de ordeño de dos turnos, superando a lo obtenido por Briñez *et al.*, [16] de 2,626 kg de leche en el ordeño vespertino para vacas mosaico. De ello se infiere que dentro del árbol genealógico presente en el Mosaico Perijanero de las vacas estudiadas existe tendencia al *Bos taurus* por encima del *Bos indicus*, con razas Holstein y Pardo Suizo, lo que puede explicar el incremento en la producción de leche.

La Tabla 9 por su parte, presenta los resultados de los análisis fisicoquímicos practicados a la leche de estas vacas doble propósito, donde los valores promedio de grasa y proteínas fueron de $3,37\% \pm 0,16$ y $3,01\% \pm 0,05$ respectivamente, ambos al margen del mínimo establecido por la norma COVENIN 903-22 [12] de 3% de grasa y de 3,2% de proteínas. En cuanto al porcentaje de lactosa, se evidenció un valor promedio de

5,63%±0,044. De igual manera, se obtuvieron porcentajes de sólidos totales y de sólidos no grasos de 12,33%±0,20 y 8,96%±0,04 respectivamente, y un porcentaje de cenizas del 0,63%±0,05, destacando que este último se encontró fuera del rango permitido por la normativa venezolana; mientras que, los sólidos grasos y sólidos totales permanecieron dentro de lo regido por la normativa.

Tabla 9. Composición fisicoquímica de leche de vacas Mosaico Perijanero

No. muestra	Grasa (%)	Proteína (%)	Lactosa (%)	Sólidos totales (%)	Sólidos no grasos (%)	Cenizas (%)
1	3,21	3,03	5,58	12,13	8,92	0,61
2	3,65	2,93	5,7	12,67	9,02	0,59
3	3,45	3,08	5,59	12,42	8,97	0,63
4	3,24	3,05	5,62	12,17	8,93	0,61
5	3,3	3,02	5,64	12,24	8,94	0,66
6	3,38	2,99	5,66	12,34	8,96	0,73
Promedio	3,37	3,01	5,63	12,33	8,96	0,63
Desviación estándar	0,16	0,05	0,05	0,20	0,04	0,05

Estos resultados difieren de lo obtenido por Briñez y Valbuena [21] con valores superiores en cuanto a porcentaje de grasa, proteínas y sólidos totales, e inferiores en porcentaje de sólidos no grasos y lactosa de la leche. Es importante mencionar que factores como el manejo alimenticio y de estacionalidad en el periodo de lactancia de las vacas, son importantes en la variación en la composición de la leche, lo cual puede explicar el incremento de los valores de estos parámetros en comparación con los obtenidos por los mencionados autores.

Al igual que la composición de la leche de vacas mestizadas con Gyr, la leche de estas vacas en cuanto a los parámetros de proteína y grasa, entran dentro de la categoría “buena”; mientras que, los valores de sólidos totales, sólidos no grasos y de lactosa fueron categorizados como “excelente”, según lo indicado por Calderón [19].

En la Tabla 10 se observó los valores de pH y acidez titulable de los grupos muestreados.

Tabla 10. Comparativa estadística de la calidad sanitaria de la leche de vacas doble propósito

Tratamiento	N	pH	Acidez titulable
M.P x C. L	6	6,64 _a	16,96 _a
M.P x Gyr	6	6,65 _a	16,10 _a
Mosaico Perijanero	6	6,63 _a	15,70 _a
Sig.		0,803	0,400

M.P = Mosaico Perijanero. C.L = Criollo Limonero. Acidez titulable: expresado en mL de

NaOH N/100 mL Letras iguales = $p > 0,05$ Letras diferentes = $p < 0,05$.

Se evidenció que la leche de las vacas 50% Mosaico Perijanero-50% Criollo Limonero obtuvieron un pH superior, seguido de las vacas mestizadas con Gyr y por último las hembras Mosaico Perijanero, pero sin diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los tres grupos analizados. La leche de vacas Mosaico Perijanero al tener un pH menor, es susceptible a la acidificaciones más rápidas que los otros dos grupos de mestizos, a su vez, al ser animales con mayor proporción de *Bos taurus* que los demás cruces, tienden a sufrir los efectos de la desadaptación al trópico causando que dichas hembras sean más susceptibles al estrés y a la penetración de microorganismos en la ubre debido a la mayor producción de leche. Al igual que el valor de pH, la acidez titulable se comportó manera similar entre los grupos de mestizajes, sin diferencias

estadísticas significativas ($p > 0,05$) entre ellos, siendo la menor acidez titulable de las hembras Mosaico Perijanero, esto producto de la influencia de las razas *Bos taurus* en su genotipo, caracterizada por una mayor cantidad de agua dentro de la composición de la leche.

La Tabla 11 muestra la comparación de la producción lechera de las vacas mestizas estudiadas.

Tabla 11. Comparativa estadística sobre la producción lechera de vacas doble propósito

Tratamiento	N	Kg de leche
M.P x C. L	6	3,06 _a
M.P x Gyr	6	3,53 _{a b}
Mosaico Perijanero	6	4,08 _b
Sig. A		0,421
Sig. B		0,309

M.P = Mosaico Perijanero. C.L = Criollo Limonero.

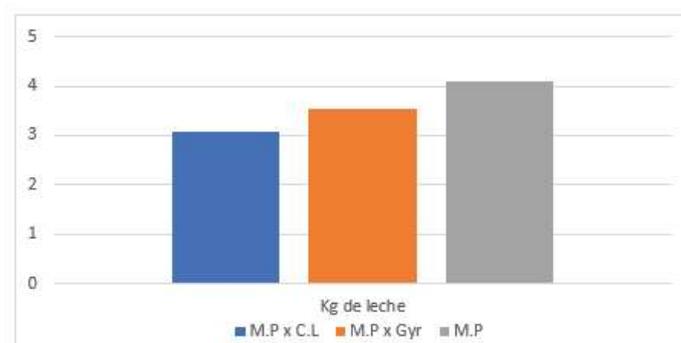


Figura 1. Diagrama de barras de la producción lechera de vacas doble propósito.

Los resultados anteriormente mostrados en la Tabla 11 y en la Figura 1, evidenciaron que el grupo Mosaico Perijanero presentó el mayor promedio de producción de kilogramos de leche con $4,08 \pm 0,81$ kg en el ordeño vespertino, seguido de las vacas mestizas de Gyr con $3,53 \pm 0,52$ kg y, por último, las mestizas de Criollo Limonero con $3,06 \pm 0,51$ Kg. Además, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los grupos Mosaico x Criollo Limonero y Mosaico Perijanero en cuanto a la producción de kilogramos de leche, pero no hubo diferencias entre éstos con el grupo Mosaico x Gyr ($p > 0,05$). Se destaca el Mosaico Perijanero por su alta capacidad de producir leche debido a su composición racial, la cual puede tener media sangre o más de media sangre de *Bos taurus*, con predominancia de la raza Holstein, la cual es muy utilizada en cruces mosaicos en la zona de La Cañada de Urdaneta, estado Zulia. Se realza la aptitud lechera de la raza Gyr, que a pesar de ser una raza cebuina compite en la producción lechera con animales que poseen una alta proporción *Bos taurus*.

En la Tabla 12 y la Figura 2 se evidencia la composición fisicoquímica de la leche de vacas doble propósito.

Tabla 12. Comparativa estadística de la composición fisicoquímica de leche de vacas doble propósito

Mestizaje	N	Grasa (%)	Proteína (%)	Lactosa (%)	Sólidos totales (%)	Sólidos no grasos (%)	Cenizas (%)
Mosaico Perijanero	6	3,37 a	3,02 a	5,63 a	12,33 a	8,96 a	0,64 a
M.P x Gyr	6	3,40 a	3,21 b	5,42 b	12,37 a	8,97 a	0,67 a
M.P x C.L	6	3,60 b	3,43 c	5,42 b	12,61 b	9,01 b	0,68 a
Sig. grupo a		0,894	1,000	1,000	0,894	0,892	0,580
Sig. grupo b		1,000	1,000	0,997	1,000	1,000	
Sig. grupo c			1,000				

M.P = Mosaico Perijanero. C.L = Criollo Limonero.

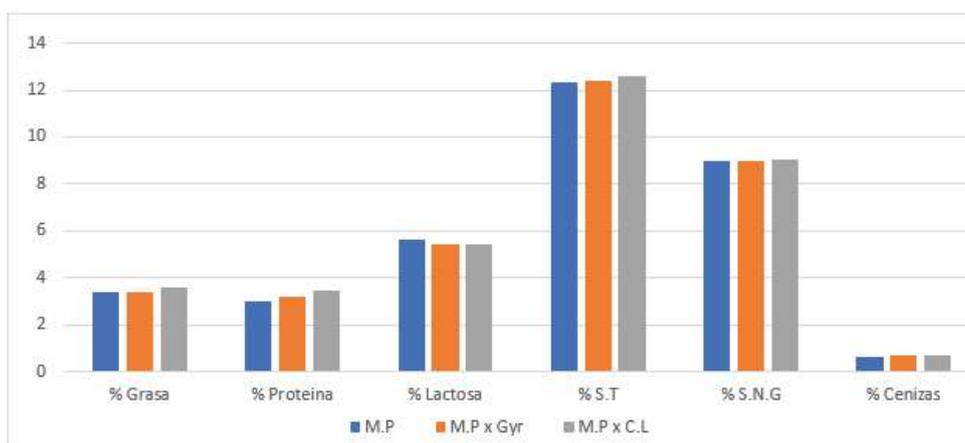


Figura 2. Diagrama de barras comparativas sobre la composición fisicoquímica de la leche de vacas doble propósito.

Según lo descrito en la Tabla 12 sobre la composición fisicoquímica de la leche de vacas Mosaico Perijanero y sus cruces con Gyr y Criollo Limonero, la concentración de grasa, sólidos totales y sólidos no grasos presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la leche de hembras mestizadas con Criollo Limonero destacando sobre el grupo mestizado con Gyr y el grupo de hembras Mosaico Perijanero, estos dos últimos sin diferencias significativas ($p > 0,05$) entre ellos; teniendo la mayor concentración de estos parámetros el primer grupo mencionado. Similarmente, el porcentaje de proteínas exhibió diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tres grupos muestreados, teniendo la menor concentración de proteínas el Mosaico Perijanero con promedio de $3,01\% \pm 0,05$, seguido del grupo Mosaico x Gyr con $3,21\% \pm 0,10$ y con mayor concentración de proteínas en el mestizaje Mosaico x Criollo Limonero con $3,42\% \pm 0,13$.

Al mismo tiempo, los análisis fisicoquímicos de la leche de estas hembras arrojaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el grupo Mosaico Perijanero y los demás grupos en cuanto al porcentaje de lactosa, siendo superior con un promedio de $5,63\% \pm 0,04$, pero sin diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los demás grupos muestreados. Por último, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los grupos en la concentración de cenizas, aunque se encuentra levemente superior la concentración en animales mestizados con Criollo Limonero.

Estos resultados permiten afirmar que el factor genético es fundamental en la variación de la composición y producción de leche cruda de vacunos doble propósito, pero sin alteración significativa en los valores sanitarios de la misma. Por lo cual, a nivel industrial y artesanal se obtendrán mayores rendimientos y mayor calidad composicional en los productos derivados de la leche. Adicionalmente, se confirma lo expuesto por otros autores [15, 16], que indican que a mayor producción de kilogramos de leche, mayor es la dilución de los componentes en la misma, explicando la baja concentración de los componentes nutritivos en la leche de vacas Mosaico Perijanero.

Según los autores Ponce [26] y Briñez *et al.*, [16] la alimentación juega un papel fundamental en la variación de ciertos parámetros dentro de la composición y producción de leche, por lo cual debe recordarse que la recolección de datos estuvo enmarcada en la época seca en la zona de La Cañada de Urdaneta, y la alimentación de estos animales muestreados estuvo basada únicamente bajo un manejo rotacional de pastizales con suplementación de sales minerales; por lo cual, los resultados pudieran ser superiores en épocas de lluvia, donde se presenta una mayor oferta y calidad de los pastos en comparación de la época seca. Estos autores afirman que en la época seca los valores de proteína y sólidos no grasos tienden a aumentar; mientras que, los niveles de grasa se mantienen estables a lo largo del año.

Por otro lado, Flores Delgado *et al.*, [27] al analizar parámetros de calidad de la leche de cuatro municipios del Departamento de Putumayo en Colombia, encontraron cumplimiento de la Norma Técnica Colombiana 399 en cuanto a células somáticas, bacterias mesófilas, proteína, lactosa y sólidos totales, recomendando medidas para la mejora de la alimentación y nutrición de bovinos, que asociada a buenas prácticas de ordeño permitirán obtener concentraciones adecuadas de células somáticas y grasas ajustadas a la norma. En cuanto al aspecto genético de las razas, Cely Leal *et al.*, [28] identificaron frecuencias genéticas y alélicas de variantes A1 y A2 de la β -caseína en los bovinos de los mismos cuatro municipios del Departamento de Putumayo, con predominio de las frecuencias genéticas A2A2 y la alélica A2 en los grupos raciales Girolando, Brahman y Gyr; mientras que, para la raza BON predominan A1A2 y A2, siendo el genotipo A2A2 el de mayor producción lechera y contenido de proteína láctea. Por ello, en el presente trabajo de investigación se recomienda realizar estudios genéticos para valorar su implicancia en la producción lechera y la calidad nutricional en los mestizajes estudiados en el municipio La Cañada del estado Zulia.

Conclusiones

La calidad sanitaria de la leche obtenida de los diferentes mestizajes de vacas doble propósito estuvieron por encima de los valores mínimos permitidos por la Normativa COVENIN 903-22, siendo la mayor producción en kilogramos de leche cruda la obtenida por el grupo Mosaico Perijanero, debido al elevado índice en su genética de *Bos taurus*; mientras que, la menor producción reportada resultó para los animales mestizados con Criollo Limonero.

Por otro lado, los valores de grasa, proteína, sólidos totales y sólidos no grasos pertenecientes al grupo de vacas doble propósito se encontraron por encima de lo que establece la normativa venezolana. La calidad composicional de la leche de los mestizajes estudiados (Mosaico perijanero x Criollo Limonero y Mosaico Perijanero x Gyr) fue superior a la obtenida en el genotipo Mosaico Perijanero, destacándose entre los mestizajes al Criollo Limonero.

Se concluye que la genética animal influyó directamente en todos los componentes de la leche, a excepción del contenido de cenizas, el cual es un factor indispensable para la producción de leche.

Referencias

[1] M. Camargo, “Análisis sistémico de la ganadería doble propósito en los llanos Occidentales de Venezuela”, tesis de fin de grado, Univ. Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, 2018.

[2] J. Almario, y J. Pérez, “Evaluación del rendimiento y de las características de calidad del quesillo mediante el empleo de cepas de cultivos mixtos lácticos”, tesis de fin de grado, Univ. de Sucre, 2009.

- [3] “Centro de cría Murrah”, Don Búfalo, 2023 [En Línea]. Disponible en: <https://web.donbufalo.com/>
- [4] J. Casal, y E. Mateu, “Tipos de muestreo”. *Rev. Epidem. Med. Prev*, vol. 1, no. 1, pp. 3-7. (2003). [En Línea]. Disponible en: <https://portalrecerca.uab.cat/en/publications/tipos-de-muestreo>
- [5] T. Otzen, y C. Manterola, “Técnicas de muestreo sobre una población a estudio”. *International Journal of Morphology*, vol. 35, no. 1, pp. 227-232. 2017. [En Línea]. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022017000100037&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- [6] Leche y sus derivados. Determinación de grasa por el método de Roesse Gottlieb, COVENIN 931-1997, Caracas, Venezuela: Fondonorma, 1997.
- [7] Leche cruda, requisitos. Primera edición. Instituto ecuatoriano de normalización, NTE INEN 9:2012, 2012.
- [8] Leche y sus derivados. Determinación de cenizas, COVENIN 368-1997, Caracas, Venezuela: Fondonorma, 1997.
- [9] Leche y sus derivados. Determinación de proteínas, COVENIN 370-1997, Caracas, Venezuela: Fondonorma, 1997.
- [10] Leche fluida. Determinación de caseína, COVENIN 1910-82, Caracas, Venezuela: Fondonorma, 1982.
- [11] Alimentos. Determinación del pH (acidez iónica), COVENIN 1315-79, Caracas, Venezuela: Fondonorma, 1979.
- [12] Leche cruda. Requisitos, COVENIN 903-22, Caracas, Venezuela: Fondonorma, 2022.
- [13] Reglamento general de alimentos. Gaceta Oficial Nro. 25.864. Ministerio de Salud y Desarrollo Social, 1959.
- [14] M. Pirela, et. al, “Producción y calidad de la leche de vacas Criollo Limonero suplementadas con harina de frutos de samán (*Pithecellobium saman* (Jacq.) Benth)”. *Rev. de la Facultad de Agronomía de la Univ. Del Zulia*, vol. 27, no. 4, pp. 607-625, 2010. [En Línea]. Disponible en: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/26852>
- [15] P. Cervantes, A. Hernández y B. Domínguez, “Características de la leche, variabilidad de los genotipos del trópico mexicano”. *Rev. Pecuaria*, no. 03, pp. 2-21, 2009. [En Línea]. Disponible en: <https://www.uv.mx/veracruz/cienciaanimal/files/2013/11/Caracterizacion-de-la-leche-variabilidad-genetica.pdf>
- [16] W. J. Briñez, E. Valbuena, G. Castro, A. Tovar, y J. Ruiz-Ramírez, “Algunos parámetros de composición y calidad en leche cruda de vacas doble propósito en el municipio Machiques de Perijá, estado Zulia, Venezuela”. *Rev. Científica*, vol. 18, no. 5, pp. 607-617, 2008. [En Línea]. Disponible en: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/15403?source=/index.php/cientifica/article/view/15403>
- [17] T. Vargas, “Calidad e inocuidad de la leche y productos lácteos”. Academia.edu, 2006. [En Línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/23454960/CALIDAD_E_INOCUIDAD_DE_LA_LECHE_Y_PRODUCTOS_LACTEOS
- [18] P. Cervantes, “Caracterización de la producción y composición láctea en vacas de diferentes genotipos en Veracruz, México”, tesis doctoral, Univ. Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez, La Habana-Cuba, 2005.
- [19] A. Calderón, F. García, y G. Martínez, “Indicadores de calidad de leches crudas en diferentes regiones de Colombia”. *Rev. MVZ Córdoba*, vol. 11, No.1, pp. 725-737, 2006. [En Línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/693/69311106.pdf>

[20] C. Vallejo et. al., “Calidad físico-química e higiénico sanitaria de la leche en sistemas de producción doble propósito, Manabí-Ecuador”. *Rev. de Investigación Talentos*, vol. 5, No. 1, pp. 35-44, 2018. [En Línea]. Disponible en: <https://talentos.ueb.edu.ec/index.php/talentos/article/view/28>

[21] W.J. Briñez, y E. Valbuena, *Calidad y composición de la leche cruda en vacas doble propósito en Venezuela. Innovación en Tecnología en la Ganadería Doble Propósito*. Cap. XCII, 2012.

[22] L. Encizo, “Raza de ganado Gyr características y cualidades”, *Agro Blogger*, 2021. [En Línea]. Disponible en: <https://blog.agrocampo.com.co/raza-de-ganado-gyr/>

[23] R. M. Silva, et al. “Milk quality of Gir cows in Brazil”. *Acta Scientiae Veterinariae*. vol. 46, no. 1566, 2018.

[24] VIATECA, “Venezolana de Inseminación Artificial y Trasplante de Embriones”, 2012 [En Línea]. Disponible en: <https://www.viateca.com/>

[25] A.M. Silvestre, A.M. Martins, V.A. Santos, M.M. Ginja, y J.A. Colaço, “Lactation curves for milk, fat and protein in dairy cows A full approach”. *Livest Sci*. vol. 122, pp. 308-313, 2009. [En Línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1871141308003090>

[26] P. Ponce, “Composição do leite: uma perspectiva desde o trópico”. En *Qualidade do leite bovino: variações no trópico e no subtropical*. Ed. 1. pp. 28-51, F. Díaz, A. Troller, V. Fischer, V. M. Balbinotti, C. Bondan, Passo Fundo-RS-Brasil, 2011.

[27] D. F. Flórez Delgado, D. R. Cely Leal, S. D. González, L. J. Niño Vera, y Y. Robledo Palomino, “Análisis bacteriológico y composicional de la leche bovina de cuatro municipios del Departamento de Putumayo, Colombia”, *Spei Domus*, vol. 19, no. 2, pp. 1-9 2024. [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.16925/2382-4247.2023.02.04>

[28] D. Cely, D. Flórez, C. Duque, S. González y Y. Robledo, “Frecuencias genotípicas y alélicas de la β -caseína en ganado bovino en el Departamento de Putumayo”. *Conocimiento Global*. vol. 9, no. 1, pp. 391-398, 2024. [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.70165/cglobal.v9i1.376>

Factores que inciden en la planificación y control de obras civiles

Factors that affect the planning and control of civil works

Mary C. Ramírez-Escalona

Universidad Rafael Urdaneta, Decanato de Posgrado e Investigación, Especialización en Obras Civiles, Mención Edificaciones. Maracaibo, Venezuela.

 <https://www.orcid.org/0009-0001-0758-9511> | Correo electrónico: marycre3110@gmail.com

Carlos E. Sandoval-Fernández

Universidad Rafael Urdaneta, Decanato de Posgrado e Investigación, Especialización en Obras Civiles, Mención Edificaciones. Maracaibo, Venezuela.

 <https://www.orcid.org/0009-0003-1958-0519> | Correo electrónico: sandovalcarloseb@gmail.com

Recibido: 16-01-2024 Admitido: 30-01-2024 Aceptado: 22-03-2024

Resumen

La construcción civil es uno de los sectores de mayor impacto económico en el mundo, por lo tanto, los factores que retrasan su rendimiento se consideran de interés. Este estudio se planteó como objetivo explicar los factores que inciden en la planificación y control de obras civiles. Se desarrolló un análisis documental desde una revisión sistemática de la literatura académica en bases de datos internacionales de los últimos 10 años (2013-2023), se obtuvo una cantidad definitiva de 31 investigaciones. Los resultados del estudio destacan que en la mayoría de los casos los factores están vinculados a causas administrativas, la ejecución, el diseño y los aspectos económicos del proyecto. Se enfatiza la importancia que tienen las estimaciones y diseño técnico en la elaboración de una planificación específica, que además tome en cuenta los factores que pueden alterarla y sea capaz de adaptarse al cambio para garantizar su efectiva ejecución en el tiempo estimado.

Palabras clave: Factores de retrasos, proyectos de construcción, planificación y control, obras civiles

Abstract

Civil construction is one of the sectors with the greatest economic impact in the world; therefore, the factors that delay its performance are considered of interest. This study aimed to explain the factors that affect the planning and control of civil works. It developed a documental analysis from a systematic review of academic literature in international databases in the last 10 years (2013-2023), a definitive amount of 31 researches was obtained. The results of the study highlight that in most cases the factors are linked to administrative causes, execution, design and economic aspects of the project. It emphasizes the importance of estimates and technical design in the development of a specific planning, which also takes into account the factors that may alter it and is able to adapt to change to ensure its effective implementation in the estimated time.

Key words: Delay factors, construction projects, planification and control, civil works

Introducción

La construcción civil es un sector fundamental en todas partes del mundo, debido a que dinamiza las economías a través de la generación de empleos, desarrolla y mantiene la infraestructura de los países, convirtiéndose en un área estratégica tanto para el sector público como privado. De hecho, los indicadores sobre la construcción tienden a estar vinculados con los índices de desarrollo de las naciones, ya que su crecimiento está articulado a todos los sectores económicos.

Se puede decir que las obras civiles han ido avanzando incorporando las nuevas tecnologías y procesos de innovación en todas sus fases, lo que ha permitido cada día más optimización en la construcción de obras civiles.

En este sentido, hay que recalcar que para una gestión efectiva de las construcciones se requiere de una planificación estratégica por la complejidad que tiene el diseño y ejecución de una obra, para ello se definen una serie de fases que permiten que los objetivos del proyecto se desarrollen adecuadamente y en el tiempo estimado.

En este orden de ideas, Mattos y Valderrama [1] señalan que “los procesos de planificación y control pasan a desempeñar un papel principal en las empresas, ya que tienen un fuerte impacto en el rendimiento de la producción”, establecen además que las deficiencias en la planificación se consideran como las principales causas de los sobrecostos y la baja calidad en la construcción civil.

Ahora bien, a pesar de la importancia que tiene la planificación, no siempre se le dedica el tiempo y la sistematicidad que requiere en el campo de las obras civiles, lo cual genera innumerables inconvenientes, centrados fundamentalmente en la programación, entendida como “traducción de la planificación global (macro) a un horizonte de duración limitada (micro), de cara a la asignación efectiva de la mano de obra y el equipamiento, la adquisición de materiales, la designación de responsables, las decisiones administrativas”, así como la identificación de desviaciones [1].

Es por eso que, la planificación de una obra civil enmarca todo el desarrollo actividades articuladas con el tiempo de lo que depende la efectividad de una construcción, en la que se coordinan recursos humanos (mano de obra), materiales y equipamiento alrededor de unos objetivos que cumplir. Pero en la ejecución es preciso considerar que “la ocurrencia de imprevistos, puede producir variaciones respecto de lo planificado. Por esta razón, es necesario llevar a cabo un seguimiento de la ejecución del proyecto.”(Serpell y Alarcón, 2015, p. 18) [2].

Desde esta perspectiva, se puede decir que son diversos los factores que pueden incidir en la planificación y control de un proyecto, en algunos casos para favorecer el desarrollo efectivo del plan, pero en otros pueden generar incumplimientos, lo que ocasiona directamente una grave afectación presupuestaria en el costo total del proyecto al incrementarse el tiempo para el desarrollo y culminación del mismo.

Por lo tanto, las empresas constructoras requieren establecer planificaciones que sean efectivas y se ajusten a los tiempos estimados inicialmente, puesto que se ha demostrado que las alteraciones en el tiempo implican un incremento en el costo total del proyecto lo que dificulta aún más la rentabilidad del negocio de la construcción en la actualidad. Partiendo de la importancia de este proceso en la construcción, este artículo se planteó como objetivo explicar los factores que inciden en la planificación y control de obras civiles.

Metodología

El diseño de investigación se define de acuerdo al nivel de complejidad como comprensiva, en vista a que la misma busca explicar los fenómenos que generan el evento, por lo tanto, se clasifica dentro del tipo explicativa [3]. Así mismo, se plantea desde el análisis documental, ya que busca explicar cuáles son los factores que inciden en la programación de obras civiles desde las fuentes documentales, en este caso según los estudios científicos publicados en el área [4]. Además, se considera contemporáneo y transversal o transeccional, ya que la recolección de información se realizó en un solo momento del presente.

A partir de lo mencionado, esta investigación se considera documental, transeccional y univariada, ya que busca explicar el fenómeno a partir del estudio de una sola variable; es decir, la planificación de los proyectos de construcción, el cual se encuentra disponible en fuentes documentales [3].

Para la selección de las fuentes documentales del estudio, se hizo necesario una revisión sistemática de la literatura académica sobre la temática abordada en bases de datos internacionales, específicamente: Google Académico, Scielo, Redalyc y Dialnet [4]. Para el desarrollo de la búsqueda se tomaron en cuenta las investigaciones realizadas en los últimos 10 años (2013-2023), debido a que se considera relevante la actualidad

de la información científica analizada; al mismo tiempo, se incluyeron artículos de revistas, tesis de grado que estudiaron la planificación de obras civiles en un contexto determinado o de revisión de procedencia universitaria y con autoría identificable.

Para la búsqueda se utilizaron las siguientes palabras clave: programaciones en obras civiles, plan de construcción, gestión de obras civiles, incumplimiento en la planificación de obras civiles en los títulos de las investigaciones y se detectaron 152, tanto en los idiomas español como inglés. Seguidamente se procedió a descartar las publicaciones duplicadas y los artículos de revista con información fuera del área estudiada o poco relevante en referencia al objetivo de investigación.

Finalmente, se obtuvo una cantidad definitiva de 31 trabajos para ser estudiados en función del objetivo propuesto. A continuación, se presentan las investigaciones seleccionadas, entre las que destacan artículos y tesis de revisión documental, estudios de campo y otros con utilización de fuentes mixtas realizadas en diferentes países (Tabla 1).

Tabla 1. Selección de investigaciones

Nº	Título	Autor	Tipo de estudio
1	Important Causes of Delay in Construction Projects in Baghdad City	Jahanger, Q., (2013) [5].	Mixta
2	Causes of Delay in Construction Projects of Punjab-Pakistan: An Empirical Study	Rahsid y Aslam, (2013) [6].	Mixta
3	Causes and effect of delay on project construction delivery time	Owolabi, J. <i>et al.</i> , (2014) [7].	Revisión
4	Evaluación de las etapas de planeación y construcción para diagnosticar las variables que inciden en el cumplimiento de la programación, el presupuesto y los estándares de calidad de los proyectos de construcción	Ceballos, Y., (2015) [8].	Mixta
5	Análisis de las causas del incumplimiento de la programación en las obras civiles.	Burgos, M. y Vela, D., (2015) [9].	Revisión
6	Causes of Delay in Construction Projects in Bangladesh	Islam, M. <i>et al.</i> , (2015) [10].	Mixta
7	Empirical Study of Factors Influencing Schedule Delays of Public Construction Projects in Burkina Faso	Bagaya, O., y Song, J. (2016) [11].	Mixta
8	Studying the Reasons for Delay and Cost Overrun in Construction Projects: The Case of Iran.	Samarghandi, H., <i>et al.</i> , (2016) [12].	Mixta
9	Delay and Cost Overrun in Infrastructure Projects in Jordan	Al-Hazim, N., <i>et al.</i> (2017) [13].	Mixta
10	Factores que ocasionan retrasos en obras civiles en Empresas Públicas de Neiva	Gordo E., Potes, J. y Vargas J. (2017) [14].	Mixta
11	Investigating Causes of Delay in U.S. Construction Projects.	Tafazzoli, M., y Shrestha, P. (2017) [15].	Campo
12	Causas de retrasos en proyectos de construcción: un análisis cualitativo	Rudeli, N. <i>et al.</i> , (2018) [16].	Revisión
13	Identificación de factores que generan diferencias de tiempo y costos en proyectos de construcción en Colombia	Lozano S. <i>et al.</i> , (2018) [17].	Mixta

Cont. Tabla 1. Selección de investigaciones

Nº	Título	Autor	Tipo de estudio
14	Análisis comparativo de las causas que más impactan los retrasos de obra en viviendas multifamiliares en Bogotá. (Estudio de caso)	Acevedo, A. <i>et al.</i> , (2018) [18].	Campo
15	The top 10 universal delay factors in construction projects	Zidane, Y. y Andersen, B. (2018a) [19].	Mixta
16	Causes of delay and their cures in major Norwegian projects	Zidane, Y. y Andersen, B. (2018b) [20].	Mixta
17	Causes of Delay in Various Construction Projects: A Literature Review	Mbala, M., <i>et al.</i> , (2019) [21].	Revisión
18	Estudio de los factores de retraso y sobrecoste en las obras de Ecuador	Manzano, M., (2019) [22].	Mixta
19	Factores que inciden en retraso de proyectos públicos en la etapa de ejecución en la ciudad de Cerro de Pasco	Santos, C. (2019) [23].	Revisión
20	Causes of schedule delays in construction projects in Algeria	Rachid, Z. <i>et al.</i> , (2019) [24].	Campo
21	Causes of delay in Saudi public construction projects	Alsuliman, J. (2019) [25].	Mixta
22	Planificación y control de una construcción civil basado en el enfoque del PMBOK	Ocampo, N. y Hidalgo, A. (2019) [26].	Mixta
23	Delay causes and emerging digital tools: a novel model of delay analysis, including integrated project delivery and PMBOK	Sepasgozar, <i>et al.</i> , (2019) [27].	Revisión
24	Análisis de causas del incumplimiento de la programación en obras de construcción en dos municipios de Colombia y definición de estrategias para mitigarlas	Carvajal, Y. y Muñoz Avendaño, K. (2020) [28].	Campo
25	Empirical study of schedule delay in Moroccan construction projects	Bajjou, M. y Chafi, A. (2020) [29].	Mixta
26	Revisiting critical delay factors for construction: analysing projects in Malaysia	Hui <i>et al.</i> , (2020) [30].	Mixta
27	Análisis de los principales factores que originan ampliaciones de plazo y prestaciones adicionales en la ejecución de proyectos por parte de la Municipalidad Provincial de Azángaro, Durante el año 2020	Cuba, S. (2021)[31].	Campo
28	Análisis comparativo de factores causales del retraso entre proyectos de edificación y de infraestructura vial: una revisión sistemática	Mera, J. y Manrique, N. (2021) [32].	Revisión
29	Análisis de las causas de retraso y sobrecoste en la construcción de vías terciarias en Colombia.	Chamíe, S. (2021) [33].	Revisión
30	Estudio de los factores de retraso y sobrecoste en las obras públicas en Bolivia	Claurem, D. (2021) [34].	Revisión
31	Retrasos en proyectos de construcción civil en la Región Caribe de la República de Colombia	Lora, W. (2022) [35].	Revisión

Análisis y discusión

Del análisis de las fuentes documentales encontradas sobre el estudio de los factores que inciden en la planificación y control de obras civiles se destaca inicialmente los contextos estudiados; en este sentido al realizar una división por continentes, se encontró que el 45% se desarrolló en un país de América; además, se

hace énfasis en la cantidad de publicaciones que abarcaron el campo de la construcción en Colombia. En el caso de Venezuela, no se encontraron investigaciones en el tiempo seleccionado.

Así mismo, se detectaron 19,3% investigaciones que estudiaron el campo de la construcción civil en países de Asia: un 13% en naciones de África, un 3,2% en Europa, y un 19,3% abarcó el análisis de todos los continentes, se trata específicamente a estudio de revisión de fuentes documentales, en los cuales se incluyeron fuentes disponibles de cualquier parte del mundo. Lo anterior destaca que la importancia que tiene el estudio de la planificación y control de obras civiles, constituyéndose en un objetivo de indagación científica en cualquier parte del mundo (Figura 1).

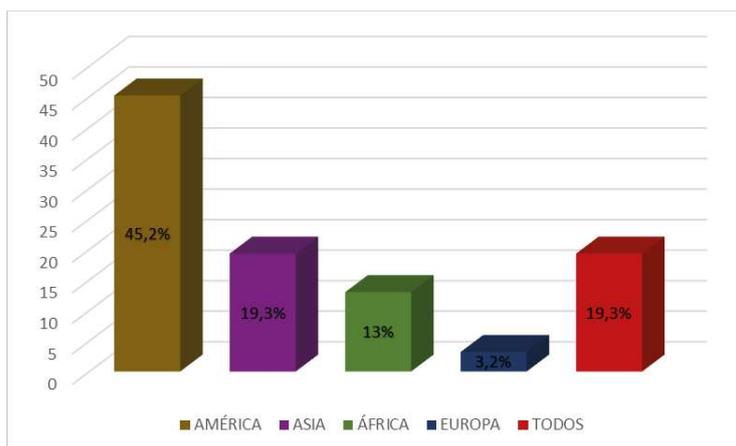


Figura 1. Ubicación por continente de los estudios.

En cuanto al análisis de los factores que inciden en la planificación que cada investigación prioriza, a continuación, a partir de una revisión de cada una de las fuentes documentales seleccionadas se extraen los principales aspectos señalados por los investigadores como causantes del retraso en las obras de construcción civil (Tabla 2):

Tabla 2. Factores que inciden en la programación de obras civiles

Nº	Título	Principales factores
1	Important Causes of Delay in Construction Projects in Baghdad City	Errores y discrepancias en los documentos de diseño, planificación y programación ineficaces del proyecto por parte del contratista, mala gestión y supervisión del sitio por parte del contratista, poca cualificación del personal técnico del contratista, detalles poco claros e inadecuados en los dibujos, experiencia inadecuada del equipo de diseño, recopilación de datos insuficientes antes del diseño, dificultades en la financiación del proyecto por parte del contratista, métodos de construcción obsoletos o inadecuados y mano de obra no calificada.
2	Causes of Delay in Construction Projects of Punjab-Pakistan: An Empirical Study	Aplicación de métodos de construcción inadecuados, retrasos en el trabajo de los subcontratistas, trabajo inadecuado del contratista, cambio frecuente de subcontratistas, escasa cualificación del personal técnico del contratista, retrasos en la movilización de la obra, cambio en las ordenes por parte del propietario durante la construcción, retraso en la revisión y aprobación de los documentos de diseño, retraso en la aprobación de planos de taller y muestras de materiales, comunicación y coordinación deficientes, lentitud en el proceso de toma de decisiones, conflictos entre copropietarios del proyecto, errores y discrepancias en los documentos de diseño, retrasos en la elaboración de los documentos de diseño, detalles poco claros e inadecuados en los planos, cambios en los tipos de material durante la construcción, retraso en la entrega de materiales, retraso en la fabricación de materiales de construcción especiales, retraso en la adquisición de materiales, escasez de equipos, bajo nivel de destreza de los operarios de los equipos, baja productividad y eficiencia de los equipos, escasez de mano de obra, bajo nivel de productividad de los trabajadores, conflictos personales entre los trabajadores, retraso en la obtención de permisos municipales, efecto del clima en las actividades de construcción, accidentes durante la construcción y retraso en la realización de la inspección final y la certificación.

Cont. Tabla 2. Factores que inciden en la programación de obras civiles

Nº	Título	Principales factores
3	Causes and effect of delay on project construction delivery time	Falta de fondos para financiar el proyecto hasta su finalización, toma de decisiones lenta, fluctuación en los precios de los materiales de construcción, error durante la etapa de construcción, disponibilidad y falla del equipo, error y discrepancias en el documento del contrato, mal clima, falta de comunicación efectiva entre las partes involucradas, huelga laboral, cambios en los planos, variaciones, falta de información adecuada de los consultores, problema de gestión de proyectos, estructura organizacional general inapropiada que se vincula con el proyecto y insolvencia del constructor.
4	Evaluación de las etapas de planeación y construcción para diagnosticar las variables que inciden en el cumplimiento de la programación, el presupuesto y los estándares de calidad de los proyectos de construcción	Estudios económicos y financieros incompletos, planeación deficiente, mal diseño de los proyectos, aumento en las tasas de interés, falta coordinación técnica, incumplimiento de proveedores, contratistas y diseñadores, variaciones en las especificaciones técnicas ofrecidas, falta de supervisión técnica, condiciones climáticas y ambientales adversas o complejas, condiciones sociales alrededor del proyecto, no hay un proceso definido para el control de cambios y la trazabilidad de los mismos, retrasos en los pagos a los contratistas y proveedores, falta de control de costo en la obra, no se fija una programación de obra que permite conocer atrasos o avances de obra reales, no se hacen efectivos los flujos de caja programados de los proyectos, retrasos y/o demoras en el suministro de insumos por parte de los proveedores, centros de acopio distantes, falta de comunicación entre contratistas, personal de obra y proveedores y al subcontratar ciertas actividades como un todo costo, aumenta el riesgo de usar materiales de baja calidad.
5	Análisis de las causas del incumplimiento de la programación en las obras civiles.	Falta de planificación de las actividades, deficiente programación de compras y actividades, debilidades en la logística de materiales, deficiente planificación a raíz de una información técnica incompleta planos detallados sin actualizar, programación de obra y presupuesto incompleto y /o poco confiable, negociación con los proveedores y aceptación de los mismos, programaciones inexistentes para todas las diferentes actividades, mal manejo del control de órdenes de compras e inventarios, pagos no oportunos por parte del constructor, documentación sobre procesos de administración es muy generalizada y está poco enfocada a las entregas de las actividades de las obras civiles.
6	Causes of Delay in Construction Projects in Bangladesh	Falta de un director de obra experimentado, selección del licitador más bajo, escasez de financiación por parte del propietario, falta de una gestión adecuada, planificación y programación inadecuadas, falta de trabajadores calificados, limitaciones del terreno, problemas en los flujos de caja de los contratistas durante la construcción, aumento del precio de los recursos y excesiva carga de trabajo de los contratistas.
7	Empirical Study of Factors Influencing Schedule Delays of Public Construction Projects in Burkina Faso	Interferencia de los dueños (ente contratante), lenta toma de decisiones, mal desempeño de subcontratistas, mala supervisión y mala gestión de la obra, retrabajos debido a errores de construcción, planificaciones inadecuadas, experiencia inadecuada del contratista, pocas ofertas de contratistas, mala administración del contrato, lenta preparación y aprobación de planos, garantías de calidad y tiempo de espera para la aprobación de la prueba, inspección lenta de trabajos completados, calidad de materiales, escasez de materiales, oferta de mano de obra, disponibilidad de equipos, dificultades financieras de los dueños, capacidad financiera del contratista, pagos lentos del trabajo terminado, fluctuación en los precios, cambio de órdenes, errores y discrepancias en los documentos del contrato, disputas legales, falta de comunicación entre las partes involucradas, retrasos en la obtención de permisos obtenidos por las agencias gubernamentales, condiciones ambientales (Fuerzas lluvias e inundaciones) y condiciones del sitio desfavorables.
8	Studying the Reasons for Delay and Cost Overrun in Construction Projects: The Case of Iran.	Gestión ineficaz de la obra, planificación ineficaz del contratista, flujo de caja débil del contratista, escasez de mano de obra, retraso en la entrega de los materiales en la obra, escasez de materiales en el mercado, muchos cambios en las ordenes, comunicación inefectiva, falta de experiencia del consultor, estimaciones incorrectas, condiciones climáticas y ambientales extremas, subcontratistas incompetentes, errores durante la construcción, uso de métodos constructivos obsoletos, cronograma presupuestario ineficiente, bajo nivel de productividad en los trabajadores, problemas con subcontratistas, uso de equipo inadecuado, retrasos en el transporte a la obra, desconocimiento de los diferentes modelos de ejecución definidos, mala administración del contrato por la consultora, lenta toma de decisiones, errores en documentos técnicos, retrasos en la producción de documentos de diseño, retrasos en la revisión y aprobación del diseño, documentos por consultor, retrasos en la revisión y aprobación del diseño, documentos por cliente y falta de experiencia del contratista.

Cont. Tabla 2. Factores que inciden en la programación de obras civiles

N°	Título	Principales factores
9	Delay and Cost Overrun in Infrastructure Projects in Jordan	Condiciones del terreno, condiciones climáticas, variación en las órdenes, disponibilidad de mano de obra, errores en el diseño, costo planificado para la construcción del proyecto, condiciones del mercado (disponibilidad de recursos), fluctuaciones de precios materiales, tiempo previsto para la construcción del proyecto, obras de emergencia, calidad de equipos y materias primas, retraso en el pago, costos en los cambios de órdenes, requisitos gubernamentales, reelaboración por materiales de mala calidad, retraso en la decisión, relación laboral entre la gerencia y los trabajadores, secuenciación del trabajo de acuerdo con el cronograma, mala gestión de proyectos y retraso en la toma de decisiones.
10	Factores que ocasionan retrasos en obras civiles en Empresas Públicas de Neiva	Retrasos ocasionados por el ente público contratante, órdenes de cambios por el ente público contratante, cambios constructivos, diferencias en las condiciones de campo, condiciones atmosféricas desfavorables, aceleración de trabajo (pérdida de productividad), suspensión del trabajo, error al cotizar los precios de materiales y equipos, errores en el expediente técnico e irregularidades en la contratación.
11	Investigating Causes of Delay in U.S. Construction Projects.	Cambios en las órdenes, la lenta toma de decisiones por parte del propietario y los errores de diseño.
12	Causas de retrasos en proyectos de construcción: un análisis cualitativo	Ejecución del proyecto, aspectos administrativos, diseño del proyecto, mano de obra, maquinaria, materiales y otros.
13	Identificación de factores que generan diferencias de tiempo y costos en proyectos de construcción en Colombia	<p>Factores que influyen en la variación del tiempo del proyecto:</p> <p>Inadecuada planeación del cronograma, maquinaria necesaria a tiempo, cambios en los diseños, fluctuaciones de la moneda, sector dentro de la actividad económica, falta de materiales, planeación de presupuesto inadecuada, incumplimiento de subcontratistas, incorrecta administración de los recursos monetarios.</p> <p>Factores que influyen en el costo:</p> <p>Falta materiales necesarios a tiempo, falta de comunicación entre las partes involucradas, fluctuaciones de la moneda, prácticas fraudulentas, tipo de proyecto, cambios en el alcance del contrato, productividad laboral inadecuada, falta de maquinaria y planeación de cronograma inadecuada.</p>
14	Análisis comparativo de las causas que más impactan los retrasos de obra en viviendas multifamiliares en Bogotá. (Estudio de caso)	Debilidades en la planeación de los proyectos, inadecuada programación de actividades, debilidades en los estudios técnicos, diseños incompletos que llevan a presupuestar de manera inadecuada, poca actualización de tecnología para programación y deficiencias en la estimación de costos.
15	The top 10 universal delay factors in construction projects	Cambios de diseño durante la construcción/órdenes de cambio; retrasos en el pago a los contratistas; planificación y programación deficientes; gestión y supervisión deficientes de la obra; diseño incompleto o inadecuado; experiencia inadecuada del contratista/métodos y enfoques de construcción; dificultades financieras del contratista; dificultades financieras del patrocinador/propietario/cliente; escasez de recursos (humanos, maquinaria, equipos); y escasa productividad laboral y falta de calificación.
16	Causes of delay and their cures in major Norwegian projects	Planificación y programación deficientes, lento/pobre proceso de toma de decisiones, procedimientos administrativos internos y burocracia dentro de las organizaciones del proyecto, escasez de recursos (recursos humanos, maquinaria, equipo), mala comunicación y coordinación entre las partes, lento proceso de inspección de calidad del trabajo terminado, cambios de diseño durante la construcción/cambio de órdenes, falta de compromiso del patrocinador/propietario/cliente y/o demandas claras (metas y objetivos) y asuntos de oficina de diseño (inadecuado) y problemas de usuario.

Cont. Tabla 2. Factores que inciden en la programación de obras civiles

Nº	Título	Principales factores
17	Causes of delay in various construction projects: A literature review	Mala gestión de la obra; escasez de mano de obra calificada; programación de proyectos poco realista; absentismo laboral; cambios de diseño/reelaboración debido a errores de construcción; accidentes debido a mala seguridad del sitio; retrasos de subcontratistas; escasez de materiales en el sitio; entrega tardía de materiales de construcción y efectos del mal tiempo en las actividades de construcción.
18	Estudio de los factores de retraso y sobrecoste en las obras de Ecuador	Mal financiamiento del contratista, bajo rendimiento de equipos / daños, errores por falta de experiencia, bajo rendimiento de la mano de obra y mala gestión de compras; excesiva burocracia del promotor, cambios de precios inesperados, clima y escasa gerencia de proyectos, errores en el diseño y el mal cálculo del costo del proyecto por parte del diseñador, cambios en el diseño y falta de comunicación entre partes. Y problemas de financiamiento del promotor.
19	Factores que inciden en retraso de proyectos públicos en la etapa de ejecución en la ciudad de Cerro de Pasco	Falta de detalles técnicos, imprecisiones en los datos de campo, mala supervisión de los proyectos, demoras administrativas en todas las fases de una contratación, influencia del clima y problemas de orden público.
20	Causes of schedule delays in construction projects in Algeria	Cambio lento en las decisiones, duración del contrato poco realista, variación en cantidades adicionales, retrasos en el pago del trabajo realizado y planificación y programación ineficaces por parte de los contratistas.
21	Causes of delay in Saudi public construction projects	Centrarse en el análisis financiero y adjudicar al licitador más bajo, adjudicación a contratistas de proyectos por encima de su potencial financiero y técnico, selección de contratistas que tienen otros proyectos dudosos, los ministerios no se interesan por el desarrollo del sector de la ingeniería, las entidades gubernamentales tardan en conceder derechos financieros a los contratistas, debilidad de las capacidades financieras y técnicas de algunos contratistas, las entidades gubernamentales no retiran los proyectos retrasados al contratista vacilante, débil análisis técnico de los competidores, falta de interés por los calendarios y su actualización constante, ampliación del uso de subcontratistas que no están cualificados, los bajos salarios e incentivos económicos de los ingenieros provocan una falta de interés por el estudio y la supervisión, se producen variaciones en los pedidos durante el periodo del proyecto, falta de precisión en el estudio de cantidades, especificaciones y planos, la debilidad de la coordinación entre los proveedores de servicios relacionados con los emplazamientos y las obras del proyecto, la debilidad de la experiencia de algunos ingenieros en los estudios y la supervisión, el uso de consultorías no cualificadas, la debilidad de la formación y el desarrollo de los ingenieros y los departamentos de ingeniería, la escasa eficacia y experiencia del Departamento de Supervisión Técnica de la entidad gubernamental, débiles bases de información en ministerios y empresas sobre infraestructura y falta de planificación por parte de las entidades gubernamentales.
22	Planificación y control de una construcción civil basado en el enfoque del PMBOK	Factores climáticos, averío de maquinaria, ausencia de personal, falta de material y accidentes laborables.
23	Delay causes and emerging digital tools: a novel model of delay analysis, including integrated project delivery and PMBOK	Planificación inadecuada de los recursos, presupuestación inexacta, compras, programaciones irreales. Retrasos en el pago a los trabajadores/contratistas Cambios en el diseño y el alcance/falta de claridad (por parte del propietario, el contratista o el arquitecto) Utilización de personal no calificado, falta de trabajadores/diseñadores calificados, escasa calificación del personal técnico, problemas de dotación de personal Problemas de tesorería, financiación inflexible, dotación insuficiente para imprevistos, problemas de obtención de préstamos, litigios financieros, costos elevados de capital, penalizaciones.

Cont. Tabla 2. Factores que inciden en la programación de obras civiles

N°	Título	Principales factores
23	Delay causes and emerging digital tools: a novel model of delay analysis, including integrated project delivery and PMBOK	<p>Falta de directores de obra experimentados, supervisión deficiente Cambio de material, retraso en la entrega, falta de disponibilidad y de materiales Cambio de ordenes: Problemas de diseño (por parte del propietario u otros) Problemas financieros del contratista. Comunicación: Mala coordinación, trabajo en equipo deficiente Problemas financieros del propietario Subcontratistas: Falta de fiabilidad, retrasos, falta de experiencia. Uso de herramientas y equipos inapropiados e inadecuados. Retrasos en la aprobación y el proceso de inspección del diseño, los materiales y el trabajo terminado Peligros naturales (problemas relacionados con el medio ambiente, condiciones meteorológicas extremas, inundaciones, precipitaciones, temperatura, temperatura del suelo y velocidad del viento Productividad laboral Cultura y política Cultura organizativa, guerra, huelgas y cierre de fronteras, fluctuaciones políticas, restricción de movimientos entre zonas Escasez de recursos, insuficiencia/retraso de recursos humanos, robos de material y equipos Condiciones “económicas”: Variaciones económicas, de costos y monetarias locales o mundiales, insuficiencia de divisas para importar materiales y equipos Selección del licitador más bajo Retraso en la entrega/entrega de la obra Problemas de retraso/no finalización/cambios de planos Gestión de contratos: Gestión deficiente de los contratos, duración incorrecta del periodo contractual, cambios en los contratos, valores contractuales, normas antiguas. Seguridad deficiente en la obra, restricciones sanitarias, accesos alternativos seguros Inflación: Presión inflacionista, falta de atención a la inflación Falta de directivas/estrategias de protocolo/política organizativa rigurosas Precios y licitaciones erróneos, bajo rendimiento del licitador, falta de licitador Seguimiento y control/control de costos inadecuados Estimación imprecisa de plazos y costos Dificultades para obtener permisos de trabajo (permisos de perforación o pruebas.</p>
24	Análisis de causas del incumplimiento de la programación en obras de construcción en dos municipios de Colombia y definición de estrategias para mitigarlas	<p>Mal diseño de los proyectos, mal ejecución de planes de trabajo, personal no calificado, falta de recursos, materiales para cumplir la programación, cambios climáticos, dificultades de circulación por problemas de orden público y calidad de las vías de acceso.</p>
25	Empirical study of schedule delay in Moroccan construction projects	<p>Retraso en el pago de los avances, falta de formación de los empleados, falta de estrategia de gestión de residuos, duración del contrato poco realista impuesta por los clientes, repetición de las obras debido a errores de construcción, subcontratación excesiva, retraso en la obtención de permisos de los organismos gubernamentales, planificación y programación ineficaces, falta de planificación colectiva y mano de obra no calificada.</p>

Cont. Tabla 2. Factores que inciden en la programación de obras civiles

N°	Título	Principales factores
26	Revisiting critical delay factors for construction: analysing projects in Malaysia	Falta de planificación y programación adecuadas, subcontratistas incompetentes, demasiadas peticiones de cambio por parte de los clientes, dirección de obra y supervisión incompetentes, lentitud en la toma de decisiones, comunicación ineficaz con los demás, coordinación inadecuada con otras partes interesadas, errores de construcción y obras defectuosas, problemas financieros de los contratistas, mano de obra poco calificada, baja productividad, impago o retraso de las obras terminadas, lentitud en la aprobación de cambios de alcance, condiciones imprevistas de la obra, condiciones meteorológicas, lentitud en la realización de inspecciones y pruebas, instalaciones y equipos inadecuados o insuficientes selección, escasez de materiales, escalada de precios, cambio en las políticas y el liderazgo del gobierno.
27	Análisis de los principales factores que originan ampliaciones de plazo y prestaciones adicionales en la ejecución de proyectos por parte de la Municipalidad Provincial de Azángaro, Durante el año 2020	Ampliaciones adicionales de obra y errores en la estimación de costos.
28	Análisis comparativo de factores causales del retraso entre proyectos de edificación y de infraestructura vial: una revisión sistemática	Principales factores en los proyectos de edificación: Falta de materiales, dificultades financieras de parte del dueño, falta de supervisión y administración, fallas en el diseño, retraso de pagos al contratista, tardía toma de decisiones de parte del dueño, experiencia inadecuada de parte del contratista, falta de mano de obra, inadecuada planificación del proyecto y dificultades financieras del contratista. Principales factores en los proyectos de infraestructura vial: Mala gestión y supervisión del sitio, retrasos en los pagos al contratista, experiencia inadecuada del contratista, dificultades financieras del propietario, adquisición de tierras, fallos en el diseño, escasez de equipo, inadecuada planificación del proyecto, escasez de materiales y el clima.
29	Análisis de las causas de retraso y sobrecoste en la construcción de vías terciarias en Colombia.	El aumento en cantidades y adición de ítems no previstos, deficiente gestión del presupuesto y recursos económicos, del tiempo y cronograma o de recursos de obra y el clima.
29	Análisis de las causas de retraso y sobrecoste en la construcción de vías terciarias en Colombia.	El aumento en cantidades y adición de ítems no previstos, deficiente gestión del presupuesto y recursos económicos, del tiempo y cronograma o de recursos de obra y el clima.
30	Estudio de los factores de retraso y sobrecoste en las obras públicas en Bolivia	Retraso en el pago de planillas por parte de la entidad, trabajos adicionales no considerados, retrasos en la entrega de los diseños, cambios en el diseño durante la ejecución de la obra, condiciones climáticas no anticipadas, suspensión de la construcción por fuerza Mayor, conflictos sociales o de orden social y estudios incompletos en sitio de proyecto
31	Retrasos en proyectos de construcción civil en la Región Caribe de la República de Colombia	Adiciones de obra al contrato, solicitudes de permiso o concesión de tierras para ejecutar los proyectos, demoras o renovación de los contratos de la interventoría, mala planeación del proyecto, errores en los diseños constructivos, falta de diligencia al solicitar los permisos relacionados con la obra y desaciertos en la gerencia de esta, el clima, empresas prestadoras de servicios públicos y todo aquello que no está ligado directamente con el proyecto, mala gestión de los proyectos, falta de un buen plan de trabajo que contemple posibles fallas en las actividades y nocivo manejo de solicitudes de permisos.

En primera instancia, hay que resaltar que durante el período de estudio se encontraron trabajos con diferentes metodologías y realizados en diferentes contextos que analizan los factores que inciden en la planificación, por lo tanto, se establece que en las investigaciones existe diversidad en cuanto a los aspectos que afectan proyecto, una construcción civil, los cuales pueden estar en cualquiera de las fases de ejecución del proyecto, ya sea la diseño, planificación, ejecución o evaluación.

En este sentido, el trabajo de Jahanger [5] en el continente asiático, tuvo como objetivo identificar las causas del retraso en los proyectos de construcción, especificando las mismas a través de un estudio de campo, en el cual se resaltan como causas los errores y discrepancias en los documentos de diseño, planificación y programación ineficaces del proyecto por parte del contratista.

En ese mismo continente y en el 2013, Rahsid y Aslam [6] desarrollaron un estudio cuyo objetivo fue explorar las causas de la demora en los proyectos de construcción de Punjab en Pakistán, se determinaron los efectos de varios factores como aplicación de métodos de construcción inadecuados, retrasos en el trabajo de los subcontratistas, trabajo inadecuado del contratista, cambio frecuente de subcontratistas, retrasos en la movilización de la obra, escasez de equipos y mano de obra, ente otros.

En este orden de ideas, Owolabi *et al.*, [7], publicaron un trabajo cuyo objetivo fue investigar las causas y efectos del retraso en el tiempo de entrega del proyecto de construcción de edificios en Nigeria, África, a partir de un muestreo aleatorio con una muestra de 150. Los resultados determinaron que hay muchos factores que inducen la demora en los proyectos de construcción; sin embargo, destacan los siguientes factores: falta de fondos para financiar el proyecto hasta su finalización, cambios en los dibujos, falta de comunicación efectiva entre las partes involucradas, falta de información adecuada de consultores, lentitud en la toma de decisiones e insolvencia de contratistas, variaciones en clima, entre otros; estos están desplegados en todas las fases del proceso constructivo.

En América Latina, específicamente en Colombia, Ceballos [8] desarrolló un diagnóstico en las etapas de planeación, diseño, construcción y posventa de dos proyectos específicos, con el fin de conocer las posibles causas de los retrasos detectando problemáticas en todas las fases de ejecución del proyecto, destacando especialmente los problemas de planeación y diseño que impactan negativamente en las fases siguientes.

Seguidamente también el Colombia, Burgos y Vela [9], realizaron un estudio dirigido a determinar las causas que inciden en el incumplimiento de la programación de una construcción y suministrar herramientas que permitan optimizar su uso, en este se establece la importancia que conlleva la planificación de obras en un proyecto, en este caso se sugiere la utilización de herramientas tecnológicas para optimizar la programación y el control.

Dos años más tarde, Islam *et al.*, [10] presentaron un estudio sobre las principales causas de retraso en la construcción de grandes edificios en Bangladés, determinando las diez principales: falta de un director de obra experimentado, selección del licitador más bajo, escasez de financiación por parte del propietario, falta de una gestión adecuada, planificación y programación inadecuadas, falta de trabajadores calificados, limitaciones del terreno, problemas en los flujos de caja de los contratistas durante la construcción, entre otros; concentrados fundamentalmente en problemas administrativos y en la ejecución del proyecto.

Así mismo, Bagaya y Song [11], presentan un estudio empírico de los factores que influyen en los retrasos en los cronogramas de los proyectos de construcción pública en Burkina Faso en África occidental. La misma aplicó encuesta a 140 expertos burkineses (clientes, contratistas y consultores), señalando que los cinco factores de demora más importantes son capacidad financiera del contratista, dificultades financieras del propietario, disponibilidad de equipo del contratista, pagos lentos por trabajar y mal desempeño del subcontratista por parte del contratista. Posteriormente, los resultados se compararon con investigaciones de 11 países determinando la capacidad financiera del contratista fue el factor más frecuente, también en otros países asiáticos y africanos.

Del mismo modo, se hace referencia a un estudio desarrollado en el continente asiático, por Samarghandi *et al.*, [12], centrado en estudiar las razones de la demora y el sobre costo en la construcción proyectos: el caso de Irán. Se realizaron entrevistas con propietarios, contratistas, consultores, expertos de la industria y organismos reguladores, especificando que las razones más significativas como: subcontratista incompetente, falta de experiencia del consultor, estimaciones incorrectas, escasez de materiales y mano de obra, errores durante la construcción, cronograma presupuestario ineficiente, elaboración de presupuestos ineficiente, planificación ineficaz del contratista y el clima, entre otros.

En este orden de ideas, se presenta otro estudio realizado en Asia, en este caso en Jordania, realizado por Al-Hazim *et al.*, [13], el cual estudia el retraso y sobre costo en proyectos de infraestructura en Jordania, para lo cual se analizaron los informes finales de una muestra de 40 proyectos. Los resultados determinaron 20 factores; sin embargo, se estimó que las condiciones climáticas y del terreno son los que más causan el retraso en la finalización y el sobre costo en los proyectos.

En América en el 2017, Gordo *et al.*, [14] presentaron un trabajo sobre los factores que ocasionan retrasos en obras civiles en Empresas Públicas de Neiva en Colombia, dirigido a formular un modelo metodológico dentro de un proceso de obra civil de carácter público. En el estudio se identifican los siguientes factores: retrasos ocasionados por el ente público contratante, órdenes de cambios por el ente público contratante, cambios constructivos, diferencias en las condiciones de campo, condiciones atmosféricas desfavorables, aceleración de trabajo (pérdida de productividad), suspensión del trabajo, entre otros.

Desde esta perspectiva, Tafazzoli y Shrestha [15], realizaron un trabajo en los Estados Unidos que buscó evaluar las posibles causas de retraso en la construcción, para lo cual se realizó una revisión exhaustiva de la literatura y luego una encuesta a nivel nacional, especificando de esa manera los principales aspectos que inciden en la construcción civil, determinado que los principales factores están en la fase de planificación y diseño.

Igualmente, se destaca el trabajo de Rudeli *et al.*, [16], cuyo objetivo fue realizar un estudio estadístico y un análisis cualitativo del estado del arte que permite conocer las causas de retrasos más importantes y su repercusión en los distintos países del mundo. La indagación encontró 1057 causas que fueron organizadas en siete familias o dimensiones: aspectos administrativos, diseño de los proyectos, mano de obra, la ejecución, materiales, maquinarias y otros; siendo los cuatro primeros los principales causantes de los retrasos en los proyectos de construcción, aunque se destaca la variabilidad de las causas analizadas.

En este sentido, Lozano *et al.*, [17] realizaron un estudio en Colombia sobre las causas que afectan el desarrollo de proyectos de construcción, y establecieron entre los factores que influyen en la variación del tiempo y el costo del proyecto los siguientes: la inadecuada planeación del cronograma, maquinaria necesaria a tiempo, cambios en los diseños, fluctuaciones de la moneda, falta de materiales, planeación de presupuesto inadecuada, entre otros aspectos.

También en Colombia, Acevedo *et al.*, [18] analizaron las causas que más impactan los retrasos de obra en viviendas multifamiliares en Bogotá (Estudio de caso), en la cual se destaca la importancia de una planificación óptima de los proyectos para evitar retrasos, además de superar la inadecuada programación de actividades, las debilidades en los estudios técnicos, los diseños incompletos que llevan a presupuestar de manera inadecuada, la poca actualización de tecnología para programación y las deficiencias en la estimación de costos.

Por su parte, Zidane y Andersen (2028a) [19], hicieron una investigación de tipo mixta en Noruega, para conocer los diez principales factores universales de retraso en proyectos de construcción, a partir de una revisión intensiva de la literatura y la aplicación de cuestionarios. Entre los factores se señalan: cambios de diseño durante la construcción, cambio de órdenes, retrasos en el pago de los contratistas, mala planificación y programación, gestión y supervisión deficientes del sitio, diseño incompleto o inadecuado, experiencia del contratista/métodos y enfoques de construcción inadecuados.

En este mismo orden de ideas, estos autores presentaron otra publicación en el mismo año [20] en la que abordan la frecuencia y el tipo de factores de demora en los principales proyectos de construcción noruegos y sus posibles soluciones, señalando en este contexto los siguientes factores: planificación y programación deficientes, lento/pobre proceso de toma de decisiones, procedimientos administrativos internos y burocracia dentro de las organizaciones del proyecto, escasez de recursos (recursos humanos, maquinaria, equipo), mala comunicación y coordinación entre las partes, proceso lento de inspección de calidad del trabajo terminado, cambios de diseño durante la construcción/cambio de órdenes, entre otros, apreciando una coincidencia con lo expresado en la literatura.

Por su parte, Mbala *et al.*, [21], publicaron una investigación dirigida a identificar las diversas causas del retraso en los proyectos de construcción, desde una revisión de la literatura revelando que la mala gestión del sitio, escasez de mano de obra calificada, programación de proyectos poco realista, ausentismo laboral, los cambios de diseño/retrabajo debido a los errores de construcción, y los accidentes debido a la mala seguridad del sitio; son algunas de las principales causas de retraso en la entrega oportuna de los proyectos de construcción. Dicho estudio sugiere que para superar esos factores de retraso se debe establecer un mejor equipo de trabajo entre clientes, contratistas y consultores.

En Ecuador, Manzano [22] presentó en el 2019 un estudio que buscó identificar los factores causantes de retrasos y sobrecostos en las obras de construcción y determinó cinco ámbitos de responsabilidades en el retraso de obras civiles, destacando el mal financiamiento del contratista, bajo rendimiento de equipos / daños, errores por falta de experiencia, bajo rendimiento de la mano de obra y mala gestión de compras, así como la excesiva burocracia del promotor, cambios en el diseño, cambios de precios inesperados, clima y escasa gerencia de proyectos.

En Perú, Santos Ramos [23], realizó una investigación sobre factores que inciden en retraso de proyectos públicos en la etapa de ejecución en la ciudad de Cerro de Pasco, determinando estos factores: falta de detalles técnicos, imprecisiones en los datos de campo, mala supervisión de los proyectos, demoras administrativas en todas las fases de una contratación, influencia del clima y problemas de orden público.

Se revisó además el trabajo de Rachid *et al.*, [24], el cual consistió en identificar las causas del retraso en la industria de la construcción argelina, se utilizó un cuestionario y entrevistas directas a una muestra de expertos en construcción y se priorizaron los cinco principales factores: cambio lento en las decisiones, duración del contrato poco realista, variación en cantidades adicionales, retrasos en el pago del trabajo realizado y planificación y programación ineficaces por parte de los contratistas.

En este mismo orden de ideas, Alsuliman [25], publicó una indagación sobre causas del retraso en los proyectos de construcción públicos saudíes, las cuales se clasifican a partir de las diferentes etapas de un proyecto de construcción: factores antes de la adjudicación de las ofertas, factores durante la adjudicación de las ofertas, factores posteriores a la adjudicación de las ofertas y factores generales, la intención del estudio era buscar soluciones a los retrasos.

En otro contexto, Ocampo e Hidalgo [26], desarrollaron un estudio dirigido a diseñar una guía modelo para la planificación y control de una construcción civil basado en el enfoque del PMBOK aplicado a un proyecto vial, para lo cual inicialmente realizaron un análisis de las principales causas de retraso en obras civiles a partir de los responsables. Para el proyecto vial objeto del análisis los retrasos que se presentaron durante el proceso de ejecución de la obra fueron a causa de factores climáticos, avería de maquinarias, ausencia de personal, falta de material y accidentes laborales, en este caso se evidenció una disminución de los factores de índole administrativos.

Así mismo, Sepasgozar *et al.*, [27], a partir de una revisión de la bibliografía estudiaron el retraso como uno de los principales desafíos de los proyectos de construcción, destacando lo que se ha aprendido durante una década sobre la investigación de las causas y los efectos de los retrasos y qué factores se han pasado por alto, determinando que son los recursos, el contexto del proyecto, el desempeño de las partes interesadas y los factores externos aspectos que se deben atender para prevenir retrasos en la ejecución de los proyectos civiles.

Otro estudio desarrollado en Colombia fue el de Carvajal y Muñoz en el 2020 [28], el cual analiza las causas del incumplimiento de la programación en obras de construcción en dos municipios de Colombia para definir estrategias de mitigación, concluyendo que la causa más relevante en ambos municipios es la falta de planeación en los proyectos, pues no se realizan a cabalidad los estudios y diseños, estableciendo las siguientes: mal diseño de los proyectos, mal ejecución de planes de trabajo, personal no calificado, falta de recursos, materiales para cumplir la programación, cambios climáticos, dificultades de circulación por problemas de orden público y calidad de las vías de acceso. En el caso de los países de América Latina tienden a aparecer los problemas de orden público como un factor que incide en el cumplimiento de la planificación.

También en el 2020, Bajjou y Chafi [29] efectuaron un estudio en Marruecos, el objetivo del mismo fue determinar las causas críticas que afectan a los retrasos en los proyectos en la industria de la construcción marroquí, se identificaron cuarenta y nueve causas de retraso a partir de la revisión de la literatura y se redefinieron a través de entrevistas con expertos marroquíes. Se encontraron las siguientes causas: retraso en el pago de los avances, falta de formación de los empleados, falta de estrategia de gestión de residuos, duración del contrato poco realista impuesta por los clientes, repetición de las obras debido a errores de construcción, subcontratación excesiva, retraso en la obtención de permisos de los organismos gubernamentales, planificación y programación ineficaces, falta de planificación colectiva y mano de obra no calificada.

En este orden de ideas, Hui *et al.*, [30] realizaron una investigación sobre la revisión de los factores de demora críticos para la construcción, desde un enfoque mixto se analizó la gestión del cronograma de construcción mediante la identificación de las principales causas de retraso, a partir de un *meta*-análisis de 52 causas comunes de retraso identificadas a partir de la revisión de la literatura, las 20 causas más citadas se clasifican en: clientes, contratistas, consultores, mano de obra y equipos, materiales y otros, entre las que se puede mencionar la falta de planificación y programación adecuadas, subcontratistas incompetentes, demasiadas peticiones de cambio por parte de los clientes, lentitud en la toma de decisiones, comunicación ineficaz con los demás, coordinación inadecuada con otras partes interesadas, errores de construcción y obras defectuosas, problemas financieros de los contratistas, mano de obra poco calificada, entre otras.

De la misma manera, Cuba [31] realizó una investigación en Perú, sobre los principales factores que originan ampliaciones de plazo y prestaciones adicionales en la ejecución de proyectos por parte de la municipalidad provincial de Azángaro, durante el año 2020 e identificó que los principales factores que originaron ampliaciones de plazo fueron la aprobación de ampliaciones adicionales a la obra y los factores de estimación; ambos tienen su origen en una deficiente planificación del proyecto.

Paralelamente, Mera y Manrique [32] efectuaron el estudio cuyo objetivo fue realizar un análisis comparativo de los factores causales del retraso entre proyectos de edificación e infraestructura vial, mediante una revisión sistemática de literatura, dicha indagación determinó los siguientes factores en el caso de los de edificación: materiales, retrasos en pagos, experiencia del contratista, fallas en el diseño y cambios de decisión por parte del dueño; y en los proyectos viales: fallas en el diseño, mala gestión y supervisión del sitio, clima, falta de experiencia del contratista y retraso en pagos. Se destaca la importancia de establecer una planificación guiada por una ruta crítica que tome en cuenta los aspectos que pueden ser predecibles y atender aquellos que son impredecibles.

Igualmente, Chamíe [33], presentó la investigación análisis de las causas de retraso y sobrecoste en la construcción de vías terciarias en Colombia, con el objetivo de analizar el problema y realizar una propuesta de mejora para los procesos de licitación, que permitan minimizar los retrasos y sobrecostes que se producen en la construcción de este tipo de infraestructuras, para lo cual se realizó un estudio mixto. Dicho estudio encontró en el contexto analizado, seis factores vinculados fundamentalmente a la planificación y administración del proyecto: aumento en cantidades y adición de ítems no previstos, deficiente gestión del presupuesto y recursos económicos, del tiempo y cronograma, o de recursos de obra y el clima.

En este mismo año, Claurem [34] realizó una indagación en Bolivia, la cual buscó identificar y analizar los principales factores que causan retraso y sobrecoste en las obras de ingeniería civil y promoción pública,

para así poder establecer medidas para su mitigación; encontrando tres factores principales: los cambios en el diseño, las condiciones climáticas no anticipadas y los conflictos sociales son los factores influyentes en la presencia de retrasos, en este caso dos de los aspectos son de orden externos a la planificación del mismo.

Finalmente, se hace referencia a otro estudio desarrollado en la nación colombiana, en este caso, el trabajo desarrollado en el 2022 por Lora [35], pretendió realizar un análisis cualitativo de las causas generadoras de los retrasos en diferentes proyectos de construcción para establecer una base de criterios y las razones de las demoras en las obras. Se utilizó como fuente el Sistema Electrónico de Contratación Pública de Colombia (SECOP I), en la base de datos los diversos proyectos de construcción en la región caribe, tomándose como muestra aquellos que presentaron retrasos en su ejecución y/o terminación, concluyendo que los actores que se encontraron están vinculados al contratante, contratista, administrativos o gerenciales y administrados por terceros. Se resalta además, que estos pueden ser mitigados a partir de una articulación entre los responsables del mismo en todas sus fases.

Como se evidencia, existe en las investigaciones consultadas muchas coincidencias, aunque también variabilidad en las metodologías de análisis, y en relación a los factores que inciden en el cumplimiento de la planificación; en algunos casos el análisis se realiza desde las fases de ejecución del proyecto, en otros desde los actores involucrados en el mismo, desde las diferentes aristas que involucran el diseño de una obra civil o a partir de una articulación de estos; por lo general ese criterio está dado por el contexto del estudio y el tipo de investigación que se desarrolla.

Clasificación de las principales causas que inciden en la planificación y control de obras civiles

En función de realizar un análisis sistemático de las investigaciones presentadas, luego de describir los principales factores que inciden en la planificación y el control de obras civiles se procedió a clasificarlos en dimensiones, lo cual permite explicar los aspectos que interfieren de manera precisa en el proyecto. Para ello, se realizó una adaptación de la propuesta de Rudeli *et al.*, [16], considerando las siguientes dimensiones: ejecución del proyecto, aspectos administrativos, diseño del proyecto, mano de obra, condiciones climáticas y otros; se unificaron las categorías materiales y equipos y, se incluyeron aspectos económicos y la coordinación y comunicación entre las partes. (Tabla 3).

Tabla 3. Descripción de las dimensiones que inciden en la planificación de obras civiles

Ítem	Descripción
Aspectos administrativos	Esta dimensión aborda la planificación, organización, dirección y control; es decir, todos los aspectos vinculados con trámites, permisos, toma de decisiones, realización y seguimiento a contratos, planificación, la relación entre las partes involucradas (contratista, dueño y subcontratistas) y equipos de trabajo.
Ejecución del proyecto	Esta dimensión aborda el desarrollo del proyecto en la obra, como: errores de construcción, accidentes laborales, elección inadecuada de métodos constructivos, entre otros
Diseño del proyecto	La dimensión diseño de proyecto involucra los retrasos en los planos y detalles diseños, cambios en el diseño, errores de cálculo y diseños y todos los aspectos relacionados a la parte técnica del proyecto.
Mano de obra	Esta dimensión incluye factores derivados con al talento humano como la escasez y falta de capacitación en la mano de obra
Materiales y equipos	En cuanto a esta dimensión, considera la escasez e incremento del costo, disposición inadecuada y retrasos en la entrega de materiales y el equipamiento necesario para la ejecución del proyecto.
Condiciones climáticas	Condiciones adversas climáticas que afectan la ejecución del proyecto
Aspectos económicos	La dimensión aspectos económicos incorpora todos los financieros como: retrasos en los pagos, inflación, deficiente proyección de costos del proyecto, entre otros.

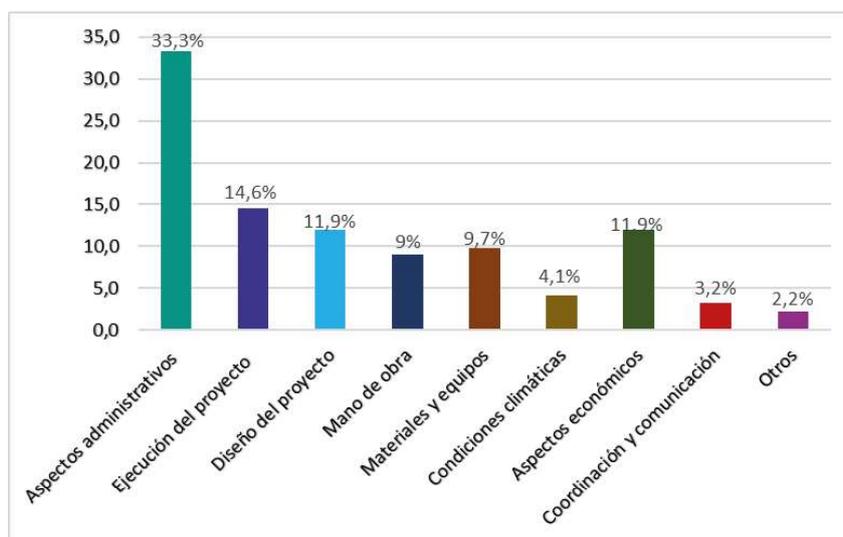
Cont. Tabla 3. Descripción de las dimensiones que inciden en la planificación de obras civiles

Ítem	Descripción
Coordinación y comunicación	Esta asume los aspectos vinculados a una deficiente coordinación e interacción entre las partes involucradas.
Otros	La dimensión otros, incorporó a los factores sociales externos al proyecto que afectan su ejecución, como protestas, cierre de vías y guerras.

En ese sentido, se señala que durante el análisis se encontraron 411 factores que inciden en la planificación en obras civiles, los mismos fueron agrupados en estas nueve dimensiones. Se resalta primeramente que son los aspectos administrativos los que destacan irrefutablemente como la causa que más genera retraso en los proyectos de construcción con un 33,3%, a este le sigue la ejecución del proyecto con 14,6%, el diseño y los aspectos económicos aparecen con un porcentaje de incidencia de 11,9% y la mano de obra con 9% (Tabla 4, Figura 2).

Tabla 4. Factores que inciden en la planificación y control de obras

Ítem	F	%
Aspectos administrativos	137	33,3
Ejecución del proyecto	60	14,6
Diseño del proyecto	49	11,9
Mano de obra	37	9,0
Materiales y equipos	40	9,7
Condiciones climáticas	17	4,1
Aspectos económicos	49	11,9
Coordinación y comunicación	13	3,2
Otros	9	2,2

**Figura 2. Factores que inciden en la planificación y control de obras.**

En el caso de las condiciones climáticas, la coordinación y comunicación entre las partes y la categoría otros, los porcentajes son más bajos, 4%, 3% y 2% respectivamente, su afectación durante el desarrollo de los procesos administrativos y la ejecución del proyecto pueden ser determinantes como, por ejemplo, el

caso de los problemas de orden público o huelgas, lo cuales pueden paralizar la obra incluso por un tiempo indeterminado.

Factores que inciden en la planificación y control de obras civiles

Toda variación en la ejecución de un proyecto va a tener distintas implicaciones que sin duda va a repercutir negativamente en las finanzas de las empresas vinculadas al mismo. En tal sentido, Mattos y Valderrama [1], expresan que “las desviaciones en tiempo son negativas para todos: cuando un proyecto se retrasa con independencia del causante, y aunque haya una indemnización por ello, el cliente recibe el edificio más tarde. Por tanto, el tiempo es un recurso de mayor valor, puesto que se puede canjear por dinero, pero no a la inversa”.

Al respecto, los factores que pueden afectar negativamente la planificación de una obra civil son de diversa índole, en el caso de los aspectos administrativos son considerados los que más afectación generan, lo cual es razonable si se toma en cuenta que “la administración de proyectos es la función fundamental para llevar a cabo la ejecución de un proyecto. Es el proceso por el cual se obtienen, manejan y aplican recursos variados, necesarios para ejecutar el proyecto y cuyo desempeño se mide principalmente con base en los siguientes parámetros: costo, plazo, calidad y satisfacción del cliente y de los participantes en el proyecto.” (Serpell y Alarcón, 2015, p. 13) [2].

La administración contempla la planificación, organización, dirección y control; es decir, todas las fases de ejecución del proyecto, lo cual implica que, al no gestionarse todos los procesos implicados, se afectan todas las etapas del proyecto. En el mencionado estudio, se pudo evidenciar que una deficiente administración genera afectaciones a lo largo de todo el proyecto.

De hecho, la planificación es uno de los aspectos que aparecen señalados en casi todas las investigaciones como causantes de retraso. En función a ello, Mattos y Valderrama [1] señalan que este paso de la planificación tiene que ser bien ejecutado, porque el producto final (el cronograma con las fechas estimadas de cada actividad) está directamente afectado por la secuencia definida. La definición de la duración y el establecimiento de la interdependencia entre las actividades son los puntos clave de la planificación.

Por lo tanto, una inadecuada planeación y programación de la obra va a generar una afectación en la fase de ejecución del proyecto, las debilidades usualmente responden al poco tiempo para el diseño del mismo, poca experiencia del planificador o una deficiente estimación o diseño técnico. Lo cual se evidencia como una falla de la dirección y la coordinación de talento humano, que puede minimizarse con una política de capacitación permanente; y con la actualización continua de la planificación a partir de la incorporación de las nuevas especificaciones técnicas que se vayan requiriendo.

En este sentido, Mattos y Valderrama (2014) [1], expresan que la programación genera la comunicación entre el equipo de planificación y el equipo de producción de la obra para que se pueda cumplir. “Se recomienda que las reuniones semanales o quincenales vengán pautadas en la programación, ya que así se define exactamente quién está haciendo qué, y cuáles son las fechas de inicio y final previstas para cada actividad del período”. Con esta consideración se corrige otra las dimensiones que afectan la planificación y control de la obra: la coordinación y comunicación entre las partes.

De hecho, la Guía del PMBOK (2021, p. 33) [36], resaltan la importancia del involucramiento de todos los equipos que forman parte del proyecto, ya que permite identificar, ajustar y responder a las circunstancias cambiantes que son propias que todos los proyectos, y por ello deben atenderse, lo cual permite minimizar los posibles impactos negativos y maximizar los impactos positivos. Este aspecto es poco considerado en las empresas; por lo tanto, interfiere en la planificación y ejecución efectiva del proyecto, incluso puede desarrollar otro factor: ralentizar y hacer menos efectiva la toma de decisiones.

Hay que destacar la fase de diseño, aunque se resaltan los factores de planificación como la principal causa, cuando el proyecto inicia con unos diseños inexactos, incompletos o errados, se va a afectar directamente la planificación, la ejecución y el control. Es decir, este aspecto es desencadenante de otros, por lo general se

debe a la falta de datos en el momento de diseñar el proyecto, pero estos deben irse ajustando al contar con la información para evitar incluso estimaciones de costos incorrectas, teniendo claro la secuenciación de los proyectos de construcción civil.

Es importante tener claro, que el desarrollo inadecuado de una fase del proyecto va generar afectaciones en la siguiente, por ejemplo “un diseño defectuoso debe corregirse en la etapa de ejecución, lo que deteriora la eficiencia, los costos y los plazos del proceso”. Por ello todo proyecto debe atender con sistematicidad los estudios de las fases de prefactibilidad, factibilidad, la definición e ingeniería de ejecución o fase de inversión, pues si bien en las primeras incorporan estudios preliminares, la última debe conllevar a la realización definitiva del diseño pasando de ingeniería básica a ingeniería de detalle, comprendiendo estudios de terreno, prospecciones, planos, ensayos topográficos y demás estudios que se requieran. [37].

De esa manera, cualquier error en la fase de diseño va a tener una implicación negativa en la fase de ejecución, llevando a que no se cumplan las metas de producción y a que los errores se ajusten en la marcha afectando el cronograma de entrega. [37].

En relación a los factores vinculados a la ejecución del proyecto, es preciso considerar que la misma va guiada por la planificación, es claro que, si la misma no cuenta con una evaluación técnica de los diferentes riesgos ajustados a las características particulares del proyecto, es susceptible a desarrollar más incidencias y a necesitar más tiempo para solucionarlo. Al mismo tiempo, la aplicación de técnicas inadecuadas de construcción, es otra de las causas que afecta el proceso de construcción, debido fundamentalmente a una inadecuada selección de la subcontratista y una ineficaz supervisión en campo.

En cuanto a los aspectos económicos o financieros, los mismos pueden causar una paralización del proyecto. “El análisis de la factibilidad financiera de un plan implica determinar si los fondos necesarios para cubrir los gastos financieros se encuentran y se encontrarán o no disponibles cuando se necesiten”. [37]

Al diseñarse un proyecto es preciso una revisión técnica de su viabilidad financiera, el no hacerlo puede implicar el fracaso del proyecto y pérdidas financieras de la empresa [2]. Son varios los factores que están asociados al tema económico, con diferencias marcadas en el sector público y privado; sin embargo, la mayor debilidad descansa en una deficiente estimación de costos del proyecto de tal manera que no permite una proyección real de los costos que son necesarios para la ejecución final de la obra, por lo que es un aspecto que debe atenderse en la fase inicial del proyecto.

La escasez o falta de capacitación de la mano de obra se considera otro de los factores que alteran la planificación y control de una obra, debido a que “este recurso se podría determinar como el más crítico si pensamos que un gran porcentaje del valor total de la obra está asociado a este recurso y que una mala utilización de éste podría implicar un aumento importante en los costos del proyecto [2].

Partiendo de lo anterior, este aspecto está centrado en la ausencia de una gerencia estratégica del talento humano, que por un lado establezca un sistema de contratación eficaz, además de áreas vitales para capacitación permanente, y por el otro, cuente con un inventario del recurso disponible y por contratar en función a las habilidades requeridas, que sea actualizado permanentemente.

Con respecto a los materiales y equipos que son necesarios para la ejecución del proyecto, estos tienden a ser causas de retrasos en las obras, lo cual está determinado por un análisis de los recursos deficiente, que especifique los períodos y niveles de utilización de los recursos para que éstos puedan ser incluidos en la programación, y así garantizar su disponibilidad en el sitio en el momento en que se requiere, garantizando además su calidad [2].

Sin duda, aunque los materiales y equipos se consideraron como una dimensión específica, estos están vinculados a una deficiente planificación, y por ende, a la programación, ya que cuando éstas no están programadas con exactitud en el tiempo y con actividad, se entorpece la proyección exacta de los materiales y demás recursos que se requieren en el campo, lo cual retrasa la disponibilidad en el momento idóneo.

Otro elemento que tiende a afectar negativamente al factor materiales y equipos, está dado por la adquisición de recursos con una calidad menor a la esperada, ya sea por una reducción de costos o por la escasez en el mercado; por lo anterior, se hace nuevamente énfasis en la necesidad de plantear de manera específica los requerimientos en la planificación inicial.

Como se ha observado, la administración del proyecto incorpora los diferentes aspectos que son necesarios para el desarrollo de una obra civil con la efectividad que se requiere para que sea financieramente rentable para todos los involucrados. Al mismo tiempo, son variables las causas que afectan la planificación y el control de obras civiles, pero con una acertada gerencia pueden minimizarse para garantizar una afectación mínima al cronograma de ejecución.

Conclusiones

El desarrollo del estudio permitió conocer que existe información sobre los factores que inciden en la construcción actualizada en diferentes países de casi todos los continentes, lo cual evidencia que la construcción civil constituye un área de interés. Al mismo tiempo, hay que recalcar que cuando se hace referencia a esos factores, todas las investigaciones resaltan la capacidad que tienen para alterar las programaciones y retrasar el cumplimiento de las metas propuestas en el tiempo estimado de una obra civil.

Otro aspecto de interés, es que en el 71,7% de los casos se resaltan factores vinculados a causas administrativas, el diseño, la ejecución del proyecto y los aspectos económicos, como los que más interfieren en la programación y su cumplimiento. Con ello, se enfatiza la importancia que tienen las estimaciones técnicas en el diseño de una planificación específica que permita el logro de los objetivos en un proyecto de construcción civil en el tiempo pautado.

Es de interés que solo en los estudios desarrollados en América Latina, entre los factores que aparecen se señala además uno de carácter externo, vinculado a problemas de orden público como elemento que retrasa la programación en obras civiles; que en el caso del estudio estuvieron dentro de la categoría de otros, con una frecuencia de nueve. Mientras que, por ejemplo, los aspectos financieros aparecen en 49 ocasiones, lo cual toma relevancia si se toma en cuenta que la población estuvo conformada por 31 investigaciones.

Finalmente, se resalta la necesidad de desarrollar una administración del proyecto que contemple las posibles incidencias que puede afectar el desarrollo del mismo, a partir de la inclusión de una gestión que se adapte a las distintas realidades que se pueden presentar para solucionarlas efectivamente.

Referencias

- [1] A. Mattos y F. Valderrama. *Métodos de planificación y control de obras*. Editorial Reverté. España. 2014.
- [2] A. Serpell y L. Alarcón. *Planificación y control de proyectos*. Ediciones Universidad Católica de Chile, Chile. 2015.
- [3] J. Hurtado. *El proyecto de investigación*. Ediciones Quirón, Venezuela. 2012.
- [4] H. Ñaupas., E. Mejía., E. Novoa y A. Villagómez. *Metodología de la investigación*. Ediciones de la U. Colombia. 2014.
- [5] Q. Jahanger. "Important causes of delay in construction projects in Baghdad city". *Australian Jour of Basic and Applied Sciences*, Vol. 7 No. 4, pp. 14-23. 2013. [En Línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/QaisJahanger/publication/349104898_Important_Causes_of_Delay_in_Construction_Projects_in_Baghdad_City/links/62383f3772d413197a388248/Important-Causes-of-Delay-in-Construction-Projects-in-Baghdad-City.pdf
- [6] Y. Rahsid., S. Haq. and M. Aslam. "Causes of delay in construction projects of Punjab-Pakistan: An empirical study". *Jour of Basic and Applied Scientific Research*, Vol. 3 No. 10, pp. 87-96. 2013. [En Línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Bambang-Trigunarsyah/publication/282870459_Causes

[of Delay in Construction Projects in Bangladesh/links/5620f78e08ae93a5c92688a1/Causes-of-Delay-in-Construction-Projects-in-Bangladesh.pdf](https://www.researchgate.net/publication/282870459_Causes_of_Delay_in_Construction_Projects_in_Bangladesh/links/5620f78e08ae93a5c92688a1/Causes-of-Delay-in-Construction-Projects-in-Bangladesh.pdf).

[7] D. Owolabi James., M. Amusan Lekan., C. O. Oloke., O. Olusanya., P. Tunji-Olayeni. and P. Owolabi Dele. “Causes and effect of delay on project construction delivery time”. *International Journal of Education and Research*, vol. 2 No. 4, pp.197-208. 2014. [En línea] Disponible en: https://www.academia.edu/download/56182384/19_1.pdf

[8] Y. Ceballos. “Evaluación de las etapas de planeación y construcción para diagnosticar las variables que inciden en el cumplimiento de la programación, el presupuesto y los estándares de calidad de los proyectos de construcción”, Trabajo de grado, Universidad Militar de Nueva Granada, Valencia. 2015. [En línea] Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/6392>

[9] M. Burgos. y D. Vela. “Análisis de las causas del incumplimiento de la programación en las obras civiles”. Trabajo de grado, Universidad Militar de Nueva Granada, Colombia. 2015. [En línea] Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/7285>.

[10] M. Islam., B. Trigunarysyah., M. Hassanain. and S. Assaf. Causes of delay in construction projects in Bangladesh. In The 6th International Conference on Construction Engineering and Project Management, Busan, Korea, 82-86 2015. [En línea] Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/BambangTrigunarysyah/publication/282870459_Causes_of_Delay_in_Construction_Projects_in_Bangladesh/links/5620f78e08ae93a5c92688a1/Causes-of-Delay-in-Construction-Projects-in-Bangladesh.pdf

[11] O. Bagaya. and J. Song. “Empirical study of factors influencing schedule delays of public construction projects in Burkina Faso”. *Jour of Management in Engineering*, vol. 32 N°5. 2016. [En línea] Disponible en: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000443](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000443)

[12] H. Samarghandi., S. Mousavi., P. Taabayan., A. MirHashemi. And K. Willoughby. “Studying the reasons for delay and cost overrun in construction projects: the case of Iran”. *Jour of Construction in Developing Countries*, vol. 21 N°. 1, 51-84 2016. [En línea] Disponible en: <https://harvest.usask.ca/handle/10388/11493>

[13] N. Al-Hazim., Z. A. Salem., and H. u Ahmad, “Delay and cost overrun in infrastructure projects in Jordan”. *Procedia Engineering*, vol. 182, pp. 8-24. 2017. [En línea] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817312419>

[14] E. Gordo., J. Potes. y J. Vargas. “Factores que ocasionan retrasos en obras civiles en empresas públicas de Neiva”, Tesis de pregrado), Universidad Santo Tomas, Bucaramanga, 2017. [En línea] Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/10740>

[15] M. Tafazzoli. and P. Shrestha. “Investigating Causes of Delay in U.S. Construction Projects”. *53rd ASC Annual International Conference*, pp. 611-621. 2017. [En línea] Disponible en: <http://ascpro0.ascweb.org/archives/cd/2017/paper/CPRT190002017.pdf>.

[16] N. Rudeli., E. Viles., J. González., y A. Santilli. “Causas de retrasos en proyectos de construcción: un análisis cualitativo”. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, vol. 16, pp. 71-84. 2018. [En línea] Disponible en: <https://redi.anii.org.uy/jspui/handle/20.500.12381/215>

[17] S. Lozano., I. Patiño., A. Gómez., y A. Torres. Identificación de factores que generan diferencias de tiempo y costos en proyectos de construcción en Colombia. *Ingeniería y Ciencia*, vol. 14 N°. 27, pp. 117-151. 2018. [En línea] Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-91652018000100117&script=sci_arttext

[18] A. Acevedo., L. Gómez. y M. Herreño. “Análisis comparativo de las causas que más impactan los retrasos lde obra en viviendas multifamiliares en Bogotá (estudio de caso)”, Trabajo de Grado, Universidad Católica de Colombia, Colombia, 2018. [En línea] Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/33a8639f-81bf-4bea-b20c-1fb29275a4e5>

- [19] Y. Zidane and B. Andersen. "The top 10 universal delay factors in construction projects". *International Jour of Managing Projects in Business*. Vol. 11 N°. 3, pp. 650-672. 2018a. [En línea] Disponible en: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJMPB-05-2017-0052/full/html>
- [20] Y. Zidane and B. Andersen. "Causes of delay and their cures in major Norwegian Projects". *Jour of Modern Project Management*. Vol. 5, pp. 80-90. 2018b
- [21] M. Mbala., C. Aigbavboa and J. Aliu. "Causes of delay in various construction projects: a literature review". en *Advances in Human Factors, Sustainable Urban Planning and Infrastructure: Proceedings of the AHFE 2018 International Conference on Human Factors, Sustainable Urban Planning and Infrastructure*, Julio 21-25, pp.489-495. 2019. [En línea] Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-94199-8_47
- [22] M. Manzano. "Estudio de los factores de retraso y sobrecoste en las obras de Ecuador", Tesis de máster, Universidad Politécnica de Valencia, España, 2019. [En línea] Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/135754>
- [23] C. Santos Ramos. "Factores que inciden en retraso de proyectos públicos en la etapa de ejecución en la ciudad de Cerro Pasco", Tesis de ingeniería Civil, Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, Perú. 2019.
- [24] Y. Rahsid., S. Haq. And M. Aslam. "Causes of delay in construction projects of Punjab-Pakistan: An empirical study". *Jour of Basic and Applied Scientific Research*, Vol. 3 No.10, pp.87-96. 2013. [En línea] Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Bambang-Trigunaryah/publication/282870459_Causes_of_Delay_in_Construction_Projects_in_Bangladesh/links/5620f78e08ae93a5c92688a1/Causes-of-Delay-in-Construction-Projects-in-Bangladesh.pdf
- [25] J. A. Alsuliman, . "Causes of delay in Saudi public construction projects". *Alexandria Engineering Jour*. Vol. 58, pp.801-808. 2019.
- [26] N. A. Ocampo Salinas. "Planificación y control de una construcción civil basado en el enfoque del PMBOK", Proyecto Técnico, Universidad Técnica de Ambato. Ecuador, 2020. [En línea] Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30584>
- [27] S. Sepasgozar., R. Karimi., S. Shirowzhan., M. Mojtahedi., S. Ebrahimzadeh. And D. McCarthy. "Delay causes and emerging digital tools: A novel model of delay analysis, including integrated project delivery and PMBOK". *Buildings*. Vol. 9 N°. 9, 191, pp.191-228 2019. [En línea] Disponible en: <https://www.mdpi.com/2075-5309/9/9/191>
- [28] Y. Carvajal. y K. Muñoz. "Análisis de causas del incumplimiento de la programación en obras de construcción en dos municipios de Colombia y definición de estrategias para mitigarlas", Trabajo de grado. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Colombia, 2020. [En línea] Disponible en: <https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/handle/20.500.14167/902>
- [29] M. Bajjou y A. Chafi. "Empirical study of schedule delay in Moroccan construction projects". *International Jour of Construction Management*, vol. 20 N°. 7, 783-800. 2020. [En línea] Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15623599.2018.1435234>.
- [30] J. Hui., P. Ling., Y. Woon. and M. Skitmore. "Revisiting critical delay factors for construction: Analysing projects in Malaysia. Alexandria". *Engineering Jour*; vol. 60 N°. 1, 1717-1729. 2021. [En línea] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016820306037>
- [31] S. Cuba. "Análisis de los principales factores que originan ampliaciones de plazo y prestaciones adicionales en la ejecución de proyectos por parte de la Municipalidad Provincial de Azángaro durante el año 2020", Tesis. Universidad Continental, Huancayo, 2021. [En línea] Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10522>.

[32] J. Mera and N. Manrique. “Análisis comparativo de factores causales del retraso entre proyectos de edificación y de infraestructura vial: una revisión sistemática”, Trabajo de grado, Universidad Católica de Bogotá, Colombia, 2021. [En línea] Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/9caeea39-32c2-4d13-8514-1dd44e3893a9/content>

[33] S. Chamie. “Análisis de las causas de retraso y sobrecoste en la construcción de vías terciarias en Colombia”, Tesis de máster, Universitat Politècnica de València, España, 2021. [En línea] Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/175931>.

[34] D. Claurem. “Estudio de los factores de retraso y sobrecoste en las obras públicas en Bolivia”, Tesis de máster, Universitat Politècnica de València, España, 2021. [En línea] Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/183468>

[35] W. Lora. “Retrasos en proyectos de construcción civil en la Región Caribe de la República de Colombia”, Monografía Trabajo de Grado, Universidad de Cartagena, Colombia, 2022. [En línea] Disponible en: <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/15726>.

[36] Project Management Institute, *Guía de los fundamentos para la dirección de Proyectos y de la Guía del PMBOK y El Estándar para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK)*, Séptima edición. Pennsylvania EE.UU.: PMI Book Service Center EEUU, 2021.

[37] M. Campero. y L. Alarcón. *Administración de proyectos civiles*. Ediciones UC, Chile. 2018..

La geometría como aspecto fundamental para la optimización de estructuras en la construcción de edificaciones

Geometry as a fundamental aspect for the optimization of structures in the construction of buildings

Jesús A. Medina-Flores

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil Maracaibo, Venezuela

 <https://orcid.org/0009-0008-6553-9521> | Correo electrónico: jmedinaf@gmail.com

Recibido: 28-11-2023 Admisión: 19-01-2024 Aceptado: 17-03-2024

Resumen

Este artículo resalta la importancia de la geometría en la optimización de estructuras. Propone un enfoque innovador para estudiar formas geométricas, redefiniendo los elementos estructurales. El objetivo principal de esta propuesta es introducir formas geométricas para su estudio en edificaciones. Esto implica utilizar la geometría para representar, calcular y analizar las formas que definen el espacio arquitectónico. La investigación se basó en dos obras teóricas: “Optimización del diseño de estructuras conformadas por pórticos de acero resistentes a momentos y amortiguadores de masa sintonizada (TMD) [4]” y “Elementos estructurales de un edificio /Ingenieros asesores [7]”. La metodología empleada fue documental, fundamentada en una investigación preliminar no experimental y transaccional de enfoque cualitativo. El resultado del estudio se materializó en un documento que ilustra y explica las ventajas de incorporar la geometría en el análisis y actuación de las estructuras que componen un edificio. En conclusión, la geometría juega un papel decisivo en la optimización de los elementos que conforman cualquier edificación, permitiendo un comportamiento más eficiente y seguro, lo que contribuye a una mayor calidad y economía en la solución de los problemas del hábitat urbano.

Palabras clave: Geometría, elementos estructurales, capacidad portante, optimización.

Abstract

*This article highlights the importance of geometry in structural optimization. It proposes an innovative approach to studying geometric shapes, redefining structural elements. The primary objective of this proposal is to introduce geometric forms for study in building design. This involves using geometry to represent, calculate, and analyze** the forms that define architectural space. The research was based on two theoretical works: “Optimization of the design of structures composed of steel frames resistant to moments and tuned mass dampers (TMD) [4]” and “Structural elements of a building / Advising engineers [7]”. The methodology employed was documentary, grounded in a non-experimental and transactional preliminary investigation with a qualitative focus. The study’s outcome materialized in a document that illustrates and explains the advantages of incorporating geometry in the analysis and performance of the structures that make up a building. In conclusion, geometry plays a decisive role in optimizing the elements that constitute any building, enabling more efficient and secure behavior, which contributes to higher quality and cost-effectiveness in solving urban habitat problems.*

Keywords: Geometry, structural elements, bearing capacity, optimization.

Introducción

La geometría, una ciencia que estudia las formas, las propiedades y las relaciones espaciales de los objetos, tiene una gran aplicación en el campo de la ingeniería y la arquitectura. En este artículo, se pretende analizar cómo la geometría puede contribuir a la optimización de estructuras en la construcción de edificios, es decir, a mejorar su resistencia, estabilidad, funcionalidad y eficiencia energética.

El objetivo principal de este artículo es demostrar que la geometría es un aspecto fundamental para la optimización de estructuras en la construcción de edificios. Para ello, se plantea la hipótesis de que existe una relación directa entre el uso de principios geométricos y el rendimiento estructural de los edificios.

En este estudio se empleó la metodología de análisis documental, se revisaron documentos, informes, registros y literatura científica relacionados con el tema. Esta revisión proporcionó información valiosa y contextual.

Hassani [1]. en su artículo “Optimización de elementos estructurales”, define la optimización estructural de la siguiente manera:

...el proceso para encontrar la mejor estructura que cumpla con todos los requerimientos multidisciplinarios impuestos por la funcionalidad y condiciones de manufactura, esto implica mejorar un diseño estructural para que sea lo más eficiente posible, lo que puede implicar la minimización del uso de materiales, la maximización de la resistencia, la minimización del peso, entre otros, mientras se cumplen ciertos criterios y restricciones.

Este artículo pretende mostrar cómo la geometría puede ser un recurso útil y eficaz para optimizar las estructuras en la construcción de edificios, tanto desde el punto de vista estético como funcional.

La geometría en el diseño de estructuras

La geometría es un componente esencial en el diseño de estructuras. Aquí hay algunos puntos clave a considerar:

Forma y tamaño: La forma y el tamaño de una estructura pueden influir en su resistencia y estabilidad. Por ejemplo, las estructuras triangulares son a menudo más estables que las cuadradas o rectangulares, debido a su distribución de fuerzas. En un triángulo, cada lado y cada ángulo están conectados de manera equilibrada, lo que permite que las fuerzas se distribuyan de manera uniforme.

El triángulo es la única figura geométrica que no se deforma cuando sufre un esfuerzo. Cualquier otra forma geométrica utilizada como estructura no será rígida o estable hasta que se triángule (Figura 1).

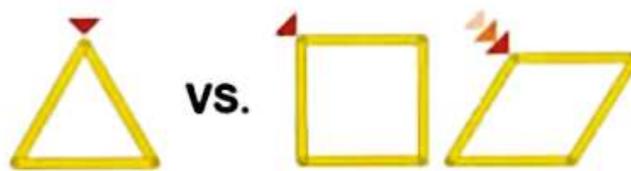


Figura 1. Triángulo vs. Cuadrado [2].

Además, una estructura cuadrada puede deformarse fácilmente, pero al agregar una diagonal y convertirla en dos triángulos, se logra la rigidez que permite una indeformabilidad geométrica. Esto significa que la triangulación hace que las estructuras no se deformen y sean muy estables.

Distribución de la carga: La forma en que se distribuye la carga en una estructura puede afectar su rendimiento. La geometría puede ayudar a distribuir la carga de manera más uniforme, reduciendo el estrés en ciertas áreas (Figura 2).

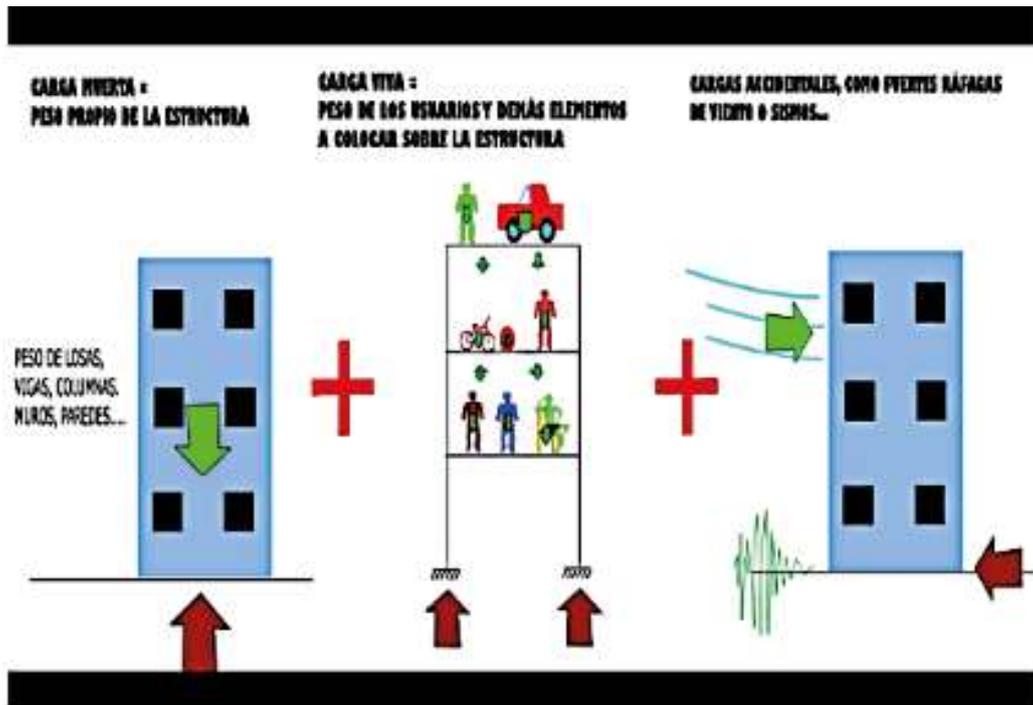


Figura. 2 Distribución de cargas sobre edificaciones [3].

Material: El tipo de material utilizado en las estructuras como concreto, acero o madera, desempeña un papel importante. Estos materiales pueden tener propiedades distintas que afectan la resistencia y la durabilidad de la estructura.

Formas geométricas paramétricas: Según Ramírez [4], la modelación de la geometría a través de parámetros permite adaptar el algoritmo a cualquier geometría base, como un triángulo, un pentágono o un cuadrado. Cada figura geométrica genera una geometría particular con diferentes respuestas formales (Figura 3).

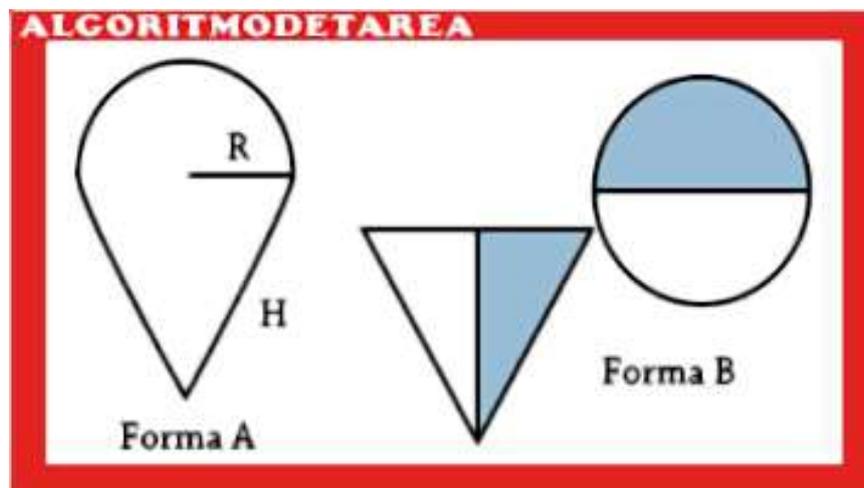


Figura 3. Algoritmos para calcular el área de figuras geométricas [4].

Optimización: La geometría puede utilizarse para optimizar una estructura, minimizando el material utilizado mientras se maximiza la resistencia y la estabilidad. La geometría juega un papel importante en la optimización de las estructuras para mejorar su comportamiento frente a las cargas.

Optimización topológica: Esta técnica permite diseñar estructuras que son más ligeras, ofrecen una mejor integración y duran más que otros diseños. La optimización topológica es un método que considera la forma y usa modelos algorítmicos para mejorar la organización del material dentro de un espacio definido por el usuario para un conjunto dado de cargas, condiciones y limitaciones. Este método maximiza el rendimiento y la eficiencia del diseño eliminando el material sobrante de las zonas que no necesitan soportar cargas considerables para reducir el peso o resolver desafíos de diseño como reducir la resonancia o el esfuerzo térmico. Los diseños producidos mediante optimización topológica a menudo incluyen formas libres y detalladas que resultan complicadas o imposibles de fabricar con los métodos de producción tradicionales (Figura 4).

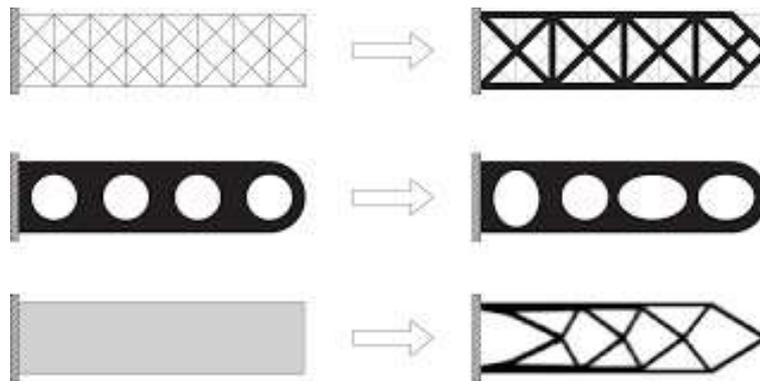


Figura 4. Optimización topológica en elementos estructurales [1].

Geometría en ingeniería estructural: La geometría ayuda a los ingenieros estructurales determinar la cantidad de materiales requerida en un proyecto, calcular áreas y ángulos para garantizar la seguridad del edificio y la precisión de la construcción (Figura 5).

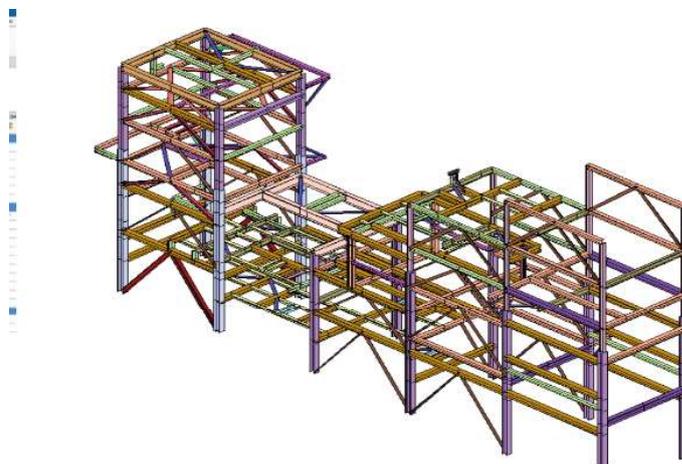


Figura 5. La geometría proyectada en edificaciones [5].

Arquitectura residencial: En algunos casos, se utilizan formas geométricas audaces para minimizar el impacto en el entorno. Por ejemplo, en la VARS House en Madrid, los espacios de servicio se semi-enterraron y solo sobresalió la plataforma superior, cuya silueta sigue la topografía del terreno (Figura 6). Al plegarse sobre sí misma, la estructura gana en rigidez y hace innecesarios pilares y divisiones.



Figura 6. La VARS House en Madrid, los espacios de servicio se semi-enterraron y solo sobresalió la plataforma superior, cuya silueta sigue la topografía del terreno [6].

Es importante mencionar que la elección de las formas geométricas para optimizar las estructuras depende en gran medida del tipo de carga, las condiciones del sitio, los materiales disponibles y otros factores específicos del proyecto.

La Geometría: Clave para la eficiencia de las estructuras en la construcción de edificaciones

La correcta interpretación y estudio de la geometría en la arquitectura, permite calcular aspectos tales como los relacionados con los pesos de carga en determinadas estructuras, además de influenciar de manera relevante con las consideraciones estéticas en cada una de las construcciones llevadas a cabo.

Tiene una particular importancia en la arquitectura, ya que la geometría se utiliza para calcular el espacio, ángulos y distancias, que tienen un interés inmediato para el diseño arquitectónico. Según García [5]” el arte utiliza la geometría para lo que tiene que ver con la profundidad espacial. Permite la creación y manipulación de formas y estructuras geométricas de manera precisa y eficiente”. Esto es muy útil en el diseño y arquitectura, ya que permite la generación de modelos 3D detallados y precisos que pueden ser utilizados para la visualización y el análisis de proyectos.

La Geometría tiene tres entes o elementos fundamentales no definidos: punto, recta y plano. Algunos de los tipos de geometría más populares son: la geometría plana, la geometría analítica, la geometría elíptica, la geometría hiperbólica, la geometría diferencial, la geometría algorítmica, la geometría descriptiva, la geometría algebraica, la geometría proyectiva, geometría riemanniana entre otras.

La geometría analítica la podemos aplicar en ingeniería para resolver problemas creando modelos matemáticos que nos permitan analizar fácilmente el problema y buscar la solución más eficiente a este. La correcta interpretación del uso de la geometría en arquitectura permite calcular cuestiones de carga de estructuras para las edificaciones.

Las figuras geométricas más utilizadas suelen ser el cuadrado, el triángulo, el círculo y el rectángulo. Estas figuras son utilizadas tanto en la construcción de edificios modernos como en edificios históricos.

Según Ingenieros Asesores [7], los elementos estructurales, como las vigas y las columnas, tienen comportamientos específicos según su forma geométrica y el plano en el que se encuentren. Las vigas son elementos estructurales que trabajan principalmente a flexión y cuya longitud predomina sobre las otras dos dimensiones, suelen ser horizontales.

Por otro lado, las columnas se definen en ingeniería y arquitectura como aquel soporte vertical de longitud larga respecto a su sección transversal. Existen varios tipos de columnas según su forma, como la columna lisa (que no tiene ni acanaladuras ni adornos), la columna agrupada (que posee varios fustes con una base y capitel comunes) y la columna estriada o acanalada (cuya forma posee estrías o acanaladuras ornamentales en toda su longitud).

El comportamiento de estos elementos estructurales puede variar cuando están sometidos a cargas combinadas. Por ejemplo, es importante entender las características que presenta el material según sea su composición. Para evitar algún tipo de falla de los elementos, ya sea por flexión o por pandeo, se pueden utilizar refuerzos instalados en las columnas de concreto reforzado “chaquetas de acero”, los cuales le dan un efecto de confinamiento brindando mayor capacidad de soporte a estos elementos ante cualquier imprevisto.

La forma geométrica de las columnas y las vigas puede influir en su comportamiento estructural de varias maneras.

En cuanto al plano en el que se encuentran, esto puede afectar la forma en que las cargas se distribuyen a través de la estructura. Por ejemplo, en un sistema de pisos, las vigas pueden estar dispuestas en un solo plano para soportar una losa de concreto. Sin embargo, en un sistema de marco espacial, las vigas pueden estar dispuestas en varios planos para soportar cargas en varias direcciones.

Tipos y comportamientos de columnas simples dependiendo de su forma geométrica

- Columnas cuadradas: Son comunes en la construcción y pueden soportar cargas significativas. Sin embargo, su resistencia al pandeo puede ser menor en comparación con las columnas circulares.
- Columnas rectangulares: Al igual que las columnas cuadradas, son comunes en la construcción. Su resistencia puede variar dependiendo de la orientación de la carga con respecto a la relación de aspecto de la sección transversal.
- Columnas circulares: Estas columnas son generalmente más resistentes al pandeo en comparación con las columnas cuadradas o rectangulares. Esto se debe a que las columnas circulares tienen una distribución uniforme de material alrededor del eje central, lo que ayuda a resistir las cargas desde cualquier dirección.

Refiere Martínez [8] en su trabajo de investigación, que las columnas son elementos estructurales vertical que se utiliza para soportar la carga del edificio. Es muy utilizado en arquitectura por la libertad que ofrece para distribuir espacios cumpliendo con la función de soportar el peso de la construcción; Es un elemento fundamental en el diseño de una estructura y la correcta elección de su tamaño, forma, espaciamiento y composición influye directamente en su capacidad de carga.

Según Lodato y Finol [9], en relación a las comparaciones realizadas y sus perspectivas de análisis, que la esbeltez de las columnas y la selección de su sección transversal influyen en el comportamiento de las estructuras metálicas, diseñadas en diferentes zonas sísmicas, debido a que la variación de estas características (altura de entrepiso y sección de columnas cuadrada y rectangular). Adicionalmente, se puede decir que las columnas de sección cuadrada tienen un mejor comportamiento frente a las de sección rectangular, ya que las edificaciones diseñadas con una sección en columna cuadrada necesitan menores dimensiones aun y con las mismas sollicitaciones de diseño y controles posteriores.

Columnas circulares vs. rectangulares: esbeltez y resistencia

Se ha establecido que las columnas circulares poseen menos rigidez que las cuadradas y rectangulares, ya que la inercia de la columna circular es menor que la de la columna cuadrada, aunque tengan la misma sección transversal [10].

Las columnas de sección transversal circular son más resistentes al pandeo en comparación con la sección transversal cuadrada o rectangular. Además, las secciones circulares tendrán características de torsión uniformes.

- Sin esquinas débiles en columnas circulares y sin concentración de tensiones.
- Las columnas con refuerzo de corte en forma de espirales proporcionan un mejor confinamiento que el refuerzo de corte en forma de ataduras.

- Una columna es tan fuerte como su punto más débil. Las columnas cuadradas presentan cuatro líneas de debilidad debido a los pliegues en sus esquinas. Por otro lado, la sección transversal circular no tiene pliegues, lo que significa que carece de puntos de debilidad. Esto le permite distribuir la carga que soporta de manera uniforme en todo el cilindro.
- La resistencia a la flexión o desviación de una sección transversal circular es mayor que una sección transversal rectangular con la misma área. Además, la carga requerida para abrochar una columna con una sección transversal circular es lo mismo alrededor de su perímetro, pero una viga con una sección transversal rectangular puede doblarse primero en cualquiera de los dos ejes.

Martínez [8] establece que la forma geométrica de una columna puede optimizar su comportamiento estructural de varias maneras:

- Resistencia a la compresión: La forma de la sección transversal de una columna puede influir en su capacidad para resistir cargas de compresión. Por ejemplo, las columnas con secciones transversales circulares o cuadradas pueden distribuir las cargas de compresión de manera más uniforme que las columnas con secciones transversales rectangulares.
- Resistencia al pandeo: El pandeo es un fenómeno que puede ocurrir en columnas esbeltas cuando están sometidas a cargas de compresión. La forma de la sección transversal de una columna puede influir en su resistencia al pandeo. Por ejemplo, las columnas con secciones transversales circulares o cuadradas pueden ser menos propensas al pandeo que las columnas con secciones transversales rectangulares.
- Resistencia a la torsión: Algunas formas de secciones transversales pueden resistir mejor las cargas de torsión que otras. Por ejemplo, las columnas con secciones transversales circulares pueden resistir mejor las cargas de torsión que las columnas con secciones transversales cuadradas o rectangulares.
- Estética: La forma de una columna también puede contribuir a la estética de un edificio. Por ejemplo, las columnas con formas geométricas interesantes pueden añadir un elemento visualmente atractivo a un diseño arquitectónico. Estos son solo algunos puntos de cómo la forma geométrica puede optimizar el comportamiento estructural de una columna. Sin embargo, cada situación es única y requiere un análisis cuidadoso para determinar la mejor solución.

Tipos y comportamientos de vigas simples dependiendo de su forma geométrica

Afirman Gutiérrez, Hurtado y Marulanda [11] en su artículo, que las vigas rectangulares presentan mayor resistencia y rigidez que las circulares, debido a la mayor inercia polar de la sección circular. El mismo también menciona que las vigas cuadradas tienen un comportamiento intermedio entre las rectangulares y las circulares, pero que son más susceptibles al pandeo lateral. Asimismo, presentan un modelo analítico y numérico para el análisis de vigas de concreto armado con sección rectangular y circular, sometidas a cargas de flexión y torsión, y compara los resultados con los obtenidos experimentalmente, concluyendo que las vigas circulares presentan mayor resistencia y rigidez que las rectangulares, debido a la mayor inercia polar de la sección circular.

La forma geométrica de una viga afecta al comportamiento estructural en general, ya que determina su inercia, que es la resistencia que ofrece la sección a deformarse bajo la acción de una carga. Su rigidez, que es la relación entre la carga aplicada y la deformación producida, influye en su estabilidad, que es la capacidad de recuperar su posición original después de cesar la carga y en su eficiencia, que es la relación entre el peso y la resistencia de la sección.

- Las vigas rectangulares tienen una mayor inercia y rigidez que las cuadradas, lo que les permite resistir mejor los esfuerzos de flexión y torsión.
- Las vigas rectangulares tienen más posibilidades de optimización de secciones que las cuadradas, lo que les permite cumplir mejor con los requisitos de diseño sísmico y deriva resistencia a la flexión que las vigas cuadradas y redondas, lo que les permite soportar mayores cargas y momentos.

- Las vigas rectangulares tienen una menor esbeltez que las vigas cuadradas y redondas, lo que reduce el riesgo de pandeo local y global.
- Las vigas rectangulares son más fáciles de fabricar, manipular y conectar que las vigas cuadradas y redondas, lo que reduce los costos y las dificultades constructivas.

Newton, en su obra “Principios matemáticos de la filosofía natural”, describe la inercia de la siguiente manera:

La extensión, la dureza, la impenetrabilidad, la movilidad y la fuerza de inercia del conjunto surge de la extensión, la dureza, la impenetrabilidad, la movilidad y las fuerzas de inercia de las partes; por tanto, llegamos a la conclusión de que todas las partes más pequeñas de todos los cuerpos son extendidas y duras, impenetrables, móviles y están dotadas de fuerzas de inercia [12].

Newton [12], en su primera ley expone que los cuerpos tenderán a conservar su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme hasta que se aplique sobre ellos una fuerza externa capaz de vencer dicha resistencia. Este concepto es fundamental en física y tiene aplicaciones importantes en el diseño de elementos estructurales.

La geometría es un aspecto importante en el diseño de vigas de grandes longitudes (luzes), ya que influye en el comportamiento estructural, la eficiencia y la estética de las mismas. Algunos aspectos geométricos que se deben considerar para estas, son:

- La forma de la sección transversal de la viga, que puede ser rectangular, circular, triangular, compuesta, etc. La forma de la sección afecta a la resistencia, la rigidez y el peso de la viga.
- La curvatura de la viga, que puede ser recta, curva, parabólica, catenaria, etc. La curvatura de la viga afecta a la distribución de los esfuerzos internos y a la flecha de la viga.
- La disposición de las vigas, que puede ser simple, continua, en celosía, en malla espacial, etc. La disposición de las vigas afecta a la estabilidad, la redundancia y la transmisión de las cargas.

Para elegir la geometría adecuada para una viga de gran luz, se deben tener en cuenta los requisitos funcionales y estéticos del proyecto, así como las limitaciones constructivas y económicas.

Ejemplos de vigas de gran luz con diferentes geometrías

La Universidad Autónoma de Occidente (Colombia) [10], describe y explica el uso de elementos que pueden ser utilizados como vigas con diferentes geometrías, para salvar grandes luces como, por ejemplo:

Cerchas: es una armazón compuesta de un sistema triangulado de elementos estructurales rectos interconectados. Este armazón permite la transferencia de peso de manera segura, por lo que se usa como base para construir estructuras. Hablamos de estructuras tan variadas como techos, puentes, arcos o edificios.

Una cercha se compone de un marco que consta de muchos triángulos pequeños. El triángulo básico en una armadura que tiene tres vigas conectadas en las esquinas por tres articulaciones. Un triángulo por sí solo podría considerarse como una cercha simple, pero la mayoría de las cerchas se compone de muchos triángulos, conectados por una serie de cuerdas (Figura 7).

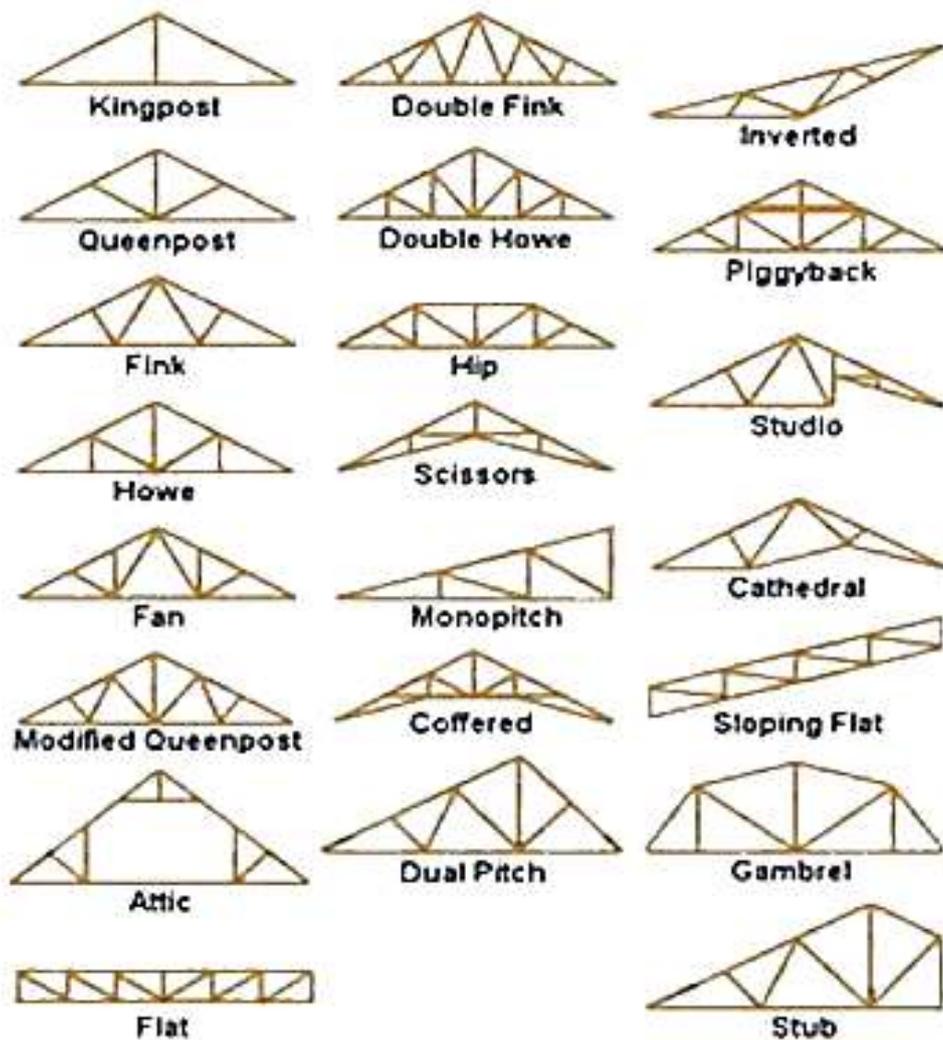


Figura 7. Tipos de cerchas según la geometría [13].

La cercha utiliza una red de triángulos que se unen de modo que la presión y la tensión se aplican a los puntos de las esquinas de cada triángulo para tomar ventaja de su estabilidad para soportar una estructura. Gracias a la conexión de una serie de cerchas juntas, se puede transferir de forma segura una enorme cantidad de peso a vigas, muros de carga, o directamente al suelo.

El diseño de una cercha se determina realmente según cuál sea su finalidad de uso. Si se usa la cercha en edificios o torres, su diseño estará pensado para hacer frente a las tensiones cambiantes que soportan la construcción, como el viento o el clima, o para llevar el peso de manera uniforme y segura a los cimientos. Por el contrario, una cercha utilizada en un puente usará patrones triangulares para asegurar que el peso de un tren o un coche se distribuyen de manera segura a las columnas o a la tierra. La geometría actúa en la construcción de una cercha de varias formas:

- La geometría es fundamental en la determinación de la forma y el tamaño de los elementos que constituyen la cercha, incluyendo los triángulos, los ángulos y las longitudes de las barras. Es importante destacar que un incremento en la altura de estas figuras resulta en una mayor inercia, lo cual a su vez mejora el comportamiento estructural de los elementos que forman la edificación frente a diversos eventos de cargas actuantes sobre ella.
- La geometría ayuda a calcular las fuerzas internas y externas que actúan sobre la cercha, como las cargas, las reacciones y los esfuerzos axiales.

- La geometría permite optimizar el diseño de la cercha para lograr la máxima resistencia y estabilidad con el mínimo material y peso.

Arco: en geometría es cualquier curva continua que une dos puntos. En particular, un arco puede ser una porción de circunferencia, que queda definido a partir de dos puntos sobre dicha circunferencia. Principalmente trabaja a compresión permite salvar grandes luces con poco material. Un ejemplo es el Puente del Alamillo en Sevilla, que tiene una luz de 200 m y una sección transversal triangular.

La geometría juega un papel crucial en la optimización estructural de un arco.

- Forma y tamaño de los elementos: La geometría determina la forma y el tamaño de los elementos que componen el arco.
- Distribución de fuerzas: La comprensión de la distribución de los miembros de una estructura o arco y su función, es esencial para un entendimiento profundo de los sistemas que se pueden ramificar de este tipo de estructura.
- Optimización mediante algoritmos: Existen técnicas avanzadas como el diseño paramétrico y los algoritmos genéticos que se utilizan para optimizar las cerchas planas.
- Uso del triángulo: El triángulo es la mínima expresión del arco, éste se utiliza de manera repetitiva para componer el elemento estructural y salvar así, la luz que sea necesaria.
- Proceso de optimización: Durante el proceso de optimización, las soluciones no dominadas se guardan en el archivo a medida que se generan, hasta que el tamaño del archivo alcanza un valor límite.

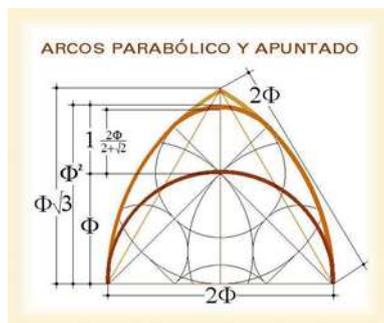


Figura 8a. Pre dimensionamiento de Arcos.



Figura 8b. Puente del Alamillo en Sevilla.

En cuanto a su uso en edificaciones, el arco es una estructura en forma de semicírculo, usado para pasar el peso desde arriba, hasta el suelo a través de los pilares que soportan el arco. Los arcos son estructuras curvas para cubrir el claro de un vano, diseñadas para sustentar una carga vertical principalmente por compresión axial. Transforman las fuerzas verticales de una carga sustentada en componentes inclinadas y las transmiten a los estribos en cada uno de los lados del vano arqueado. Los arcos se utilizaron por su impresionante diseño visual y para crear apoyo estructural en muchos de los edificios y monumento.

Cable: es una viga flexible trabaja principalmente a tracción y permite salvar grandes luces con poco peso. Un ejemplo es el Puente Colgante de Akashi Kaikyo en Japón, que tiene una luz de 1991 m y una sección transversal circular. En el caso específico de los cables, su geometría puede optimizarse para lograr una distribución eficiente de las fuerzas y minimizar el uso de material. Por ejemplo, en un puente colgante, la forma curva del cable principal se optimiza para distribuir uniformemente el peso del puente y las cargas adicionales a lo largo del cable (Figura 9). Además, la optimización geométrica puede contribuir a la estética del edificio. La forma y disposición de los cables pueden influir en el aspecto general del edificio y contribuir a su valor arquitectónico.



Figura 9. Puente peatonal del Milenio, 32001 Ourense, Province of Ourense, España [14].

Celosía: es una estructura formada por barras rectas unidas en sus extremos mediante articulaciones, que soportan cargas de tracción y compresión aplicadas en los nudos. La geometría puede optimizar este elemento estructural al buscar la forma y disposición de las barras que minimicen el uso de material y maximicen la resistencia y la estabilidad. Algunos factores que influyen en la optimización geométrica de las celosías son:

- La esbeltez de la celosía, definida como la relación entre la máxima luz y el canto mayor de la celosía. Una mayor esbeltez implica una menor cantidad de material y una mayor eficiencia estructural.
- La configuración de los cordones y el alma de la celosía, que determinan la distribución de las fuerzas axiales en las barras. Una configuración óptima es aquella que evita las fuerzas de compresión elevadas y las fuerzas de tracción negativas, que pueden provocar pandeo o rotura de las barras (Figura 10).
- La inclinación de las barras diagonales del alma, que afecta al comportamiento a flexión de la celosía. Una inclinación óptima es aquella que se aproxima a los 45 grados, ya que reduce el momento flector y el cortante en las barras. Un ejemplo es el Pabellón Alemán en Barcelona, que tiene una luz de 45 m y una sección transversal rectangular.



Figura 10. Viga tipo celosía triangular.

Malla espacial: es una estructura formada por barras rectas unidas en sus extremos mediante articulaciones, que soportan cargas aplicadas en los nudos. La geometría de una malla espacial puede optimizar su comportamiento estructural al buscar la forma y disposición de las barras que minimicen el uso de material y maximicen la resistencia y la estabilidad. Algunos aspectos que influyen en la optimización geométrica de las mallas espaciales son:

- La esbeltez de la malla, definida como la relación entre la máxima luz y el canto mayor de la malla. Una mayor esbeltez implica una menor cantidad de material y una mayor eficiencia estructural.
- La configuración de los cordones y el alma de la malla, que determinan la distribución de las fuerzas axiales en las barras. Una configuración óptima es aquella que evita las fuerzas de compresión elevadas y las fuerzas de tracción negativas, que pueden provocar pandeo o rotura de las barras.

- La inclinación de las barras diagonales del alma, que afecta al comportamiento a flexión de la malla. Una inclinación óptima es aquella que se aproxima a los 45 grados, ya que reduce el momento flector y el cortante en las barras. La malla espacial (Figura 11), que es una viga formada por un conjunto tridimensional de barras y nudos y que trabaja a tracción y compresión. Un ejemplo es el Estadio Olímpico en Beijing, que tiene una luz de 330 m y una sección transversal compuesta (Figura 12).

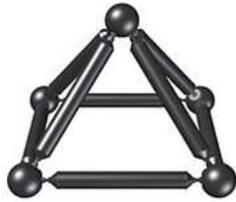


Figura 11. Malla espacial.



Figura 12. Estadio Olímpico en Beijing.

Es importante mencionar que la elección de la sección según las figuras geométricas tanto en columnas como en vigas depende de varios factores, incluyendo el diseño arquitectónico, los requisitos estructurales, el costo y las preferencias del diseñador. Por lo tanto, no hay una “mejor” opción universal, sino que depende del contexto específico del proyecto.

Conclusiones

La geometría es fundamental en la arquitectura y la ingeniería estructural. Sin geometría, no podríamos estar convencidos de que nuestros edificios son seguros y tendríamos muchas más dificultades para hacerlos atractivos.

La geometría facilita el análisis estructural de las edificaciones, al permitir modelar y simular el comportamiento de las fuerzas y los esfuerzos que actúan sobre ellas.

Los planos y dibujos arquitectónicos comunicarían muy poco sin la geometría, permitiendo representar y calcular las propiedades y medidas de las formas que delimitan el espacio, como las cubiertas y las envolventes para el diseño estructural.

La geometría ayuda a conocer el comportamiento estructural de las formas y a distribuir el peso de la carga de manera eficiente y segura, facilitando el diseño y la construcción de edificios, de estructuras complejas y desafiantes, con mayor precisión y claridad.

Es fundamental en cualquier estructura que cada componente de la ruta de carga tenga la resistencia adecuada para soportar las fuerzas internas que se generan. Esta resistencia puede ser optimizada a través de una selección cuidadosa de la forma y geometría de los elementos estructurales. Esto implica que es necesario tener un conocimiento detallado sobre el comportamiento estructural de diversos materiales y los elementos que componen el edificio.

En el pasado, se pensaba que adherirse a reglas geométricas estrictas era la clave para asegurar que los edificios fueran lo más bellos posible. Por lo tanto, la geometría en los elementos de una edificación no solo mejora su estética, sino que también garantiza su seguridad y estabilidad.

“Cuando cambio la forma de una estructura, cambio la forma de su comportamiento”. Buckminster Fuller.

Referencias

- [1] B. Hassani, “Optimización de elementos estructurales”, Tesis, Univ. Autónoma de Occidente. Colombia, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/>
- [2] “Recursos Educativos de la Xunta de Galicia” [En línea]. Disponible en: <https://recursos.edu.xunta.gal/es>

[3] Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones. COVENIN MINDUR (Provisional) 2002-88. Ministerio de Fomento. Comisión Venezolana de Normas industriales.

[4] Ramírez Ospina, A. M., Cundumi Sánchez, O., González Muñoz, J. A., y Villalba Morales, J. D. “Optimización del diseño de estructuras conformadas por pórticos de acero resistentes a momentos y amortiguadores de masa sintonizada (TMD)”. *Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, Vol. 31, No. 2, 9-26. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/issue/view/376>

[5] G. García, “Geometría descriptiva”. Colombia: Editorial Ecoe Ediciones. 2010.

[6] “Var House”, aceboXalonso. [Foto]. Disponible en: https://www.arquitecturaydiseno.es/casas/diez-casas-con-geometria-audaz_12

[7] “Elementos estructurales de un edificio”. Ingenieros Asesores, 2022. [En Línea]. Disponible en: <https://ingenierosasesores.com/actualidad/elementos-estructurales-de-un-edificio/>

[8] S. Martínez, Las columnas - Diseño Estructural I. StuDocu. (2022). [En Línea]. Disponible en: <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-autonoma-de-santo-domingo/disenio-estructural-i/las-columnas/12792413>

[9] M. Lodato y K. Finol. “Influencia de la esbeltez y sección de las columnas en el comportamiento estructural de edificaciones metálicas en diferentes zonas sísmicas”. 2014.

[10] L. Lucano “Columnas, Definición y Tipos”. *Slideshare*, 2019. [En Línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/columnas-definicion-y-tipos/192008478>

[11] J.Gutiérrez, J. Hurtado y J. Marulanda. “Análisis de vigas de sección rectangular y circular sometidas a flexión y torsión”. *Rev. de Ing. Mec.*, México. 2010.

[12] I. Newton. “Principios matemáticos de la filosofía natural”. Londres. 1687.

[13] “Roof Truss Elements, Angles and Basics to Understand”. Engineering Discoveries. [Foto]. Disponible en: https://engineeringdiscoveries.com/roof-truss-elements-angles-and-basics-to-understand/#google_vignette

[13] “Roof Truss Elements, Angles and Basics to Understand”. Engineering Discoveries. [Foto]. Disponible en: https://engineeringdiscoveries.com/roof-truss-elements-angles-and-basics-to-understand/#google_vignette

[14] “Puente del Milenio”. Mega Construcciones. [En Línea]. Disponible en: <https://megaconstrucciones.net/?construccion=puente-milenio-orese>

Análisis de implementación de red SDN en una universidad privada de la región zuliana

Analysis of SDN network implementation in a private university in the Zulia region

Gabriel J. Abreu-Rosales

 <https://orcid.org/0009-0007-3689-2484> | Correo electrónico: abreu.ym14@gmail.com

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones. Maracaibo, Venezuela.

Gilberto J. Araujo-Fernández

 <https://orcid.org/0009-0008-5586-4945> | Correo electrónico: gilberto.araujo@uru.edu

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones. Maracaibo, Venezuela.

Recibido: 13-01-2024 Admisión: 15-02-2024 Aceptado: 13-03-2024

Resumen

El objetivo de este trabajo consistió en analizar la implementación de una red definida por software en una universidad privada de la región zuliana. Para ello, se realizó un diagnóstico del estado actual de la red determinando la compatibilidad con la tecnología SDN. Posteriormente, se realizaron diferentes alternativas de diseño de topología física y topología virtual de una red SDN. Se comparó la tecnología tradicional con la tecnología SDN propuesta y se seleccionaron los equipos que se pueden integrar a la red para migrar a esta tecnología. Los resultados obtenidos indicaron que la red no es compatible con SDN. Los diseños propuestos refuerzan la escalabilidad, administración y seguridad. La tecnología SDN posee un mayor nivel de administración en comparación la tradicional y es más eficiente. Se seleccionaron los switches catalyst 9200, 9300 y 9500. Se concluye que la implementación de esta tecnología se debe realizar de forma progresiva a una red híbrida.

Palabras clave: SDN, tecnología, red, administración.

Abstract

The objective of this work was to analyze the implementation of a software-defined network in a private university in the Zulia region. For this purpose, a diagnosis of the current state of the network was carried out to determine the compatibility with SDN technology. Subsequently, different design alternatives of physical topology and virtual topology of an SDN network were carried out. The traditional technology was compared with the proposed SDN technology and the equipment that can be integrated into the network to migrate to this technology was selected. The results obtained indicated that the network is not compatible with SDN. The proposed designs enhance scalability, management and security. SDN technology has a higher level of management compared to traditional technology and is more efficient. Catalyst 9200, 9300 and 9500 switches were selected. It is concluded that the implementation of this technology should be carried out progressively to a hybrid network.

Keywords: SDN, technology, network, management.

Introducción

En la actualidad, las redes de comunicaciones son ampliamente utilizadas por empresas y diversas instituciones para brindar acceso a internet y a sus servicios compartidos a sus usuarios. Con el avance de la tecnología, como el internet de las cosas, el número de equipos conectados a una red ha aumentado exponencialmente. Esto ha hecho que la administración de las redes tradicionales sea cada vez más compleja y laboriosa debido a su limitada escalabilidad, flexibilidad y agilidad [1].

Esta situación ha llevado a una gestión poco automatizada, ya que las configuraciones de los equipos se realizan manualmente. Esto no solo es ineficiente, sino que también puede provocar errores, especialmente en redes con miles de nodos. Por ello surgió el enfoque de redes SDN, o definidas por software, que ofrece un control centralizado de la gestión de la red. La arquitectura SDN separa el plano de control del plano de datos, lo que permite crear redes más programables, automatizables y flexibles.

En el contexto de las redes modernas, la arquitectura SDN proporciona un control centralizado que mejora la escalabilidad y facilita la respuesta a demandas dinámicas, lo cual es cada vez más crítico. Como señalan Peterson y Davie [2]: “SDN permite una arquitectura de red centralizada que mejora la escalabilidad y la respuesta a demandas, dinámicas, lo cual es cada vez más crítico en las redes”.

Dada la gran cantidad de usuarios en la universidad, es necesario implementar tecnologías de red que automaticen su gestión. Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo analizar la implementación de una red SDN como guía para una futura migración hacia esta tecnología. Se busca determinar las ventajas de su integración y proponer una solución que permita a la universidad satisfacer su creciente demanda de conexión. a la universidad cubrir su demanda de conexión.

Materiales y métodos

Se realizó una investigación de nivel descriptivo, con un diseño no experimental y documental, dado que no se manipuló la variable del estudio y se consultaron otros autores para responder a los objetivos planteados. La tecnología SDN permite separar el plano de control del plano de datos, creando una arquitectura de red más flexible y programable que facilita su adaptación a las necesidades de cada organización. Esta separación entre planos es fundamental para lograr un control centralizado y eficiente de la red.

A continuación, se describen las fases del procedimiento de la investigación, llevadas a cabo para analizar la implementación de una red definida por software en la universidad:

Fase I: Diagnóstico del estado actual de la red

En esta fase, se visitó el Data Center del Rectorado y el módulo 7 de la universidad, donde se observaron los diferentes equipos que conforman la topología de dichas infraestructuras. Además, se recopiló información de la red del estudio de Malagarriga, R [3]. Posteriormente, se elaboraron fichas técnicas de los equipos para analizar sus características y determinar su compatibilidad con SDN. Finalmente, se analizaron diversos parámetros de la capa de distribución y acceso de la red.

Fase II: Propuesta de alternativas de diseño de red SDN

Tras el análisis del diagnóstico, se determinó la tecnología SDN integrable en la red y se establecieron los requerimientos de la universidad. Para elaborar las alternativas de diseño de red SDN, se consultó la documentación Cisco (2020). Guía de diseño de solución SD-Access. [4]. De este documento se extrajeron los modelos de referencia que se ajustan a los requerimientos de la red de la universidad y la información necesaria para diseñar la topología física y virtual.

Fase III: Comparación entre la tecnología SDN propuesta y la tecnología tradicional de red

En esta fase, se comparó inicialmente el nivel de administración de la tecnología SD-Access con el protocolo SNMP, mediante simulaciones realizadas en los softwares Cisco Packet Tracer y GNS3. Posteriormente, se compararon las tecnologías y protocolos utilizados en cada tipo de red, consultando la documentación Cisco [4] Guía de diseño de solución SD-Access y Cisco, Guía de diseño de solución Campus LAN y Wireless LAN [5].

Fase IV: Propuesta de implementación de red SDN en la universidad

Para la propuesta de implementación, se definieron los parámetros de selección de equipos, consultando la documentación de Cisco (2020), Cisco DNA Center 2.3.5 [6] y Cisco, Guía de diseño de solución Campus

LAN y Wireless LAN [5]. De esta manera, se seleccionaron los equipos que se ajustan a los requerimientos de la universidad y se calcularon los costos de una integración completa de SDN. Finalmente, se estableció el plan de migración junto con sus respectivos costos de implementación.

Resultados

Diagnóstico del estado actual de la red

Se determinó que la red posee una topología en estrella (Figura 1), donde todos los módulos se encuentran conectados al Data Center ubicado en el edificio del Rectorado. A su vez, la red posee un diseño tradicional jerárquico de dos capas; la capa de acceso y la capa de distribución núcleo (Figura 2).

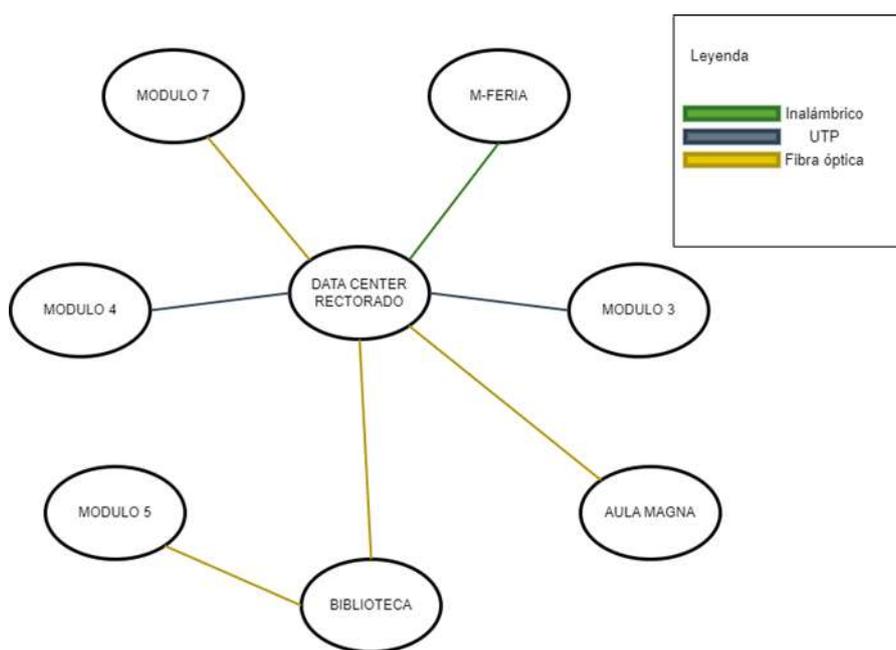


Figura 1. Topología de la red.

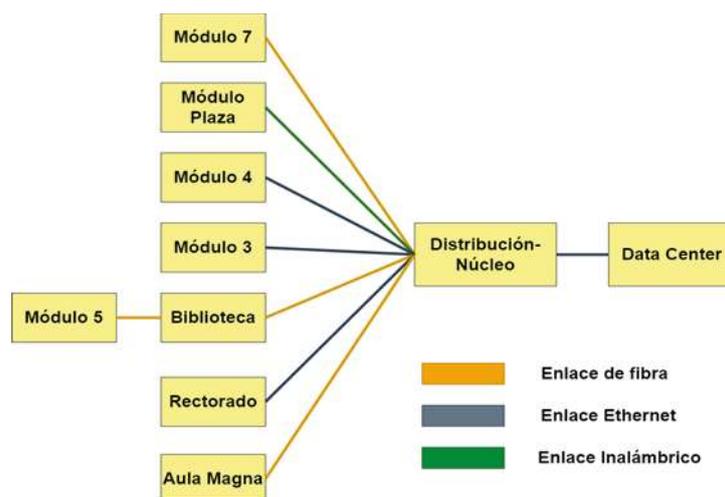


Figura 2. Diseño jerárquico de la red.

El Data Center, está conformado por dos equipos (Figura 3); el switch catalyst 4507R+E, el cual conforma la capa de distribución-núcleo y el router ISR 2911, el cual, permite dar salida a internet.

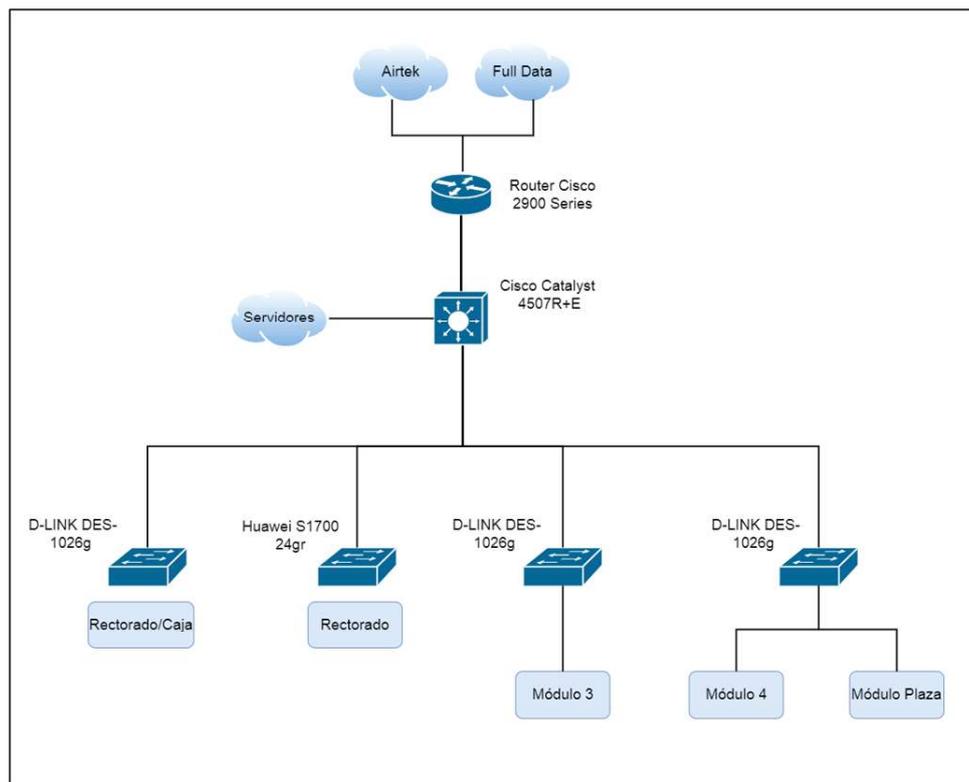


Figura 3. Topología del Rectorado.

A su vez, dentro de este cuarto se encuentran los servidores de la red, que se conectan al switch catalyst (Figura 4). Seguidamente, se observó que la capa de distribución-núcleo carece de redundancia, debido a que está conformada por un único equipo. El cual, posee un único slot disponible para conexiones de fibra, por lo cual, limita la escalabilidad de red, en caso de requerir un mayor número de puertos. Adicionalmente, si las configuraciones de red no están adecuadamente realizadas, podría convertirse en un punto de falla, debido al número de conexiones que posee.

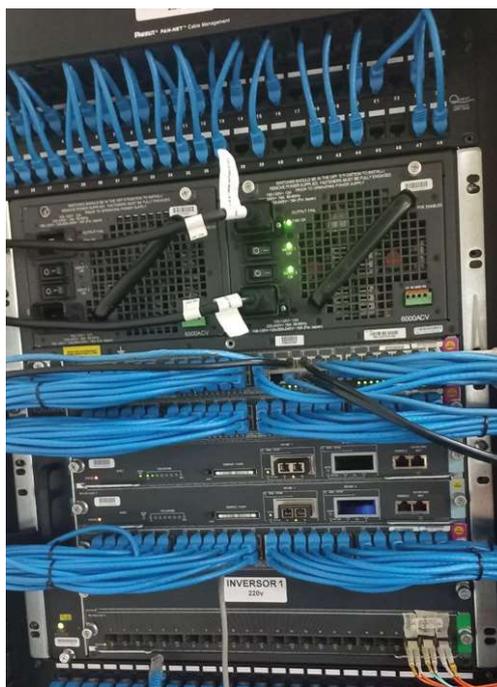


Figura 4. Conexiones del switch catalyst 4507R+E.

En cuanto a la capa de acceso, tomando en cuenta el número total de usuarios en la universidad, se determinó que no hay suficiente escalabilidad debido a que sólo se tienen 528 puertos disponibles (Tabla 1).

Tabla 1. Número de puertos disponibles en la capa de acceso

Tecnología	Modelos	Cantidad	Puertos	Total
D-Link	DES 1026	6	24	144
	DGS-1224	1	24	24
TP-Link	TL SF1048	1	48	48
	TL SG1024	1	24	24
	TL SL 2428	1	24	24
	TL SG224 Web	3	24	72
HPE	Baseline	1	48	48
Mikrotik	CRS328	1	24	24
	CSS326	3	24	72
Netgear	1	1	24	24
Huawei	1	1	24	24
Total de puertos				528

Se observó que el 50% de los switches utilizados en la capa de acceso, poseen puertos de 100 Mbps, lo cual, resulta en un ancho de banda limitado (Figura 5).

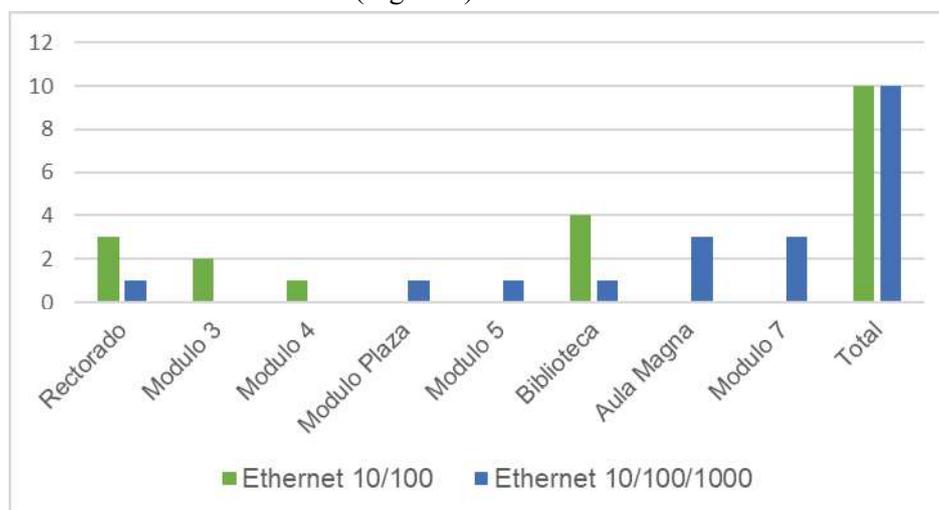


Figura 5. Gráfica de los puertos de los equipos de la capa de acceso.

Mientras que, el 41% son switches no gestionados, es decir, que son switches que carecen de funciones avanzadas de red y, por lo tanto, no pueden ser configurados o administrados; lo cual, dificulta el monitoreo, administración de la red y afecta a la calidad de servicio (Figura 6).

Se determinó que únicamente dos equipos tienen compatibilidad con controladores SDN; el switch catalyst ubicado en el Data Center y TL-SL2428P ubicado en biblioteca. Sin embargo, cada uno es compatible con las tecnologías SDN ofrecidas por sus marcas; Cisco y TP-LINK, por lo que no habría interoperabilidad. Por lo que es necesario realizar un nuevo diseño donde se integren nuevos equipos para poder implementar esta tecnología.

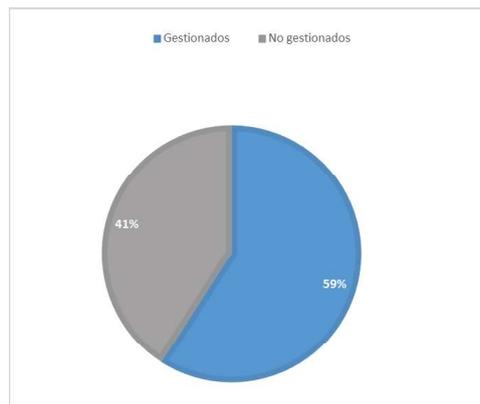


Figura 6. Gráfico de torta de los equipos gestionados y no gestionados de la red.

La implementación de SDN en redes modernas permite respuestas automáticas ante cambios en el tráfico, incrementando la eficiencia y el control en diversos segmentos de la red. Así lo explican Demir y Alagoz [7]: “La implementación de SDN en redes modernas permite respuestas automatizadas a los cambios de tráfico, lo que aumenta la eficiencia y el control en varios segmentos de la red”.

Propuesta de alternativas de diseño de red SDN

Para realizar un diseño de red SDN, se seleccionó la tecnología SD-Access de Cisco, debido a que los equipos utilizados en el Data Center son Cisco ya que, el switch catalyst 4507R+E, es compatible con esta tecnología. Se propusieron tres diseños de topología física de dos capas, tomando en cuenta que el número de estudiantes en la universidad es de alrededor de 3000 y la capacidad total de la infraestructura de la universidad de 10.000 usuarios.

La primera alternativa (Figura 7) de red consiste en el modelo más ideal de red, debido al nivel de redundancia y alta disponibilidad que posee. De esta manera, la capa de distribución-núcleo está conformada por dos nodos de control y borde, a los cuales se les conectan cada nodo de la capa de acceso. Además, la red cuenta con dos routers de fusión para una alta disponibilidad de conexión con las redes externas.

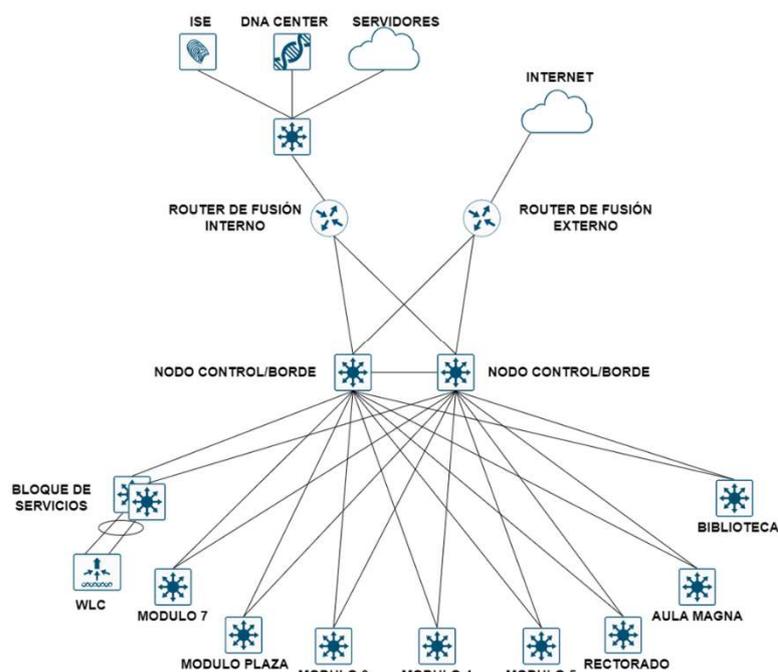


Figura 7. Primera propuesta de topología física SD-Access.

La segunda alternativa (Figura 8) consiste en una versión simplificada, en la que el controlador inalámbrico (WLC) se encuentra integrado de manera embebida en uno de los nodos de control y borde. Adicionalmente, se utiliza un único router de fusión para las conexiones externas. A pesar de la reducción de equipos, la red posee un alto nivel de redundancia y disponibilidad.

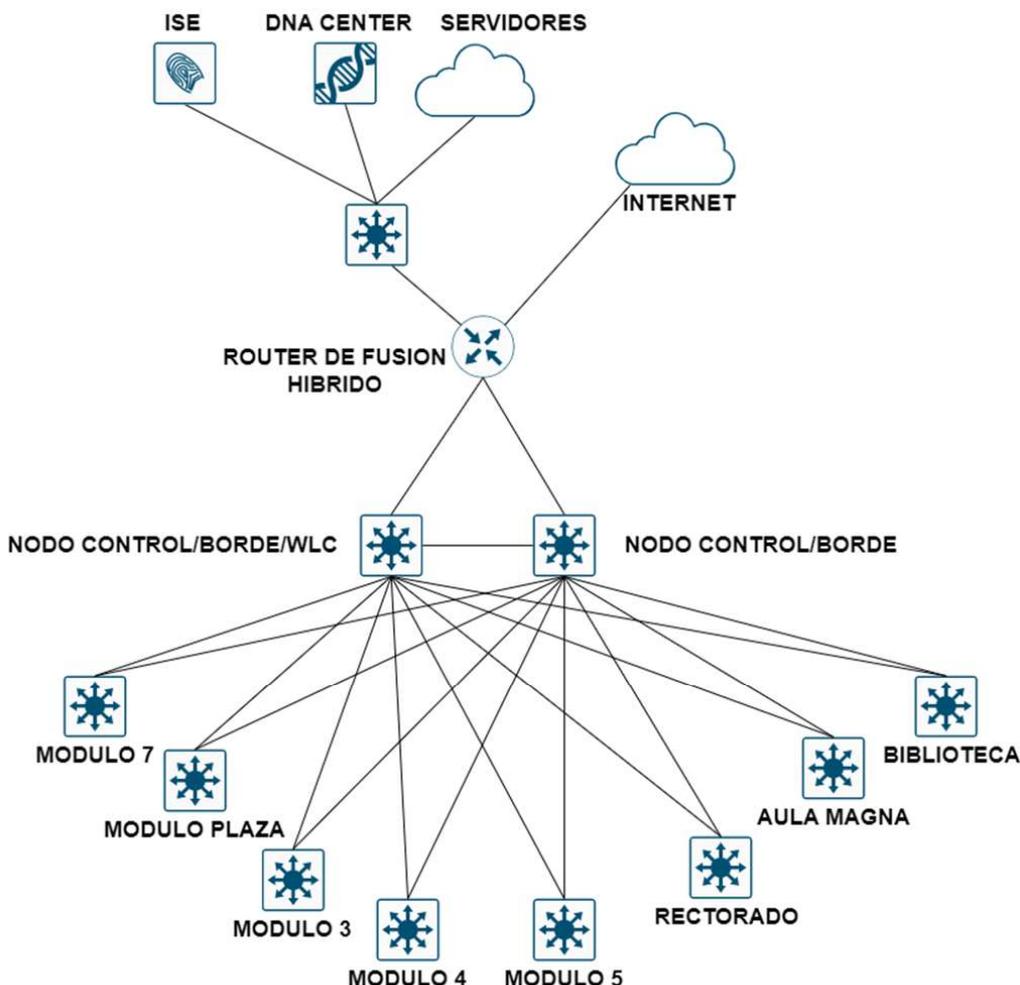


Figura 8. Segunda propuesta de topología física SD-Access.

Para la tercera alternativa (Figura 9), se propone utilizar una red híbrida donde se integre una red SD-Access y la red jerárquica actual. Para ello, es necesario utilizar nodo de handoff, el cual, permite que ambas redes se puedan comunicar. Debido a que este nodo es vital para la red, debe tener una alta disponibilidad. Por lo tanto, se propone utilizar un Switch Stack de dos switches, con un canal MEC (Canal Ether Multi-chasis) para poder habilitar la redundancia en la conexión con el nodo de distribución-núcleo de la jerárquica.

La topología física de la red SDN, posee el mismo modelo que la segunda propuesta. Por lo tanto, esta sería la implementación más económica, debido a que es la alternativa que posee menos equipos SDN, por lo que, se puede utilizar como primera fase migratoria a esta tecnología.

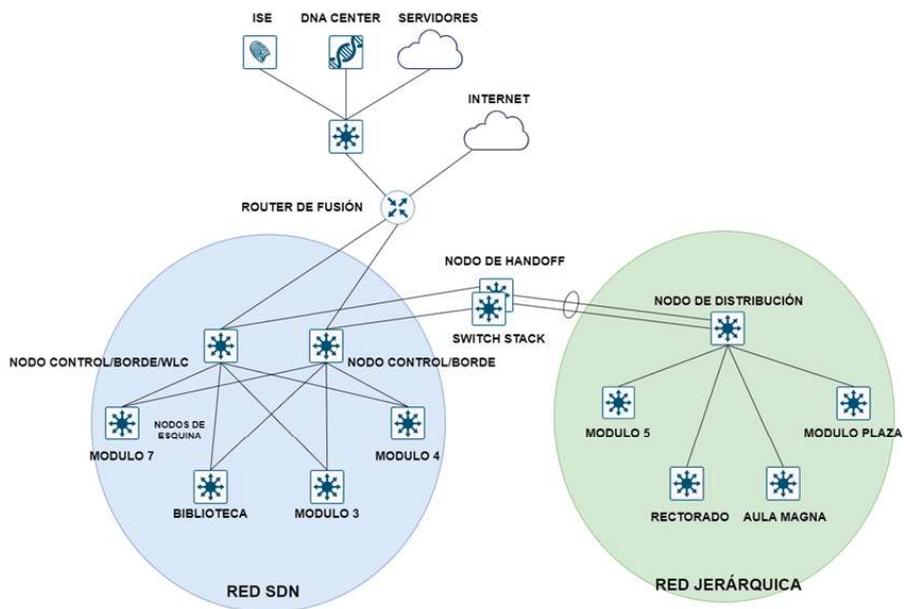


Figura 9. Propuesta de red híbrida.

Una vez culminado el diseño de las propuestas de topología física, se procedió a diseñar la topología virtual de la red. De esta manera, se logró observar que para la tecnología SD-Access la topología virtual es independiente de la topología física, debido a que este tipo de red se conoce como red basada en intención.

Debido a esto, se realizó un único diseño de topología virtual, que puede ser aplicado para cada diseño de propuesta mostrado anteriormente. Así, el diseño de la topología virtual se divide en la macro y microsegmentación (Figura 10).

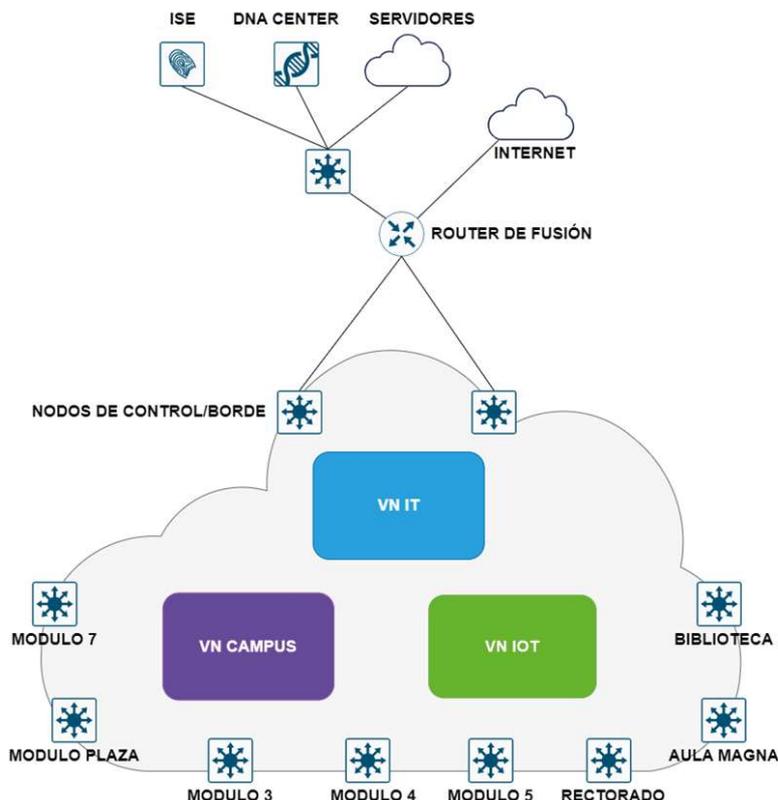


Figura 10. Macrosegmentación de la red.

Para la macrosegmentación de la red, se propuso crear las redes virtuales de campus, tecnología (IT) e IoT (Internet de las cosas). Al crear estas redes virtuales, la comunicación entre diferentes organizaciones no es permitida, lo cual incrementa la seguridad en la red sin la necesidad de implementar Firewalls dentro de la red interna.

Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente, para proteger el Data Center en el Rectorado, se designó la red IT exclusivamente para el personal encargado de llevar la administración de la red (Informática). Por otro lado, la red virtual de campus, se utilizará para otorgar conectividad a todos los diferentes clientes que conforman la universidad; estudiantes, empleados y puntos de acceso.

Finalmente, la red virtual de IoT, se pretende utilizar para la integración de dispositivos mediante el internet de las cosas; cámaras, sensores, entre otros. Con la microsegmentación, se definieron los grupos escalables (SGTs) de cada red virtual, para identificar los flujos de tráfico del campus universitario conformado por las facultades, laboratorios y biblioteca.

Paralelamente, se identifican el Rectorado, Biblioteca y Aula Magna, las cuales son infraestructuras externas al campus universitario. Mientras que, para la red virtual de IT, se propone utilizar dos SGTs, dedicados para el Departamento de Informática, el cual, es el encargado de llevar la administración de la red y para el Departamento de Seguridad de la universidad. De esta forma, la red virtual de IoT, se divide en los grupos de video vigilancia y sensores.

Tabla 2. Microsegmentación de la red

Red Virtual (VN)	SGTs
Campus	Facultades
	Laboratorios
	Rectorado
	Aula Magna
	Biblioteca
IT	Informática
	Seguridad
IoT	Video vigilancia
	Sensores

En las implementaciones híbridas de SDN, es posible optimizar el diseño al combinar infraestructura tradicional con componentes SDN, permitiendo una migración progresiva que minimiza las interrupciones operativas y maximiza el aprovechamiento de los recursos existentes. Como se menciona en el estudio de Scott-Hayward [8]: “Las implementaciones de SDN en redes modernas permite respuestas automatizadas a los cambios de tráfico, lo que aumenta la eficiencia y el control en varios segmentos de la red”.

Comparación entre la tecnología SDN propuesta y la tecnología tradicional de red

En primera instancia, tras realizar las simulaciones en Cisco Packet Tracer y GNS3, donde se simuló una red SD-Access y una red tradicional utilizando la aplicación PRTG del protocolo SNMP. Se observó que la red SD-Access posee un mayor nivel de administración en comparación con el protocolo SNMP, debido a que es superior en todos los aspectos mencionados de la Tabla 3, excepto en el nivel de monitoreo y en cuanto a la información que se puede obtener. A pesar de ello, la ventaja de utilizar SNMP, a diferencia de SD-Access, es que no se necesita realizar un rediseño de la red para implementar dicho protocolo.

Tabla 3. Comparación entre la administración SDN y SNMP

Administración	SD-Access	SNMP
Complejidad	Baja	Intermedia-alta
Habilitación	Automática	Manual
Conocimiento previo de la red	No	Si
Nivel de monitoreo	Alto	Alto (Con aplicaciones)
Información obtenida	Detallada	Detallada
Tipo de monitoreo	Global e individual	Individual
Configuración remota de la red	Alta	Limitada

Seguidamente, tras comparar las tecnologías y protocolos de SD-Access, se logró observar que SD-Access debido a que posee únicamente enlaces de capa 3, no requiere de los numerosos protocolos de capa 2 utilizados para la redundancia en el diseño de redes tradicionales, eliminando el protocolo STP.

Complementariamente, SD-Access permite extender VLANs a través de la red sin que se creen bucles, a través de la tecnología VXLAN. Seguidamente, SD-Access mejora la calidad del servicio y la seguridad implementando el protocolo CTS, el cual permite micro y macrosegmentar la red. Sin embargo, la ventaja de las redes tradicionales es que utilizan únicamente protocolos de enrutamiento interior (IGP). Mientras que, una red SD-Access requiere protocolos de IGP y de enrutamiento exterior (EGP). A pesar de ello, SD-Access implementa el protocolo LISP, que les permite a los equipos, reducir sus tablas de enrutamiento, haciendo la red más eficiente (Tabla 4).

Tabla 4. Comparación entre los protocolos de redes SD-Access y tradicionales

Tecnologías	SD-Access	Tradicional
Administración	DNA Center	SNMP, Syslog, SSH, Telnet
Seguridad	CTS, ISE	Firewalls
Calidad de Servicio	CTS, ISE	DSCP, ACL, NBAR, PCP
Redundancia	ECMP	STP, FHRP, EtherChannel, MEC, Switch Stacking
Capa 4	UDP	TCP/UDP
Capa 3	IS-IS, OSPF, eBGP, LISP, VRF	Static, OSPF, RIP, EIGRP
Capa 2	VXLAN	VLAN

En las implementaciones híbridas de SDN, es posible optimizar el diseño al combinar infraestructura tradicional con componentes SDN, permitiendo una migración progresiva que minimiza las interrupciones operativas y maximiza el aprovechamiento de los recursos existentes. Como se menciona en el estudio de Scott-Hayward [8]: “Las implementaciones de SDN híbridas permiten una integración gradual, minimizando las interrupciones y aprovechando la infraestructura heredada de manera efectiva”.

Propuesta de implementación de red SDN en la universidad

Se determinó que los parámetros que se deben tomar en consideración para la selección de equipos de una red SD-Access, consisten en la jerarquía de la red y las capacidades de diseño de los nodos (Tabla 5). De esta manera, se observó que los switches más recomendados e implementados en esta tecnología, son los catalyst 9k series.

Tabla 5. Equipos que se pueden implementar en una red SD-Access

Nodo	Equipos
Esquina	Catalyst 3650, 3860, 4500, 9200, 9300, 9400, 9500
Borde	Catalyst 3850, 6840, 6880, 9300, 9400, 9500, 9600
	Nexus 7700
	ASR 1000, ISR 400
Control	Catalyst 3850, 6800, 9300, 9400, 9500
	ASR 1000, ISR 400
	CSR 1000V
Handoff	Catalyst 9300, 9400, 9500, 9600
WLC	Aironet
	Catalyst 9800, 9300, 9400, 9500
DNA Center	44, 56 y 112 núcleos
ISE	3715, 3755, 3795
Fusión	ASA, FTD
	ASR, ISR
	Catalyst, Nexus

Se determinó que los equipos que ajustan a los requerimientos de la universidad son los siguientes (Tabla 6):

Tabla 6. Selección de equipos para la integración de SD-Access

Nodo	Equipo
Acceso (Esquina)	Cisco Catalyst 9200 series
Distribución (Control/Borde)	Cisco Catalyst 9300 series
Nodo de fusión	Cisco Catalyst 9500 series
WLC	Catalyst 9800-L
ISE	Secure Network Server 3715
DNA Center	Cisco UCS C220 M5 Rack Server 44 núcleos

Para proponer esta implementación, se propuso un plan de migración de manera progresiva a una red híbrida, en un período de 4 años (Tabla 7).

Dentro del año 1, se propuso integrar el DNA Center, dos equipos para la capa de distribución y dos equipos para la capa de acceso. Estos, se deben integrar a la red de manera tradicional, es decir, SD-Access aún no se puede implementar en esta fase, por lo que se deben hacer las configuraciones manuales para su integración con la red existente.

Para el año 2, se integran el router de fusión y el ISE. En este período SD-Access ya es compatible. Por lo que, para esta fase se debe colocar un catalyst 9200, como nodo de handoff, para conformar una red híbrida.

Finalmente, con los años 3 y 4, se añaden el resto de equipos de la capa de acceso a la red SD-Access.

Tabla 7. Propuesta de implementación inicial

Año	Equipos	Cantidad	Precio	Costos
1	Cisco UCS C220 M5 Rack Server 44 núcleos	1	4057.738	4057.738
	C9300L-24T-4X-A	2	6553.18	13 106.36
	C9200L-24T-4X-E	2	4536.63	9073.26
Total año 1				26 237,358
2	C9500-24Y4C-A	1	26 319.19	26 319.19
	Secure Network Server 3715	1	4162.5	4162.5
Total año 2				30 481,69
3	C9200L-24T-4X-E	3	4536,63	13 609,89
Total año 3				13 609,89
4	C9200L-24T-4X-E	3	4536.63	13 609.89
Total año 4				13 609.89
Total				83 938.828

Conclusiones

Se concluye que la red actual de la universidad adolece de redundancia, escalabilidad y eficiencia en su administración. La calidad del servicio se ve comprometida debido a la presencia de switches no gestionados. Además, los equipos existentes no son compatibles con la tecnología SD-Access.

Los diseños de red SD-Access propuestos satisfacen los requerimientos de la universidad, fortaleciendo la redundancia, escalabilidad, seguridad y capacidad de gestión. Asimismo, se observa que un diseño SD-Access es más flexible, ya que la topología virtual es independiente de la topología física. La macro y microsegmentación permiten diseñar la red de forma más granular.

La tecnología SD-Access ofrece un nivel de administración superior en comparación con las soluciones tradicionales, gracias a la gestión centralizada que permite obtener información de toda la red de manera automatizada a través del controlador. Sin embargo, el protocolo SNMP, aunque no requiere rediseñar la red, presenta limitaciones en términos de escalabilidad y flexibilidad.

Además, SD-Access es más eficiente, robusta y segura debido a sus enlaces de capa 3, que eliminan los protocolos de capa 2 y al uso de tecnologías como VXLAN, LISP y CTS. Estas tecnologías permiten extender los VLAN, reducir las tablas de enrutamiento y aplicar políticas de calidad de servicio y seguridad de manera más granular. No obstante, SD-Access requiere el uso de protocolos EGP, por lo que es necesario emplear equipos diseñados para funciones de red avanzadas, con el fin de permitir la comunicación con redes externas.

Para implementar esta tecnología, es fundamental considerar la jerarquía de la red y los roles de los equipos como parámetros de selección. Se concluye que SD-Access implica una inversión inicial significativa debido a las características avanzadas que deben poseer los equipos de red. Por consiguiente, se propone una migración gradual hacia una red híbrida como primera fase, donde se integren de forma progresiva equipos Catalyst 9200, 9300 y 9500 para las capas de acceso, distribución y core, respectivamente. Estos equipos satisfacen los requerimientos de la universidad.

Referencias

- [1] A. Paucar, “Análisis e implementación de un prototipo de red SDN en el campus norte de la UNACH”. Trabajo fin de grado, Univ. Nacional de Chimborazo, 2022.
- [2] L. Peterson, C. Cascone, B. O’Connor, T. Vachuska, y B. Davie, “Software-Defined Networks: A Systems Approach”. Editorial Morgan Kaufmann, 2021.
- [3] R. Malagarriga, “Propuesta de diseño de la red informática de la Universidad Rafael Urdaneta enfocado en la escalabilidad y redundancia”. Trabajo fin de grado, Univ. Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela, 2019.
- [4] “Guía de diseño de solución SD-Access”. Cisco, 2020. [En Línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/CVD/Campus/cisco-sda-design-guide.html>
- [5] “Guía de diseño de solución Campus LAN y Wireless LAN”. Cisco, 2020. [En Línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/CVD/Campus/cisco-campus-lan-wlan-design-guide.html>
- [6] “Cisco DNA Center 2.3.5”. Cisco, 2020. [En Línea]. Disponible en: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/cloud-systems-management/dna-center/nb-06-dna-center-data-sheet-cte-en.html>
- [7] O. T. Demir and F. Alagoz, “Networks Modernization Using SDN and NFV Technologies”. IEEE Press. 2022.
- [8] S. Scott-Hayward, P. K. Chouhan, and J. Finnegan, “A Survey of Deployment Solutions and Optimization Strategies for Hybrid SDN Networks”, 2018.

Caracterización de un alimento probiótico preparado con zumo de granada (*Punica granatum*)

*Characterization of a probiotic food prepared with pomegranate juice (*Punica granatum*)*

Luis P. Lugo-Salazar

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.

 <https://www.orcid.org/0009-0000-1696-7564> | Correo electrónico: luispablolugosalazar@gmail.com

Laugeny Ch. Díaz-Borrego

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.

Universidad del Zulia, Facultad Experimental de Ciencias, Departamento de Biología. Maracaibo, Venezuela.

 <https://www.orcid.org/0000-0002-8263-081X> | Correo electrónico: laugenydiaz221172@gmail.com

Recibido: 15-09-2023 Admisión: 03-12-2023 Aceptado: 07-02-2024

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue caracterizar un alimento probiótico tipo yogur elaborado con zumo de granada (*Punica granatum*). Para ello, se preparó un yogur con el zumo de granada incorporado, y posteriormente se determinaron sus propiedades fisicoquímicas y nutricionales, siguiendo las metodologías establecidas por la normativa COVENIN y AOAC, además de estimar su tiempo de vida útil durante su refrigeración. Como resultados, el alimento probiótico presentó acidez promedio de $9,56\% \pm 0,10$, contenido de grasas de $0,17\% \pm 0,04$ y proteínas de $5,19\% \pm 0,02$, con las siguientes características organolépticas: coloración amarillenta, separación de fases y calidad microbiológica. Como conclusión, el yogur con zumo de granada cumplió con los requerimientos fisicoquímicos, nutricionales y microbiológicos de la normativa COVENIN y siendo una fuente asequible de proteínas y minerales y de grasas saludables.

Palabras clave: *Punica granatum*, yogur, propiedades nutritivas, probiótico, vida útil.

Abstract

*The objective of this research was to characterize a yogurt-type probiotic food made with pomegranate juice (*Punica granatum*). To do this, a yogurt was prepared with the pomegranate juice incorporated, and its physicochemical and nutritional properties were subsequently determined, following the methodologies established by the COVENIN and AOAC regulations, in addition to estimating its shelf life during refrigeration. As results, the probiotic food presented average acidity of $9.56\% \pm 0.10$, fat content of $0.17\% \pm 0.04$ and proteins of $5.19\% \pm 0.02$, with the following organoleptic characteristics: coloration yellowish, phase separation and microbiological quality. In conclusion, the yogurt with pomegranate juice met the physicochemical, nutritional and microbiological requirements of the COVENIN regulations, and being an affordable source of protein, minerals, and healthy fats.*

Keywords: *Punica granatum*, yogurt, nutritional properties, probiotic, shelf life.

Introducción

Los diversos alimentos probióticos han mantenido un papel fundamental en la dieta del ser humano, por ser considerados una fuente de diferentes nutrientes y otorgar beneficios para la salud. Actualmente, la elaboración e innovación de estos alimentos, busca orientarse a distintos grupos de consumidores que pretenden aprovechar los diferentes beneficios que aporta. En este sentido, Aguilera *et al.*, [1] indican que éstos proporcionan un efecto beneficioso para la salud, bajo el concepto de adición, sustitución o eliminación de ciertos componentes a los alimentos habituales, con influencia positiva en el organismo en funciones fisiológicas, cardiovasculares

intestinales y psicológicas; todo ello dentro de una dieta balanceada, sana y en cantidades similares que las que se consumen con los demás alimentos.

La granada (*Punica granatum*) contiene un gran porcentaje de azúcares como la fructosa y sacarosa, además de ser una fuente de minerales como sodio, potasio, calcio, hierro, fósforo y magnesio; de vitaminas como B1, B2, C y niacina. Adicionalmente, es conocida por su alto contenido de ácidos orgánicos, como el ácido málico y el ácido cítrico, cuya versatilidad en la industria alimenticia hace que estos compuestos sean de interés para la fabricación de diferentes tipos de alimentos [2]. También se ha establecido que existen variaciones significativas en el contenido de ácidos orgánicos, compuestos fenólicos, azúcares solubles, vitaminas y minerales en las granadas, dependiendo de la variedad y condiciones de cultivo [3]. Al respecto, Mekni *et al.* [4] reportaron variaciones en las características promológicas y bioquímicas de diferentes cultivares de granada, encontrándose en la semilla azúcares como fructosa, fructosa y arabinosa y ácidos orgánicos como ácido cítrico y ácido málico, como se mencionó anteriormente. En concordancia, Gil [5] establece que los efectos beneficiosos del zumo de granada han sido atribuidos a propiedades antioxidantes de los polifenoles derivados del ácido elágico, isómeros de la punicalagina, otros taninos hidrolizables y flavonoides como los antocianos.

Para el yogur, Rodríguez y Magro [6] establecen las dimensiones de la calidad, que motivan al consumidor para la compra del producto. Estas agrupan las características sensoriales o calidad hedónica; la calidad asociada a la salud, la cual agrupa los beneficios que el producto ofrece; la calidad asociada a la conveniencia, la cual engloba el tiempo y esfuerzo que se requieren para la compra, preparación y consumo, y la última se refiere a las características relacionadas con los diferentes procesos productivos que generen un interés al consumidor.

Por su parte, Coronel [7] en su trabajo sobre “Características fisicoquímicas y sensoriales de yogur enriquecido con quinua (*Chenopodium quinoa* wild)” obtuvo como resultado que las leches fermentadas presentaron variaciones de acidez a lo largo del proceso fermentativo y aumentó durante el proceso de almacenamiento, a la par de la disminución del pH, evidenciando una mayor sinéresis de las leches fermentadas en relación al grupo control.

En el trabajo de Alcaraz *et al.* [8] relacionado con el “Estudio de propiedades tecnológicas en yogurt elaborado con extracto de granada” se destaca que el yogur es una de las leches fermentadas más consumidas en el mundo por sus propiedades nutricionales, funcionales y sensoriales. Además, los yogures suplementados con extractos de granada presentaron características mejoradas de color, acidez, contenido de vitaminas y minerales, en comparación con el yogur patrón.

Por lo anteriormente expresado, la granada (*Punica granatum*), es idónea para el planteamiento que se desea llevar a cabo en esta investigación sobre la preparación de un alimento probiótico funcional tipo yogur, enriquecido con zumo de granada. El zumo de granada aporta valor agregado al yogur en cuanto a sus propiedades nutricionales y antioxidantes que son de gran importancia para satisfacer las necesidades del consumidor.

A partir de estas bases, se propone caracterizar un alimento probiótico tipo yogur elaborado con zumo de granada (*Punica granatum*) mediante análisis fisicoquímicos y nutricionales con la finalidad de determinar la calidad del alimento.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de la investigación se siguió un enfoque cuantitativo [9], de tipo analítico [10] y de diseño experimental puro [11]. La unidad de análisis de esta investigación, estuvo representada por el alimento probiótico con la adición del zumo de granada, al cual se le practicaron los análisis fisicoquímicos, proximales, sensoriales y microbiológicos, para determinar la calidad nutricional y microbiológica del producto. Para la recolección de datos, se utilizó la observación, tanto directa como la observación documental, así como la técnica de la encuesta [12] y, en relación a la evaluación sensorial, se diseñó un cuestionario de preguntas abiertas aplicado a un panel de cinco expertos en el área de tecnología de los alimentos.

Con el propósito de cumplir con los objetivos planteados, la investigación se definió por fases que lograron que la variable fuese dimensionada y cuantificada a través de indicadores, y posteriormente el procedimiento a seguir en cada una de ellas, como se describe a continuación:

Fase I: Análisis fisicoquímicos del zumo de granada (*Punica granatum*)

Inicialmente se siguió el protocolo descrito por Pérez [13] el cual consistió en seleccionar los frutos con la maduración adecuada que presentaron color rojo-amarillento, luego se procedió al lavado y desinfección de éstos con agua y detergente, para posteriormente pasar al pelado de la corteza y el despulpado de la sección granular de la fruta. Para la obtención del zumo de granada, se mezcló la pulpa de la fruta con 100 mL de agua hasta observar total homogeneidad de la solución.

Para la caracterización fisicoquímica del zumo de granada, se siguieron los procedimientos establecidos por el Manual de Métodos Oficiales de Análisis de la AOAC [14] como se explica a continuación:

En primer lugar, para la determinación del pH se siguió el método del potenciómetro, empleando un pH-metro marca Oaklon pH 700. En segundo lugar, la determinación del porcentaje de acidez se realizó por medio de la titulación para la cuantificación del porcentaje de ácido cítrico presente en el zumo, el cual consistió en la titulación de 10 mL de la muestra con 0,1 N de NaOH, empleando fenolftaleína como indicador, expresando el resultado en porcentaje de ácido cítrico. En tercer lugar, la determinación de sólidos totales se realizó por métodos gravimétricos, las muestras de zumo de granada se desecaron en la estufa marca MEMMERT® modelo Universal Ufe-550 a $100 \pm 2^\circ\text{C}$, para luego estimar el porcentaje de sólidos totales. Por último, se procedió a la determinación de sólidos solubles de la muestra, donde se indicó el contenido de azúcares en 100 mL de solución, empleando un refractómetro marca AICHOSE® modelo SR-002BE previamente calibrado para la lectura de los grados Brix del zumo de granada.

Fase II: Preparación del alimento probiótico tipo yogur

La preparación del yogur se hizo de acuerdo a las indicaciones de Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) [15], la cual consistió en la aplicación de tratamiento térmico a una mezcla estandarizada de leche en polvo y leche descremada a 85°C hasta homogeneizar en su totalidad, para posteriormente dejar enfriar la mezcla a temperatura ambiente, agregar el cultivo iniciador comercial marca LyoPro, el cual contiene los fermentos lácticos liofilizados (*Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*), para luego incubar la mezcla a $43\text{-}45^\circ\text{C}$ por 4-6 horas. Se estableció la culminación de la fermentación del yogur cuando se observó la formación del coágulo, el cual fue sometido a agitación mecánica en una licuadora a baja potencia marca Oster modelo GS 4655, y finalmente se añadió el zumo de granada a la mezcla. También se preparó una mezcla sin el zumo de granada, el cual sirvió como grupo control. Una vez obtenidos tanto el grupo control (yogur base) como el grupo tratamiento (alimento probiótico), por duplicado, se procedió a la estimación del peso y volumen, utilizando una balanza analítica marca Ohaus modelo AP2105 y un cilindro graduado, respectivamente.

En la Tabla 1 se muestran los ingredientes y la cantidad necesaria para obtener el yogur con las características deseadas.

Tabla 1. Listado de ingredientes para la elaboración del yogur base

Ingrediente	Cantidad
Leche descremada	1 litro
Leche en polvo	50 gramos
Cultivo iniciador	1 gramo

Con respecto al alimento probiótico, a este se le incorporó 150 mL de zumo de granada una vez obtenido el yogur base para su elaboración. En la Tabla 2 se tiene el peso y el volumen tanto del yogur base (control) como del yogur suplementado con el zumo de granada (tratamiento).

Tabla 2. Masa y volumen del alimento probiótico

	Control	Tratamiento
Masa(g)	798,159	828,555
Volumen (mL)	874	910

Fase III: Análisis fisicoquímicos del yogur con zumo de granada

Esta fase comprendió la caracterización fisicoquímica tanto del grupo control como del grupo tratamiento, de acuerdo a los procedimientos descritos por el Manual de la AOAC [14] tal como se explicó para los análisis del zumo de granada descritos en la Fase I. De tal forma que se empleó el método del potenciómetro para la medición de pH, el método de titulación para la determinación de acidez, el método del refractómetro para la determinación de sólidos solubles y el método de desecación para la determinación de sólidos totales.

Fase IV: Análisis proximal del yogur con zumo de granada

En esta fase se realizó el análisis proximal de Weende a las muestras del yogur con zumo de granada y del control, con el fin de conocer la composición nutricional del alimento, según los procedimientos especificados en el Manual de la AOAC [14], los cuales incluyeron: contenido de humedad, proteína cruda, extracto etéreo o grasas y cenizas, expresados en composición por porcentaje.

El contenido de humedad del alimento se realizó para la determinación de contenido de agua mediante la pérdida de peso del alimento, por desecación de la muestra en una estufa marca MEMMERT® modelo Universal Ufe- 550 a 110°C, hasta que el residuo sólido de la muestra mantuviera un peso constante. El porcentaje de humedad se obtuvo por el cociente del peso en gramos de la muestra y la pérdida de peso una vez terminado el proceso de desecado.

Para analizar el contenido de proteína cruda del alimento se empleó el método Kjeldahl, el cual determina el contenido de sustancias nitrogenadas presentes en la muestra. Para ello se digirió a una temperatura de 420 °C la solución conformada por la muestra, y se empleó un catalizador constituido por K_2SO_4 : $CuSO_4$: Se; H_2SO_4 concentrado y de H_2O_2 . La digestión de la muestra ocurrió hasta que la disolución adquirió un color verde esmeralda característico, se dejó enfriar, y se alcalinizó con agua destilada y una solución de NaOH 10 N, para finalmente realizar la destilación de la solución. La cuantificación de proteínas se realizó por medio de una volumetría empleando ácido clorhídrico o sulfúrico y como indicador, una disolución alcohólica de una mezcla de rojo de metilo y azul de metileno.

El porcentaje de extracto etéreo se determinó por la medición de la grasa o lípidos en el alimento, a través del método de Rösse-Gottlieb, el cual emplea un disolvente orgánico para la extracción de la fracción de grasa del alimento. Para ello, se homogenizó la muestra con agua a 60°C en un tubo de extracción, y se añadió hidróxido de amonio (NH_4OH), alcohol etílico (C_2H_6O), tres gotas de fenoltaleína y de éter de petróleo, antes de centrifugar la solución a 600 rpm hasta presenciar una separación de capas. Después se transfirió una de las capas a una cápsula previamente tarada, y se agregaron dos solventes orgánicos (éter etílico y de petróleo), con la ayuda del tapón de un tubo graduado, modelo Richter. Una vez completada la extracción, se evaporó la cápsula en baño de María y se transfirió a una estufa a 102 °C \pm 1°C durante 1 hora. Una vez transcurrido el tiempo se dejó enfriar en un desecador y se pesó en la balanza analítica marca Ohaus modelo AP2105.

Por último, el análisis del contenido de cenizas del alimento se realizó por el método de incineración para determinar la fase inorgánica del alimento. Para esta prueba se carbonizó la muestra del alimento en un crisol de porcelana a 600 °C por dos horas. Una vez transcurrido el tiempo, se pesó la muestra y se obtuvo el porcentaje de cenizas mediante el cociente entre la pérdida de peso de la muestra y el peso de la muestra original.

Fase V: Tiempo de vida útil del yogur de zumo de granada

Esta fase consistió en el seguimiento de las propiedades del alimento probiótico desde el día 0 (D0) hasta el día 21 (D21) de refrigeración a temperatura de 4°C a través de la determinación de parámetros nutricionales

en relación a ciertos análisis fisicoquímicos y sensoriales, que tienden a variar en estas condiciones, y que ayudan a detectar indicios de deterioro o descomposición del alimento. Para esta parte de la metodología se consideró lo establecido en la norma COVENIN 2393-2001 [16], la cual contiene los requisitos generales de calidad del yogur.

Los análisis fisicoquímicos practicados al alimento probiótico durante el período de refrigeración fueron: determinación del pH y la acidez titulable, dado que éstos se relacionan con ciertos rasgos organolépticos del alimento, como son el aroma y el sabor, según lo sugerido por el INTI [15].

Adicionalmente, se realizó la evaluación de la calidad microbiológica del alimento, siguiendo la norma COVENIN 1126-77 [17] para la toma, identificación y preparación de muestras para análisis microbiológicos; la norma COVENIN 1337-90 [18] para el recuento de mohos y levaduras y la norma COVENIN 3006-93 [19] para el recuento de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, siendo estos microorganismos los responsables de la fermentación de la leche y de la textura del yogur [20].

Por último, se realizó un análisis sensorial del alimento probiótico, mediante un panel de catadores constituido por cinco (5) expertos en el área de tecnología de alimentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Zulia, ubicada en Maracaibo, Venezuela. Con esta finalidad, se aplicó una encuesta que consistió en un cuestionario de preguntas abiertas con cinco (5) ítems, en el cual se evaluaron las siguientes características en el alimento: color, aroma, sabor, textura y apariencia del producto.

Análisis de los datos

Se empleó la estadística descriptiva para la presentación de datos en valores promedio y en porcentajes. Además, se comprobaron los supuestos de normalidad de los datos y se aplicó la prueba *t-student* para comparar los parámetros fisicoquímicos y nutricionales del yogurt base con los del alimento probiótico preparado con zumo de granada, empleando el paquete estadístico Statistix versión 10.

Resultados y discusión

Características fisicoquímicas del zumo de granada (*Punica granatum*)

En la Tabla 3 se presenta el perfil fisicoquímico del zumo de granada caracterizado de acuerdo al pH, acidez titulable, sólidos totales y grados Brix.

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas del zumo de granada

Parámetro	Resultado	Especificaciones descritas en la literatura
pH	3,59 ± 0,01	2,2 - 5,8 (FAO, 2005)
%AC	0,24 ± 0,01	Máximo de 0,5% (FAO, 2005)
%ST	7,93 ± 0,22	-
°Brix	9,06 ± 0,17	Mínimo 12°Brix (FAO, 2005)

Leyenda: pH= Potencial de hidrógeno; %AC= Porcentaje de acidez titulable o ácido cítrico; %ST= Porcentaje de sólidos totales; °Brix= Grados Brix

En la Tabla 3 se muestra que el valor de pH del zumo de granada se mantuvo dentro del rango establecido por la FAO [21], exhibiendo pH ácido de 3,59 por la presencia del ácido cítrico, el cual es el ácido graso con mayor proporción dentro de la fruta. Con respecto al contenido de ácido cítrico, el valor de 0,24% fue mayor al obtenido por Gbarakoro, Ilomechine & Gbarato [22], para zumos de mango (0,10%) y de frutas cítricas (0,21%), por lo que el zumo de granada obtenido resulta beneficioso para la ingesta de vitaminas, el funcionamiento renal

y el sistema inmunológico; además de no sobrepasar el límite necesario para el procesamiento de néctares, el cual está estipulado en 0,5g/ml de acuerdo a la FAO [21]. Por su parte, el zumo de granada presentó un valor de 0,96° Brix el cual está por debajo de lo recomendado por la FAO [21], lo que indica un bajo contenido de azúcares en el zumo, por lo que se considera un zumo débil o acuoso. En consonancia, Raga Carreño *et al.* [23] en Venezuela, obtuvieron para el zumo de granada, valores de pH de 3,54, sólidos solubles totales de 13,3% y acidez (ácido cítrico) de 0,55 g/100 mL, con mayor contenido de azúcares que lo obtenido en el presente trabajo, lo cual puede deberse a la variedad del cultivo de granada.

Características fisicoquímicas del yogur con zumo de granada

La Tabla 4 expresa los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos por parte de los dos grupos analizados (control y tratamiento) en cuanto al pH, el porcentaje de acidez titulable, el porcentaje de sólidos totales y los grados Brix, con su respectivo análisis estadístico.

Tabla 4. Características fisicoquímicas del yogur con zumo de granada

Parámetro	Control	Tratamiento	t-estadístico	P (t≤0,05)
pH	5,91 ± 0,02	4,32 ± 0,01	127,22	0,0000618
%Acidez titulable	4,2 ± 0,08	9,56 ± 0,10	-55,32	0,00000064
%Sólidos totales	12,42 ± 1,28	14,97 ± 1,50	-1,82	0,14
Grados Brix	9,83 ± 0,17	6,83 ± 0,28	12,72	0,001

La Tabla 4 mostró que el yogur con zumo de granada acusó un descenso en cuanto al pH, en comparación al control, con diferencias significativas ($P < 0,05$), similar al valor de pH del yogur de mango con semillas de chía obtenido por Risco [24]. El pH es una característica relacionada a la alcalinidad de una solución, y esta puede disminuirse mediante la adición de ácidos como el ácido cítrico [23], siendo este uno de los ácidos más comunes presentes en los zumos de frutas, como el caso de la granada; no obstante, el alimento probiótico se mantuvo dentro del rango de pH recomendado para el yogur (entre 3,7 y 4,6) [25].

Se encontraron diferencias significativas entre el control y el tratamiento en cuanto al porcentaje de acidez, siendo mayor en yogur con zumo de granada ($P < 0,05$), esto se relaciona con la actividad metabólica de las bacterias ácido lácticas presentes en el alimento, las cuales transforman los azúcares contenidos en el zumo de granada, en ácido láctico. Esto de igual forma, se corresponde con la disminución de los grados Brix (sólidos solubles) del grupo tratamiento con respecto al control, que también presentó diferencias significativas ($P < 0,05$), puesto que este parámetro indica una relación del contenido de azúcares en una solución, tal como lo obtenido por Serna [26] al inocular diferentes jugos de frutas con bacterias ácido lácticas, registrando valores de 11,01% de acidez por encima del valor del grupo control y disminución del 22,24% de grados Brix respecto al grupo control. Sin embargo, hay que señalar que el contenido de ácido láctico del yogur con zumo de granada fue mayor al requerimiento mínimo establecido por la norma COVENIN 2393-2001 [16] del 0,7%.

Los sólidos totales no presentaron diferencias significativas entre el grupo control y el tratamiento ($P > 0,05$), pero el valor encontrado en el yogur con zumo de granada de 14,97% da cuenta de la suficiencia de minerales y vitaminas contenidos en el producto, aunque fue menor al resultado obtenido por Risco [24] en un yogur de mango enriquecido con semillas de chía, que se posicionó en 18,98%.

Propiedades nutricionales del yogur con zumo de granada

En la Tabla 5 se muestran los resultados obtenidos por parte de los dos grupos analizados (control y tratamiento) en cuanto a las características nutricionales del producto, y su respectivo análisis estadístico.

Tabla 5. Parámetros nutricionales del yogur enriquecido con zumo de granada

Parámetro	Control	Tratamiento	t-estadístico	P ($t \leq 0,05$)
%Humedad	82,49 ± 0,43	88,47 ± 0,09	-21,90	0,002
%Extracto etéreo	1,24 ± 0,21	0,17 ± 0,04	8,54	0,01
%Cenizas	1,20 ± 0,01	1,29 ± 0,01	-11,02	0,0003
%Proteínas	3,24 ± 0,04	5,19 ± 0,02	-75,03	0,000005

El contenido de agua del alimento probiótico con zumo de granada de 88,47% reflejado por el porcentaje de humedad, fue mayor al valor obtenido por el grupo control de 82,49%, con diferencias significativas ($P < 0,05$), por lo que el agua presente en el zumo de granada contribuyó al aumento de este parámetro, lo que permite además, un ambiente propicio para el crecimiento de bacterias ácido lácticas presentes en el alimento [25].

El extracto etéreo corresponde a todos los componentes presentes en el alimento que se consideren nutrientes (ácidos grasos, colesterol, lípidos o vitaminas insolubles) [27]. Se encontraron diferencias significativas entre el yogur con zumo de granada con respecto al control ($P < 0,05$), siendo el contenido de grasas del grupo tratamiento de 0,17% menor con respecto al obtenido por el grupo control de 1,24%. De igual manera, el contenido de materia grasa del alimento probiótico se mantuvo dentro de lo establecido por la norma COVENIN 2393-2001 [16] para el yogur, la cual indica que un yogur con contenido de grasa menor al 1%, se considera un yogur semidescremado, como es el caso del yogur con zumo de granada.

El porcentaje de proteínas incluye todas las sustancias nitrogenadas contenidas en los alimentos, de alta digestibilidad en comparación con los carbohidratos [26]. El contenido de proteínas acusó diferencias significativas ($P < 0,05$) entre el alimento probiótico de 5,19% con respecto al grupo control, cuyo valor fue del 3,24%; por lo tanto, el jugo de granada fue suficiente para aumentar el contenido proteico del alimento probiótico, proporcionando una fuente de proteínas para el consumidor, incluso con un valor mayor al reportado por Risco [24] de 3,92%. Por otro lado, el contenido de proteínas del yogur con zumo de granada se mantuvo dentro de lo estipulado en la norma COVENIN 2393-2001 [16] la cual establece un valor mayor de 3%, por lo que este alimento probiótico enriquecido con zumo de granada se puede considerar una fuente proteica asequible y de bajo costo de fabricación [27].

El contenido de cenizas, el cual representa los residuos inorgánicos contenidos en el alimento (principalmente minerales), fue mayor en el grupo tratamiento de 1,29% en relación al grupo control con 1,20%, y con diferencias significativas ($P < 0,05$). Este se mantuvo por encima de la cantidad mínima recomendada por Sánchez y Mendieta [27] de 0,7% de cenizas, por lo que el alimento probiótico enriquecido con zumo de granada constituye una buena fuente de minerales beneficiosos para la salud.

Tiempo de vida útil del yogur con zumo de granada

En la Tabla 6 se presentan las variaciones de los parámetros fisicoquímicos evaluados durante el tiempo de refrigeración del producto.

Tabla 6. Valores de pH y acidez del yogur enriquecido con zumo de granada durante la refrigeración

Día de refrigeración	pH	Acidez	t-estadístico	P ($t \leq 0,05$)
D0	4,33 ± 0,01	9,57 ± 0,10	72,74	0,00009
D21	3,91 ± 0,01	10,43 ± 0,11	-12,99	0,002

El análisis estadístico reveló diferencias significativas ($P < 0,05$) en los valores de pH y acidez del alimento probiótico enriquecido con zumo de granada al inicio y final del período de refrigeración, pautado en 21 días. Al tratarse de características relacionadas con las reacciones bioquímicas de las bacterias ácido lácticas, éstas

mantienen su actividad metabólica durante el proceso de refrigeración; siendo responsables del aumento de acidez titulable (% ácido láctico) en el alimento hacia el día 21 de refrigeración con el 10,43%, valor que se mantuvo dentro de lo aceptado por la norma COVENIN 2393-2001 [16]. Paralelamente al aumento de ácido láctico, se observó una disminución del pH del alimento probiótico hacia el día 21 de refrigeración, con pH de 3,91 el cual de igual forma, se ajustó al rango recomendado para el yogur según lo estipulado por el INTI [15].

En la Tabla 7 se observó los resultados de los análisis microbiológicos practicados los días D0 y D21, expresados en UFC/gr.

Tabla 7. Análisis microbiológico del grupo tratamiento durante la refrigeración

	D0	D21
Mohos y levaduras (UFC/gr)	23	<10
<i>Lactobacillus</i> (UFC/gr)	Ausente	Ausente

La normativa oficial para el yogur (COVENIN 2393-2001) [16], establece que el contenido de mohos y levaduras debe estar comprendido entre 10 y 10² (UFC/g), por lo que el alimento probiótico de zumo de granada cumplió con lo indicado en la misma, tanto al inicio como al final del período de refrigeración. Es conveniente resaltar que después de la refrigeración el alimento presentó <10 UFC/g de mohos y levaduras; lo que indica que en estas condiciones se inhibe el crecimiento de estos microorganismos, haciendo del alimento un producto inocuo y apto para el consumo humano.

Con respecto a los *Lactobacillus*, hubo ausencia de estos tanto al inicio como al final de la refrigeración; lo cual es significativo si se considera que el mínimo requerido de esta bacteria según la norma debe ser mayor a 10⁶ UFC/g [16], por lo que se presume que en el cultivo iniciador su población fue baja en relación a la de otras bacterias ácido lácticas. Es probable que el aumento de la acidez evidenciada en el alimento probiótico se deba a la acción de otras bacterias ácido lácticas como *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* presentes en el cultivo iniciador y en el zumo de la granada, las cuales contribuyeron a la fermentación de la leche y a la textura del producto. En relación a lo anterior, se ha reportado que los extractos de granada estimulan el crecimiento de bacterias probióticas como *Bifidobacterium* spp. y *Lactobacillus* spp. [28]. Como respaldo a los resultados de los análisis microbiológicos, se observó que el alimento probiótico presentó una calidad microbiológica aceptable, dado que cumple con lo pautado por la norma COVENIN 2393-2001 [16].

El estudio realizado por Risco [24] determinó el tiempo de vida útil del yogur mediante el seguimiento de pH durante su refrigeración, pues se considera una característica relevante por su efecto en el perfil organoléptico del producto, con valores de pH recomendados entre 3,7 y 4,6 [16], tal como el pH obtenido para el yogur con zumo de granada. Por su parte, Castro [29] afirma que el yogur mantiene sus especificaciones hasta 35 días después de su refrigeración.

En la Tabla 8 se observan los resultados de los análisis sensoriales practicados al alimento probiótico por parte del panel de catadores:

Tabla 8. Resultados de las pruebas sensoriales del alimento probiótico con zumo de granada al D0 y D21

	D0	D21
Color	Amarillento	Amarillento
Aroma	Asociado al proceso de fermentación	Asociado al proceso de fermentación
Sabor	Ligeramente ácido	Ligeramente ácido
Textura	Heterogénea	Heterogénea
Apariencia	Líquida/Grumosa/Separación de fases	Líquida/Grumosa/Separación de fases

A simple vista, los análisis sensoriales no arrojaron cambios entre los atributos evaluados durante la refrigeración del producto, además de no percibir signos de deterioro o descomposición del alimento durante ésta.

Como se puede observar, en la Tabla 8 se reflejan algunas características que se relacionan con la estética del producto. En el caso del color, el alimento probiótico presentó una tonalidad amarilla; lo cual es característico si se considera que el yogur regularmente presenta un color blanquecino; sin embargo, es importante mencionar que la adición del zumo de granada pudo afectar la coloración del producto, tal como lo obtenido por Alcaraz *et al.* [8] con yogur enriquecido con extractos de granada a diferentes concentraciones. En cuanto a la apariencia, el alimento presentó una separación de fases entre una fase líquida y una fase gruesa, algo inusual considerando que la apariencia del yogur estándar tiende a ser homogénea [30].

En cuanto al sabor del alimento probiótico, este presentó un ligero sabor ácido tanto al D0 como el D21, lo cual es aceptable si se considera que el sabor de un yogur puede ser ligero o medianamente ácido, esto además de la acidez adicional que aporta el zumo de granada producto, lo cual fue demostrado en los valores reportados de acidez titulable. Por su parte, la textura del alimento probiótico se mantuvo constante durante su refrigeración, presentando una consistencia heterogénea y viscosa, propia de los yogures naturales. En cuanto al aroma, este presentó un olor característico al proceso de fermentación, lo cual se puede considerar idóneo, tomando en cuenta que la fermentación es el proceso principal para la obtención del yogur. Debido a las características sensoriales exhibidas por el yogur artesanal producido en esta investigación, el tiempo de vida útil del producto se mantuvo a los 21 días, mayor a lo reportado por INTI [15] de una semana.

Conclusiones

De forma general, el zumo de granada es considerado un zumo acuoso o débil por la alta presencia de agua, con baja cantidad de azúcares y rangos de pH y acidez dentro de lo establecido por las normas, por lo que presenta propiedades adecuadas para su empleo como materia prima para el enriquecimiento del alimento probiótico.

El yogur enriquecido con zumo de granada (*Punica granatum*) presenta características fisicoquímicas ajustadas a las normas, y con diferencias con respecto al control. La presencia de ácido cítrico en el zumo de granada ocasiona la disminución del pH del yogur base; además, los azúcares presentes en el zumo de granada constituyen una fuente de nutrientes para las bacterias ácido lácticas, las cuales contribuyen al aumento de ácido láctico en el alimento probiótico tras la fermentación, lo cual a su vez fue concomitante con la disminución de los azúcares presentes en el alimento.

En el yogurt de zumo de granada la disminución del pH y aumento de acidez, se relaciona con la actividad metabólica de las bacterias ácido lácticas, que fomentan la continua producción de ácido láctico aún durante la refrigeración del producto. Adicionalmente, el alimento elaborado cuenta con la calidad microbiológica exigida por las normas, con recuentos bajos de mohos y levaduras. La ausencia de *Lactobacillus* en el alimento permite suponer que se encontraba en recuentos muy bajos en el cultivo iniciador; sin embargo, otras bacterias lácticas presentes en el fermento y en el zumo de granada, pudieron contribuir a la producción de ácido láctico durante la fermentación de la leche.

Se infiere que el alimento probiótico mantuvo su vida útil a los 21 días, lo cual se corresponde con lo establecido en otros trabajos. Por otro lado, los parámetros sensoriales de olor, sabor y textura durante el período de refrigeración, dieron cuenta de un producto de tonalidad amarillenta y con separación de fases, lo cual puede comprometer la estética del producto.

El yogurt con zumo de granada presentó calidad nutricional apropiada para su consumo, siendo este una fuente asequible de proteínas, de minerales y grasas saludables compatibles con los valores recomendados por las normas.

Referencias

- [1] C. Aguilera *et al.* *Alimentos funcionales. Aproximación a una nueva alimentación*. Madrid, España: Instituto de Nutrición y Trastornos Alimentarios, 2007.
- [2] C. García-Viguera y A. Pérez. “La granada: Alimento rico en polifenoles antioxidantes y bajo en calorías”. *ANS*, Vol. 11, No. 4, pp.113-120, 2004.
- [3] F. Tezcan., M. Gultekin-Ozguven., T. Diken., B. Ozcelik, and F.B. Erim. “Antioxidant activity and total phenolic, organic acid and sugar content in commercial pomegranate juices”. *Food Chemistry*, Vol. 115, No 3, pp.873-877, 2009. [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.103>
- [4] M. Mekni., W. Kharroubi., I. Cheraief and M. Hammami. “Promological, organoleptic and biochemical characterizations of Tunisian pomegranate fruits (*Punica granatum L.*)”. *American Jour of Plant Sciences*, Vol.10, No.7, pp. 1181-1195, 2019.
- [5] M. I. Gil., F. A. Tomás-Barberán., B. Hess-Pierce., D. M. Holcroft., and A. A. Kader. “Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing”. *Jour of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 48, No. 10, pp. 4581–4589, 2000.
- [6] V. Rodríguez y E. Magro. *Bases de la alimentación humana*. La Coruña, España: Editorial Netbiblio, 2008.
- [7] M. Coronel. “Estudios de las características físico-químicas y sensoriales de yogur enriquecido con quinoa (*Chenopodium quinoa*)”, tesis Doctoral, Univ. de Extremadura, Extremadura- España, 2018.
- [8] A. Alcaraz., D. Álvarez y M. B. López. “Estudio de propiedades tecnológicas en yogurt elaborado con extracto de granada”. *Anales de Veterinaria de Murcia*, Tomo. 33, pp.61-62, 2017.
- [9] R. Hernández., C. Fernández y P. Baptista. *Metodología de la investigación*. 6ta Edición. Distrito Federal, México: McGraw Hill, 2014.
- [10] J. Hurtado. *Metodología de investigación holística*. 3era Edición. Caracas, Venezuela: Fundación SYPAL, 2000.
- [11] C. Monje. *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa Guía didáctica*. Colombia: Editorial Huila, 2011.
- [12] C. Sabino. *El proceso de investigación*. 3era Edición. Caracas, Vzla.: Editorial Panopo. Caracas, Venezuela. 1992.
- [13] A. Pérez. “Elaboración de pulpas, zumos, deshidratados, osmodeshidratados y fruta confitada”. [Documento de Curso], Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú, 2015. [En Línea]. Disponible en: <http://www.lamolina.edu.pe/postgrado/pmdas/cursos/dpactl/lecturas/Separata%20Pulpas%20n%C3%A8ctares.%20merm%20desh.%20osmodes%20y%20fruta%20confitada.pdf>
- [14] Association of Official Analytical Chemists, “Agricultural Chemicals; Contaminants; Drugs” en *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*, Edición 15. Ed. Helrich, Kenneth, Vol. 1, Arlington, USA: The Association, 1990.
- [15] A. Zielinski, *et al.*, Elaboración artesanal de yogur: cuadernillo para unidades de producción: apoyo al trabajo popular. San Martín: Inst. Nacional de Tecnología Industrial - INTI, 2013. [En Línea]. Disponible en: <https://plataformaiestphuando.com/wp-content/uploads/2023/02/Elaboracion-artesanal-de-yogurt.pdf>
- [16] Yogurt (3era Revisión), Norma Venezolana COVENIN 2393:2001, Caracas, Venezuela: Fondonorma, 2001.
- [17] Toma, identificación y preparación de muestras para análisis microbiológicos (2da Revisión). Norma Venezolana COVENIN 1126-2022, Caracas, Venezuela: Fondonorma, 2022.

[18] Alimentos. Método de recuento de mohos y levaduras. Norma Venezolana COVENIN 1337-90, Caracas, Venezuela: Fondonorma, 1990.

[19] Alimentos. Recuento de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*. Norma Venezolana COVENIN 3006-93, Caracas, Venezuela: Fondonorma, 1993.

[20] B. Salazar y O. Montoya. "Importancia de los probióticos y prebióticos en la salud humana". *VITAE, Revista de la Facultad de Química y Farmacéutica*. Vol. 10, No. 2, 20-26, 2003.

[21] Norma general para zumos (jugos) y néctares de frutas, CXS 247-2005, Normas Internacionales de Alimentos, Comisión del Codex Alimentarius, FAO, OMS, 2005. [En línea]. Disponible en: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B247-2005%252FCXS_247s.pdf

[22] S. Gbarakoro., A. Ilomechine., and B. Gbarato. "Analysis of the Physico-chemical properties of comercial fruit juices sold in a local market in the Port Harcourt, Nigeria". *International Jour of Chemistry and Chemical Process*, Vol. 6, No. 1, pp.37-46, 2020.

[23] J. Raga Carreño., Z. Mármol Pérez., Z. Pérez Pérez, K. Araujo y G. Páez. "Evaluación fisicoquímica y fitoquímica de granada (*Punica granatum* L.)". *Tecnocientífica URU*, Núm. 8 Enero-Junio, pp. 47-55, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.fondoeditorial.uru.edu/index.php/tecnocientificauru/article/view/ragamarmolperezpaezarajon8a15>

[24] J. Risco. "Elaboración y caracterización de yogurt a partir de leche de cabra (*Capra hircus*) edulcorado con estevia (*Stevia rebaudiana bertonii*), frutado con mango (*Mangifera indica* cv. *Kent*) y enriquecido con semillas de chía (*Salvia hispanica*)", Trabajo de fin de grado. Univ. de Piura. Piura, Perú, 2015.

[25] A. Morejon, y A. Viznay. "Control microbiológico y determinación de pH, acidez y grados Brix de jugos expendidos en los espacios públicos de la ciudad de Cuenca-Ecuador", Trabajo de fin de grado, Univ. de Cuenca. Cuenca, Ecuador, 2018.

[26] J. Serna. "Elaboración de jugo de frutas con adición de bacterias ácido lácticas con potencial probiótico", Tesis de Maestría. Univ. La Sabana. Chía, Colombia, 2012.

[27] N. Sánchez y B. Mendieta. Determinación del valor nutritivo de los alimentos. Managua, Nicaragua, 2020. [En Línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/35166784.pdf>

[28] V. Sorrenti *et al.* "Beneficial effects of promeganate peel extract and probiotics on pre-adipocyte differentiation". *Front. Microbiol.* Vol. 10, Art. 660, pp.1-11, 2019.

[29] K. Castro. *Tecnología de alimentos*. Editorial Ediciones de la U. Bogotá, Colombia, 2011.

[30] J. Martínez. "Características Organolépticas del Yogurt". [Documento en Scribd], 2015. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/287167038/Caracteristicas-Organolepticas-Del-Yogurt>

Detección de aniones inorgánicos en sales comerciales mediante métodos analíticos

Detection of inorganic anions in commercial salts by analytical methods

Luis M. Ballesteros-Pérez

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Maracaibo-Venezuela
 <https://orcid.org/0009-0006-7469-9004> | Correo electrónico: luisballespe@gmail.com

Edwin A. Montilla-Uzategui

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Maracaibo-Venezuela
 <https://orcid.org/0009-0005-1025-253X> | Correo electrónico: edwinmontilla.uru@gmail.com

Arelis J. Arrieta

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, Maracaibo-Venezuela
 <https://orcid.org/0009-0007-9541-6963> | Correo electrónico: ingarelisarrieta@gmail.com

Recibido: 15-09-2023 Admisión: 03-12-2023 Aceptado: 07-02-2024

Resumen

La sal de consumo humano debe tener como aditivo un máximo de 6000ppm (0,6%) de Sulfato, por otra parte, también la sal debe tener como aditivo entre 200 y 220 ppm (0,021% – 0,022%) de Flúor, según la Norma COVENIN 1791-2019, aunque existen reportes previos que reflejan el incumplimiento de esta norma. Por lo cual, el objetivo de este estudio fue monitorear el contenido de Flúor y Sulfato de tres marcas de sales comerciales de la ciudad de Maracaibo, para poder comprobar el cumplimiento de dicha norma. Esta determinación se realizó empleando los métodos analíticos: espectrofotometría UV-VIS, volumetría y gravimetría. Donde se comprobó que las muestras de sal comercial evaluadas por espectrofotometría UV-VIS presentan valores aceptables para Sulfatos; mientras que, el contenido de Flúor es menor al mínimo exigido por la normativa, registrando la mayor concentración para ambos aniones en la sal “Esmeralda”, siendo 16,129 mg/Kg para Flúor y 0,0242% para Sulfatos.

Palabras clave: Sal comestible, Métodos analíticos, Sulfatos, Flúor, Espectrofotometría UV-VIS.

Abstract

Salt must have a maximum of 6000ppm (0,6%) of Sulfate to be suitable for human consumption. On the other hand, salt must also have between 200 and 220 ppm (0,021% - 0,022%) of Fluoride, according to the COVENIN Standard 1791-2019. There are reports, which show the non-compliance with this standard. That is why, the objective of this study was to determine the Fluoride and Sulfate content of three salt brands for sale in Maracaibo, in order to verify the compliance with such said standard. This study was carried out through analytic methods, such as UV-VIS spectrophotometry, volumetry and gravimetry. where it is verified that the commercial salt samples evaluated by UV-VIS spectrophotometry present acceptable values for Sulfates, whereas the Fluorine content is less than the minimum required by the regulations, registering the highest concentration for both anions in the “Esmeralda” salt., being 16,129 mg/Kg for Fluoride and 0,0242% for Sulfates.

Keywords: Edible salt, Analytical methods, Sulfates, Fluorides, UV-visible spectrophotometry.

Introducción

Para Díaz [1] la sal es la única roca mineral comestible por el hombre y es posiblemente el condimento más antiguo empleado por el ser humano, su importancia para la vida es tal que ha marcado el desarrollo de la historia en muchas ocasiones, moviendo las economías, siendo objeto de impuestos, monopolios, guerras, entre otros; pudiendo llegar a ser un tipo de moneda. El valor que tuvo en la antigüedad ha dejado de ser tal en

la actualidad debido a la mejora en su producción, además de la conciencia mundial que ha generado la posible relación que posee con la aparición de la hipertensión. En el siglo XXI, las dietas procuran incluir menos sal en sus composiciones, y los nuevos sistemas de conservación (pasteurizados, refrigerados y congelados, alimentos envasados al vacío, entre otros) permiten evitar por completo el empleo de la salazón sobre los alimentos. La sal es un condimento barato y fácilmente asequible en cualquier tienda o supermercado. El consumidor la encuentra en tres formatos: fina, gorda o en forma de copos (esta última se suele dedicar a la alta cocina). Se comercializa también dos tipos: como sal refinada, la más habitual, en forma de cristales homogéneos y blancos, y como sal sin refinar, cuyos cristales pueden ser más irregulares y menos blancos.

Según lo establece Hernández [2], la sal es uno de los ingredientes fundamentales de la gastronomía, el principal responsable de que los alimentos nos resulten salados. Este mineral se ha convertido en el condimento, conservable o elemento de cocción más usado en el mundo, indispensable y necesario para la vida del ser humano.

La sal comestible debe contener aniones inorgánicos en cantidades trazas, entre los cuales se encuentran el Flúor y el Sulfato, los cuales son esenciales para nuestra salud [3]. Esta investigación se centra en la determinación de Sulfatos y Flúor los cuales producen efectos benéficos como lo son el efecto antioxidante, propiedades neuro y cardioprotectoras, efecto anticonvulsivante y la prevención de las caries.

El flúor es un mineral esencial para el correcto funcionamiento del cuerpo, en particular, para la salud dental y ósea. Se absorbe con facilidad en el tracto digestivo y se elimina fundamentalmente por vía urinaria. Sin embargo, en cantidades excesivas puede resultar contraproducente provocando desgaste óseo y fluorosis [4].

El sulfato es la sal formada al combinar el ácido sulfúrico y otra base. El sulfato se obtiene al reaccionar el ácido sulfúrico con metales, sus carbonatos e hidróxidos. Asimismo, también se obtiene al oxidar un sulfuro. Los alimentos con alto contenido de sulfatos tienen un sabor amargo rechazable inmediatamente por los consumidores. En el organismo humano provocan como efecto secundario deshidratación, la cual es muy común después de una ingestión de más de cinco gramos al día de dichas sales, producto de un cuadro diarreico, el cual es más crítico en niños y adultos mayores. [5].

En Venezuela, se cuenta con la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), la cual fue creada en 1958, y se desempeña como el organismo encargado de programar y coordinar las actividades de normalización y calidad en el país. Debido al delicado balance que debe predominar en la concentración de estos aniones en el cuerpo, COVENIN especifica en sus normas COVENIN 3164-1995 [6] y COVENIN 2189-84 [7] las concentraciones permitidas de Flúor y Sulfato.

En el estado Zulia, en años anteriores Maldonado [8] demostró, utilizando un método de volumetría tradicional, que el contenido de algunos aniones inorgánicos presentes en la sal que expenden diferentes empresas, es menor a los especificados por las normas COVENIN.

Existen reportes donde queda en evidencia la concentración insuficiente de los aniones inorgánicos presentes en las sales de los comercios de la ciudad de Maracaibo, estado Zulia. Por ello esta investigación se centra en realizar un monitoreo de diferentes marcas de sales comerciales disponibles en expendios del estado Zulia, para analizarlas a través de distintos métodos como lo son: el volumétrico, el gravimétrico y el de espectrofotometría ultravioleta-visible, para determinar los aniones Flúor y Sulfato presentes, y así poder comparar los rendimientos de los métodos empleados; además de poder verificar que estas concentraciones están cumpliendo con los lineamientos de la norma COVENIN 179-1:2019 [3].

En el marco de estas consideraciones se desarrolló el presente trabajo con el objetivo de detectar los aniones inorgánicos Flúor y Sulfatos en las sales comerciales empleando métodos analíticos.

Materiales y Métodos

Se realizó un estudio de carácter descriptivo de manera independiente, aplicando un método no experimental, transeccional cuantitativo, donde se tuvo como unidades de análisis las diferentes muestras de

sales comerciales seleccionadas, las cuales fueron identificadas como: Sal 1 (Cruz de oro), Sal 2 (Esmeralda) y Sal 3 (Corona).

Se seleccionaron como muestra tres marcas de sales disponibles en los expendios de alimentos de la ciudad de Maracaibo, estado Zulia. Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Química de Alimentos de la Facultad Experimental de Ciencias de la Universidad del Zulia y en el Laboratorio de Química General de la Universidad Rafael Urdaneta, en la ciudad de Maracaibo.

Esta investigación se realizó en cuatro fases, las cuales se exponen a continuación:

Fase 1: Determinación de la concentración de Flúor a través de un método volumétrico según norma COVENIN 3164-1995 [6].

Para estimar la concentración de Flúor, se realizó un análisis volumétrico utilizando nitrato de torio, para el cual se pesaron 5 g de sal en un balón aforado de 200 mL, se disolvió y se llevó al volumen con agua destilada. Se tomó una alícuota de 10 mL de la solución en un Erlenmeyer de 250 mL y se agregó 1 mL de indicador de alizarina, y se mezcló bien. Se agregaron 2 mL de ácido clorhídrico 0,05 N. Se mezcló y tituló con la solución de nitrato de torio hasta que la solución cambió a un color rosado. Se anotaron los mililitros de nitrato de torio empleados en la muestra.

Posteriormente se realizó una prueba en blanco tomando 10 mL de agua destilada en vez de los 10 mL de muestra, y la misma cantidad de nitrato de torio utilizado en la titulación de la muestra, y 1 mL de indicador de alizarina. Se tituló con una solución de fluoruro de sodio de 10 ppm, hasta que el color de esta solución se igualó con el color de la muestra (titulación por retroceso). A la hora de hacer la comparación de color entre el blanco y la muestra, se debió hacer además una igualación de volúmenes y permitir que las burbujas de aire salgan antes de hacer la comparación del color final. Se chequeó el punto final de la titulación agregando 1 o 2 gotas más de solución de fluoruro de sodio al blanco. El contenido de flúor de la muestra es equivalente a la cantidad de fluoruro de sodio agregado al blanco.

El contenido de fluoruro en la muestra se obtiene de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$A=V \times 40 \tag{Ec. 1}$$

Donde:

A = mg de fluoruro por kg de sal.

V = mL de fluoruro de sodio gastados en el blanco.

Fase 2: Determinación la concentración de Sulfato a través de un método gravimétrico según norma COVENIN 2189-84 [7].

Para estimar la concentración de Sulfatos, se realizó un análisis gravimétrico. Este se basa en que el sulfato precipita en un medio ácido, como sulfato de bario al agregar cloruro de bario. El procedimiento a seguir para la determinación de Sulfatos, es el siguiente:

Para la precipitación de sulfato de bario, se tomó un volumen de muestra de 250 mL o una porción diluída a 250 mL, tal que contenga aproximadamente 50 mg del ión sulfato.

Se ajustó la acidez de la muestra con ácido clorhídrico, a un pH entre 4,5 a 5,0, usando un potenciómetro o el color naranja del indicador rojo de metilo. Luego, adicionalmente se añadieron de 1 a 2 mL de solución de ácido clorhídrico (1+1).

Se calentó la solución a ebullición y mientras se agitó suavemente, se añadió lentamente la solución de cloruro de bario tibia, hasta que la precipitación fue completa. Luego se añadieron alrededor de 2 mL de exceso. Cuando la cantidad de precipitado fue pequeña, se añadió un total de 5 mL de la solución de cloruro de bario. Se dejó digerir el precipitado a 80 – 90 °C por no menos de 2 horas.

Se mezcló una pequeña cantidad de pulpa de papel de filtro sin cenizas con el sulfato de bario (BaSO_4) y se filtró a temperatura ambiente. La pulpa ayudó a la filtración y redujo la tendencia del precipitado a deslizarse.

Se enjuagó el precipitado con pequeñas porciones de agua destilada tibia. Se secó el filtro y el precipitado, y se incineró a $800\text{ }^\circ\text{C}$ por 1 hora. No debe dejarse inflamar el papel de filtro. Se enfrió en un desecador y se pesó.

El contenido de Sulfato en la muestra, se expresó en miligramos por litro, y se calculó según la siguiente expresión:

$$mg\text{SO}_4 / L = \frac{mg\text{SO}_4 \times 1000}{mL\text{ muestra}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Fase 3: Construcción de las curvas de calibración para la determinación de Flúor y Sulfatos.

Para construir la curva de calibración para Flúor, se siguió el método del SFADNS [9]. Para esto se necesitaron de los siguientes equipos y reactivos:

- Primeramente, se prepararon las soluciones que se iban a emplearse para construir las curvas de calibración:

Solución patrón de fluoruro.

Solución de SFADNS.

Reactivo zirconil – ácido.

Solución de referencia.

Se prepararon patrones de fluoruro en la gama de 0 a 1,40 mg F/L, diluyendo cantidades apropiadas de solución patrón de fluoruro a 50 mL con agua destilada. Se llevaron con la pipeta 5,00 mL de solución SFADNS y 5,00 mL de reactivo zirconilo – ácido, a cada patrón y se mezclaron bien. Se ajustó el espectrofotómetro de absorbancia a cero con la solución de referencia y se obtuvieron las lecturas de absorbancia de los patrones. Se trazó una curva relacionando los miligramos de fluoruro con la absorbancia. Se preparó una curva nueva cada vez que se preparó un nuevo reactivo o se deseó una temperatura estándar distinta.

- Para construir la curva de calibración para Sulfatos, se necesitaron de los siguientes reactivos:

Ácido sulfúrico 0,1 N.

Carbonato de sodio, 0,05 N.

Solución patrón de sulfato (0,1 mg SO_4 /mL).

Para preparar la solución patrón de ácido sulfúrico 0,1 N, se diluyeron 3,0 ml de ácido sulfúrico concentrado a un litro, con agua destilada, se valoró la solución titulando con un potenciómetro 40,0 mL de la solución de carbonato de sodio 0,05 N, en alrededor 60 mL de agua destilada hasta pH 5,0 aproximadamente, con la solución de ácido. Se sacaron los electrodos y se enjuagaron, recogiendo esa agua dentro del vaso de precipitados. Se llevó esa mezcla a ebullición suave de 3 a 5 min, cubriéndola con un vidrio de reloj. Se enfrió a temperatura ambiente, se enjuagó el vidrio de reloj, recogiendo esa agua de lavado dentro del vaso de precipitados y se terminó la titulación hasta el pH del punto de inflexión. Se calculó la normalidad de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$N = \frac{Ax B}{53,0xC} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

A = gramos de Na_2CO_3 , pesados en 1 L.

B = mililitros de solución de Na_2CO_3 utilizados en la titulación.

C = mililitros de ácido, utilizados.

Esta normalidad debe utilizarse en los cálculos, o debe ajustarse la concentración de la solución a 0,10 N exactamente. (1 mL de solución 0,10 N = 5 mg de CaCO_3).

Para preparar la solución patrón de ácido sulfúrico 0,02 N, se diluyeron 200 mL de solución patrón de ácido sulfúrico 0,10 N a 1 L con agua destilada. Se valoró por titulación potenciométrica de 15,00 mL de solución de carbonato de sodio 0,05 N de acuerdo al procedimiento descrito anteriormente en la preparación del patrón anterior (1 mL de solución 0,02 N = 1,00 mg CaCO_3).

Para la preparación de la solución patrón de sulfato (0,1 mg SO_4/mL), se puede hacer de dos maneras distintas:

Se diluyen 10,41 mL de solución patrón de ácido sulfúrico 0,02 N a 100 mL con agua destilada.

Se disuelven 147,9 mg de sulfato de sodio anhidro (Na_2SO_4) en agua destilada y se diluye a 1 litro.

A partir de la solución patrón de sulfato, se prepararon patrones en un rango de concentración entre 0 y 40 mg/L de sulfato a incrementos de 5 mg/L. Para concentraciones mayores de 40 mg/L la precisión del método disminuye y las suspensiones de sulfato de bario pierden estabilidad.

Para preparar los patrones, se transfirieron 0,5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 mL de la solución patrón, a matraces aforados de 100 mL y se diluyeron a volumen con agua destilada. Se les siguió el mismo procedimiento que a la muestra. Con el patrón de concentración cero se llevó el espectrofotómetro al 100% de transmitancia. Con los valores de las lecturas de transmitancia para cada patrón la concentración correspondiente, se construyó la curva de calibración.

Debió verificarse la confiabilidad de la curva de calibración corriendo un patrón con cada tres o cuatro muestras desconocidas.

Fase 4. Detección de las concentraciones de Flúor y Sulfato en muestras de sales comerciales empleando un método de espectrofotometría ultravioleta-visible.

Una vez construidas las curvas de calibración se procedió a realizar el estudio de los aniones en cuestión a través de un método de espectrofotometría ultravioleta.

- Para realizar la determinación de la concentración de Flúor, se siguió el método del SFADNS [9]:

Una vez construida la curva de calibración en el equipo, se tuvo que realizar un tratamiento preliminar de la muestra, ya que, si esta contiene cloro residual, se debe eliminar por adición de 1 gota (0,05 mL) de solución de $\text{NaASO}_2/0,1$ mg de cloro residual y mezclando.

Para el desarrollo del color, se usó una muestra de 50,0 mL o una porción diluida a 50 mL con agua destilada. Se ajustó la temperatura a la utilizada para la curva patrón. Se añadieron 5,00 mL de reactivo zircolino – ácido, se mezcló bien y se leyó la absorbancia, ajustando primero el punto de referencia del espectrofotómetro, como antes. Si la absorbancia queda fuera del rango de la curva patrón, se debe repetir la lectura con una muestra diluida.

Se realizó el cálculo de la concentración de Flúor, con la siguiente ecuación:

$$\text{mg } F^- / L = \frac{A}{\text{mL muestra}} \times \frac{B}{C}$$

(Ec. 4)

Donde:

A = $\mu\text{g F}$ - determinado a partir de la curva trazada.

B = volumen final de muestra diluida, mL.

C = volumen de muestra diluida utilizada para desarrollar el color, mL.

- El procedimiento para la determinación de Sulfatos es el siguiente (método COVENIN 2189-84) [9]:

Para la formación de turbiedad de sulfato de bario, se debieron medir 100 mL de muestra o una porción apropiada diluida a 100 mL como se indica:

Tabla 1. Contenido de sulfato en volumen de muestra

Contenido de sulfato estimado (mg/L)	Volumen de muestra (mL)
0 – 40	100
41 – 80	50
81 – 160	25
161 – 400	10
401 – 800	5

Se transfirió la muestra a un matraz Erlenmeyer de 250 mL. A la vez se tomaron 100 mL de agua destilada y se siguió el mismo procedimiento que a la muestra.

Se añadieron exactamente 5,00 mL del reactivo acondicionador, y se mezcló en el aparato de agitación. Mientras se agitaba, se añadió a la solución una cucharada de cristales de cloruro de bario e inmediatamente se comenzó a cortar el tiempo. Se agitó por espacio de 1 min exactamente a velocidad constante.

Para la medición de la turbiedad del sulfato de bario, inmediatamente después que el periodo de agitación finalizó, se vertió algo de la solución en la celda de absorción del espectrofotómetro y se midió la turbiedad a intervalos de 30 segundos durante 4 minutos. Debido a que la turbiedad máxima generalmente ocurre dentro de los primeros minutos y las lecturas permanecen constantes, después de 3 minutos y hasta 10 minutos, se consideró la turbiedad como la máxima lectura obtenida en el intervalo de 4 minutos.

El valor de la concentración de sulfato, se obtuvo a partir de la curva de calibración con el valor de turbiedad correspondiente y en caso de interferencia por color o turbiedad se procede según las correcciones.

Para las correcciones en el caso de muestras que presenten color y turbiedad, debe correrse junto con la muestra, un blanco de la misma, siguiéndose a ambos el mismo procedimiento, pero sin añadirle el cloruro de bario al blanco. Al momento de realizar las lecturas se puede hacer lo siguiente:

- Se calibra el 100% de transmitancia con el blanco de la muestra y se lee el porcentaje de transmitancia de la muestra con referencia al blanco; o
- Se calibra el 100% de transmitancia con el blanco de los reactivos (agua destilada + reactivos) y se lee el porcentaje de transmitancia del blanco de la muestra y la muestra. Luego, a partir de la curva de la calibración y con los datos de porcentaje de transmitancia, se determinan las concentraciones correspondientes y se restan.

Los resultados del contenido de sulfato en la muestra, se expresaron en miligramos por litro y se calcularon según la siguiente expresión:

$$mgSO_4/L = \frac{mgSO_4 \times 1000}{mL \text{ muestra}} \quad (\text{Ec. 5})$$

Resultados

Determinación la concentración de Flúor a través de un método volumétrico según norma COVENIN 3164-1995 [6].

Se realizó la determinación de Flúor en las muestras de sales por el método de volumetría, siguiendo la metodología establecida previamente.

Se presentan los mililitros de Nitrato de Torio gastados como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Volumen de Nitrato de Torio gastado

Tipo de análisis	Número de muestra	Sal 1 (Cruz de Oro)	Sal 2 (Esmeralda)	Sal 3 (Corona)
Nitrato de Torio consumido (mL)	1	14,50	14,50	15,50
	2	16,30	10,30	15,40

Con respecto al volumen de Fluoruro gastado se obtuvieron los resultados que se aprecian en la Tabla 3:

Tabla 3. Volumen de Fluoruro de Sodio gastado

Tipo de análisis	Número de muestra	Sal 1 (Cruz de Oro)	Sal 2 (Esmeralda)	Sal 3 (Corona)
Fluoruro de Sodio consumido (mL)	1	0,70	1,00	0,80
	2	0,80	0,90	0,70

Al conocer el volumen de Fluoruro de Sodio gastado, es posible calcular la concentración de Flúor en la muestra. La concentración se obtiene empleando la ecuación 1 (Ec. 1). Los resultados obtenidos se especifican en la Tabla 4:

Tabla 4. Concentración de Flúor de sales analizadas (Método Volumétrico)

Tipo de análisis	Número de muestra	Sal 1 (Cruz de Oro)	Sal 2 (Esmeralda)	Sal 3 (Corona)	Valor de referencia
Flúor (mg/Kg)	1	28	40	32	200 (mín.) 220 (máx.)
	2	32	36	28	
	Promedio	30 ($\pm 2,000$)	38 ($\pm 4,000$)	30 ($\pm 2,000$)	

En la Tabla 4 se aprecian las concentraciones de Flúor presentes en las tres sales analizadas. Se puede observar que la sal 2 (Esmeralda) contiene la mayor concentración de Flúor entre las tres sales analizadas con un valor de 40 mg/Kg. Teniendo en cuenta el rango que exige la norma COVENIN 1791-201, el cual es de 200mg/Kg a 220 mg/Kg también se evidencia que la concentración de Flúor en todas las sales se encuentra por debajo de las establecidas en la norma.

De forma similar a lo obtenido en el presente estudio, Maupomé *et al.*, [10] analizaron el contenido de Flúor en bolsas de sal distribuidas en la ciudad de México obteniendo un resultado del 85% por debajo de la cantidad de flúor fijada de 250 ppm por el programa Nacional de Prevención de la Caries Dental mediante el consumo de sal de mesa. En esta investigación se determinó que el 100% de las muestras se encontraron por debajo del rango establecido.

El bajo contenido en flúor de la sal puede deberse a diversos factores, entre los que sobresalen los siguientes: supervisión industrial inadecuada del proceso de fluoruración de la sal, o mezcla de sal fluorurorada con sal no fluorurorada durante los procesos industriales de las compañías que manufacturan o envasan sal.

Determinación la concentración de Sulfato a través de un método gravimétrico según la norma COVENIN 2189-84 [7].

Para realizar la determinación de Sulfato en las muestras de sales por el método de gravimetría, se siguió la metodología establecida anteriormente. El peso del Sulfato fue obtenido por diferencia de masa. Estas diferencias se aprecian en la Tabla 5:

Tabla 5. Peso de los sulfatos en el papel de filtro

Tipo de Análisis	Peso de papel sin filtrar (g)	Peso de papel después de filtrar (g)	Peso de Sulfatos (g)
Sal 1 (Cruz de Oro)	1,001	1,065	0,064
	0,966	1,036	0,070
Sal 2 (Esmeralda)	0,941	1,016	0,075
	0,990	1,060	0,070
Sal 3 (Corona)	1,022	1,090	0,068
	0,949	1,023	0,074

Con la diferencia de masas, se pueden calcular los miligramos de Sulfato presentes en la muestra que se diluyó. Esto se realiza haciendo uso de la ecuación 2 (Ec. 2). Las muestras de cada sal fueron analizadas por duplicado, por lo cual, el valor obtenido para cada sal es un promedio estadístico de esas dos mediciones. Los resultados se especifican en la Tabla 6:

Tabla 6. Concentración de Sulfatos de sales analizadas (método gravimétrico)

Tipo de análisis	Número de muestra	Sal 1 (Cruz de Oro)	Sal 2 (Esmeralda)	Sal 3 (Corona)	Valor de referencia
Sulfatos (mg/Kg)	1	121,93	142,88	129,55	0,6% (máx.)
	2	133,35	133,35	140,97	
	Promedio	127,64 ($\pm 5,7100$)	138,115 ($\pm 4,7649$)	135,26 ($\pm 5,7100$)	
	Promedio (%)	0,01276	0,01381	0,01352	

Cabe destacar que, la concentración de Sulfatos en todas las muestras de sales, se encuentra por dentro de los valores que exige la norma COVENIN 1791 – 2019 [3], la cual especifica un máximo de 0,6% de Sulfatos en la sal comestible.

Es importante acotar que las concentraciones de Sulfatos en los alimentos de consumo humano, deben ser bajas debido a los problemas relacionados con la salud, ya que según la OMS [11] la presencia de sulfato en alimentos consumo humano puede generar un sabor perceptible en niveles muy altos podría provocar un efecto laxante en consumidores no habituados.

Cálculo de las concentraciones de Flúor y Sulfato en muestras de sales comerciales empleando un método de espectrofotometría ultravioleta-visible

Para realizar el cálculo de las concentraciones de Flúor y Sulfato en las muestras de sales comerciales mediante espectrofotometría ultravioleta-visible, en primer lugar, se debieron construir las curvas de calibración

de cada anión. Siguiendo las metodologías establecidas, empleando las soluciones patrones correspondientes, se obtuvieron las curvas respectivas como se muestran en la Figura 1 y la Figura 2.

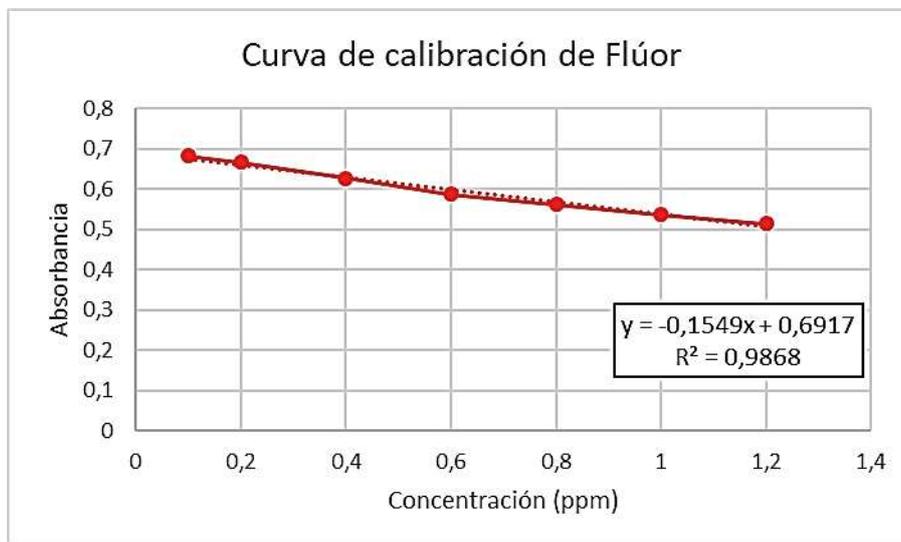


Figura 1. Curva de calibración de Flúor.

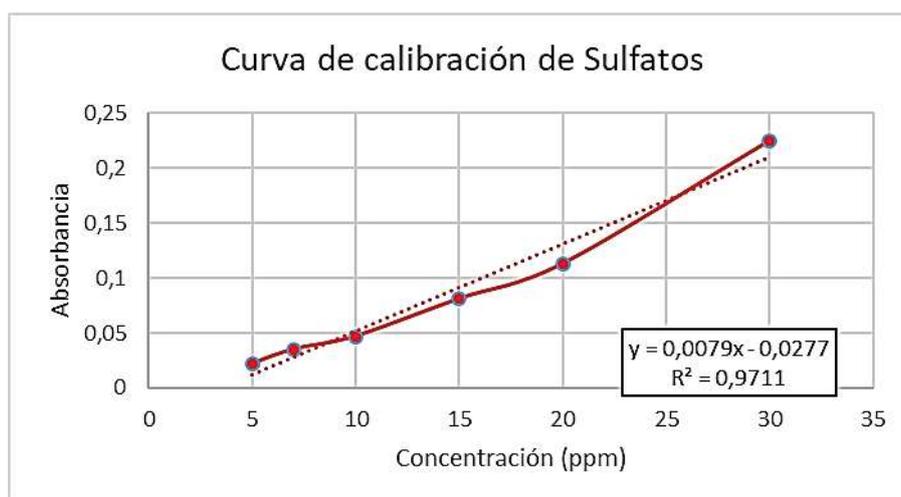


Figura 2. Curva de calibración de Sulfatos.

La curva de calibración del Flúor fue obtenida con una amplitud de onda de 570 nm, al ser un método colorimétrico, se observa como la absorbancia posee una tendencia decreciente a medida de que la concentración va en aumento, esto debido a la pérdida de color al aumentar la concentración en la muestra que se está analizando. Para la construcción de la curva de calibración de los sulfatos, se utilizó una amplitud de onda de 420 nm, este método es turbidimétrico, por lo cual, la tendencia creciente en la absorbancia a medida que la muestra aumenta su concentración, se debe a la precipitación de los Sulfatos en esta.

Una vez construidas las curvas para ambos casos, se procede a calcular las concentraciones de Flúor y Sulfatos presentes en las tres muestras de sales a estudiar. Cada muestra se analizó por duplicado, por lo cual, el valor obtenido para cada sal es un promedio estadístico de esas dos mediciones. Los resultados son comparados con un valor de referencia establecido por la norma COVENIN 1791-2019 [3].

Tabla 7. Concentración de Flúor en las sales analizadas

Tipo de análisis	Número de muestra	Sal 1 (Cruz de oro)	Sal 2 (Esmeralda)	Sal 3 (Corona)	Valor de referencia
Flúor (mg/Kg)	1	12,582	16,131	12,049	200 (mín) 220 (máx)
	2	12,582	16,128	12,041	
	Promedio	12,582 ($\pm 0,000$)	16,129 ($\pm 0,002$)	12,045 ($\pm 0,005$)	

Tabla 8. Concentración de Sulfatos en las sales analizadas

Tipo de análisis	Número de muestra	Sal 1 (Cruz de oro)	Sal 2 (Esmeralda)	Sal 3 (Corona)	Valor de referencia
Sulfatos (mg/Kg)	1	28,221	242,311	55,487	0,6% (máx)
	2	28,624	242,303	55,659	
	Promedio	28,423 ($\pm 0,284$)	242,307 ($\pm 0,005$)	55,573 ($\pm 0,121$)	
	Promedio (%)	0,0028%	0,0242%	0,0056%	

Se aprecian en la Tabla 7 y la Tabla 8, los resultados obtenidos para las tres muestras analizadas. En el caso del Flúor (Tabla 7), se obtuvo una mayor concentración en la Sal 2 con 16,129 mg/Kg, ante los valores de la Sal 1 y Sal 3, los cuales fueron de 12,582 mg/Kg y 12,045 mg/Kg respectivamente. Las desviaciones en los resultados obtenidos fueron bajas, de no más de $\pm 0,005$. Además, se determinó que las tres muestras presentaron concentraciones de flúor más bajas a las establecidas por la norma COVENIN 1791-2019 [3]. Similar a lo reportado por Maldonado [8], donde el 37,5% de las sales analizadas, resultaron tener concentraciones de Yodo por fuera de los parámetros establecidos por COVENIN, en este estudio se determinó que, en el caso del Flúor, el 100% de las muestras se encuentra por debajo del rango establecido.

En el caso de los sulfatos (Tabla 8), se obtuvo una mayor concentración en la Sal 2 (Esmeralda) con 0,0242%, a diferencia de la Sal 1 (Cruz de oro) y la Sal 3 (Corona), las cuales obtuvieron un 0,0028% y un 0,0056%, respectivamente. La concentración de los sulfatos en las tres muestras, se encuentra dentro de los parámetros establecidos en la norma COVENIN 1791-2019 [3]. Tanto en el caso del Flúor, como en el del Sulfato, la Sal 2 fue la muestra que contenía concentraciones más altas de ambos aniones.

Los resultados obtenidos en investigaciones previas, realizadas en sales comerciales, reflejan que una cantidad considerable de las sales que se venden en la región, no cumplen con los parámetros establecidos por COVENIN para algunos de aniones que estas contienen. En las muestras analizadas en esta investigación, mediante espectrofotometría ultravioleta – visible, el Flúor reflejó una falta a la norma, mientras que los Sulfatos no lo hicieron.

Adicionalmente, los resultados obtenidos en esta investigación presentan una variación significativa en las concentraciones de Sulfatos y Flúor obtenidos mediante los métodos gravimétrico y volumétrico, en comparación a los obtenidos mediante espectrofotometría UV-visible. Esto puede deberse a la baja concentración de los analitos presentes en las muestras de sal, por lo cual, es recomendable replicar estos análisis con un método micro volumétrico y micro gravimétrico.

Conclusiones

Se logró determinar la concentración de Fluoruros en las tres distintas sales comerciales, empleando el método de volumetría establecido. Obteniendo la mayor concentración de este anión en la Sal 2 (Esmeralda).

Los resultados obtenidos mediante este método, demostró que las tres sales analizadas poseían cantidades de Flúor que incumplían con las concentraciones especificadas por COVENIN.

La determinación de la concentración de Sulfatos en las marcas de sales seleccionadas, se realizó mediante un método gravimétrico establecido, con el cual se obtuvieron concentraciones similares de Sulfatos en las tres sales analizadas, siendo nuevamente la Sal 2 (Esmeralda) la que obtuvo un valor ligeramente superior.

Sin embargo, las tres sales poseían cantidades de Sulfatos que se alineaban con los parámetros establecidos por COVENIN, para las sales de consumo humano.

Los resultados obtenidos mediante espectrofotometría UV-visible poseen una diferencia notable con respecto a los obtenidos mediante gravimetría y volumetría. Se recomienda a futuras investigaciones realizar estos análisis empleando un método micro gravimétrico y micro volumétrico, de manera que los resultados se logren con una mayor exactitud.

La detección de los aniones Fluoruro y Sulfato en las sales comerciales se llevó a cabo de manera satisfactoria, al emplear la metodología de espectrofotometría UV-visible, se logró determinar las concentraciones de las tres distintas sales, siendo la Sal 2 la que obtuvo las concentraciones más altas en ambos aniones.

Referencias

- [1] Y. Díaz, “Diseño preliminar de un secador para salineras”. Researchgate, 2011. [En Línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/308169487_Diseño_preliminar_de_un_secador_para_las_salineras
- [2] H. Hernández, “Sal común: propiedades, beneficios y contraindicaciones”, Bon Viveur, 2022. [En Línea]. Disponible en: <https://www.bonviveur.es/gastroteca/la-sal-en-la-alimentacion-historia-tipos-y-salud>
- [3] Sal comestible: requisitos generales, COVENIN 1791-19. Caracas, Venezuela: Fondonorma, 2019.
- [4] I. Hidalgo-Gato Fuentes, J. Duque de Estrada Riverón, F. Mayor Hernández, J. D. Zamora Díaz. “Fluorosis dental: no solo un problema estético”, *Revista Cubana de Estomatología*, vol. 44, no. 4, 2007. [En Línea]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75072007000400014&lng=es&tng=es
- [5] J. Bolaños, G. Cordero, y G. Segura, “Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)”, *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 30, no. 4, pp.15-27, 2017.
- [6] Sal: determinación de fluoruro, COVENIN 3164-1995. Caracas, Venezuela: Fondonorma, 1995.
- [7] Agua potable: determinación de sulfato, COVENIN 2189-1984, Caracas, Venezuela: Fondonorma, 1984.
- [8] L. Maldonado, “Determinación del contenido de yodo en sal de consumo humano en muestras recolectadas de expendios de alimentos”, trabajo de fin de grado. Univ. Rafael Urdaneta, 2011.
- [9] A. E. Greenberg, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18 ed. Editorial Board, 1992.
- [10] G. Maupomé Carvantes, “Flúor contenido en la sal para consumo humano distribuida en la ciudad de México”. *Bol Oficina Sanit Panam*, vol. 119, no. 3, pp.195-201, 1995.
- [11] Organización Mundial de la Salud (OMS), *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. 4 ed. Ginebra: World Health Organization, 2011.

Normas para la presentación de trabajos científicos

La **Revista Tecnocientífica URU** es una publicación arbitrada y de divulgación adscrita a la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela. Es una revista de difusión científica, contentiva de artículos de investigación originales e inéditos en las áreas de Ingeniería Química, Civil, Eléctrica, Computación, Telecomunicaciones, Industrial, Producción Animal, Arquitectura y otras disciplinas directamente relacionadas con estas, de autoría individual o colectiva, que cumplan con las normas de publicación que se presenta a continuación:

ENVÍO DE TRABAJOS

Para enviar su trabajo a la Revista, los autores deben adjuntar una carta de cesión de derechos de autor debidamente firmada por todos los coautores. Este documento, disponible en nuestra página web: <https://revistas.fondoeditorial.uru.edu/index.php/tecnocientificauru/libraryFiles/downloadPublic/4>, certifica la originalidad del trabajo y otorga a la Revista los derechos exclusivos para su publicación. La carta debe presentarse en formato digital y enviarse junto con el manuscrito a la siguiente dirección de correo electrónico: tecnocientifica@uru.edu. O bien, puede entregarse en persona en la Dirección del Fondo Editorial (Edificio de Biblioteca, oficina B2-02). En caso de que el trabajo sea resultado de un Trabajo Especial de Grado y cuente con la recomendación de la Escuela correspondiente, esta última se encargará de gestionar el envío. Se recuerda a los autores la importancia de cumplir con todos los requisitos establecidos en las normas de publicación de la Revista.

IDIOMAS

1. Se reciben trabajos en el idioma español o inglés. En caso de trabajos escritos en idioma inglés se recomienda la revisión por un experto en esa lengua.

ESTRUCTURA DE LOS TRABAJOS

2. La estructura de los artículos de investigación y las notas técnicas es la siguiente: Portada, resumen (en español e inglés), introducción, fundamentos teóricos (en caso que aplique), parte experimental, resultados, discusión de resultados, conclusiones, agradecimiento (en caso que aplique) y referencias.

3. La estructura de los trabajos indicados en los puntos 9 al 13 se recomienda que contenga como mínimo: Portada, resumen (en español e inglés), introducción, el cuerpo del trabajo, conclusiones, agradecimientos (en caso que aplique) y referencias bibliográficas, aunque también pueden tener la estructura IMRyD.

TÍTULOS, INTERLINEADO Y TIPO DE LETRA

4. Los trabajos científicos debe escribirse con el tipo de letra Times New Roman, tamaño 12 pts, y texto con alineación justificada. El título del trabajo debe ser de tamaño 16 pts con negritas y centrado y los títulos de las Figuras, Tablas y textos subordinados en tamaño 10 pts.

5. El nombre de cada sección se escribirá en negritas. Estos deberán estar centrados.

6. El nombre de las subsecciones se escribirá en negritas a la izquierda del texto y en mayúsculas y minúsculas.

7. El interlineado se debe realizar a doble espacio a excepción del resumen, agradecimiento y referencias bibliográficas que van a un espacio.

TIPO DE TRABAJOS

Se aceptarán para la publicación trabajos científicos y técnicos originales e inéditos. No se aceptan PrePrint o material enviado a otro órgano de divulgación científica. Los trabajos se recibirán con una extensión

de un máximo de veinte (20) páginas y en documento editable, escrito en MICROSOFT OFFICE WORD. Se consideran trabajos científicos los siguientes:

8. Artículos de investigación: son trabajos que plantean un resultado derivado de la aplicación y experimentación de un proceso investigativo en las áreas de conocimiento de la revista.

9. Artículos de actualización: son trabajos que resumen el “Estado del Arte” de las áreas de conocimiento de la revista.

10. Artículos de reflexión: son trabajos que tratan un tema específico de las áreas de conocimiento de la revista, desde una perspectiva analítica, interpretativa y crítica del autor, recurriendo principalmente a las fuentes originales.

11. Artículos de revisión: es un estudio pormenorizado, selectivo y crítico donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas, sobre una temática especializada de las áreas de conocimiento de la revista.

12. Artículos de discusión: son trabajos que presentan un debate de afirmaciones realizadas en artículos publicados en la revista.

13. Artículos de invitados especiales: son trabajos científicos sobre una temática de interés de la revista, donde un autor especializado ofrece su punto de vista, por tanto, requiere de una invitación para publicar.

14. Notas técnicas: son trabajos que reflejan las mejoras de un proceso en ingeniería, resultados de investigaciones derivadas del ejercicio profesional en la ingeniería y ciencias afines, con un máximo de ocho (8) páginas.

LA PORTADA DEL TRABAJO

Los trabajos deben presentar en la portada los siguientes datos:

15. Título del trabajo en español e inglés en letras mayúsculas y minúsculas, excepto cuando contiene siglas o acrónimos, en cuyo caso se escriben en mayúsculas.

16. Nombre(s) del autor(s), hasta un máximo de seis (6) autores. Cada autor debe declarar su respectiva adscripción institucional, ciudad, país, correo electrónico y código ORCID. Los nombres de los autores en los artículos deberán aparecer de la siguiente manera: Primer nombre, inicial del segundo nombre, Primer apellido-Segundo apellido (Eje.: Juan P. Pérez-Gómez)

17. Resumen del trabajo en español e inglés (abstract) con un máximo de doscientas (200) palabras, sin sangría, escrito en un solo párrafo que contenga de forma breve los siguientes aspectos: objetivo general, metodología empleada, resultados más relevantes y una conclusión global.

18. Palabras clave en español e inglés (Key words) con un máximo de cinco (05) palabras.

CITAS, REFERENCIAS, TABLAS, ECUACIONES Y FIGURAS

19. Se reciben trabajos en el idioma español o inglés. En caso de trabajos escritos en idioma inglés se recomienda la revisión por un experto en esa lengua.

20. La estructura de los artículos de investigación y las notas técnicas es la siguiente: Portada, resumen (en español e inglés), introducción, fundamentos teóricos (en caso que aplique), parte experimental, resultados, discusión de resultados, conclusiones, agradecimiento (en caso que aplique) y referencias. La estructura de los trabajos indicados en los puntos 9 al 13 se recomienda que contenga como mínimo: Portada, resumen (en español e inglés), introducción, el cuerpo del trabajo, conclusiones, agradecimientos (en caso que aplique) y referencias bibliográficas, aunque también pueden emplearse la estructura IMRyD.

21. El nombre de cada sección se escribirá en negritas. Estos deberán estar centrados.

22. El nombre de las subsecciones se escribirá en negritas a la izquierda del texto y en mayúsculas y minúsculas.

23. El interlineado se debe realizar a doble espacio a excepción del resumen, agradecimiento y referencias bibliográficas que van a un espacio.

24. Las fotografías, mapas, diagramas, flujogramas y gráficos e imágenes deben denominarse como Figura y numeradas con números arábigos, incluir un título y leyenda (si aplica). Y, además, deben mencionarse dentro del texto correspondiente. En caso, que la Figura no pertenezca al autor o autores, se debe incluir la fuente de la misma entre corchetes al final del título de la Figura. Ejemplo:

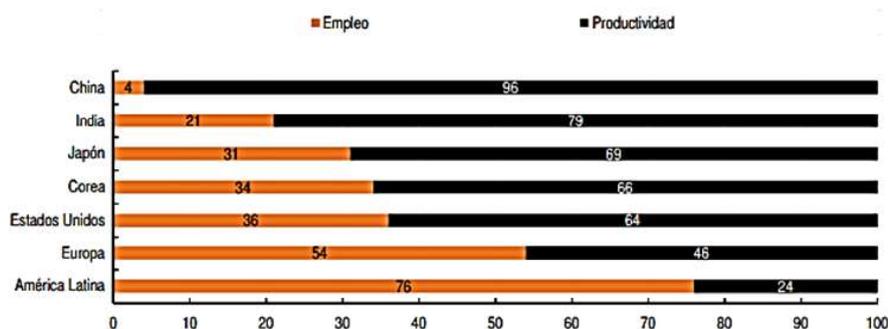


Figura 1. Contribución del empleo y la productividad al crecimiento del PIB en países y regiones seleccionados, 2000-19 [12].

25. Los cuadros y tablas deben denominarse como Tabla, numeradas con números arábigos, incluir un título y leyenda (si aplica). Y, además, deben mencionarse dentro del texto correspondiente. En caso que la Tabla no pertenezca al autor o autores, se debe incluir la fuente de la misma entre corchetes al final del título de la Tabla. Ejemplo:

Tabla 1. Datos de entrada para la simulación del proceso

Equipo	Parámetros		
Reactor de RWGS	$T_{ent} = 1223 \text{ K}$, adiabático	$H_2/CO_2 = 3$	$P = 2500 \text{ KPa}$
Reactor de FT	$T_{ent} = 488 \text{ K}$	Relación de Ribblett = 0.5	$P = 2460 \text{ KPa}$
ATR	$T_{ent} = 1073 \text{ K}$, adiabático	-	$P = 2330 \text{ KPa}$

26. Las fotografías, mapas, diagramas, flujogramas y gráficos e imágenes incluidas en el trabajo científico se anexarán al envío por separado con excelente calidad con resolución de 240-300 ppp y en formato JPG.

27. Las fotografías, mapas, diagramas, flujogramas y gráficos e imágenes de todo tipo y forma deben estar a color o en su defecto a blanco y negro, bien contrastadas y brillantes, de un ancho máximo de 12,5 cm.

28. Todos los símbolos matemáticos deben estar escritos en forma clara y legible, con los subíndices y superíndices ubicados correctamente en la matriz o ecuación.

29. Deben enumerarse todas las ecuaciones matemáticas en forma consecutiva con números arábigos entre paréntesis y ubicados en el margen derecho. Ejemplo:



30. Las citas dentro del trabajo se escriben con el apellido de sus autores, seguido de un número entre corchetes que corresponde a una referencia bibliográfica. En caso de que aplique, se debe agregar el número de página de la cita. Para el caso de tres o más autores, se agrega el apellido del primer autor y, luego, se escribe la expresión et al. Ejemplo:

Para citas no textuales: García [1] o simplemente [1].

Para citas textuales: Moreno [3, p.19].

Para tres o más autores en la cita se emplea: Nishimoto *et al.* [2] o simplemente [2]

Las citas textuales breves, es decir, aquellas que tienen menos de cuarenta palabras, se integran directamente en el texto y se encierran entre comillas dobles (“...”). Ejemplo:

Según Smith [1, p.4], “la globalización ha tenido un impacto significativo en las economías locales”.

Las citas textuales largas, es decir, aquellas que tienen más de cuarenta palabras, se integran en un nuevo renglón y se emplea un margen a la izquierda de 1.25 cm (0.5 pulgadas). Ejemplo:

Según Smith [1],

La globalización ha transformado fundamentalmente las dinámicas económicas a nivel mundial. Este proceso ha llevado a una mayor interconexión de los mercados, facilitando el flujo de bienes, capitales e información a través de las fronteras. Sin embargo, también ha generado desafíos y desigualdades, afectando de manera diferente a los distintos países y regiones. Es crucial comprender estas complejidades para abordar los impactos de la globalización de manera efectiva. [1, p.32].

Las citas no textuales se indican simplemente con el número de la referencia entre corchetes. Ejemplo:

La globalización ha tenido un impacto significativo en las economías locales [1].

Como se ha demostrado en estudios anteriores [3], la globalización...

Varios estudios han abordado el tema de la globalización y su impacto en las economías locales [1], [4], [5].

31. Las referencias deben registrar un número entre corchetes, seguido por el(los) autor(es) personal(es) o corporativo(s). Si tiene varios autores, se registran todos y cada uno separándolos con una coma. Los autores se escriben con apellido e inicial del nombre, utilizando mayúsculas y minúsculas. Se deben registrar en la sección de referencias según su orden de aparición en el desarrollo del trabajo. Ejemplo:

[1]. J. Izquierdo,...

[2]. Ma. A. DelaPlaza y Ma. D. Troitíño,...

[3] Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

[4] Organización Mundial de la Salud (OMS)...

32. Las referencias de libros deben incluir un número entre corchetes, correspondiente al orden de aparición de la cita en el texto del artículo. Se deben registrar los siguientes datos: Iniciales del nombre del autor(es) Apellidos del autor(es), Título del libro en cursiva, Número de edición (si aplica), Ciudad, Estado, País: Nombre abreviado de la editorial, Año de publicación. En caso de que el material esté disponible electrónicamente, agregar: [En línea] y Disponible en: URL o DOI.:

[1] J. Urdaneta Morán, *Anatomía de una hacienda: Manual de evaluación agropecuaria*. Maracaibo, Vzla.: Fondo Editorial Univ. Rafael Urdaneta, 2013.

[2] S. Da Fonseca, *Análisis matricial de estructuras reticulares*. Maracaibo, Vzla.: Fondo Editorial Univ. Rafael Urdaneta, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://libros.fondoeditorial.uru.edu/index.php/lb/catalog/view/DaFonseca2016/86/222>

33. Las referencias de capítulos de libros deben incluir un número entre corchetes, que corresponde al orden de aparición de la cita en el texto del artículo. Se deben registrar los siguientes datos: Inicial del nombre del autor(es) Apellido del autor(es), “Título del capítulo” entre comillas, en Título del libro en cursiva, Iniciales del nombre del editor(es) Apellidos del editor(es), Abreviatura Ed.(s) (si aplica), Número de edición (si aplica), Ciudad, País: Nombre abreviado de la editorial, Año de publicación, Número de capítulo, Sección (si aplica), Páginas. En caso de que el material esté disponible electrónicamente, agregar: [En línea] y Disponible en: URL o DOI:

[3] J.R. Pérez, “Análisis de regresión y sus estimaciones mínimo cuadráticas” en *Estadística Aplicada al Mejoramiento Genético Animal*. Maracaibo, Vzla.: Fondo Editorial Univ. Rafael Urdaneta, 2024, cap. 2, pp. 21-24. [En línea]. Disponible en: <https://libros.fondoeditorial.uru.edu/index.php/lb/catalog/view/perez2024/72/200>

34. Las referencias de artículos de revistas o separatas deben incluir un número entre corchetes, que corresponde al orden de aparición de la cita en el texto del artículo. Se deben registrar los siguientes datos: Inicial del nombre del autor(es) Apellido del autor(es), “Título del artículo” entre comillas, Título abreviado de la publicación en cursiva, vol. x, no. x, pp. xxx-xxx, año. [En línea]. En caso de que el material esté disponible electrónicamente, agregar: [En línea] y Disponible en: URL o DOI:

[1] J. Marín, C. García J., Alaña K., Martínez y J. Faría, “Algunas series e integrales con funciones trigonométricas”. *Tecnocientífica URU*, no. 1, pp. 11–19, 2011.

[2] J.D. Dávila Palmar “Uso de fotocatalizadores con radiación solar para contrarrestar el cambio climático”, *Tecnocientífica URU*, no. 25, pp. 23–26, Jul. 2023, [En Línea]. Disponible en: <https://revistas.fondoeditorial.uru.edu/index.php/tecnocientificauru/article/view/num25-2023-dp-23-26>

35. Las referencias de normas deben incluir un número entre corchetes, que corresponde al orden de aparición de la cita en el texto del artículo. Se deben registrar los siguientes datos: Título de la norma, número de la norma, Responsables u autores corporativos, Lugar de publicación, Editorial (Si aplica), año de publicación. [En línea]. Disponible en: URL.

[1] Yogurt (3era Revisión), Norma Venezolana COVENIN 2393:2001, Caracas, Venezuela: Fondonorma, 2001.

[2] Sistemas de gestión de calidad - Requisitos, Norma AS/NZS ISO 9001:2016, Standards Australia, 2016. [En línea]. Disponible: <https://www.standards.govt.nz/search-and-buy-standards/standards-information/quality-management-systems/>

[3] Norma general para zumos (jugos) y néctares de frutas, Normas Internacionales de Alimentos CXS 247-2005, Comisión del Codex Alimentarius, FAO, OMS, 2005. [En línea]. Disponible en: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B247-2005%252FCXS_247s.pdf

36. Las referencias de patentes deben incluir un número entre corchetes, que corresponde al orden de aparición de la cita en el texto del artículo. Se deben registrar los siguientes datos: Inicial del nombre(s) y Apellido(s) del(los) inventor(es), “Título de la patente” entre comillas, País de origen y Número de la patente xxxx, Año de publicación. En caso de que el material esté disponible electrónicamente, agregar: [En línea]. Disponible en: URL o DOI. Ejemplo:

[1] G. Weibull, “Continuous Process for preparing Monoalkanolamines from Ammonia and Alkylene Oxides”, Ornskoldsvik, Suecia: Patente SE:3,697,598, 1968.

[2] G. D. Araujo, J. Cañas Fernández, F.M. Lloret Vieira y M.P. Villar Castro, “Transistor de efecto campo de Unión de Diamante Interdigitado (INTERJFET) y procedimiento de fabricación”, Cadiz, España: Patente ES2992672, 2024. [En línea]. Disponible en : https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=ES444378308&_cid=P11-M6PAUH-37184-1

37. Las referencias de tesis deben incluir un número entre corchetes, que corresponde al orden de aparición de la cita en el texto del artículo. Se deben registrar los siguientes datos: Iniciales del nombre y Apellido del autor, “Título de la tesis o proyecto” entre comillas, Clase de documento (Tesis doctoral, Trabajo Fin de Máster, etc.), Departamento, Institución académica (abreviada), Ciudad, Estado (abreviado si es necesario), País. En caso de que el material esté disponible electrónicamente, agregar: [En línea] y Disponible en: URL o DOI. Ejemplo:

[1] A.C. Villasmil Medina, “Obtención de aceite de neem (*Azadirachta indica*) por el método de prensado en frío para la elaboración una crema y un jabón syndet”, Trabajo Especial de Grado. Fac. de Ing. de la Univ. Rafael Urdaneta, Maracaibo, Vzla, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://documentos.uru.edu/pdf/2101-24-14329.pdf>

38. Las referencias de informes técnicos deben incluir un número entre corchetes, que corresponde al orden de aparición de la cita en el texto del artículo. Se deben registrar los siguientes datos: Autor(es) o entidad responsable, “Título del informe” entre comillas, Nombre de la empresa, Sede de la empresa, Tipo de informe, Número de informe, Año de publicación. En caso de que el material esté disponible electrónicamente, agregar: [En línea] y Disponible en: URL o DOI. Ejemplo:

[1] K. Villalobos, “Informe Técnico de mantenimiento de caldero”, Compañía Gaseosas Nature: Maracaibo, Vzla., 1997.

39. Las referencias de catálogos deben incluir un número entre corchetes, que corresponde al orden de aparición de la cita en el texto del artículo. Se deben registrar los siguientes datos: Nombre del producto, Responsable del producto (empresa o marca), ciudad, país, URL del producto. Ejemplo:

[1] Motor trifásico NEMA Siemens 1LE2225-1AB21-4AA3-Z D05, GSL Industrias: Nuevo León, México. [En línea]. Disponible en: <https://industriassgl.com/collections/motores/products/motor-trifasico-nema-siemens-1le2225-1ab21-4aa3-z-d05>

[2] Taladro Inalámbrico Profesional, Makita, Tokio, Japón, [En línea]. Disponible en: <https://www.catalogotokio.com/tladros415>

40. Las referencias de aplicaciones deben incluir un número entre corchetes, que corresponde al orden de aparición de la cita en el texto del artículo. Deben contener los siguientes datos: Nombre de la empresa desarrolladora, Nombre del producto (versión), Descripción del producto (opcional, entre corchetes), Plataforma o medio de difusión (ej: Google Play, App Store, etc.), fecha de creación o lanzamiento (si está disponible) y URL de descarga o información del producto. Ejemplo:

[1] OpenAI. ChatGPT (Versión Beta), [Modelo de lenguaje basado en inteligencia artificial]. Google Play, 2022. Disponible en: https://play.google.com/store/apps/details?id=ai.chat.gpt.app&hl=es_VE&gl=US

41. En los trabajos deben emplearse el Sistema Internacional de Unidades para identificar cualquier magnitud medible de interés en la investigación: metro (m), kilogramos (Kg), Segundo (s), entre otras. Se recomienda consultar el National Institute of Standards & Technology. Guide for the Use of the International System of Units (SI) en <https://physics.nist.gov/cuu/pdf/sp811.pdf>

ARBITRAJE

42. El trabajo científico es recibido por el Editor(a) principal, quien evaluará su contenido en función de las normas para los autores (Temática y Pertinencia con las áreas de la revista) luego, será enviado al Comité Editorial para su revisión y asignación de tres árbitros.

43. El método de arbitraje que sigue la revista es de evaluación por pares de tipo “doble ciego”, que, consiste en que, tanto los árbitros como los autores desconocen sus respectivas identidades. Este método se aplica para todos los tipos de trabajos postulados.

44. Los trabajos científicos serán evaluados de acuerdo a los siguientes criterios: claridad, originalidad del contenido, aportes al campo de conocimiento, coherencia del discurso, adecuada organización interna, calidad de las referencias bibliográficas, adecuada elaboración del resumen y pertinencia del título.

45. En caso de recibir observaciones por parte de los árbitros, estas serán enviadas al autor para su corrección. Después de realizar las correcciones, el autor devolverá la versión corregida al correo electrónico indicado para el envío. El trabajo científico será nuevamente revisado por el Comité Editorial.

46. Una vez que el trabajo haya recibido la aprobación por parte de los árbitros y el Comité editorial, se llevarán a cabo correcciones de pruebas, para lo cual se enviará a los autores para su revisión final.

47. Cuando el trabajo científico es aceptado para la publicación, los autores serán informados acerca del número y año de publicación de su trabajo. Si, es rechazado, los autores podrán remitir al Editor(a) Jefe una comunicación exponiendo argumentos a favor de su artículo. El Comité Editorial considerará las acciones a tomar.

48. Cada autor del artículo publicado recibirá una (1) separatas digital en sus respectivos correos electrónicos junto a la constancia de publicación en la revista.

DIRECTRICES ÉTICA

49. *Trabajos Originales e Inéditos.* Los trabajos enviados a la Revista Tecnocientífica URU deben ser originales e inéditos. Esto significa que no deben haber sido publicados previamente en ningún medio (impreso, digital, congresos, conferencias o sitios web) ni estar siendo evaluados para su publicación en otra revista.

50. *El plagio y las similitudes en los trabajos.* La originalidad de los trabajos es responsabilidad exclusiva de los autores. Cualquier evidencia de plagio y similitudes con trabajos ya publicados resultará en el rechazo inmediato del manuscrito.

Los autores deben asegurarse de los siguientes aspectos:

- Citas y referencias correctamente formateadas y sigan las normas editoriales de la Revista.
- Incluir las referencias de todas las fuentes utilizadas en el trabajo.
- Parafrasear o citar correctamente las ideas y textos de otras fuentes.
- Evitar el plagio en todas sus formas.

El Comité Editorial se reserva el derecho de realizar revisiones adicionales para garantizar la originalidad de los trabajos, incluso tras superar los controles de plagio. Estas revisiones incluyen la evaluación exhaustiva de las referencias bibliográficas y la conformidad con las normas editoriales.

Si el Comité Editorial determina que el trabajo no cumple con los estándares de originalidad o calidad de la Revista, los autores serán notificados y el manuscrito será rechazado.

51. *Adherencia a las recomendaciones del Comité de Ética de Publicaciones (COPE).* Los autores y editores de la Revista Tecnocientífica URU deben cumplir con las recomendaciones establecidas en el Comité de Ética de la Publicación (COPE), disponibles en: Las "Guidelines" del Committee on Publication Ethics (COPE).

52. *Investigaciones con experimentos.* Las investigaciones que involucran a seres humanos, animales de experimentación, organismos modificados genéticamente (OMG), agentes biológicos peligrosos y organismos exóticos, los autores deben declarar haber cumplido con el Código de Bioética y Bioseguridad (2008) del Ministerio del Poder Popular para la Ciencia y Tecnología, 3era edición, Parte I y II, disponible en el siguiente enlace: <http://fisica.ciens.ucv.ve/postfismed/normas/cbbconicit.html>

CONSIDERACIONES FINALES

53. Los conceptos u opiniones emitidos en los artículos, serán de exclusiva responsabilidad de los autores.

54. Los autores conservarán sus derechos morales y se hará una difusión de los artículos bajo una licencia Creative Commons.

55. El Comité Editorial se reserva el derecho de los arreglos de estilo que considere conveniente.

56. Bajo ninguna circunstancia, la revista devolverá los originales de los artículos enviados a la revista.

57. Lo no previsto en las presentes normas será resuelto por el Comité Editorial.

Revista Tecnocientífica URU
Número 26, 2024
Maracaibo - Venezuela
Fondo Editorial Universidad Rafael Urdaneta