

---

12 Editorial

---

**Investigación**

- 17 Factores ambientales, biológicos y pesqueros que influyen en la mortalidad de peces y el desarrollo del evento Cachirra, Laguna Navío Quebrao  
Fernando Luis Castro Echavez, Jairo Rafael Rosado Vega, Elín Raquel Márquez Guloso
- 42 Metodología de desarrollo de técnicas de agrupamiento de datos usando aprendizaje automático  
Ghiordy Ferney Contreras Contreras
- 59 Diseño de modelo de simulación que representa el genoma de inteligencia colectiva de Malone, Laubacher y Dellarocas  
Mónica Patricia Vargas Guarnizo, Luz Esperanza Bohórquez Arévalo
- 78 Modelado del fenómeno de remoción de masa para determinar la profundidad de infiltración de la lluvia en el suelo  
Carlos Arturo Parra Ortega, César Quintana-Cabeza, Jemay Mosquera-Téllez
- 103 Selección de guías de turismo por parte de agencias para realizar recorridos en casos de inmediatez en Cartagena de Indias  
Raúl Martelo Gómez, Paulo Oyola Quintero, David Franco Borré
- 

**Estudio de caso**

- 114 Morteros de cemento Portland probados con dos superplastificantes: estudio de caso para la reducción de cemento y agua en concretos  
Andrea Muñoz-Zapata, Henry Alonso Colorado Lopera, Sergio Cifuentes-Mosquera
- 147 Recursos tecnológicos utilizados por profesores universitarios de carreras de ingeniería, en tiempos de virtualidad en Barranquilla (Colombia)  
Ivan Andres Padilla Escorcía, Robinson Junior Conde Carmona, Teremy Tovar Ortega
- 167 Modelación de calidad de agua del drenaje urbano en el software SWMM, sector nororiental, Santa Inés, Tunja  
Melquisedec Cortes Zambrano, Mónica Yineh Lara-Pérez, Iván Darío Acosta-Sabogal
- 

**Revisión**

- 185 Nuevos desafíos de las pequeñas y medianas empresas en tiempos de pandemia  
Johanna Catalina Adan Gallo, Laura Alejandra Munar López, Gustavo Andrés Romero Duque, Aldemar Gordillo Galeano
- 

209 Instructions for authors

221 Instrucciones para autores

Vol. 26 Núm. 72 • Abril - Junio de 2022 • Bogotá, Colombia • Publicación trimestral - ISSN: 0123-921X • e-ISSN-e 2248-7638

# Tecnura

**V.26**  
**N.72**



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
Facultad Tecnológica

Revista Tecnura • Volumen 26 – Número 72 • Abril - junio de 2022  
ISSN (impreso): 0123-921X • e-ISSN: 2248-7638 • Bogotá D.C. Colombia



# Tecnura

Tecnología y cultura, afirmando el conocimiento

Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Facultad Tecnológica

Volumen 26 - Número 72  
Abril - Junio de 2022

p-ISSN: 0123-921X  
e-ISSN: 2248-7638



**UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**

**Revista TECNURA**  
**Tecnología y cultura, afirmando el conocimiento**  
**Universidad Distrital Francisco José de Caldas**  
**Facultad Tecnológica**

p-ISSN: 0123-921X - e-ISSN: 2248-7638

## EDITOR

Ph.D. Ing. César Augusto García Ubaque  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Ing. Manuel Karim Sapag  
Universidad Nacional de San Luis, Argentina

Ph.D. Ing. Steven M. LaValle  
University of Illinois, Estados Unidos

## COMITÉ EDITORIAL

Ph.D. Ing. César Augusto García Ubaque  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Martín Pedro Gómez  
Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina

Ph.D. Ing. César Augusto Hernández Suárez  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

## EVALUADORES

Ph.D. Alfonso Azevedo  
Universidad Estatal del Norte Fluminense, Brasil

Ph.D. Ing. Edgar Francisco Vargas  
Universidad de Los Andes, Colombia

Ph.D. Elkin Ivan Gutierrez Velasquez  
Universidad Antonio Nariño, Colombia

Ph.D. Ing. Jorge Gómez Rojas  
Universidad del Magdalena, Colombia

Ph.D. Ing. Ingrid Patricia Páez Parra  
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Ph.D. Ing. Jose Juliam Villate Corredor  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Ph.D. Ing. Johan José Sánchez Mora  
Universidad Simón Bolívar, Venezuela

Ph.D. Julio César Marín Leal  
Universidad del Zulia, Venezuela

Ph.D. Ing. José Antonio Velásquez Costa  
Universidad Ricardo Palma, Perú

Ph.D. Ing. Marlon Mauricio Hernández cely  
Universidad de Sao Paulo, Brasil

Ph.D. Ing. Mario Ricardo Arbulu Saavedra  
Universidad de La Sabana, Colombia

Ph.D. Ing. Laugeny Díaz  
Universidad del Zulia, Venezuela

Ph.D. Diego Luis González  
Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italia

M. Adolfo León  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Julyan Cartwright  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España

M. Carlos Granados Ortiz  
Universidad de Antioquia, Colombia

Ph.D. Oreste Piro  
Universidad de les Illes Balears, España

M Ing. Hugo Castro  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

## COMITÉ CIENTÍFICO

Ph.D. Ing. Alfonso Prieto Guerrero  
Universidad Autónoma Metropolitana, México

M. Mónica Esther Ospino Pinedo  
Universidad de Cartagena, Colombia

Ph.D. Ing. Enrique Rodríguez de la Colina  
Universidad Autónoma Metropolitana, México

M. Oriana Patricia Heredia Gómez  
Universidad del Atlántico, Colombia

Ph.D. Ing. Fernando Martirena  
Universidad Central de Las Villas, Cuba

M Ing. Wilson Enrique Amaya Tequia  
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

Ph.D. Ing. Jorge Mario Gómez  
Universidad de Los Andes, Colombia

M Ing. William Ricardo Mozo Moreno  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Ph.D. Ing. Juan Antonio Conesa  
Universidad de Alicante, España

M. Yasmín Moya Villa  
Universidad de Cartagena, Colombia

M. Yessika Rojas Sandoval  
Universidad del Atlántico, Colombia

## ASISTENTES DE LA REVISTA

Lizeth Viviana Urrea

## COORDINACIÓN EDITORIAL

Fernando Piraquive  
Centro de investigaciones y desarrollo tecnológico-CIDC  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

# Tecnura

Abril - Junio de 2022

## REVISTA TECNURA

La revista Tecnura es una publicación institucional de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de carácter científico-tecnológico, arbitrada mediante un proceso de revisión entre pares de doble ciego. La periodicidad de la conformación de sus comités Científico y Editorial está sujeta a la publicación de artículos en revistas indexadas internacionalmente por parte de sus respectivos miembros.

## PERIODICIDAD

Es una publicación de carácter científico-tecnológico con periodicidad trimestral, que se publica los meses de enero, abril, julio y octubre. Su primer número apareció en el segundo semestre del año 1997 y hasta la fecha ha mantenido su regularidad.

## COBERTURA TEMÁTICA

Las áreas temáticas de interés de la revista Tecnura están enfocadas a todos los campos de la ingeniería, como la electrónica, telecomunicaciones, electricidad, sistemas, industrial, mecánica, catastral, civil, ambiental, entre otras. Sin embargo, no se restringe únicamente a estas, también tienen cabida los temas de educación y salud, siempre y cuando estén relacionados con la ingeniería. La revista publicará únicamente artículos de investigación científica y tecnológica, de reflexión y de revisión.

## MISIÓN

La revista Tecnura tiene como misión divulgar resultados de proyectos de investigación realizados en el área de la ingeniería, a través de la publicación de artículos originales e inéditos, realizados por académicos y profesionales pertenecientes a instituciones nacionales o extranjeras del orden público o privado.

## PÚBLICO OBJETIVO

La revista Tecnura está dirigida a docentes, investigadores, estudiantes y profesionales interesados en la actualización permanente de sus conocimientos y el seguimiento de los procesos de investigación científico-tecnológica, en el campo de la ingeniería.

## INDEXACIÓN

Tecnura es una publicación de carácter académico indexada en los índices regionales pubindex indexada y clasificada en categoría B, Scielo Colombia y Redalyc (México); además de las siguientes bases bibliográficas: INSPEC del Institution of Engineering and Technology (Inglaterra), Fuente Académica Premier de EBSCO (Estados Unidos), CABI (Inglaterra), IndexCorpernicus (Polonia), Informe Académico de Gale Cengage Learning (México), Periódica de la Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (España) y Dialnet de la Universidad de la Rioja (España); también hace

parte de los siguientes directorios: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Latindex (México); Índice Bibliográfico Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (España), DOAJ (Suecia), Ulrich de Proquest (Estados Unidos).

## FORMA DE ADQUISICIÓN

La revista Tecnura se puede adquirir a través de canje o suscripción en el portal de la revista.

## REPRODUCCIÓN

Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos de esta revista para uso académico o interno de las instituciones citando la fuente y el autor. Las ideas expresadas se publican bajo la exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento del Comité Editorial de la revista.

## DIRECCIÓN POSTAL

Enviar a Ing. Cesar Augusto García Ubaque  
Ph.D. Director y Editor Revista Tecnura  
Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305  
Facultad Tecnológica  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Transversal 70B No. 73A-35 sur  
Teléfono: 571-3239300  
Celular: 57-3153614852  
Bogotá, D.C., Colombia  
Correo electrónico:  
[tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co](mailto:tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co)  
Tecnura en internet:  
<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

## CORRECCIÓN DE ESTILO PARA ESPAÑOL

Fernando Carretero Padilla

## CORRECCIÓN DE ESTILO PARA INGLÉS

Laura Ximena García

## DISEÑO DE CUBIERTA

Andrés Enciso

## DIAGRAMACIÓN Y DISEÑO L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X\*

MSc. Julian Arcila-Forero

\*Modificada bajo las condiciones del LaTeX Project Public License  
<http://www.latex-project.org/lppl.txt>



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

**TECNURA Journal**  
**Technology And Culture, Affirming Knowledge**  
**District University Francisco José De Caldas**  
**Faculty Of Technology**

p-ISSN: 0123-921X - e-ISSN: 2248-7638

## EDITOR

Ph.D. Ing. César Augusto García Ubaque  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

## EDITORIAL COMMITTEE

Ph.D. Ing. César Augusto García Ubaque  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Ing. César Augusto Hernández Suárez  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Ph.D. Ing. Edgar Francisco Vargas  
Universidad de Los Andes, Colombia

Ph.D. Ing. Ingrid Patricia Páez Parra  
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Ph.D. Ing. Johan José Sánchez Mora  
Universidad Simón Bolívar, Venezuela

Ph.D. Ing. José Antonio Velásquez Costa  
Universidad Ricardo Palma, Perú

Ph.D. Ing. Mario Ricardo Arbulu Saavedra  
Universidad de La Sabana, Colombia

Ph.D. Diego Luis González  
Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italia

Ph.D. Julyan Cartwright  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España

Ph.D. Oreste Piro  
Universidad de les Illes Balears, España

## SCIENTIFIC COMMITTEE

Ph.D. Ing. Alfonso Prieto Guerrero  
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Ph.D. Ing. Enrique Rodríguez de la Colina  
Universidad Autónoma Metropolitana, México

Ph.D. Ing. Fernando Martirena  
Universidad Central de Las Villas, Cuba

Ph.D. Ing. Jorge Mario Gómez  
Universidad de Los Andes, Colombia

Ph.D. Ing. Juan Antonio Conesa  
Universidad de Alicante, España

Ph.D. Ing. Manuel Karim Sapag  
Universidad Nacional de San Luis, Argentina

Ph.D. Ing. Steven M. LaValle  
University of Illinois, Estados Unidos

Ph.D. Martín Pedro Gómez  
Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina

## EVALUATORS

Ph.D. Alfonso Azevedo  
Universidad Estatal del Norte Fluminense, Brasil

Ph.D. Elkin Ivan Gutierrez Velasquez  
Universidad Antonio Nariño, Colombia

Ph.D. Ing. Jorge Gómez Rojas  
Universidad del Magdalena, Colombia

Ph.D. Ing. Jose Juliam Villate Corredor  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Ph.D. Julio César Marín Leal  
Universidad del Zulia, Venezuela

Ph.D. Ing. Marlon Mauricio Hernández cely  
Universidad de Sao Paulo, Brasil

Ph.D. Ing. Laugeny Díaz  
Universidad del Zulia, Venezuela

M. Adolfo León  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

M. Carlos Granados Ortiz  
Universidad de Antioquia, Colombia

M Ing. Hugo Castro  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

M. Mónica Esther Ospino Pinedo  
Universidad de Cartagena, Colombia

M. Oriana Patricia Heredia Gómez  
Universidad del Atlántico, Colombia

M Ing. Wilson Enrique Amaya Tequia  
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

M Ing. William Ricardo Mozo Moreno  
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

M. Yasmín Moya Villa  
Universidad de Cartagena, Colombia

M. Yessika Rojas Sandoval  
Universidad del Atlántico, Colombia

## TECNURA JOURNAL ASSISTANTS

Lizeth Viviana Urrea

## EDITORIAL COORDINATION

Fernando Piraquive  
Centro de investigaciones y desarrollo tecnológico-CIDC  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

# Tecnura

Abril - Junio de 2022

## TECNURA JOURNAL

Tecnura Journal is an institutional scientific-technological publication from the Faculty of Technology at District University Francisco José de Caldas, arbitrated by means of a double-blinded peer review process. The periodicity for its Scientific and Editorial committees line-up is subject to the publication of articles in internationally indexed magazines by its own members.

## PERIODICITY

Tecnura journal is a scientific-technological publication with quarterly periodicity, published in January, April, July and October. Its first edition appeared in the second term, 1997 and its editions have normally continued from that year and on.

## THEMATIC COVERAGE

The thematic areas of interest at Tecnura journal are focused on all fields of engineering such as electronical, telecommunications, electrical, computer, industrial, mechanical, cadastral, civil, environmental, etc. However, it is not restricted to those, there is also room for education and health topics as well, as long as they are related to engineering. The journal will only publish scientific and technological research, reflection and review articles.

## MISSION

Tecnura journal is aimed at publishing research project results carried out in the field of engineering, through the publishing of original and unpublished articles written by academics and professionals from national or international public or private institutions.

## TARGET AUDIENCE

Tecnura journal is directed to professors, researchers, students and professionals interested in permanent update of their knowledge and the monitoring of the scientific-technological research processes in the field of engineering.

## INDEXING

Tecnura is an academic publication indexed in the Regional Index Scielo Colombia (Colombia) and Redalyc (México); as well as the following bibliographic databases: INSPEC of the Institution of Engineering and Technology (England), Fuente Académica Premier of EBSCO (United States), CABI (England), Index Copernicus (Poland), Informe Académico of Gale Cengage Learning (México), Periódica of the Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (Spain) and Dialnet of the Universidad de la Rioja (Spain); it is also part of the

following directories: Online Regional Information System for Scientific journals from Latin America, Caribbean, Spain and Portugal Latindex (México), bibliographic index Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (Spain), DOAJ (Sweden), Ulrich of Proquest (United States).

## FORM OF ACQUISITION

Tecnura journal is available through purchase, exchange or subscription.

## REPRODUCTION

The total or partial reproduction of the articles of this journal is authorized for academic or internal purpose of the institutions citing the source and the author. Ideas expressed are published under exclusive responsibility of the authors and they do not necessarily reflect the thought of the editorial committee of the journal.

## POSTAL ADDRESS

Send to Engr. Cesar Augusto García Ubaque, Ph.D.

Director and Editor Revista Tecnura

Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305

Faculty of Technology

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Transversal 70B No. 73A - 35 sur

Telephone Number: 571 - 3239300

Cell phone Number: 57 - 3153614852

Bogotá D.C., Colombia

E-mail:

[tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co](mailto:tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co)

Tecnura on internet:

<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

## STYLE CORRECTION IN SPANISH

Fernando Carretero Padilla

## STYLE CORRECTION IN ENGLISH

Laura Ximena García

## TITLE PAGE DISEGN

Andrés Enciso

## LAYOUT AND L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X\* DESIGN

MSc. Julian Arcila-Forero

\*modified under the conditions of the LaTeX Project Public License

<http://www.latex-project.org/lppl.txt>

El comité editorial de la revista **Tecnura** está comprometido con altos estándares de ética y buenas prácticas en la difusión y transferencia del conocimiento, para garantizar el rigor y la calidad científica. Es por ello que ha adoptado como referencia el Código de Conducta que, para editores de revistas científicas, ha establecido el Comité de Ética de Publicaciones (COPE: Committee on Publication Ethics) dentro de los cuales se destaca:

## Obligaciones y responsabilidades generales del equipo editorial

En su calidad de máximos responsables de la revista, el comité y el equipo editorial de **Tecnura** se comprometen a:

- Aunar esfuerzos para satisfacer las necesidades de los lectores y autores.
- Propender por el mejoramiento continuo de la revista.
- Asegurar la calidad del material que se publica.
- Velar por la libertad de expresión.
- Mantener la integridad académica de su contenido.
- Impedir que intereses comerciales comprometan los criterios intelectuales.
- Publicar correcciones, aclaraciones, retractaciones y disculpas cuando sea necesario.

## Relaciones con los lectores

Los lectores estarán informados acerca de quién ha financiado la investigación y sobre su papel en la investigación.

## Relaciones con los autores

**Tecnura** se compromete a asegurar la calidad del material que publica, informando sobre los objetivos y normas de la revista. Las decisiones de los editores para aceptar o rechazar un documento para su publicación se basan únicamente en la relevancia del trabajo, su originalidad y la pertinencia del estudio con relación a la línea editorial de la revista. La revista incluye una descripción de los procesos seguidos en la evaluación por pares de cada trabajo recibido. Cuenta con una guía de autores en la que se presenta esta información. Dicha guía se actualiza regularmente y contiene un vínculo a la presente declaración ética. Se reconoce el derecho de los autores a apelar las decisiones editoriales. Los editores no modificarán su decisión en la aceptación de envíos, a menos que se detecten irregularidades o situaciones extraordinarias. Cualquier cambio en los miembros del equipo editorial no afectará las decisiones ya tomadas, salvo casos excepcionales en los que confluyan graves circunstancias.

## Relaciones con los evaluadores

**Tecnura** pone a disposición de los evaluadores una guía acerca de lo que se espera de ellos. La identidad de los evaluadores se encuentra en todo momento protegida, garantizando su anonimato.

## Proceso de evaluación por pares

**Tecnura** garantiza que el material remitido para su publicación será considerado como materia reservada y confidencial mientras que se evalúa (doble ciego).

## Reclamaciones

**Tecnura** se compromete responder con rapidez a las quejas recibidas y a velar para que los demandantes insatisfechos puedan tramitar todas sus quejas. En cualquier caso, si los interesados no consiguen satisfacer sus reclamaciones, se considera que están en su derecho de elevar sus protestas a otras instancias.

## Fomento de la integridad académica

**Tecnura** asegura que el material que publica se ajusta a las normas éticas internacionalmente aceptadas.

## Protección de datos individuales

**Tecnura** garantiza la confidencialidad de la información individual (por ejemplo, de los profesores y/o alumnos participantes como colaboradores o sujetos de estudio en las investigaciones presentadas).

## Seguimiento de malas prácticas

**Tecnura** asume su obligación para actuar en consecuencia en caso de sospecha de malas prácticas o conductas inadecuadas. Esta obligación se extiende tanto a los documentos publicados como a los no publicados. Los editores no sólo rechazarán los manuscritos que planteen dudas sobre una posible mala conducta, sino que se consideran éticamente obligados a denunciar los supuestos casos de mala conducta. Desde la revista se realizarán todos los esfuerzos razonables para asegurar que los trabajos sometidos a evaluación sean rigurosos y éticamente adecuados.

## Integridad y rigor académico

Cada vez que se tenga constancia de que algún trabajo publicado contiene inexactitudes importantes, declaraciones engañosas o distorsionadas, debe ser corregido de forma inmediata.

En caso de detectarse algún trabajo cuyo contenido sea fraudulento, será retirado tan pronto como se conozca, informando inmediatamente tanto a los lectores como a los sistemas de indexación.

Se consideran prácticas inadmisibles, y como tal se denunciarán las siguientes: el envío simultáneo de un mismo trabajo a varias revistas, la publicación duplicada o con cambios irrelevantes o parafraseo del mismo trabajo, o la fragmentación artificial de un trabajo en varios artículos.

## Relaciones con los propietarios y editores de revistas

La relación entre editores, editoriales y propietarios estará sujeta al principio de independencia editorial. **Tecnura** garantizará siempre que los artículos se publiquen con base en su calidad e idoneidad para los lectores, y no con vistas a un beneficio económico o político. En este sentido, el hecho de que la revista no se rija por intereses económicos, y defienda el ideal de libre acceso al conocimiento universal y gratuito, facilita dicha independencia.

## Conflicto de intereses

**Tecnura** establecerá los mecanismos necesarios para evitar o resolver los posibles conflictos de intereses entre autores, evaluadores y/o el propio equipo editorial.

## Quejas/denuncias

Cualquier autor, lector, evaluador o editor puede remitir sus quejas a los organismos competentes



The editorial board of *Tecnura* journal is committed to ethics high standards and good practice for knowledge dissemination and transfer, in order to ensure rigour and scientific quality. That is why it has taken as reference the Code of Conduct, which has been established by the Committee on Publication Ethics (COPE) for scientific journal editors; outlining the following:

## General duties and responsibilities of the editorial board

As most responsible for the journal, *Tecnura* committee and the editorial board are committed to:

- Joining efforts to meet the readers and authors' needs.
- Tending to the continuous improvement of the Journal.
- Ensuring quality of published material.
- Ensuring freedom of expression.
- Maintaining the academic integrity of their content.
- Prevent commercial interests compromise intellectual standards.
- Post corrections, clarifications, retractions and apologies when necessary.
- Relations with readers.
- Readers will be informed about who has funded re- search and their role in the research.

## Relations with authors

*Tecnura* is committed to ensuring the quality of published material, informing the goals and standards of the journal. The decisions of publishers to accept or reject a paper for publication are based solely on the relevance of the work, originality and pertinence of the study with journal editorial line. The journal includes a description of the process for peer evaluation of each received work, and has an authors guide with this information. The guide is regularly updated and contains a link to this code of ethics. The journal recognizes the right of authors to appeal editorial decisions Publishers will not change their decision in accepting or rejecting articles, unless extraordinary circumstances or irregularities are detected. Any change in the editorial board members will not affect decisions already made, except for unusual cases where serious circumstances converge.

## Relations with evaluators

*Tecnura* makes available to reviewers a guide to what is expected from them. Reviewers' identity is protected at all times, ensuring anonymity.

## Peer review process

*Tecnura* ensures that material submitted for publication will be considered private and confidential issue while being reviewed (double blind).

## Claims

*Tecnura* is committed to respond quickly to complaints and ensure that dissatisfied claimant can process all complaints. In any case, if applicants fail to satisfy their claims, the journal considers that they have the right to raise their protests to other instances.

## **Promoting Academic Integrity**

**Tecnura** ensures that the published material conforms to internationally accepted ethical standards.

## **Protection of individual data**

**Tecnura** guarantees the confidentiality of individual information (e.g. participant teachers and/or students as collaborators or subjects of study in the presented research).

## **Tracking malpractice**

**Tecnura** accepts the obligation to act accordingly in case of suspected malpractice or misconduct. This obligation extends both to published and unpublished documents. The editors not only reject manuscripts with doubts about possible misconduct, but they are considered ethically obligated to report suspected cases of misconduct. From the journal every reasonable effort is made to ensure that works submitted for evaluation are rigorous and ethically appropriate.

## **Integrity and academic rigour**

Whenever evidence that a published work contains significant misstatements, misleading or distorted statements, it must be corrected immediately.

In case of any work with fraudulent content is detected, it will be removed as soon as it is known, and immediately informing both readers and indexing systems.

Practices that are considered unacceptable and as such will be reported: simultaneous sending of the same work to various journals, duplicate publication with irrelevant changes or paraphrase of the same work, or the artificial fragmentation of a work in several articles.

## **Relations with owners and journal editors**

The relation between editors, publishers and owners will be subject to the principle of editorial independence. **Tecnura** will ensure that articles are published based on their quality and suitability for readers, and not for an economic or political gain. In this sense, the fact that the journal is not governed by economic interests, and defends the ideal of universal and free access to knowledge, provides that independence.

## **Conflict of interest**

**Tecnura** will establish the necessary mechanisms to avoid or resolve potential conflicts of interest between authors, reviewers and/or the editorial board itself.

## **Complaints / allegations**

Any author, reader, reviewer or editor may refer their complaints to the competent authorities.

## Editorial

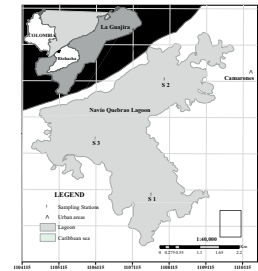
12

### Environmental, Biological, and Fishing Factors Influencing Fish Mortality and Development of the *Cachirra* event, Navío Quebrao Lagoon

17

Factores ambientales, biológicos y pesqueros que influyen en la mortalidad de peces y el desarrollo del evento *Cachirra*, Laguna Navío Quebrao

Rosado-Vega., J.R. Castro-Echavez., F.L. y Márquez Guloso., E.R.

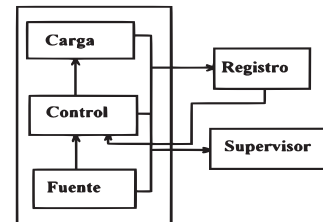


### Development Methodology of Techniques for Data Clustering Using Machine Learning

42

Metodología de desarrollo de técnicas de agrupamiento de datos usando aprendizaje automático

Contreras-Contreras., G.F. Medina-Delgado., B. Acevedo-Jaimes., B.R y Guevara-Ibarra., D.

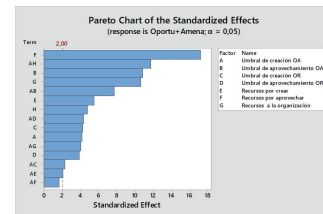


### Design of a simulation model that represents the collective intelligence genome of (Malone *et al.*, 2010)

59

Diseño de modelo de simulación que representa el genoma de inteligencia colectiva de Malone, Laubacher y Dellarocas

Vargas-Guarnizo ., M.P. y Bohórquez-Arévalo., L.E.

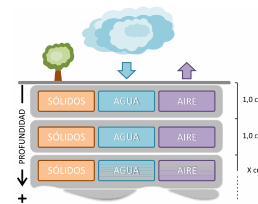


### Modeling of Mass Movement Phenomena to Determine the Depth of Rainfall Infiltration into the Soil

78

Modelado del fenómeno de remoción de masa para determinar la profundidad de infiltración de la lluvia en el suelo

Quintana-Cabeza., C. Mosquera-Téllez., J. y Parra-Ortega., C.

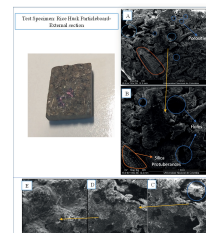


### Selection of tourism guides by agencies to carry out tours in cases of immediacy in Cartagena de Indias

103

Selección de guías de turismo por parte de agencias para realizar recorridos en casos de inmediatez en Cartagena de Indias

Martelo Gómez., R.J. Oyola Quintero., P.S. Franco Borré., D.A.

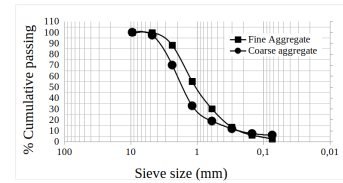




## Portland Cement Mortars Tested with Two Superplasticizers: A Case Study to Reduce Cement and Water in Concrete 114

Morteros de cemento Portland probados con dos superplastificantes: estudio de caso para la reducción de cemento y agua en concretos

A. Cifuentes-Mosquera., S. y Colorado-Lopera., H.A.



## Technological resources used by university professors of engineering careers in virtual times in Barranquilla (Colombia) 147

Recursos tecnológicos utilizados por profesores universitarios de carreras de ingeniería, en tiempos de virtualidad en Barranquilla (Colombia)

Padilla Escorcia., I.A. Conde Carmona., R.J. y Tovar Ortega., T.



## Urban Drainage Water Quality Modeling on the SWMM Software, Northeastern Sector, Santa Inés District, Tunja 167

Modelación de calidad de agua del drenaje urbano en el software SWMM, sector nororiental, Santa Inés, Tunja

Cortés-Zambrano., M. Lara-Pérez., M.Y. y Acosta-Sabogal., I.D.



## New challenges for small and medium-sized businesses in times of pandemic 185

Nuevos desafíos de las pequeñas y medianas empresas en tiempos de pandemia

Adan Gallo., J.C. Munar López., L.A. Romero Duque., G.A y Gordillo Galeano., A.

**Tecnura**  
<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/issue/view/1108>  
 DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.17679>

REVISIÓN DE TEMA

**Nuevos desafíos de las pequeñas y medianas empresas en tiempos de pandemia**

New challenges for small and medium-sized businesses in times of pandemic

Johanna Catalina Adán Gallo, Laura Alejandra Munar López, Gustavo Andrés Romero Duque, Aldemar Gordillo Galeano

## Instructions for authors 209

## Instrucciones para los autores 221

According to the results of different studies conducted both local and regional about climate change, biodiversity loss and other environmental problems that reflect global consequences; we can conclude that the basis of global environmental problems, in economic terms, is excess of demand for the services that our planet provide. Human beings need the soil support for our vital functions, resources, and raw materials for production of goods and services and a place for landfill waste; but we ignore for a long time that our ecosystems have limited offer capabilities. From the economic point of view, and unlike any other good, in which an increased demand generates increased supply; in the case of environmental resources, it is known that they can reach their exhaustion because their services are totally inelastic and there is not enough money to satisfy the supply increases.

Human population growth over the past 100 years has been almost exponential, coupled with the development pattern adopted by many countries based on the principle of economic growth to meet their needs; it has produced an environmental degradation whose consequences we are facing right now. This principle adopted as a paradigm to determine the nations development, has brought a paradox, for have better living conditions of the population we should increase consumption of goods and services. Even those that are not needed and do not contribute significantly to improving the quality life index, but that within this pattern should be consumed to generate more jobs and better living conditions for those involved in production process. The result has been a vicious circle that has climbed with a tendency to become spiral and has not been redirected to learn widespread behaviors that ensure rational use of resources we can use.

Another value that goes against respectful behavior for the environment is the “symmetrical beauty” criterion, the urgency to achieve homogeneity criteria, zero defects, reach to average prototypes that do not reflect the reality of anyone or anything, leads to obtain even food, flowers, animals, etc., under any method to reach the ideal prototype, pressing the productive and reproductive processes by fertilizers, genetic modifications, pesticides, etc., required to obtain “homogeneous” and “beautiful” species that are most sold. Regardless the real value: nutrition, use, among others.

Although agriculture and animal breeding are already quite aggressive with ecosystems diversity, to claim for larger products, in perfect conditions, with beautiful colors, with higher productivity in terms of quantity, etc.; leads to production practices that exceed the environmental services limits, of landfill, regulation and supply of ecosystems where they occur. It also tragic that these benefits do not reach the people who suffer from hunger or unmet needs, but those who already have enough, and can pay for these additional features that do not add actual value to the products.

This type of values, that are not distinctive of all cultures of the world, whether they have come to be appropriate globally by all countries, because they are rooted in the collective imagination, and are considered “successful” in the sense of generating welfare cultures. Although the problems and

the consequences it brings, this uncontrolled consumption pattern is already evident; the tendency to deepen its implementation has been maintained. So, if this growth model based on consumption growth persists; looming scenarios do not result to be optimistic about the viability of our species on our own planet.

Although most of the population is already aware about mankind collapse if they continue in this model, at least in the basic characteristics of growth as known now, it has not been able to generate other values that allow that community welfare depends on other factors. It seems unrealistic for now, develop technologies that enable sustainable development; and even less than current technology could stop the deterioration of the environment, because what they have achieved at best case scenario is delay the process, but not fast enough to make self-sustaining planet. Scientific and technological development has focused to streamline production processes from the point of view of economic performance without impacting achieves large blocks of interaction between man and nature.

I personally think that trying to stop environment deterioration, preserving our current pattern of development and consumption, is unreal. That is why the actions that have been taken do not really have a significant impact. I believe that the values of “success” should be reassessed to ensure that the different communities to achieve a decent standard of living but not reach superfluous “comfort” levels that far from giving meaning to the lives of people, give them frustration. While people think that what we have is what defines us; really it is very difficult to take fundamental decisions such as recycling, saving, optimization of resources we use and to adopt patterns of “austerity” that our culture does not accept willingly and on the other hand, prefer environments abundance and which are tremendously predators. It is consumed more and discarded more. This does not serve anyone and represents only the value of a single transaction.

The growth that comes at the expense of the environment favoring those who already enjoy high standards of living; it is becoming our sword of Damocles. The society and culture itself must also be oriented to inculcate values and reward savings to consume the least to reach everyone. The value to search, should be the welfare, stability and economic growth not as defined today, because ¿as far as we grow? ¿More than my neighbor? ¿the other is a rival?, ¿or rather it is a collaborator? Focus our creativity and our knowledge to these values today is not only a challenge but the only way to redirect the evolution of our species. That although it has made great strides, it seems inevitably is going to decline.

Cesar Augusto García-Ubaque 

DIRECTOR

[cagarciau@udistrital.edu.co](mailto:cagarciau@udistrital.edu.co)

**D**e acuerdo con los resultados de diferentes estudios realizados, tanto de carácter local como regional sobre el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y otros problemas ambientales que ya evidencian consecuencias a nivel global se puede afirmar que la base de los problemas ambientales del planeta planteada en términos económicos radica en el exceso de la demanda de los servicios que nuestra especie se surte de él. El planeta nos provee soporte para nuestras funciones vitales, suministro de recursos y materias primas para la producción de bienes y servicios, y lo utilizamos como vertedero de desechos; ignorando durante mucho tiempo que todos los ecosistemas tienen capacidades de oferta limitadas. Desde el mismo punto de vista económico, y a diferencia de cualquier otro bien, en el que, a mayor demanda se genera una mayor oferta; para el caso de los recursos ambientales, ya se sabe que pueden llegar a su agotamiento; y no existe precio suficiente que permita que la oferta se incremente. Los servicios ambientales son bienes totalmente inelásticos.

El crecimiento poblacional de nuestra especie durante los últimos 100 años, que ha sido casi exponencial, sumado al patrón de desarrollo adoptado por la gran mayoría de países basado en el principio del crecimiento económico para satisfacer sus necesidades; ha producido el deterioro ambiental cuyas consecuencias estamos enfrentando. Este principio adoptado como paradigma para determinar el desarrollo de las naciones, ha traído consigo una paradoja que consiste en que, para tener unas mejores condiciones de vida de la población, se debe aumentar el consumo de bienes y servicios. Aun de aquellos que no son necesarios y que tampoco contribuyen significativamente a mejorar los índices de calidad de vida, pero que, dentro de este patrón, se deben consumir para generar mayor cantidad de empleos y condiciones de vida para quienes participan en el proceso de producción. La consecuencia ha sido un círculo vicioso que se ha escalado con tendencia a volverse espiral y que no se ha podido redirigir a comportamientos que aseguren un uso racional generalizado de los recursos que podemos utilizar.

Otro valor que creo va en contra de comportamientos respetuosos por el medio ambiente es el criterio de “belleza simétrica”. La urgencia por alcanzar criterios de homogeneidad, de cero defectos, de acercarse a prototipos promedio que no reflejan la realidad de nadie ni de nada, lleva a que aún en alimentos, en flores, en animales, etc., se quiera bajo cualquier método llegar al prototipo ideal, presionando los procesos de productivos y reproductivos mediante abonos, modificaciones genéticas, pesticidas, etc., que permitan obtener especies “homogéneas” y “bellas”, que son las que más se venden. Independientemente del real valor que deben proporcionar: nutrición, utilización, entre otros.

Aunque la agricultura y la ganadería ya son bastante agresivas con la diversidad de los ecosistemas, el demandar productos más grandes, en perfecto estado, de bellos colores, con una mayor productividad en cuanto a cantidad, entre otros; conlleva a que las prácticas para su producción sobrepasen el límite de soporte, sumidero, regulación y suministro que tienen los ecosistemas donde

se producen. Resulta trágico además que, estos beneficios no llegan a las personas que más hambre o necesidades insatisfechas padecen, sino a los que ya tienen suficiente, pero que pueden pagar por estas características adicionales que no le agregan valor real a los productos.

Este tipo de valores que no son propios de todas las culturas del planeta, si han venido siendo apropiados de manera global por todos los países, debido a que se han arraigado en el imaginario colectivo, y se consideran “exitosos” en el sentido de generar bienestar a las culturas que los aplican. Aunque ya se evidencian los problemas y las consecuencias que trae consigo, este patrón incontratado de consumo; la tendencia a profundizar su aplicación se ha mantenido. Así las cosas, si este modelo de crecimiento basado en el aumento del consumo persiste; los escenarios que se vislumbran no dan lugar para ser optimistas sobre la viabilidad de nuestra especie en nuestro propio planeta.

Aunque la gran mayoría de la población ya es consciente que, de seguir en este modelo, en algún momento la humanidad va a colapsar, por lo menos en las características básicas de crecimiento como hoy se conoce, no se ha podido generar otro tipo de valores que permitan que el bienestar de una comunidad dependa de otros factores. No parece realista por ahora desarrollar tecnologías que permitan un desarrollo sostenible; y menos aún que con las actuales se logren los resultados necesarios para detener el deterioro del ambiente, porque lo que han logrado en el mejor de los casos es retrasar el proceso, pero no a la velocidad necesaria para hacer autosostenible el planeta. El desarrollo científico y tecnológico se ha enfocado a hacer más eficientes los procesos productivos desde el punto de vista del rendimiento económico, sin lograr impactar bloques grandes de interacción hombre-naturaleza.

Personalmente creo que pretender detener el deterioro del medio ambiente conservando nuestro actual patrón de desarrollo y consumo, es absolutamente irreal. Es por ello que las acciones que se han tomado no tienen realmente un impacto relevante. Considero que los valores de “éxito” deben reevaluarse para conseguir que las diferentes comunidades logren unos niveles de vida dignos pero que no se llegue a niveles de “comodidad” realmente superfluos que lejos de dar sentido a la vida de las personas, terminan frustrándola y quitando sentido a su paso por este planeta. Mientras las personas pensemos que lo que tenemos es lo que nos define; realmente será muy difícil que tomemos decisiones fundamentales como: reciclaje, ahorro, optimización de los recursos que usamos y que adoptemos patrones de “austeridad” que nuestra cultura no acepta de buen agrado y por el contrario, prefiere ambientes de abundancia y que obviamente son tremendamente depredadores. Se consume de más y se desecha de más. Esto no le sirve a nadie, y representa apenas solo el valor de una transacción.

El crecimiento que se da a costa del medio ambiente favoreciendo a quienes ya gozan de estándares altos de condiciones de vida, se está convirtiendo en nuestra espada de Damocles. La sociedad en general y la cultura misma, también deben orientarse a que se inculquen y premien valores de ahorro, de consumir lo mínimo para que alcance para todos. El valor para buscar debe ser el bienes-





# Editorial

<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/issue/view/1108>

---

tar, la estabilidad y no el crecimiento económico como hoy se define, ¿porque hasta dónde se crece? ¿Acaso más que mi vecino? ¿El otro es una competencia?, o más bien es un colaborador? Enfocar nuestra creatividad y nuestros conocimientos hacia estos valores, constituye hoy por hoy no solo un reto, sino quizá la única manera de redirigir la evolución de nuestra especie, que, a pesar de haber logrado grandes avances, parece ir inevitablemente al deterioro.

Cesar Augusto García Ubaque 

DIRECTOR

[cagarciau@udistrital.edu.co](mailto:cagarciau@udistrital.edu.co)

## Environmental, Biological, and Fishing Factors Influencing Fish Mortality and Development of the *Cachirra* event, Navío Quebrao Lagoon

Factores ambientales, biológicos y pesqueros que influyen en la mortalidad de peces y el desarrollo del evento *Cachirra*, Laguna Navío Quebrao

Jairo Rafael Rosado-Vega <sup>1</sup>, Fernando Luis Castro-Echavez <sup>2</sup>,  
Elín Raquel Márquez Guloso <sup>3</sup>

Fecha de Recepción: 01 de marzo de 2021

Fecha de Aceptación: 07 de febrero de 2022

**Cómo citar:** Rosado-Vega., J.R. Castro-Echavez., F.L. y Márquez Guloso., E.R. (2022) Environmental, Biological, and Fishing Factors Influencing Fish Mortality and Development of the *Cachirra* event, Navío Quebrao Lagoon. *Tecnura*, 26(72), 17-41. <https://doi.org/10.14483/22487638.17675>

### Abstract

**Context:** The Navío Quebrao lagoon (NQL) has always played an important role in the economy of the indigenous communities in its surroundings. However, in recent years, the tributaries to the lagoon have been notably impacted by climatic variability and logging activities, therefore clogging the lagoon and causing the loss of depth, which increases the temperature and salinity. In three months, 80 % of the lagoon dries out, causing the mortality of most of the species inhabiting it. This phenomenon is known as the *Cachirra* event. Therefore, this study aims to analyze the incidence of environmental, biological, and fishing factors in the formation and mortality of the *Cachirra* event.

**Methodology:** We collected samples from fishing nets used by the fishermen of the *arranchaderos* community. IDEAM provided 2017 climatologic data. Physicochemical variables were measured with a Spectroquant SQ 118 and other direct measurement electronic devices. The R statistical software version 3.2.2 was used to analyze the data and their relationships.

**Results:** The results showed that 12 species are involved in the formation of the *Cachirra* event, predominantly the Mugilidae family. Salinity was the physicochemical variable that predominantly affected the mortality of the species –October ( $6,0 \pm 0,6$  UPS) and March ( $67,4 \pm 1,36$  UPS).

<sup>1</sup>Biologist, Master's in Sea Science. Professor at University of La Guajira. Director of the PICHIHÜEL Research Group. Riohacha, Colombia.

Email: [jrosado@uniguajira.edu.co](mailto:jrosado@uniguajira.edu.co)

<sup>2</sup>Graduate in Biology and Chemistry, specialist in Environmental Science, Magister's in Environmental Science, Doctor in Environmental Engineering. Professor at University of La Guajira. PICHIHÜEL Research Group. Riohacha, Colombia.

Email: [fcastro@uniguajira.edu.co](mailto:fcastro@uniguajira.edu.co)

<sup>3</sup>Environmental engineer, Master's in Environmental Science. Lecturer at University of La Guajira. PICHIHÜEL Research Group. Riohacha, Colombia.

Email: [emarquez@uniguajira.edu.co](mailto:emarquez@uniguajira.edu.co)

**Conclusions:** Fish die according to their susceptibility to salinity changes, with *Cathrorops spixii* and *Eugerres plumieri* being the most susceptible species and *Elops saurus* and *Mugil liza* the most resistant. The species present in the NQL have lengths well below commercial significance and different condition factor and repletion index values before and after the *Cachirra* event.

**Funding:** Universidad de La Guajira

**Keywords:** acclimatization, *Cachirra*, mortality, salinity, variables

## Resumen

**Contexto:** La laguna Navío Quebrao (NQL) siempre ha jugado un papel importante en la economía de las comunidades indígenas que se encuentran a su alrededor. Sin embargo, en los últimos años, sus tributarios han sido impactados notablemente por la variabilidad climática y la actividad de tala, trayendo como consecuencia la colmatación de la laguna y causando la pérdida de profundidad, lo cual aumenta la temperatura y la salinidad. En 3 meses se seca el 80 % de la laguna, lo cual causa la mortalidad de la mayoría de las especies que la habitan. Este fenómeno es conocido como evento *Cachirra*. Por lo tanto, este estudio pretende analizar la incidencia de factores ambientales, biológicos y pesqueros en la formación y mortalidad del evento *Cachirra*.

**Metodología:** Recolectamos muestras de las redes de pesca utilizadas por los pescadores de la comunidad de arranchaderos. El IDEAM proporcionó datos climatológicos de 2017. Las variables fisicoquímicas se midieron con un Spectroquant SQ 118 y otros dispositivos electrónicos de medición directa. Se utilizó el software estadístico R versión 3.2.2 para analizar los datos y sus relaciones.

**Resultados:** Los resultados muestran que 12 especies están involucradas en la formación del evento *Cachirra*, predominantemente la familia Mugilidae. La salinidad fue la variable fisicoquímica que más afectó la mortalidad de la especie –octubre ( $6,0 \pm 0,6$  UPS) y marzo ( $67,4 \pm 1,36$  UPS).

**Conclusiones:** Los peces mueren según su susceptibilidad a los cambios de salinidad, siendo las especies más susceptibles *Cathrorops spixii* y *Eugerres plumieri* y las más resistentes *Elops saurus* y *Mugil liza*. Las especies presentes en la NQL tienen longitudes muy por debajo de la importancia comercial y diferentes valores de factores de condición y del índice de repleción antes y después del evento *Cachirra*.

**Financiamiento:** Universidad de La Guajira

**Palabras clave:** aclimatación, *Cachirra*, mortalidad, salinidad, variables

## Table of Contents

	Page
<b>Introduction</b>	19
<b>Methodology</b>	20
Study area . . . . .	20
Methods . . . . .	21
Climatological and physicochemical variables . . . . .	22
Inventory of fish species, biometric parameters, and stomach contents . . . . .	22
Mortality sequence in component species of the <i>Cachirra</i> event . . . . .	24

---

Statistical analysis . . . . .	24
<b>Results</b>	<b>24</b>
Climatic variables . . . . .	24
Physicochemical variables . . . . .	25
Species inventory . . . . .	26
Mortality sequence in species involved in the <i>Cachirra</i> event . . . . .	26
Parametric variables . . . . .	26
<b>Discussion</b>	<b>26</b>
<b>Conclusions</b>	<b>34</b>
<b>Funding</b>	<b>34</b>
<b>Acknowledgments</b>	<b>34</b>
<b>References</b>	<b>34</b>

## INTRODUCTION

The Navío Quebrao Lagoon (NQL) is a relevant body of water because it is part of the Flamingos Flora and Fauna Sanctuary (SFFF). The sanctuary was established for the protection of the pink flamingo (*Phoenicopterus ruber*, Linnaeus, 1758). The lagoon also serves as economic support for the fishing communities, mostly indigenous people settled in its surrounding areas. The NQL experiences physiographic and biodynamic changes from October to March, leading to variations in hydrology and water physicochemical variables (Ricerca e Cooperazione - Corpoguajira, 2001). *Cachirra* (a word given by the natives of the area) is an event consisting of the massive mortality of juvenile fish inhabiting the lagoon, which results from changes during a low precipitation season. These changes lead to a progressive increase in salinity and a reduction of food availability, as indicated by de la Lanza-Espino *et al.* (2020). The authors mention that the variations in the coastal physicochemical and biological parameters are the result, among others, of natural factors such as climate.

The *Cachirra* event negatively impacts the economy of the indigenous people living in the area (Rosado *et al.*, 2011) because the species involved in this event, specifically the mugilids, do not reach the commercially required sizes to be well valued in the market. This affects the potential revenues for the local fishermen. The constant opening of the river mouth to allow the influx of water, which is instrumental to the growth of the species, is restricted by the community. This situation creates a dilemma that should be tackled in order to encourage the ancestral culture of the *Cachirra* event, given that it is part of the cultural identity of the people living in the area.

Numerous studies in NQL have focused on the fields of hydrology and hydrodynamics (Negri (2000); hydrodynamic, climatic, biological, and socioeconomic aspects (Ricerca e Cooperazione - Cor-

pogujira, 2001, Ruiz & Ramírez (2002)); regulation of artisanal use (Pérez & Ceballos, 2002); floristic and ecological aspects (Rosado & Cortés, 2006); physicochemical variables and phytoplankton population (Rosado & Márquez, 2004); mathematical modeling (Annichiarico & Guzmán, 2006, Nardini, 2005); and artisanal fishery (Bedoya, 2004). Several studies assess the impact of salinity and temperature on growth (Shikano *et al.*, 2001). The increased salinity negatively affects the feed conversion rate and efficiency, the protein intake, and the efficiency of protein utilization (Al-Khshali, 2017, Schofield *et al.*, 2011).

In general, Mugilidae species have a high ecological plasticity. Mugilids are able to consume a variety of foods: detritus (which they can also filter out), algae, crustaceans, mollusks, insects, and large amounts of silt from the bottom (Cardona, 2001, Fernández-Delgado *et al.*, 2000). These features make them an ecologically important family due to its decisive contribution to the energy and matter flow from the lower to the upper levels of the ecosystems they inhabit (Almeida, 2003). Several mugilid species can inhabit the same estuary, as they utilize the food distributed from the thin water surface film to the bottom mud, either by direct grazing or using plant-detritus food chains as an energy source (Crosetti & Cataudella, 1995). Due to this, Mugilidae is always one of the dominant fish families in the ecosystems it inhabits (Oliva-Paterna *et al.*, 2006, Simier *et al.*, 2004, Strydom, 2003). The majority of Mugilidae species are highly euryhaline (Cardona, 2001).

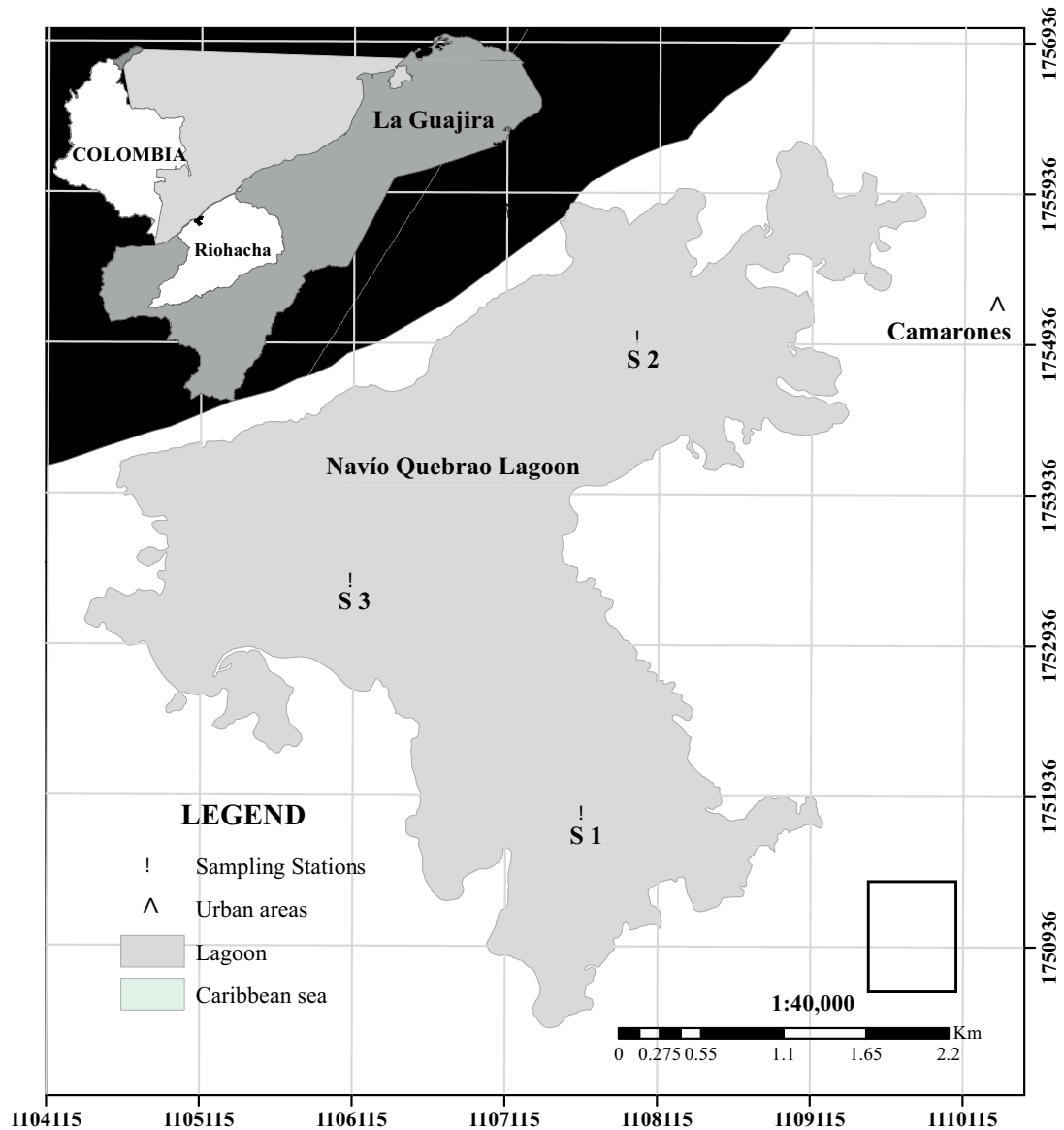
This study aims to generate basic information on the behavior of the most relevant aspects regarding the environmental and biological factors that affect the dynamics of the NQL. It also aims to identify the relevant variables causing the massive fish mortality during the *Cachirra* event. The findings of this study could be used by provincial government agencies to design comprehensive policies and strategies that may lead to short-term mitigation of fish mortality and to reduce crustacean and mollusk presence in the lagoon. According to a study by Negri (2000) about the environmental impacts on the hydrological and hydrodynamics of the lagoon, the logging of forests in the main tributary channel and sand extraction activities were found to have a major impact. The research concluded that, within 20 years, the NQL would be completely clogged. Therefore, local authorities need to regulate these activities and must implement strategies to preserve the formation of the *Cachirra* event since it influences the cultural identity of the people living in the area. At the same time, the preservation of the event allows crustaceans to reach a larger size, thus improving their commercial value and the subsequent increase in the income of the indigenous people and afro-descendant communities living in the surroundings of the lagoon.

## METHODOLOGY

### Study area

The area under study is called Navío Quebrao Lagoon or Camarones lagoon, and it is located in the Northwest of the department of La Guajira, in the municipality of Riohacha (11° 27' - 11° 22' North and 73° 11' - 73° 7' West). It is at an altitude of 5 masl and has a maximum flood surface of 9

km<sup>2</sup>, approximately 900 ha (Figure 1).



**Figure 1.** Granulometry results for fine and coarse sand

Source: Authors.

## Methods

Research activities were conducted from October 2016 to March 2017. They covered the wet season (October, November, and December) and the dry season (January, February, and March). Climatological, biological, and physicochemical variables, as well as the sequence of fish mortality by

species were measured again in 2018. The average values were used for variable analysis. In the wet season, three sampling stations were designated. A sampling station known as  $S_1$  was located 100 m from the mouth of the Camarones river. The  $S_2$  site was located 100 m from Arroyo de Los Indios and  $S_3$  at the center of the lagoon. In the dry season, there is a displacement and a significant reduction of the lagoon area to approximately 5 ha on the western side of the lagoon. The water column also decreases, maintaining a uniform depth during drought time. Thus, only one sampling station was established ( $S_3$ ) at the center of the lagoon.

The main changes or disturbances occur at the entrance of Arroyo Camarones [Camarones Stream], which correspond to  $S_1$ ; the others correspond to the mouth of the lagoon ( $S_2$ ). No additional sampling stations were installed, since the other areas are dead spots where the variables do not show any alteration that is relevant for the study. The location of the  $S_3$  station was selected considering that the evaporation process starting in December causes  $S_1$  and  $S_2$  to disappear, thus reducing the water area to approximately 50 ha in the western sector, where  $S_3$  is located. It is important to mention that there are no major industries or roads in the area. There are only some small houses belonging to indigenous communities who are very isolated from each other, and they have no impact on the dynamics of the lagoon.

### ***Climatological and physicochemical variables***

Data corresponding to climatological variables (maximum temperature, minimum temperature, average temperature, relative humidity, sunshine, maximum wind, wind speed, precipitation, evaporation, and cloudiness) were provided by IDEAM (2017). A WTW 3320 Multiparameter was utilized to perform *in situ* monitoring (in triplicate) of physicochemical variables (salinity; potential of Hydrogen, pH; dissolved oxygen, DO; and water temperature). Turbidity was measured with a HACH 2100P turbidimeter. Samples were collected in triplicate in 500 mL polyethylene bottles to determine (*ex-situ*) the concentrations of nitrites and ammonium. They were then transported and kept at 4 °C to be analyzed at the Environmental Quality Laboratory of Universidad de La Guajira within 8 hours of their collection (APHA, AWWA, & WEF, 2012). Following Camargo & Alonso (2006) recommendations, we selected five variables due to the lethal effects they can have on fish survival: temperature, dissolved oxygen, nitrites, pH, and ammonium.

The standardized methods (APHA, AWWA, & WEF, 2012) used for the analysis of the physicochemical variables are indicated in Table 1.

### ***Inventory of fish species, biometric parameters, and stomach contents***

For the identification of the species, previous knowledge and the existing specialized bibliography were used (Cervigón & Fischer, 1979, Chasqui-Velasco *et al.*, 2017, Román, 1979, Rosas-Luis *et al.*, 2016) after weekly manual randomized sampling of moribund floating fish species through-

**Table 1.** Variables, methods, and equipment for physicochemical analysis

VARIABLE	ANALYTICAL METHODS	EQUIPMENT
<b><i>In-situ</i> physicochemical analysis</b>		
Water temperature (°C)	Thermometric (Method 2550 B)	WTW 3320 Multiparameter
pH (Unit)	Electrometric (Method 4500 H+B)	WTW 3320 Multiparameter
Salinity (PSU)	Electrometric (Method 2520 B)	WTW 3320 Multiparameter
Dissolved oxygen (mg/L)	Membrane-Electrode. (Method 4500 - O G)	WTW 3320 Multiparameter
<b><i>Ex-situ</i> physicochemical analysis</b>		
Nitrite (mg/L)	Photometric (Analogous to Method 4500- NO B)	Spectroquant model SQ 118 (Merck brand)
Ammonium (mg/L)	Photometric (Analogous to Method 4500-NH 3 D)	Spectroquant model SQ 118 (Merck brand)

**Source:** Authors, based on [APHA, AWWA, & WEF, 2012](#).

hout the lagoon. We recorded the sequence of fish mortality for the species involved in the *Cachirra* event. Samples were also taken from *arranchaderos*, places where fish are laid in the open for sun-drying, following their collection with different fishing equipment such as cast nets, trammels, and manuals ([Rosado et al., 2011](#), [Ruiz & Ramírez \(2002\)](#)).

We measured the total length (TL) of the fish with an ichthyometer (a fish measuring board) and the weight (W) with a balance in order to compare the commercial size to the size and weight of the species of the *Cachirra* event. The length-weight relationship of the species was determined using the allometric growth formula  $W = a \cdot L^b$  ([Froese, 2006](#), [Huxley, 1950](#)) and linearized by means of a logarithmic transformation. The state of gastric repletion (SGR) and food content were determined using a randomized sample of 50 individuals for each species. Their stomachs were extracted, and their content was preserved in 10 % formaldehyde and analyzed with a Nikon E400 stereoscope ([Sánchez-Hernández et al., 2010](#)). The Repletion index (RI) was calculated with Equation (1) ([dos Santos, 1978](#), [Molina-Ocampo, 1993](#)):

$$RI = \left( \frac{\text{Weight of fish stomach content}}{\text{Fish weight}} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Taxonomic classification of animal samples was conducted only for the upper categories, namely insects, crustaceans, nematodes, and polychaetes. The rest of the samples were classified as detri-



tus, filamentous algae, microalgae, and sand. Following Pauly (1984), the condition factor (CF) was used to determine the relationships between feeding and fish growth during the various stages of development. Equation (2) was used to obtain this factor:

$$CF = \left( \frac{W}{L^3} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

The species involved in the *Cachirra* event were determined through a survey that inquired fishers for the species that they considered to be components of the event. The identified species were those with greater acceptance and demand in the market, as well as those preferred by the community due to their flavorful taste, which is acquired during the salting and sun-drying process.

### *Mortality sequence in component species of the Cachirra event*

The dry season began in December 2016 and lasted until February 2017. Constant observations were made of the body of water, and, if fish mortality was observed in the area, then the species were collected and measured. The salinity and the salinity range that caused the death of the species were determined using the WTW 3320 Multiparameter.

### *Statistical analysis*

For the analysis and interpretation of the physicochemical and climatic results, the initial data were transformed into a correlation matrix by applying Pearson's product-moment correlation coefficient between pairs of physicochemical and climatic variables using the R statistical package, version 3.2.2. In order to search for associations between the studied variables, a cluster analysis was performed using Ward's algorithm and the similarity matrix based on the Bray Curtis Index. The evaluation of significant differences in the temporal behavior of all the physicochemical variables during the study was carried out by means of the non-parametric Wilcoxon test with a significance level of 0,05.

## RESULTS

### Climatic variables

Table 2 reports climatic variable data corresponding to the wet months (October, November, and December 2016) and the low water level period (January, February, and March 2017). We observed variations in the records of precipitation, cloudiness, wind speed, and evaporation during the wet and dry seasons, which affected the biodynamics of the lagoon.

**Table 2.** Record of the main climatic variables in the Navío Quebrao Lagoon

Variables	Units	Rainy season (2016)			Drought time (2017)		
		Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.
Maximum temperature	°C	36,9	34,7	34,6	34,7	36,1	36,4
Minimum temperature	°C	22,4	20,8	21,7	19,8	19,2	18,9
Average temperature	°C	28,4	27,7	27,8	28,0	27,0	27,5
Relative humidity	%	78,0	80,0	75,0	63,0	64,0	66,0
Solar brightness	h/sun	217,8	194,5	228,7	278,7	242,8	231,7
Maximum wind	km/h	42,0	39,0	46,0	65,0	68,0	62,0
Wind speed	m/s	2,8	2,4	2,7	2,8	4,9	4,3
Precipitation	mm	126,4	138,6	14,9	1,9	0,0	0,0
Evaporation	mm/day	6,2	4,6	6,1	7,6	7,9	8,3
Cloudiness	Octas	7/8	6/8	5/8	4/8	3/8	2/8

Source: Authors, based on IDEAM (2017).

### Physicochemical variables

Table 3 shows the behavior of the physicochemical variables during the wet and dry seasons, as well as the variations in salinity experienced from October ( $6,0 \pm 0,6$  PSU) to March ( $67,4 \pm 1,36$  PSU).

**Table 3.** Average records of physicochemical variables in the months of rain and drought

Variables	Units	N	Rainy season (2016)			Drought time (2017)		
			Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.
Salinity	PSU	3	$6,0 \pm 0,6$	$23,0 \pm 2,64$	$33,6 \pm 1,24$	$35,0 \pm 0,36$	$41,5 \pm 1,41$	$67,4 \pm 1,36$
pH	Unit	3	$8,0 \pm 0,2$	$7,9 \pm 0,3$	$7,9 \pm 0,26$	$8,5 \pm 0,17$	$8,1 \pm 0,2$	$8,2 \pm 0,26$
Dissolved oxygen	mg/L	3	$5,2 \pm 0,4$	$5,6 \pm 0,43$	$5,4 \pm 0,3$	$5,2 \pm 0,1$	$5,1 \pm 0,36$	$4,4 \pm 0,52$
Water temperature	°C	3	$29,0 \pm 0,91$	$28,0 \pm 0,91$	$28,0 \pm 0,62$	$26,0 \pm 0,70$	$26,0 \pm 0,36$	$28,0 \pm 0,52$
Nitrite	mg/L	3	$0,40 \pm 0,04$	$0,50 \pm 0,09$	$0,40 \pm 0,1$	$0,01 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,01$	$0,01 \pm 0,01$
Ammonium	mg/L	3	$0,20 \pm 0,02$	$0,50 \pm 0,04$	$0,50 \pm 0,05$	$1,00 \pm 0,2$	$1,00 \pm 0,1$	$1,00 \pm 0,17$

Source: Authors.

## Species inventory

Table 4 indicates the presence of 34 species comprised by 20 families, mostly of marine and estuarine origin. We observed four genera belonging to Carangidae and Penaeidae families (11,8%); three genera belonging to Gerreidae and Mugilidae (8,8%); and one genus for each of the following families: Belonidae, Clupeidae, Dasyatidae, Gobiidae, Poeciliidae, and Pomacanthidae (2,9%). Fishermen of the area have linked the *Cachirra* event to twelve species out of the 34 species found. That is 35,3% of the total number of species living in the lagoon. *Cachirra* species are members of seven families, which is 35,0% of the total families in the lagoon.

## Mortality sequence in species involved in the *Cachirra* event

Table 5 shows the sequential order of deaths for the 12 *Cachirra* species. The species most susceptible to salinity were *C. spixii* and *B. marinus*, with values ranging between 45 and 50 PSU. The most resistant were *M. liza* and *E. saurus*, which died when the salinity exceeded 70,0 PSU.

## Parametric variables

*M. incilis* had the highest number of captures during fishing days (584 fish), followed by *M. liza* (204 fish). **B** values were close to 3,0. *C. spixii* reached the highest value (2,9730).  $r^2$  values were above 0,8, with the highest value (0,9354) corresponding to *C. spixii* (Table 6).

Mugilids were the most abundant species, both before and during the *Cachirra* event. We identified a marked difference in CF and RI values before and after the mortality process. *M. curema* reached its highest CF value (2,10); and *E. saurus* and *M. liza* showed the highest RI values before the *Cachirra* event (1,80 and 1,70). *M. liza* and *M. incilis* had the highest values (0,58 and 0,40) after the event (Table 7).

Table 8 shows the stomach contents of different species that constitute the *Cachirra* event. During the wet season, the food supply is very diverse, predominantly consisting of organic matter, crustacean remnants, detritus, among others. Conversely, the food supply is meager during the dry season.

## DISCUSSION

We identified different factors that interact with salinity to significantly reduce the water column during the *Cachirra* event in the NQL. From October to March, variables such as sunshine, evaporation, winds, and cloudiness showed a high correlation with the water temperature of the lagoon, as well as with the increase in salinity (Table 9). During these months, water temperature records showed minor variations. These changes did not affect the fish metabolism. Additionally, the water

**Table 4.** Reported species and components of the *Cachirra* event

Family	Scientific name
Ariidae	* <i>Bagre Marinus</i> Mitchill
	* <i>Cathorops spixii</i> Agassiz
Belonidae	<i>Strongylura marina</i> Walbaum
Bothidae	<i>Citharichthys spilopterus</i> Günther
Carangidae	<i>Chloroscombrus chrysurus</i> L.
	* <i>Caranx hippos</i> L.
	<i>Oligoplites saurus</i> Bloch & Schneider
	* <i>Trachinotus falcatus</i> L.
Centropomidae	* <i>Centropomus ensiferus</i> Poey
	<i>Centropomus undecimalis</i> Bloch
Clupeidae	<i>Harengula clupeola</i> Cuvier
Dasyatidae	<i>Dasyatis guttata</i> Bloch & Schneider
Elopidae	* <i>Elops saurus</i> L.
Engraulidae	<i>Anchovia clupeoides</i> Swainson
Gerreidae	* <i>Diapterus rhombeus</i> Cuvier
	<i>Eucinostomus argenteus</i> Baird & Girard
	* <i>Eugerres plumieri</i> Cuvier
Gobiidae	<i>Gobioides broussonneti</i> Lacepède
Lutjanidae	<i>Lutjanus griseus</i> L.
Megalopidae	<i>Tarpon atlanticus</i> Cuvier & Valenciennes
Mugilidae	* <i>Mugil curema</i> Valenciennes
	* <i>Mugil incilis</i> Hancock
	* <i>Mugil liza</i> Valenciennes
Palaemonidae	<i>Macrobrachium acanthurus</i> Wiegmann
	<i>Macrobrachium carcinus</i> L.
Penaeidae	<i>Penaeus notialis</i> Perez
	<i>Penaeus schmitti</i> Burkenroad
	<i>Penaeus subtilis</i> Perez
	<i>Xiphopenaeus kroyeri</i> Heller
Poeciliidae	<i>Poecilia vivipara</i> Bloch & Schneider
Pomacanthidae	<i>Pomacanthus paru</i> Bloch
Portunidae	<i>Callinectes bocourti</i> Milne
	<i>Callinectes sapidus</i> Rathbun
Sciaenidae	* <i>Micropogonia furnieri</i> Desmarest

\**Cachirra* component species

Source: Authors.

**Table 5.** Sequential order of mortality in the component species of the *Cachirra* event

UPS=45-50	50-55	55-60	60-65	>64,7
<i>C. spixii</i>	<i>D. rhombeus</i>	<i>C. hippos</i>	<i>T. falcatus</i>	<i>M. curema</i>
<i>B. marinus</i>	<i>E. plumieri</i>	<i>C. ensiferus</i>	<i>M. furnieri</i>	<i>M. liza</i>
			<i>M. incilis</i>	<i>E. saurus</i>

Source: Authors.

**Table 6.** Size-weight relationship for the component species of the *Cachirra* event

Species	Relationship parameters				
	n	Equation	a	b	r <sup>2</sup>
<i>C. spixii</i>	74	$W=0,01850 L^{2,9730}$	0,01850	2,9730	0,9354
<i>E. saurus</i>	117	$W=0,01830 L^{2,8669}$	0,01830	2,8669	0,8080
<i>M. curema</i>	99	$W=0,00807 L^{2,4358}$	0,00807	2,4358	0,9565
<i>M. incilis</i>	584	$W=0,03280 L^{2,7602}$	0,03280	2,7602	0,9764
<i>M. liza</i>	204	$W=0,05460 L^{2,5857}$	0,05460	2,5857	0,8560

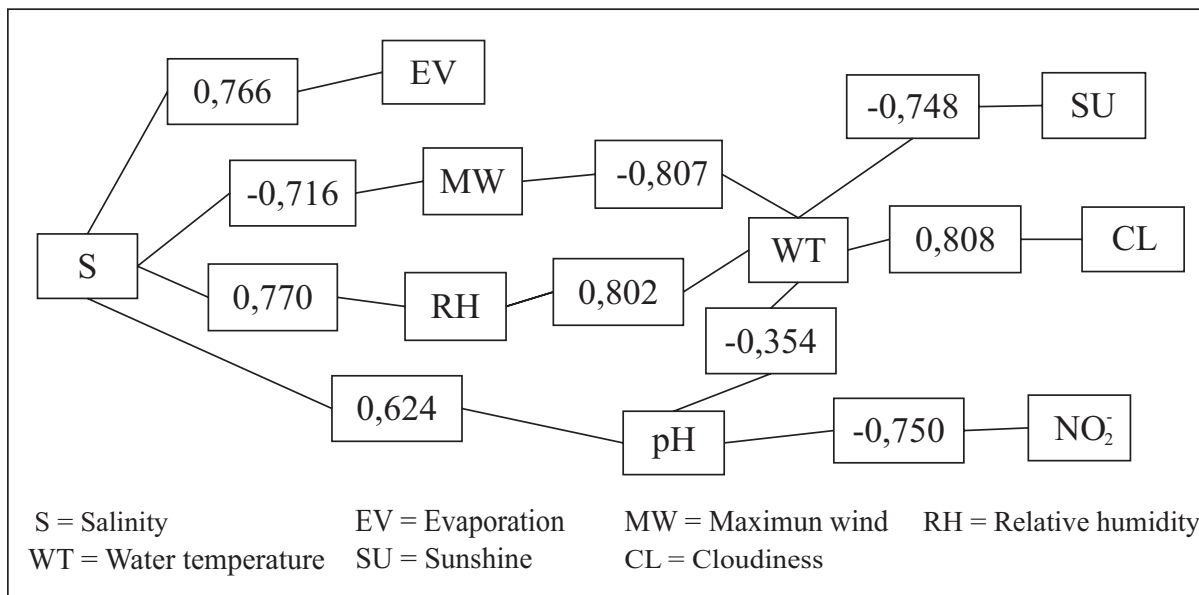
Source: Authors.

column did not exceed 30 cm in March, and the action of the northeastern winds, known by the locals as Northeast or trade winds, plays a vital role in the dynamics of the NQL. The wind's strength and origin also determine the climatological (Table 2) and oceanographic features of the area.

Table 9 shows the different correlations that occur between the climatic and physicochemical variables. Salinity is negatively correlated with wind ( $r = -0,716$ ) and relative humidity ( $r = -0,707$ ), but positively with evaporation ( $r = 0,766$ ). The water temperature shows positive correlations with relative humidity ( $r = 0,802$ ) and cloudiness ( $r = 0,808$ ), but negative ones with sunshine ( $r = -0,748$ ), wind ( $r = -0,807$ ), and pH ( $r = 0,796$ ). In turn, the pH has a negative correlation with water temperature ( $r = -0,796$ ) and nitrite ( $r = -0,753$ ), but a positive one with salinity ( $r = 0,624$ ).

In Figure 2, two major associations are described: the first, defined by the variables precipitation, relative humidity, cloudiness, water temperature, nitrite, ambient temperature, dissolved oxygen, and ammonia; and the second, which comprises winds, evaporation, salinity, sunshine, and pH. According to the Wilcoxon test, there are no significant differences in the average behavior of the physicochemical variables in the rainy and dry seasons ( $p > 0,05$ ).

Our data (Table 3) showed atypically high values of  $\text{NO}_2^-$  and  $\text{NH}_4^+$  from October to November. During this season, the lagoon receives the most significant water contribution from the Camarones river. Most variables except salinity showed no variations that affected the existing species. In the



**Figure 2.** Correlation horizon between climatological and physicochemical variables (October-March)

**Source:** Authors.

NQL, the increments in salinity are gradual, varying from  $35 \pm 0,36$  to  $67,4 \pm 1,36$  PSU. Therefore, toxicity is also reduced, and, in October and September,  $\text{NO}_2^-$  and  $\text{NH}_4^+$  reach their maximum values while salinity reaches its minimum values. These changes, according to [Partridge & Jenkins \(2002\)](#), may lead to fish stress, exerting its most significant effect at  $67,4 \pm 1,36$  PSU. Water is essential for life, and maintaining its quality is vital ([Bueno et al., 2019](#)). Values to protect aquatic animals from nitrogen compound toxicity have been proposed and recommended by different authors ([EEA, 2005](#), [Alonso, 2006](#), [CCME, 2010](#)). However, the recommended values are well below the data found during the wet season within the framework of this study. Neither fish nor crustacean mortality have ever been observed in this season. Therefore, we can infer that salinity is the determining factor in the mortality of these species in the NQL, as shown in Table 5.

It is emphasized that the concentration of minerals in shallow water bodies varies significantly from one brackish water body to another, due to differences in climatic, geographical, and topographic conditions, in biological activity, and in the time of analysis. The soil and the erosion or mineralization of rocks constitute edaphic sources of ions for freshwater bodies and eventually for salty bodies ([Fuentes & Massol-Deyá, 2002](#)). Bodies of water can be typified according to their total mineral content. Estuarine mineralization is affected by different climatic factors (winds, hours of illumination, precipitation, evapotranspiration, tides, solar brightness) and hydrological factors (current river discharge and tides) in such a way that, in rainy seasons, the salinity shows a tendency towards 0 UPS, as well as during low tides and in times of rising in the rivers that form the estuaries.

**Table 7.** Number of individuals (n) by species and descriptive statistics of the variables TL, TW, CF, and RI before and after the *Cachirra* event

Species	N	TL (cm)			TW (g)		CF	RI
		Max.	Avg.	$\sigma$	Max.	Avg.		
<b>Before the <i>Cachirra</i> event</b>								
<i>C. spixii</i>	74	26,3	20,48	3,93	293	162,70	1,89	1,30
<i>E. saurus</i>	117	26,2	19,56	4,09	320	110,03	1,47	1,80
<i>M. curema</i>	99	30,0	14,68	4,50	270	66,40	2,10	1,60
<i>M. incilis</i>	584	39,8	19,28	5,26	736	138,05	1,92	1,50
<i>M. liza</i>	204	37,0	18,68	3,91	430	117,32	1,80	1,70
<b>After the <i>Cachirra</i> event</b>								
<i>C. spixii</i>	26	20	11,61	3,143	52	12,84	0,82	0,37
<i>E. saurus</i>	734	35	18,80	5,418	136	41,34	0,62	0,26
<i>M. curema</i>	634	24	12,52	2,950	92	22,77	1,16	0,40
<i>M. incilis</i>	518	38	17,37	5,327	442	53,79	1,02	0,49
<i>M. liza</i>	211	38	19,30	7,465	438	73,47	1,02	0,58

**n:** number of individuals; **Max:** maximum; **Avg:** average;  $\sigma$ : standard deviation; **CF:** condition factor; **RI:** repletion index

**Source:** Authors.

On the other hand, in periods of drought or high tide, it tends to increase along with the minerals. Salinity depends on the stratification of the estuary. Thus, in estuaries with a saline wedge, salinity increases (Rosado & Castro-Echavez, 2011).

The inventory of species of the NQL showed that it possesses a great wealth of fish coming from the sea and, in a lesser extent, from its tributaries. Our data (Table 4) indicate that, out of the 20 families and 34 species reported, only 12 species (which represent 35,5% of the total population) are part of the *Cachirra* event. Our study and the one by SENA & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 1998 showed similar results, but notable discrepancies were observed in the number of species living in the NQL. Our study found commercially relevant species usually sold at high prices in regional and national markets, such as different types of prawns (*P. schmitti* and *P. notialis*, *P. monodon*), sea bass (*C. undecimalis* and *C. ensiferus*), and mugilids (*M. liza*, *M. incilis*, and *M. curema*). The aforementioned species are the foundation of the economy of the communities located around the NQL.

**Table 8.** Stomach content of some component species of the *Cachirra* event

Species	Type of food	
	Rainy season	Drought season
<i>E. saurus</i>	Detritus, fish remains crustacean remains, and shrimp.	Crustacean remains
<i>M. liza</i>	Organic matter, vegetal detritus, sediments, diatoms, copepods, algae, mud, and organic detritus.	Organic detritus
<i>M. incilis</i>	Organic matter, plant detritus, sediments, diatoms, copepods, crustaceans, algae, mud, and organic detritus.	Organic matter and detritus
<i>M. curema</i>	Organic matter, plant detritus, sediments, diatoms, copepods, mud, organic detritus, and crustacean remains.	Mud and organic detritus
<i>C. spixii</i>	Seaweed and shrimp postlarvae.	Vegetal detritus
<i>M. furnieri</i>	Organic detritus, ostracods, and bivalves.	Organic detritus
<i>C. ensiferus</i>	Fish and shrimp remains, detritus, insects, crabs, and crustacean remains.	Crustacean remains

**Source:** Authors.

From January to March, an abrupt alteration of conditions begins, and salinity increases from  $35 \pm 0,36$  to  $67,4 \pm 1,36$  PSU (Table 3). This change causes a notable loss in the lagoon's biological biodiversity because salinity (Smyth & Elliott (2016)), temperature (Molina *et al.*, 2020), and turbidity (Romero-Berny *et al.*, 2020) influence the spatial and temporal composition of fish communities. Furthermore, Smyth & Elliott (2016) indicate that there is also an energetic cost required in order to adapt to a changing ambient salinity, which may have consequences for organisms. Therefore, the variation from 34 species in October 2016 to 12 species in March 2017, allows stating that the salinity increase is a prominent factor that affects species mortality. The result is a decrease in the number of susceptible species, which also shows the persistence of those more abundant species, as is the case of mugilids such as *M. curema*, *M. incilis*, and *M. liza*. In some cases, fish can survive due to their osmoregulation capabilities (Stone *et al.*, 2014) and their eating habits when a high concentration of nutrients are available due to evaporation in hypersaline environments, which agrees with what was indicated by Arjonilla & Blasco (2003) regarding the salinity-evaporation parameter, which increases the concentration of both ammonium and silicates.

Organisms from euryhaline environments, namely *M. liza* and *E. saurus*, can adapt to high salinities (Costa *et al.*, 2008) during the dry season, but they do not forfeit their level of acclimatization during the wet season, which contributes to their distribution through salt adaptation (Chung, 2001). This acclimatization extends to other species such as crustaceans and tropical mollusks. Serrano *et al.* (2011) observed successful acclimatization of gray snapper (*L. griseus*) juveniles to hyposaline and hypersaline environments (0-60 PSU) after an adjustment of 96 h, thus demonstrating that ranges of acclimatization to changes in salinity vary from species to species.

In general, the studied species exhibit different values corresponding to negative allometric growth (Table 6), except *C. spixii*, which presented an isometric growth, with a **B** value almost equal to 3,0



**Table 9.** Correlation matrix of climatological and physicochemical variables

Variables	RT	RH	SU	MW	PR	EV	CL	S	pH	DO	WT	NI	AM
RT	1												
RH	0,495	1											
SU	-0,058	-0,851**	1										
MW	-0,573*	-0,992**	0,797**	1									
PR	0,516*	0,867**	-0,757**	-0,848**	1								
EV	-0,375	-0,914**	0,730**	0,910**	-0,825**	1							
CL	0,539*	0,882**	-0,796**	-0,898**	0,853**	-0,793**	1						
S	-0,610*	-0,707**	0,315	0,716**	-0,676	0,766**	-0,432	1					
pH	-0,354	-0,845**	0,791**	0,798**	-0,726	0,629*	-0,598*	0,624*	1				
DO	-0,102	0,265	-0,075	-0,270	0,163	-0,609*	0,074	-0,528*	0,038	1			
WT	0,554*	0,802**	-0,748**	-0,807**	0,646*	-0,503*	0,808**	-0,323	-0,796**	-0,329	1		
NI	0,717**	0,552*	-0,336	-0,546*	0,649*	-0,305	0,427	-0,611*	-0,753**	-0,342	0,658*	1	
AM	-0,186	0,516*	-0,624*	-0,488	0,549*	-0,735**	0,581*	-0,223	-0,151	0,626*	0,092	-0,273	1

\* The correlation is significant at a level of 0,05 (2-tailed).

\*\* The correlation is significant at a level of 0,01 (2-tailed).

RT = Room temperature

RH = Relative humidity

S = Sunshine

MW = Maximum wind

PR = Precipitation

EV = Evaporation

CL = Cloudiness

S = Salinity

pH = Potential of Hydrogen

DO = Dissolved oxygen

WT = Water temperature

NI = Nitrites

AM = Ammonium

**Source:** Authors.

(2,9730). Negative allometric growth means species have little weight for their length. *Cachirra* event constituents, whose **B** value is less than 3,0, gain length in less time than it takes for their weight to increase, as is the case of *E. saurus* and the mugilids (*M. curema*, *M. incilis*, and *M. liza*). The growth of these species does not increase as a function of size cubic power; these variations depend on time and the sampling system used. [Bravo et al. \(2009\)](#) reported comparable results for *H. aurolineatum*, an abundant species in Margarita Island (Venezuela). Studies with various species and environments support the finding that it was possible to ensure that **B** values ranged between 2,5 and 4,0. Under natural conditions, these values are rarely equal to 3,0, a fact that coincides with the results obtained in our study.

Fishermen in the area use selective fishing gear with mesh eyes ranging from  $\frac{3}{4}$  to 1, which is known as 'shrimp *chinchorro*'. This equipment allows older fish to be captured and juveniles to escape. The use of shrimp *chinchorros* explains that the vast majority of fish sizes before and after the *Cachirra* event are well below the average, corresponding to juvenile fish that have not yet achieved their first maturation, a condition reflected in the high values of the CF reached by the species, especially by juvenile mugilids. During December, mugilids abound in the coastal zone and penetrate the lagoon in search of refuge and food. Guerra & Marín (2002) study of *M. liza* in the Unare Lagoon in Venezuela determined that this species reaches an average size of 67,3 cm, and Ruiz & Ramírez (2002) indicate an average length of 23,1 cm for *M. incilis*. Both sizes are above the sizes reported for these species before and after the *Cachirra* event, thus reinforcing the hypothesis that most of the components of this event are in juvenile stages. It is worth adding that fish length-weight relationships may vary according to sex, sexual maturity, and food consumption.

Botero-Arango & Castaño-Rivera (2005) concluded that the fact that they did not find any statistical evidence relating the environmental variables to the CF does not discard their influence on fish welfare. In contrast, Osorio-Dualiby (1985) concluded that CF values are higher in September, October, and November, when environmental conditions such as lagoon depth and salinity are less extreme, which agrees with the values obtained in the present study. Although there was no consistent finding of heavier fish with a higher CF before the *Cachirra* event, it was observed that mugilids showed high CF values, thus reflecting a better condition or nutritional status, increased by the amount of detritus brought by the rivers during the wet season, which constitutes the primary source of food for mugilids (Osorio-Dualiby (2016)).

The difference found in the RI before and after the *Cachirra* event (Table 7) agrees with Franco & Bashirullah (1992) study. These authors found that specimens with empty stomachs (RI<0,5) are larger than those that with an RI>0,5. The abundance and biodiversity of food during the wet months explains that fish before the *Cachirra* event have higher RI than after the event. Alcocer (1997) argues that biodiversity reduction in saline lakes can be very drastic, especially in hypersaline lakes, which may be limited to a primary producer or another biotic group with high osmoregulatory capacities, as is the case of *E. saurus* and *M. liza*.

Castro-Aguirre (1982) and Raz-Guzmán (1995) highlighted the great influence that environmental variations and biological processes exert on the structure and dynamics of estuarine communities. According to the latter, salinity and temperature are the most relevant factors. Guevara *et al.* (2007) found that, during the rainy season in the Términos lagoon (Mexico), penaeid shrimp (Peneidae) and crustaceans predominate in the stomach contents of fish, decreasing during the dry season, which corresponds to December, January, and February in the NQL.

Some studies demonstrate the variation in the stomach contents of the main component species of the *Cachirra* event (Table 8) such as the mugilids *Mugil curema*, *M. incilis*, and *M. liza*, which feed mainly on phytoplankton and secondarily on debris. *Mugil curema* exhibits the highest consumption of phytoplankton among the three species. These results are similar to those reported by Osorio-

Dualiby (2016). Franco & Bashirullah (1992) reported that *M. curema* feeds preferentially on benthic diatoms, organic debris, inorganic fine sediments, and dinoflagellates. Gómez-Canchong *et al.* (2004) indicated that *M. incilis* has a high consumption of detritus, followed by phytoplankton and a very low consumption of zooplankton. Bustos & Pérez (2003) and Cogua *et al.* (2013) indicated that *M. incilis* preferably consumes centric diatoms and pennadas and that *Mugil liza* showed a high consumption of phytoplankton and a low consumption of detritus.

## CONCLUSIONS

Climatological, physicochemical, and food availability variables in the dry season exert significant effects on the composition and mortality of fish species in the NQL. These variables determine a sequence of mortality due to the progressive increase in salinity known as the *Cachirra* event. Mugilidae is a family with a higher number of species resistant to salinity increases, which is due to its great osmotic potential and better nutritional status. Most of the components of the *Cachirra* event are in juvenile stages. Their length-weight relationship can vary according to sex, sexual maturity, and food intake.

The mineralization of the Navío Quebrao lagoon is affected by different climatic factors (winds, hours of illumination, precipitation, evapotranspiration, tides, solar brightness) and hydrological factors (discharge from the river, current, and tides), as well as by the winds, high temperatures, salinity increases, and accelerated clogging by transport and dumping of sediments by its tributaries, the latter being the most important and meriting the implementation of public strategies that lead to mitigating the felling of trees and extractive activities of the Camarones riverbed, considering that the *Cachirra* event plays an important role in the cultural identity of the inhabitants of Camarones and serves as sustenance for the economy of the indigenous communities located in their surroundings.

## FUNDING

This paper is the result of the research project titled *Environmental, biological, and fishing factors influencing fish mortality and development of the Cachirra event, Navío Quebrao Lagoon*, which was funded by the Research Center of Universidad de La Guajira.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the indigenous communities settled around the Navío Quebrao Lagoon and the residents of the Camarones village for providing invaluable information about the *Cachirra* event and the various ways to prepare these fish.

## REFERENCES

- [Al-Khshali, 2017] Al-Khshali, M. S. (2017). Effect of Salinity on Feed Conversion Rate, Feed Conversion Efficiency, Protein Intake and Efficiency of Protein Utilization Ratio in Common Carp *Cyprinus Carpio*. *American Journal of Life Sciences. Special Issue: Environmental Toxicology*, 5(3-1), 30-35. <https://www.sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo?journalid=118&doi=10.11648/j.ajls.s.2017050301.15> ↑Ver página 20
- [Alcocer (1997)] Alcocer, J. (1997). Biodiversidad y lagos salinos. *Biodiversitas*, 3(16), 7-14. <https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/1405.pdf> ↑Ver página 33
- [Almeida, 2003] Almeida, P. R. (2003). Feeding ecology of *Liza ramada* (Risso, 1810) (Pisces, Mugilidae) in a south-western estuary of Portugal. *Estuarine, Coastal, and Shelf Science*, 57(1-2), 313-323. [https://doi.org/10.1016/s0272-7714\(02\)00357-8](https://doi.org/10.1016/s0272-7714(02)00357-8) ↑Ver página 20
- [Alonso, 2006] Alonso, A. (2006). Valoración de la degradación ambiental y efectos ecotoxicológicos sobre la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares. *Ecosistemas*, 5(2), 101-105. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/512/488> ↑Ver página 29
- [Annichiarico & Guzmán, 2006] Annichiarico, N. & Guzmán, J. (2006). *Diseño de un sistema de monitoreo e implementación de un modelo de simulación de balance hídrico y salinidad de la laguna costera Navío Quebrado, La Guajira colombiana* [Undergraduate thesis, Universidad de la Guajira]. ↑Ver página 20
- [APHA, AWWA, & WEF, 2012] APHA, AWWA, & WEF. (2012). Standard methods for the examination of water and wastewater (22 nd ed.). American Public Health Association. ↑Ver página 22, 23
- [Arjonilla & Blasco (2003)] Arjonilla, M., & Blasco, J. (2003). Análisis de nutrientes en aguas estuáricas. Efecto de la salinidad. *Ciencias Marinas*, 29(4), 389-395. <https://doi.org/10.7773/cm.v29i4.177> ↑Ver página 31
- [Bedoya, 2004] Bedoya, C. J. (2004). *Caracterización de la pesquería artesanal en la laguna Navío Quebrado. departamento de la Guajira, Caribe Colombiano* [Undergraduate thesis, Universidad Jorge Tadeo Lozano]. <http://hdl.handle.net/20.500.12010/1359> ↑Ver página 20
- [Botero-Arango & Castaño-Rivera (2005)] Botero-Arango, J., & Castaño-Rivera, F. (2005). Inducción de la madurez gonadal del pargo palmero *lutjanus analis* (pisces: lutjanidae) mediante la aplicación de un fotoperíodo artificial de acondicionamiento. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 34, 69-79. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2005.34.0.234> ↑Ver página 33

- [Bravo *et al.* (2009)] Bravo, E., Eslava, N., & González, L. (2009). Crecimiento y mortalidad natural del pez *Haemulon aurolineatum* (Teleostei: Haemulidae) del suroeste de la isla de Margarita, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 57(3), 699-706. <https://doi.org/10.15517/rbt.v57i3.5485> ↑Ver página 32
- [Bueno *et al.*, 2019] Bueno, S. E., Marceleño, S., Nájera, O., & De Haro, R. (2019). Implementación del método de escasez en la determinación de la huella hídrica en la zona costera de San Blas, México. *Revista Tecnura*, 23(62), 45-54. <https://doi.org/10.14483/22487638.15796> ↑Ver página 29
- [Bustos & Pérez (2003)] Bustos, D., & Pérez, D. (2003). Ecología trófica y algunos aspectos biológicos de las especies pertenecientes a las familias Mugilidae y Centropomidae en la laguna de Navío Quebrado, Guajira, Caribe colombiano [Undergraduate thesis, Universidad Jorge Tadeo Lozano]. <http://hdl.handle.net/20.500.12010/1344> ↑Ver página 34
- [Camargo & Alonso (2006)] Camargo, J. A., & Alonso, Á. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment International*, 32(6), 831-849. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.05.002> ↑Ver página 22
- [CCME, 2010] Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). (2010). *Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Ammonia*. Canadian Environmental Quality Guidelines. <https://ccme.ca/en/res/ammonia-en-canadian-water-quality-guidelines-for-the-protection-of-aquatic-life.pdf> ↑Ver página 29
- [Cardona, 2001] Cardona, L. (2001). Non-competitive coexistence between Mediterranean grey mullet: evidence from seasonal changes in food availability, niche breadth and trophic overlap. *Journal of Fish Biology*, 59(3), 729-744. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2001.tb02376.x> ↑Ver página 20
- [Castro-Aguirre (1982)] Castro-Aguirre, J. L. (1982). Los peces de las lagunas Oriental y Occidental, Oaxaca, México y sus relaciones con la temperatura y salinidad. II. Análisis multifactorial. *Anales de La Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 26(1-4), 85-100. <https://biblat.unam.mx/hevila/AnalesdeLaEscuelaNacionaldeCienciasBiologicas/1982/vol26/no1-4/5.pdf> ↑Ver página 33
- [Cervigón & Fischer, 1979] Cervigón, F., & Fischer, W. (1979). *Infopesca. Catálogo de especies marinas de interés económico actual o potencial para América Latina. Parte I. Atlántico Centro y Suroccidental (SIC/79/1)*. FAO/UNDP. ↑Ver página 22
- [Chasqui-Velasco *et al.*, 2017] Chasqui-Velasco, L., Polanco, A., Acero, A., Mejía-Falla, P., Navia, A., Zapata L. A., & Caldas, J. P. (Eds). (2017). *Libro Rojo de peces marinos de Colombia*. Instituto de In-

- investigaciones Marinas y Costeras Invemar, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. ↑Ver página 22
- [Chung, 2001] Chung, M. (2001). Adaptabilidad de una especie eurihalina *Oreochromis mossambicus* (Peters, 1852) en aguas saladas de la zona nororiental de Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 49(1). [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442001000100002](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442001000100002) ↑Ver página 31
- [Cogua *et al.* (2013)] Cogua, P., Jiménez-Reyes, M. F. & Duque, G. (2013). Relaciones tróficas de cinco especies de peces de interés comercial en la bahía de Cartagena, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 42(1), 185-192. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2013.42.1.68> ↑Ver página 34
- [Costa *et al.*, 2008] Costa, L. D. F., Miranda-Filho, K. C., Severo, M. P., & Sampaio, L. A. (2008). Tolerance of juvenile pompano *Trachinotus marginatus* to acute ammonia and nitrite exposure at different salinity levels. *Aquaculture*, 285(1-4), 270-272. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.017> ↑Ver página 31
- [Crosetti & Cataudella, 1995] Crosetti, D., & Cataudella, S. (1995). Grey mullet culture. In C.E. Nash (Ed.) *World Animal Science 34B: Production of Aquatic Animals* (pp. 271-288). Elsevier. ↑Ver página 20
- [Lanza-Espino *et al.* (2020)] de la Lanza-Espino., G. Hernández-Pulido., S., & Gutiérrez-Mendieta., F. J. (2020). Inconvenientes del uso de promedios de parámetros fisicoquímicos no conservativos, ejemplos de caso lagunas costeras mexicanas. *Revista Tecnura*, 24(65), 85-101. <https://doi.org/10.14483/22487638.15973> ↑Ver página 19
- [dos Santos, 1978] dos Santos, E. D. (1978). *Dinâmica de populações aplicada à pesca e piscicultura*. Editora Hucitec edusp. ↑Ver página 23
- [EEA, 2005] European Environmental Agency (EEA) (2005). *Source apportionment of nitrogen and phosphorus inputs into the aquatic*. Report N° 7. EEA. ↑Ver página 29
- [Fernández-Delgado *et al.*, 2000] Fernández-Delgado, C. Drake, P. Arias, A.M. & García-González, D. (2000). Peces de Doñana y su entorno. Organismo autónomo de parques nacionales. Editorial OAPN. ↑Ver página 20
- [Franco & Bashirullah (1992)] Franco, L., & Bashirullah, K. M. B. (1992). Alimentación de la lisa (*Mugil curema*) del Golfo de Cariaco-Estado Sucre, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 10(2), 219-238. <https://baixardoc.com/preview/alimentacion-de-la-lisa-mugil-curema-del-golfo-de-cariaco-estado-sucr\-venezuela-5cdf1a12193ee> ↑Ver página 33, 34

- [Froese, 2006] Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4), 241-253. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x> ↑Ver página 23
- [Fuentes & Massol-Deyá, 2002] Fuentes, F., & Massol-Deyá, A. (2002). *Manual de laboratorios: ecología de microorganismos*. Editorial Universidad de Puerto Rico. ↑Ver página 29
- [Gómez-Canchong *et al.* (2004)] Gómez-Canchong, P., Manjarrés, L.M., Duarte, L. O., & Altamar, J. (2004). *Atlas pesquero del área norte del mar Caribe de Colombia*. Universidad del Magdalena. ↑Ver página 34
- [Guerra & Marín (2002)] Guerra, A. & Marín, G. (2002). Algunos aspectos biológicos y pesqueros del lebranche (*Mugil liza*) en la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 20(3), 287-305. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-72692002000300002](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692002000300002) ↑Ver página 33
- [Guevara *et al.* (2007)] Guevara, E., Álvarez, H., Mascaró, M., Rosas, C., & Sánchez, A. (2007). Hábitos alimenticios y ecología trófica del pez *Lutjanus griseus* (Pisces: Lutjanidae) asociado a la vegetación sumergida en la Laguna de Términos, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical*, 55(3-4), 989-1004. <https://doi.org/10.15517/rbt.v55i3-4.5972> ↑Ver página 33
- [Huxley, 1950] Huxley, J. S. (1950). Relative Growth and Form Transformation. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 137(889), 465-469. <https://doi.org/10.1098/rspb.1950.0055> ↑Ver página 23
- [IDEAM (2017)] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. (IDEAM) (2017). *Reportes climáticos zona Navío Quebrao 2016-2017*. IDEAM. ↑Ver página 22, 25
- [Molina-Ocampo, 1993] Molina-Ocampo, R. (1993). *Hábitos alimenticios de peces pelágicos menores de importancia comercial del Golfo de California, México* [Master's thesis, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey]. ↑Ver página 23
- [Molina *et al.*, 2020] Molina, A., Duque, G., & Cogua, P. (2020). Influences of environmental conditions in the fish assemblage structure of a tropical estuary. *Marine Biodiversity*, 50(1), 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12526-019-01023-0> ↑Ver página 31
- [Nardini, 2005] Nardini, A. (2005). *Documentos de modelación matemática para la Laguna Navío Quebrao. Riohacha, La Guajira*. Ricerca e Corporazioni. ↑Ver página 20
- [Negri (2000)] Negri, S. (2000). *Informe Final Ingeniería Hidráulica*. Proyecto Prolagunas, Ricerca e Cooperazione. ↑Ver página 19, 20

- [Oliva-Paterna *et al.*, 2006] Oliva-Paterna, F. J., Andreu, A., Minano, P. A., Verdiell, D., Egea, A., de Maya, J. A., Ruiz-Navarro, A., García-Alonso, J., Fernández-Delgado, C., & Torralva, M. (2006). -O-Y fish species richness in the littoral shallows of the meso-saline coastal lagoon (Mar Menor, Mediterranean coast of the Iberian Peninsula). *Journal of Applied Ichthyology*, 22(3), 235-237. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00717.x> ↑Ver página 20
- [Osorio-Dualiby (1985)] Osorio-Dualiby, D. (1985). *Ecología trófica de Mugil curema, M. incilis y M. Liza (Pisces: Mugilidae) en la Ciénaga Grande de Santa Marta*. [Undergraduate thesis, Universidad Nacional de Colombia]. ↑Ver página 33
- [Osorio-Dualiby (2016)] Osorio-Dualiby, D. (2016). Ecología trófica de *Mugil curema, M. incilis y M. liza* (Pisces: Mugilidae) en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano. I. Análisis Cualitativo y Cuantitativo. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 18, 446. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.1988.18.0.446> ↑Ver página 33
- [Partridge & Jenkins (2002)] Partridge, G. J., & Jenkins, G. I. (2002). The effect of salinity on growth and survival of juvenile black bream (*Acanthopagrus butcheri*). *Aquaculture*, 210(1-4), 219-230. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00817-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00817-1) ↑Ver página 29
- [Pauly (1984)] Pauly, D. (1984). *Fish populations dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators*. WorldFish. ↑Ver página 24
- [Pérez & Ceballos, 2002] Pérez, Y. & Ceballos, J. M. (2002). *Formulación y validación social de una propuesta de reglamentación en el aprovechamiento artesanal sostenible del recurso camarón (Pennaeus sp.) en el Santuario de Fauna y Flora Los Flamencos, Caribe Colombiano* [Undergraduate thesis, Universidad de La Guajira]. ↑Ver página 20
- [Raz-Guzmán (1995)] Raz-Guzmán, A. (1995). *Caracterización trófica de los componentes dominantes de las comunidades bentónicas en Laguna de Términos, Campeche y en la plataforma continental adyacente* [Unpublished doctoral thesis, Universidad Autónoma de México]. ↑Ver página 33
- [Ricerca e Cooperazione - Corpoguaajira, 2001] Ricerca e Cooperazione - Corpoguaajira. (2001). *Proyecto Prolagunas. Protección y recuperación de humedales costeros del Caribe Colombiano. La Laguna de Navío Quebrado, el ambiente y su gente*. Universidad Jorge Tadeo Lozano. ↑Ver página 19
- [Román, 1979] Román, B. (1979). Peces Marinos de Venezuela: claves dicotómicas de los géneros y las especies. *Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*, 39(111-112), 5-408. [http://flasa.msinfo.info/portal/bases/biblo/texto/peces\\_marinos\\_venezuela.pdf](http://flasa.msinfo.info/portal/bases/biblo/texto/peces_marinos_venezuela.pdf) ↑Ver página 22
- [Romero-Berny *et al.*, 2020] Romero-Berny, E. I., Velázquez-Velázquez, E., Schmitter-Soto, J. J., & Salgado-Ugarte, I. H. (2020). The influence of habitat on the spatio-temporal dynamics of fish



- assemblages in a lagoon-estuarine system of the Mexican Pacific. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 48(1), 23-37. <https://doi.org/10.3856/vol48-issue1-fulltext-2349> ↑Ver página 31
- [Rosado & Castro-Echavez, 2011] Rosado, J., & Castro-Echavez, F. L. (2011). *Comportamiento de las variables fisicoquímicas en los diferentes recursos hídricos del departamento de la Guajira*. Editorial Gente Nueva. ↑Ver página 30
- [Rosado et al., 2011] Rosado, J., Díaz, L., & Márquez, E. (2011). *La Laguna y La Cachirra*. Editorial Gente Nueva. ↑Ver página 19, 23
- [Rosado & Márquez, 2004] Rosado, J. & Márquez, E. (2004). *Efectos climáticos y fisicoquímicos sobre la formación y mortalidad de Cachirra, Laguna Navío Quebrao, LNQ, Camarones* [Conference presentation]. VI seminario internacional de Limnología, Montería, Colombia. ↑Ver página 20
- [Rosado & Cortés, 2006] Rosado, J., & Cortés, L. (2006). Aspectos florísticos y ecológicos de la Laguna Navío Quebrao, Camarones, Riohacha, La Guajira, Colombia. *Ciencia e Ingeniería Aplicada*, 1, 9-21. ↑Ver página 20
- [Rosas-Luis et al., 2016] Rosas-Luis, R., Andrade, P., Avila-Tumbaco, A., & Pincay-Espinoza, J. (2016). *Manual para la identificación de peces óseos marino-costeros del Pacífico ecuatoriano basado en esqueletos axiales*. Manta, Manabí, Ecuador. Editorial Mar abierto. ↑Ver página 22
- [Ruiz & Ramírez (2002)] Ruiz, J.A. & Ramírez, J. G. (2002). *Valoraciones preliminares de los principales componentes bióticos y fisicoquímicos en la Laguna Navío Quebrao (Guajira, Colombia): Informe final*. Ricerca e Cooperazione – European Union – Corpoguajira. ↑Ver página 19, 23, 33
- [Sánchez-Hernández et al., 2010] Sánchez-Hernández, J. Servia, M. Vieira-Lanero, R. & Cobo, F. (2010). Evaluación del lavado gástrico como herramienta para el análisis de la dieta en trucha común. *Limnetica*, 29(2), 369-378. <https://doi.org/10.23818/limn.29.30> ↑Ver página 23
- [Schofield et al., 2011] Schofield, P. J., Peterson, M. S., Lowe, M. R., Brown-Peterson, N. J., & Slack, W. T. (2011). Survival, growth and reproduction of non-indigenous Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758). I. Physiological capabilities in various temperatures and salinities. *Marine and Freshwater Research*, 62(5), 439-449. <https://doi.org/10.1071/MF10207> ↑Ver página 20
- [SENA & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 1998] SENA & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (1998). *Diagnóstico rural rápido, Santuario de Fauna y Flora los Flamencos, corregimiento de Camarones, Riohacha*. SENA, MADS. ↑Ver página 30
- [Serrano et al. (2011)] Serrano, X., Serafy, J., & Grosell, M. (2011). Osmoregulatory capabilities of the gray snapper, *Lutjanus griseus*: Salinity challenges and field observations. *Marine and Fresh-*

*water Behaviour and Physiology*, 44(3), 185-196. <https://doi.org/10.1080/10236244.2011.585745> ↑Ver página 31

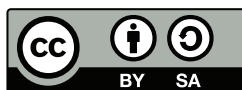
[Shikano *et al.*, 2001] Shikano, T., Chiyokubo, T., & Taniguchi, N. (2001). Effect of inbreeding on salinity tolerance in the guppy (*Poecilia reticulata*). *Aquaculture*, 202(1-2), 45-55. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00568-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00568-3) ↑Ver página 20

[Simier *et al.*, 2004] Simier, M., Blanc, L., Aliaume, C., Diouf, P.S., & Albaret, J. J. (2004). Spatial and temporal structure of fish assemblages in an “inverse estuary”, the Sine Saloum system (Senegal). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 59(1), 69-86. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2003.08.002> ↑Ver página 20

[Smyth & Elliott (2016)] Smyth, K., & Elliott, M. (2016). Effects of changing salinity on the ecology of the marine environment. In M. Solan & N. Whiteley (Eds.), *Stressors in the Marine Environment. Physiological and ecological responses; societal implications* (pp. 161-174). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198718826.003.0009> ↑Ver página 31

[Stone *et al.*, 2014] Stone, D. A. J., Roberts, S. D., & Krishna-Lee, C. (2014). Hyper-Saline Conditions Affect Growth, Osmoregulation and Survival of Fingerling and Juvenile Yellowtail Kingfish. *Seriola Lalandi. Journal of Aquaculture and Marine Biology*, 1(1), 19-27. <https://doi.org/10.15406/jamb.2014.01.00005> ↑Ver página 31

[Strydom, 2003] Strydom, N. A. (2003). Occurrence of larval and early juveniles fishes in the surf zone adjacent to two intermittently open estuaries, South Africa. *Environmental Biology of Fishes*, 66(4), 349-359. <https://doi.org/10.1023/a:1023949607821> ↑Ver página 20



## Metodología de desarrollo de técnicas de agrupamiento de datos usando aprendizaje automático

### Development Methodology of Techniques for Data Clustering Using Machine Learning

Ghiordy Ferney Contreras Contreras <sup>1</sup>, Byron Medina Delgado <sup>2</sup>, Brayan René Acevedo Jaimes <sup>3</sup>, Dinael Guevara Ibarra <sup>4</sup>

Fecha de Recepción: 09 de septiembre de 2020

Fecha de Aceptación: 07 de febrero de 2022

**Cómo citar:** Contreras-Contreras., G.F. Medina-Delgado., B. Acevedo-Jaimes., B.R y Guevara-Ibarra., D. (2022) Metodología de desarrollo de técnicas de agrupamiento de datos usando aprendizaje automático. *Tecnura*, 26(72), 42-58. <https://doi.org/10.14483/22487638.17246>

## Resumen

**Contexto:** Hoy en día, el uso de grandes cantidades de datos adquiridos desde diversos dispositivos y equipos electrónicos, ópticos u otra tecnología de medición, generan un problema de análisis de datos en el momento de extraer la información de interés desde las muestras adquiridas. En ellos, agrupar correctamente los datos es necesario para obtener información relevante y precisa para evidenciar el fenómeno físico que se desea abordar.

**Metodología:** El trabajo presenta la evolución de una metodología de cinco etapas para el desarrollo de una técnica de agrupamiento de datos, a través de técnicas de aprendizaje automático e inteligencia artificial. Esta se compone de cinco fases denominadas análisis, diseño, desarrollo, evaluación y distribución, con estándares de código abierto y fundamentadas en los lenguajes unificados para la interpretación del *software* en ingeniería.

**Resultados:** La validación de la metodología se ha desarrollado mediante la creación de dos métodos de análisis de datos, con un tiempo de ejecución promedio de 20 semanas, obteniendo valores de precisión 40 % y 29 % superiores con los algoritmos clásicos de agrupamiento de datos de *k-means* y *fuzzy c-means*. Adicionalmente, se encuentra una metodología de experimentación masiva sobre pruebas unitarias automatizadas, las cuales lograron agrupar, etiquetar y validar 3,6 millones de muestras, acumulado un total de 100 ejecuciones de grupos de 900 muestras, en aproximadamente 2 horas.

<sup>1</sup>Ingeniero electrónico. Estudiante de Maestría en Ciencias en el Centro de Investigación de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Guadalajara, México.

Email: [ghiordyferneycc@ufps.edu.co](mailto:ghiordyferneycc@ufps.edu.co)

<sup>2</sup>Ingeniero electrónico, magíster en Ingeniería Electrónica, doctor en Ciencias. Profesor de la Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia.

Email: [byronmedina@ufps.edu.co](mailto:byronmedina@ufps.edu.co)

<sup>3</sup>Ingeniero electrónico, magíster en Ingeniería Eléctrica. Investigador Computational Intelligence Laboratory, LITC, Belo Horizonte, Brasil.

Email: [payo.rene@ufmg.br](mailto:payo.rene@ufmg.br)

<sup>4</sup>Ingeniero electricista, especialista en Teleinformática, magíster en Ingeniería Electrónica, doctor en Ingeniería. Profesor de la Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

Email: [dinaelgi@ufps.edu.co](mailto:dinaelgi@ufps.edu.co)

**Conclusiones:** Con los resultados de la investigación se ha determinado que la metodología pretende orientar el desarrollo sistemático de técnicas de agrupamiento de datos, en problemas específicos para bases integradas por muestras con atributos cuantitativos, como los casos de parámetros de canal en un sistema de comunicaciones o la segmentación de imágenes usando los valores RGB de los píxeles; incluso, cuando se desarrolla *software* y *hardware*, la ejecución será más versátil que en casos con aplicaciones teóricas.

**Palabras clave:** análisis de datos, automatización, algoritmo, *software* de código abierto.

**Financiamiento:** Universidad Francisco de Paula Santander y Universidade Federal de Minas Gerais.

---

## Abstract

**Context:** Today, the usage of large amounts of data acquired from various electronic, optical, or other measurement devices and equipment brings the problem of data analysis at the time of extracting the aimed information from the acquired samples. Where to correctly group the data is necessary to obtain relevant and accurate information to evidence the physical phenomenon that you want to address.

**Methodology:** The work presents the development and evolution of a five-stage methodology for the development of a data grouping technique, using machine learning techniques and artificial intelligence. It consists of five phases called analysis, design, development, evaluation, and distribution, using open-source standards, and based on unified languages for the interpretation of software in engineering.

**Results:** The validation of the methodology was developed through the creation of two data analysis methods, with an average execution time of 20 weeks, obtaining precision values 40 % and 29 % higher with the classic data grouping algorithms of k-means and fuzzy cmeans. Additionally, there is a massive experimentation methodology on automated unit tests, which managed to group, label, and validate 3.6 million samples accumulated in the total of 100 group runs of 900 samples in approximately 2 hours.

**Conclusions:** Finally, with the results of the research was determined that the methodology intends to guide the systematic development in specific problems in quantitative databases, such as the channel parameters in a communication system or the segmentation of images using the RGB values of the pixels. Even when software is developed both hardware, the execution will be more versatile than in cases with theoretical applications.

**Keywords:** data analysis, automation, algorithm, open-source software.

**Financing:** Universidad Francisco de Paula Santander and Universidade Federal de Minas Gerais.

---

## Tabla de Contenidos

	<b>Página</b>
<b>Introducción</b>	<b>44</b>
<b>Metodología</b>	<b>45</b>
<b>Análisis</b> . . . . .	45
<b>Variabes</b> . . . . .	45
<b>Límites</b> . . . . .	46

---

Diseño . . . . .	47
Métodos . . . . .	47
Conectividad . . . . .	47
Materiales . . . . .	47
Desarrollo . . . . .	48
Evaluación . . . . .	49
Entrega . . . . .	50
<b>Resultados</b>	<b>51</b>
Agrupamiento de datos no supervisado . . . . .	51
Sistema de adquisición de datos . . . . .	53
<b>Conclusiones</b>	<b>55</b>
<b>Financiamiento</b>	<b>55</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>55</b>
<b>Referencias</b>	<b>55</b>

## INTRODUCCIÓN

El área de reconocimiento de patrones poblacionales en bases de datos aborda los problemas de vanguardia en la industria y la automatización de procesos (Babic *et al.*, 2008); se presenta como una herramienta de la inteligencia artificial (IA), acompañando el aprendizaje automático y la visión por computadora. Estas áreas han logrado avances en materia de diagnóstico, predicción e identificación de las características cuantitativas o cualitativas con las cuales automatizar procesos (Jain *et al.*, 1999). La IA, dentro de su rango de aplicaciones (Hernández *et al.*, 2021, Luque *et al.*, 2020, Ramírez-Escobar *et al.*, 2021, Giral *et al.*, 2021, Sánchez-Quintero *et al.*, 2021), permite tomar decisiones objetivamente con aprendizaje automático, basadas en las variables cuantitativas de un proceso industrial, y en la experiencia reciente de las entradas y salidas del proceso (Akyol, 2020).

En Colombia, la Superintendencia de Industria y Comercio está implementando técnicas populares de *machine learning* (ML) para la clasificación de sus clientes, manipulación de datos y movimientos de la economía (Moreno, 2009). Además, aplica la IA a problemas ambientales y de optimización del recurso hídrico en la ciudad de Bogotá (Solano Meza *et al.*, 2019). Otros trabajos llegan a usar las herramientas tecnológicas emergentes en problemas de simulación abordados en la formación de pregrado de electrónica analógica (Ramírez-Carvajal *et al.*, 2019) y sistemas de radiocomunicaciones terrestres (Báez Perez y Soto-Vergel, 2019).

En el trabajo presentado por Gasca *et al.*, 2014 se propone una metodología para el desarrollo de aplicaciones móviles con salidas rápidas al mercado, a partir de metodologías ágiles. De igual

forma, (Molina *et al.*, 2010) presentan la relación entre el analista de requerimientos y los interesados comercialmente en el proyecto, usando el lenguaje gráfico *business process management notation* (BPMN), definiendo las necesidades inmediatas del cliente o consumidor, soportándose sus proposiciones lógicas con el estándar *unified modelling language* (UML) y evitando la inconsistencia del modelado entidad/cliente (Lucas *et al.*, 2009).

Actualmente, se cuenta con técnicas de aprendizaje automático para aplicaciones de ingeniería, como el pronóstico de radiación solar (Diagne *et al.*, 2013), en ciencias exactas, con la caracterización de materiales de manera automatizada (Ong *et al.*, 2019), donde el objetivo consiste en extraer información de similitud cuantitativa a través de la matriz de distancias para agrupar las muestras, sin información *a priori* de la similitud con la cual determinar los resultados que se deberían obtener en un proceso entrada/salida de clasificación (Jaimes *et al.*, 2017).

Este trabajo presenta la propuesta de una metodología para el desarrollo de técnicas de agrupamiento de datos, reconociendo los aspectos de desarrollo técnico de las metodologías ágiles y rápida salida al mercado (Amaya Balaguera, 2015), con la cual se quiere evidenciar la importancia de definir los factores medibles y recursivos en cada fase de la investigación de agrupamiento de datos (Gargiulo *et al.*, 2018), reduciendo el tiempo en la toma de decisiones y elaborando la revisión automática.

## METODOLOGÍA

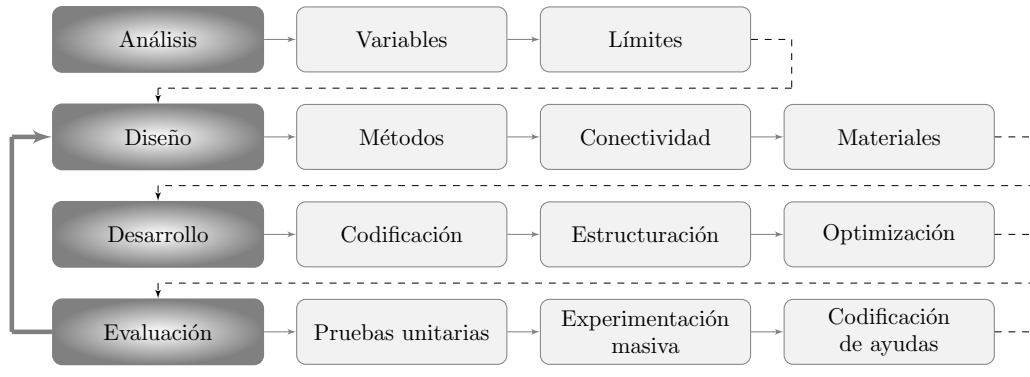
El trabajo se fundamenta en la experiencia de las investigaciones previas en reconocimiento de patrones, donde la evaluación de la metodología ha sido medida a través de tiempos de ejecución consumidos para entregar un resultado o producto. Al obtener estos resultados, se aplicaron índices de error y precisión para validar la calidad de estos con la metodología enfocada a la salida al mercado del producto, comparando los resultados con otros enfoques y trabajos publicados en la literatura. Para esto, se han definido cinco etapas de ejecución presentadas en la figura 1 de manera metódica: análisis, diseño, desarrollo, evaluación y distribución. Debido a que cada aplicación debe enmarcarse en el desarrollo ágil y eficaz (Gasca *et al.*, 2014), reduciendo los tiempos de salida al mercado tanto como sea posible.

De esta manera, cada etapa describe actividades enmarcadas en procesos metodológicos, ordenados y con un objetivo claro en cada una de ellas, es decir, con metas claras que el equipo de trabajo pueda identificar las actividades faltantes para completar la etapa.

### Análisis

#### *Variables*

En el tratamiento de datos inicialmente se describe el conjunto de datos con el objeto de obtener las variables (o atributos) con las que cuenta, además del número de muestras allí contenidas. Para



**Figura 1.** Estructura general de la metodología

**Fuente:** elaboración propia.

esto, la estadística descriptiva ha dispuesto las herramientas básicas para esta tarea, como la media aritmética, el valor mínimo, el valor máximo, los cuartiles y la desviación estándar, describiendo los datos en general. Posteriormente, se profundiza en el análisis estadístico con los histogramas, en los cuales se encuentran las distribuciones o forma del conjunto de datos.

### **Límites**

En consecuencia, bajo mediciones reales hay consideraciones técnicas afines con la estrecha relación de las medidas con la teoría física, de la cual se extraen los límites o criterios que deben seguir las muestras.

Teniendo en cuenta los límites y variables, se proponen los siguientes pasos para analizar el conjunto de datos abordado:

- Identificar el formato digital del archivo, la cantidad de muestras y atribuciones, además de depurar las muestras, es decir, aquellos datos que constituyen errores de formato o lectura deben ser retirados del conjunto de datos.
- Seguidamente se establece la relación teórica, que algunos autores han descrito previamente sobre las variables, en el caso de contar con esta. En caso contrario, solo se usan los umbrales máximos y mínimos de medición definidos por el equipo de medición para la adquisición de los datos.
- Finalmente, al contar con las variables, la relación existente entre ellas, así como también, los umbrales teóricos y prácticos que presentan los datos, se procede con la normalización de los datos bajo los criterios previamente extraídos desde el aspecto real y el desarrollo teórico.

## Diseño

Tomando una arquitectura modular para el diseño del sistema de agrupamientos de datos, es necesario ordenar los métodos, así como las funcionalidades de cada uno y la conectividad o flujo continuo de la información entre ellos. Todo esto depende de la técnica de agrupamiento, debido a que en la literatura se presentan varios enfoques desde el particional como en el trabajo de [Zhu y Ma, 2018](#); el jerárquico, en el trabajo de ([Gilbert et al., 2020](#)), y el no supervisado, en los trabajos de ([Kwon et al., 2018](#)), ([Mwangi et al., 2014](#)) y ([Tafsast et al., 2017](#)).

## Métodos

A medida que aumenta la complejidad para agrupar datos debido a su naturaleza, puede existir un mayor número de etapas que componen la metodología. La mayoría de las veces, estas etapas son destinadas al pre- o posprocesamiento de los datos. De forma similar, en esta metodología se proponen las siguientes etapas: definir un módulo de lectura, preprocesamiento y valoración del conjunto de datos, estructurar un módulo para llevar el enfoque de agrupamiento que se desarrolla, evaluar, almacenar e interpretar los resultados usando medidas extraídas de la matriz de distancias.

## Conectividad

Con los métodos generales del enfoque metodológico, adicionalmente, se debe conectar en secuencia idónea para evitar la pérdida de información o manipulación de esta, al tener solo tres métodos generales, cada uno de estos presenta más módulos, incluso para cualquier enfoque de agrupamiento usado.

## Materiales

Por último, se enlistan los materiales de *software* y *hardware* disponibles para el desarrollo, teniendo en cuenta que, al elevar los costos de desarrollo, afectará directamente los tiempos para culminar el producto. Para tal caso se recomienda:

- Realizar el inventario de las herramientas de *hardware*, como computadores con su configuración completa de periféricos de entrada (ratón, teclados) y periféricos de salida (monitores o proyectores, incluso adaptadores USB a tarjetas de desarrollo), tarjetas de video y sistemas basados en microcontroladores.
- Realizar inventario de las herramientas de *software*, generalmente para el caso de agrupamiento de datos las opciones como usar lenguajes R o Python, permiten que la mayor parte de los procedimientos en agrupamiento de datos sean abordados con las librerías de *scikit-learn*, *SciPy*, *Pandas*, *Seaborn*, *NumPy*, entre otros.



## Desarrollo

Inicialmente, cuando se desarrollan aplicaciones de *software*, se integran varias personas en el equipo de trabajo; ellas deben contribuir ordenadamente y con criterios grupales, bajo los cuales usar herramientas como *GitHub* o *GitLab*, permiten un flujo de desarrollo secuencial y escalable, cada cambio queda registrado históricamente en el repositorio web de las herramientas, además de la manipulación de varias configuraciones de máquina o sistemas operativos diferentes, para los roles de cada miembro del equipo. Por esta razón, antes de codificar se debe estructurar la ubicación del enfoque con el objeto de desarrollar eficazmente sobre un trayecto claro, donde la posterior fase de codificación consiste en definir un módulo principal para cada archivo ejecutable con una tarea específica. Para esto, se usa archivos ejecutables con funciones específicas (*single responsibility principle*, SRP), pero añadiendo dentro de cada una los umbrales de ejecución requeridos. Además, se menciona la importancia de abordar un paradigma de programación específico, al nivel de la abstracción del enfoque, teniéndose generalmente los siguientes paradigmas para esta tarea, entre los cuales se enmarca la mayor cantidad de aplicaciones de *software*:

- *Paradigma de programación estructurada*: abordado en aplicaciones sencillas, donde el flujo de la información es lineal y adicionalmente elaborado bajo módulos individuales de ejecución para cada una de las tareas desarrolladas.
- *Paradigma de programación orientada a objetos*: para aplicaciones donde los datos presentan variedad de atribuciones operativas, clasificaciones entre grupos, y relaciones indirectas de cada una de estas; generalmente usado para aplicaciones cotidianas, donde los datos son ambiguos, y se requiere un mayor análisis o caracterización para agrupar las muestras a un conjunto.

Otros paradigmas de programación suelen ser combinaciones de estos o arreglos con otras metodologías de desarrollo de *software*; sin embargo, para el área de agrupamiento de datos, con la programación estructurada o procedimental es suficiente para la estructuración del enfoque, aunque no todos los conjuntos de datos se ajustan a estos.

Por último, después de aplicar los métodos de desarrollo y estructuración, se debe optimizar el enfoque de múltiples o diversas formas, para lo cual se ha planteado en la figura 2 un modelo de ejecución de cada una de las propuestas presentadas por el equipo de trabajo, donde inicialmente se elabora el concepto de la idea; dentro de una discusión (o debate) se verifica la factibilidad de esta idea con respecto a la propuesta de valor presente en el diseño, desde los cuales se deben tener presente los requerimientos de usuario o abordarla donde posteriormente se ajusta la propuesta. Una vez que la propuesta cumpla con los criterios de factibilidad, se codifica la parte que optimiza el enfoque, con el objeto de adquirir los requerimientos y debatirlos nuevamente en el comité de valoración, verificando el producto sobre estas fases hasta que cumpla los requerimientos y posteriormente distribuir el producto o desarrollo.



Figura 2. Método de refinamiento estándar bajo criterios de funcionalidad técnica o accesible

Fuente: elaboración propia.

## Evaluación

Esta sección se centra en evaluar el desempeño del enfoque mediante datos sintéticos y reales, donde cada uno presenta un comportamiento diferente, dependiendo de las situaciones teóricas planteadas para cada uno. Por esto, inicialmente se crean las rutinas de estructuración de datos sintéticos, con información preliminar suficiente para evaluar la calidad del agrupamiento, es decir, se definen los rótulos de los grupos a los cuales deben ser atribuidas cada una de las muestras. Sin embargo, la ejecución de pruebas unitarias consiste en desarrollar procesos de valoración o evaluación del código de manera automatizada, esto quiere decir que se requiere de rutinas cíclicas iterando pruebas unitarias sobre un tipo de entradas con algunos parámetros definidos previamente y bajo los cuales se establecen los cambios con el objeto de mejorar los resultados o en el caso del agrupamiento, la clasificación de las muestras (Villa Betancur y Giraldo Plaza, 2012). Por otro lado, cuando se trabaja con datos, la importancia o relevancia de los agrupamientos va con la cantidad de datos usados para la experimentación, lo que requiere abordar la experimentación masiva a través de pruebas unitarias automatizadas, teniendo en cuenta los siguientes elementos para el reporte de resultados: precisión en la predicción obtenida, complejidad computacional, especialmente la complejidad algorítmica temporal empírica, pues la espacial no pierde relevancia, pero esta va estrechamente relacionada a los requisitos mínimos de almacenamiento, ejecución simultánea con otra metodología o algoritmo propuesto en la literatura, teniendo en cuenta que sea una técnica ampliamente usada, pero con algunas limitaciones que fueron obviadas en su desarrollo.

Teniendo estos tres componentes, la validación de los resultados es enfocada a un marco comparativo, con las condiciones iniciales bajo las cuales se desarrolla, además de registrar cada experimento, para los cuales se recomienda evitar guardar variables normalizadas y enfocarse en los resultados de la valoración. Consecuentemente, se presenta el modo de ejecución para datos reales, estos son más complicados, pues no se tiene información preliminar acerca del grupo al cual debería ser atribuido (Jaimes *et al.*, 2017), además de que iterar sobre los mismos de manera masiva no tendría resultados diferentes, para lo cual se plantea usar funciones de extracción de atributos de interés con información que permita el agrupamiento, estas funciones verifican estadísticamente que se cuenta con dos o más distribuciones de datos. Consecuentemente, se conectan las funciones a modos de ex-

perimentación unitaria y automatizada, con los cuales se evalúa el conjunto de datos, que consiste en el desarrollo de pruebas unitarias, las cuales para datos reales debe ser abordado hasta conseguir resultados estables, teniendo en cuenta las atribuciones del conjunto de datos que representan peso en la formación de grupos dentro de ellos, con el objeto de iterar, posteriormente, de manera automatizada en ejecuciones masivas y registrando los dos últimos criterios usados para datos sintéticos.

Finalmente, después de elaborar las rutinas de ejecución masiva, se han encontrado varios interrogantes al abordar la metodología, donde un usuario del enfoque se preguntaría “¿Cómo evaluar un conjunto de datos?, ¿cuáles son las funciones principales?, ¿qué se debe realizar para ingresar mis datos?”. En este sentido, se elaboran ayudas como comentarios en el código, adicionando el comando *help* en el cual encontrar las instrucciones generales de ayuda, como guía para empezar a usar ágilmente el enfoque, además de reducir los tiempos para comprender el enfoque, además de la elaboración de comandos básicos y la descripción de lo que cada uno hace o cumple dentro del enfoque.

## Entrega

En todo desarrollo tecnológico actual debe incluirse instrucciones a medida que completan los módulos que lo complementan (Molina *et al.*, 2010), en el caso de los códigos, el uso de comentarios *docstrings*, para Python se dispone de un estilo de comentario como documentación del código, donde se encuentra información descriptiva de las funciones, entradas y salidas para cada uno de los métodos, además de la adicción de comentarios sugiriendo cambios comunes del código. Lo primero que se le entrega a un usuario con el producto es el manual de usuario para su ejecución inmediata, donde se encuentra la descripción general o funcionalidad base, requerimientos de máquina o prerrequisitos para usarlo, un modelo de configuración rápida, las herramientas con las que cuenta y la licencia bajo la cual la persona usa el producto. Incluso cuando el enfoque es de código abierto, hay gran variedad de licencias para regular el uso de este, en el comercio, distribución y modificación, además de la garantía, el reconocimiento y el soporte por parte de los autores (o desarrolladores), y existen las posibilidades de licencias desde la Apache hasta la ampliamente usada MIT.

Después de completar la información del manual o guía de usuario, encontramos que los códigos requieren visualizar su documentación en una plataforma de acceso público, incluso dentro del *software* añadir demasiada documentación elevara indeseablemente la complejidad espacial del enfoque y reducirá el rango de máquinas que usarían el enfoque. Herramientas como la plataforma de *GitHub* o *GitLab* permiten ampliar la información acerca del desarrollo, incluso elaborando vídeos conectados a YouTube con el tutorial de inicio rápido del enfoque, innumerables referencias, imágenes y otros trabajos relacionados. Por otro lado, las plataformas mencionadas previamente parecen ser desconocidas por el público en general, pues la mayoría usa únicamente navegadores de internet para encontrar soporte acerca de aplicaciones de *software*, donde una solución ágil en el desarrollo de una plataforma web para visualizar el código sería Sphinx, donde en el caso de Python, se ajusta a la

sintaxis de los *docstrings* y comentarios para crear la documentación, con una interfaz gráfica amigable al usuario e información precisa. Finalmente, para elegir el tipo de licencia se han propuesto tres, desde la licencia MIT ampliamente citada para el reconocimiento del autor y su trabajo dentro de un proyecto aún más grande, siguiendo con la familia de licencias GNU que permiten acceso público y variando en términos de uso comercial, según sea el caso, y llegando la licencia Apache, de la cual generalmente se exalta el producto y su aplicabilidad, reduciendo las limitaciones comerciales.

## RESULTADOS

Bajo la metodología presentada se han desarrollado dos proyectos: el primero es *cluster-CV2*, el cual se estructura como un abordaje de visión computacional para identificación espacial de agrupamientos de datos, enfocado en datos con problemas de superposición de muestras provenientes de diferentes grupos; el segundo es el desarrollo de un sistema de adquisición de datos basado en Arduino y modelamiento con redes neuronales para análisis de datos, con el cual, al aplicar el *cluster-CV2* sobre las mediciones obtenidas de este dispositivo, se obtienen tres grupos sin información preliminar para la clasificación. Las muestras son medidas de un sistema térmico para incubación de aves domésticas, con las cuales se ha creado un modelo de redes neuronales con la información de los grupos, al cual cada una de las muestras nuevas debe ser atribuido. El desarrollo de los dos enfoques se presenta desde metodología usada para obtener desarrollos eficaces y tiempo de ejecución.

### Agrupamiento de datos no supervisado

En el enfoque de agrupamientos de datos (Contreras Contreras, Dulcé-Moreno *et al.*, 2019) al desarrollar la fase de análisis, se encontraron los requerimientos funcionales bajo los cuales se propuso que el *cluster-CV2* debe tener un enfoque no supervisado, es decir, el usuario no conoce el número de *k*-grupos a los cuales atribuir las muestras. La identificación se realiza sobre la matriz de distancias euclidianas de los datos para después pasarla a través de operadores morfológicos de visión computacional. Las muestras con superposición entre ellas deben ser corregidas usando la propagación y dispersión de estas en el espacio de proyección lineal. Con estos problemas definidos, se procedió a desarrollar el diseño, el cual consiste en once funciones con procedimientos matemáticos para la extracción de una matriz de distancias, proyectada sobre una imagen, identificando los *k*-grupos contenidos usando operadores morfológicos sobre los píxeles de la imagen generada de la matriz de distancias, y finalmente corregir la superposición a través del análisis de componentes principales sobre cada grupo detectado. Siendo un diseño secuencial, se implementó la metodología de pruebas unitarias durante el desarrollo, notar que a medida que se pasaba por las fases del desarrollo se iban usando las fases de evaluación, y verificando las pautas del diseño planteado en los algoritmos. En la evaluación del producto, se evidenció la necesidad de usar datos en una ejecución masiva, pues la ejecución unitaria no era lo suficientemente factible para guardar registros del desempeño, bajo lo

cual se desarrolló el sistema automatizado de la figura 3, cuyos parámetros de entrada son el número de grupos sintéticos con los que se desea realizar la prueba y el nivel de ruido presente en sus grupos, de la misma forma se obtenía un reporte con los resultados de la identificación, corrección de la superposición y validación con métricas de precisión y exactitud.

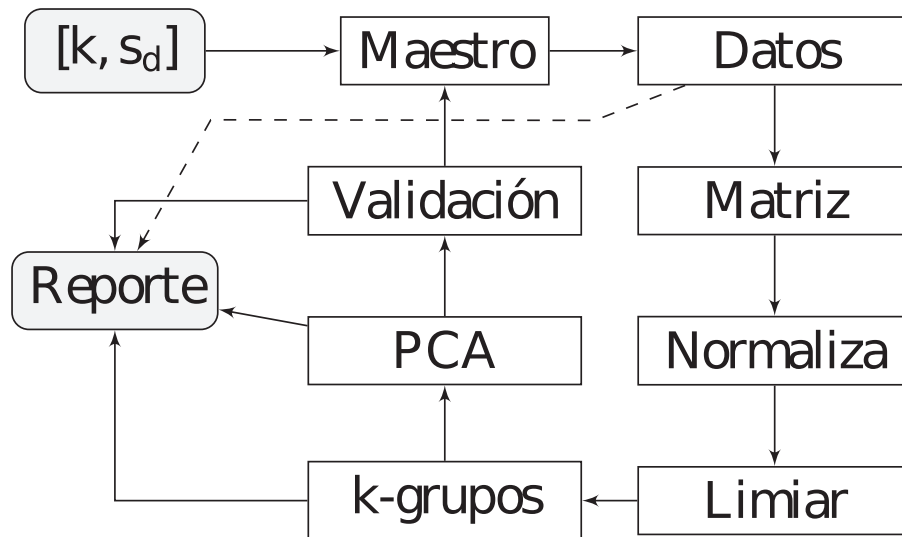


Figura 3. Método de refinamiento estándar bajo criterios de funcionalidad técnica o accesible

Fuente: elaboración propia.

Una visión acerca del sistema automatizado de experimentación es esquematizado en la figura 3 con *software* de agrupamiento, con jerarquía modular, iniciando el flujo de información con el módulo en  $k, s_d$ , obligatorio para los algoritmos de ejecución, el cual contiene los directorios locales para el acceso a bases de datos y los archivos ejecutables (bloques: *Matriz*, *Normaliza*, *Limiar*, *k-grupos*, *PCA*, *Validación*), cuyo modulo gestiona los resultados usando el bloque *Maestro* guardando la información de las métricas de validación, la corrección de la superposición y la identificación de los grupos en el bloque *Reporte* como archivos separados por coma (CSV).

Por consiguiente, la cuarta fase, evaluación, utilizó para este enfoque dos métricas de validación de resultados de agrupamiento como silhouette y precisión (Halkidi *et al.*, 2020), promediando los resultados obtenidos en la tabla 1, variando la desviación estándar atribuida para cada grupo de datos sintéticos construidos con normas gaussianas. Con respecto a la precisión, aplicando la metodología al *cluster-CV2* alcanza resultados superiores con respecto a los enfoques *k-means* y *c-means*, sin embargo, la métrica *silhouette* arroja resultados más altos mediante las otras dos técnicas.

Bajo estos datos se ha estructurado un enfoque de agrupamiento de datos con resultados competitivos a las técnicas clásicas de la literatura; sin embargo, para el despliegue exitoso, en la fase 5 de la metodología, se organizaron los archivos dentro de un repositorio en línea de GitHub, cuyo

**Tabla 1.** Comparación de resultados del *cluster-CV2* con el trabajo

Nivel de <i>Cluster-CV2</i>			<i>k-means</i>		<i>c-means</i>	
ruido	<i>Silhouette</i>	Precisión	<i>Silhouette</i>	Precisión	<i>Silhouette</i>	Precisión
0,1	0,6904	0,9933	0,5912	0,5541	0,8446	1,0000
0,2	0,5705	0,9933	0,6894	0,9867	0,6893	0,9845
0,3	0,4477	0,9914	0,5537	0,4498	0,5518	0,4499
0,4	0,3091	0,9662	0,4923	0,3734	0,4909	0,3722

**Fuente:** Tomado de [Contreras Contreras, Medina Delgado et al., 2019](#) y [Jaimes et al., 2017](#).

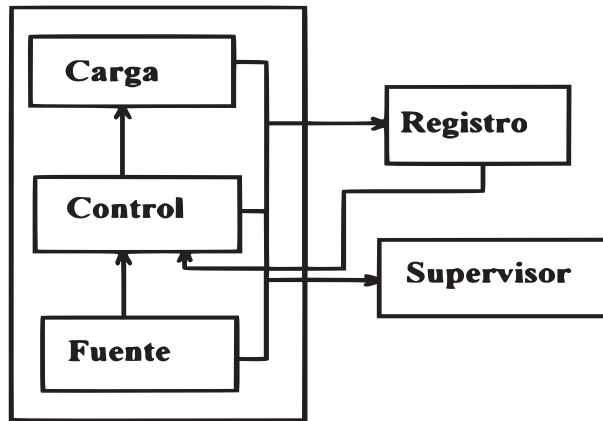
repositorio identifica tres secciones: la *a* describe rutinas de ejecución para datos sintéticos; la *b* contiene los archivos con datos reales, además de los análisis dentro de archivos Jupyter Notebook, y la *3* contiene la ejecución de pruebas unitarias tanto para experimentos individuales como para ejecución masiva, recopilando todas las guías dentro del manual de usuario con la cual se va elaborando la documentación dentro del mismo código, y resumiendo todos los aspectos generales del enfoque dentro del archivo README.md de GitHub, incluyendo la licencia e información general acerca de los autores, desarrolladores y colaboradores.

## Sistema de adquisición de datos

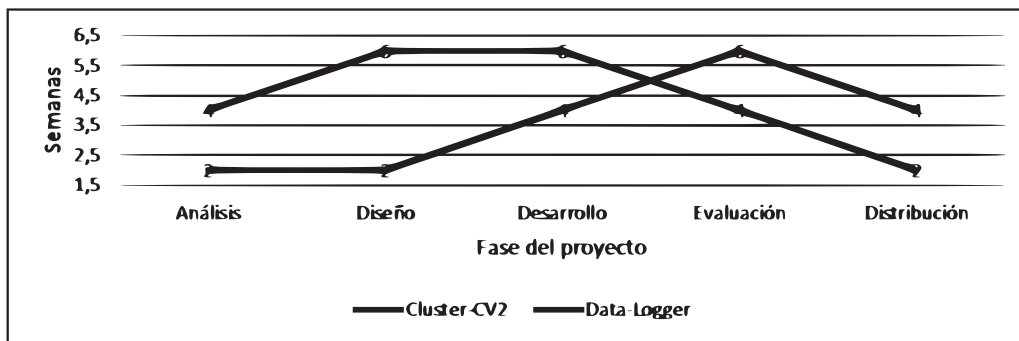
La metodología fue implementada en el desarrollo de un sistema de adquisición de datos para el análisis usando redes neuronales artificiales como operadores predictivos para cambio de estado en un sistema termodinámico ([Contreras Contreras, Medina Delgado et al., 2019](#)). La definición de requerimientos abordó solo dos elementos cruciales, desde el comportamiento teórico y los requerimientos de usuario del sistema: el registro no supervisado de las variables de temperatura y humedad relativa para los puntos de fuente de calor y carga del sistema termodinámico, variando la referencia de control de manera que permita predecir la acción que evitará la variación desde el estado de estabilidad.

Teniendo claro el enfoque, la figura 4 presenta el diseño preliminar del sistema planta-controlador, el cual consta de una interacción directa en planta, pues los datos se registran desde la fuente, el control y la carga, además de usarlos en el control del suministro energético de la fuente hacia la carga.

En el desarrollo se elaboró una serie de algoritmos para cumplir con los requerimientos, dentro de los cuales se van depurando sus declaraciones usando pruebas unitarias, llegando a la experimentación masiva y documentación del trabajo. Sin embargo, aunque este es un enfoque con parte *hardware* y parte *software*, se evidencia en la figura 5 que las primeras dos fases requirieron cuatro semanas con



**Figura 4.** Diseño de la interacción del sistema termodinámico con el enfoque de adquisición de datos  
**Fuente:** elaboración propia.



**Figura 5.** Comparativa de tiempos en el desarrollo de los dos productos  
**Fuente:** elaboración propia.

respecto a las diez del *cluster-CV2*, debido a dos factores esenciales: la necesidad inmediata y relación directa de los trabajos dentro de las áreas de inteligencia artificial y aprendizaje no supervisado, y de la experiencia obtenida previamente aplicando la metodología en aplicaciones para aprendizaje no supervisado.

Por otro lado, al incluir un sistema de adquisición de datos para la experimentación real, al contener dos fases de desarrollo (*software* y *hardware*), se requieren mayores esfuerzos en la evaluación de resultados, pues si bien la metodología de pruebas unitarias lograría ser aplicada efectivamente para experimentos en implementación física, no logra la misma versatilidad en la experimentación masiva con respecto al desarrollo estrictamente teórico.

## CONCLUSIONES

Al aplicar la metodología sobre el desarrollo de enfoques de análisis y adquisición de datos se obtuvo un tiempo de 22 semanas para el trabajo teórico, en el cual no se requiere la adquisición de materiales de *hardware*, para el caso de *software* y *hardware*, se requirió de 18 semanas. En este tipo de enfoques para la reducción de tiempo de desarrollo se ha propuesto la hipótesis de una definición claramente delimitada de los alcances, reduciendo el rango de actividades para el usuario y desarrollador. Por otro lado, el sistema *cluster-CV2* ha alcanzado resultados comparables aplicando las métricas de la silhouette y precisión, donde sus variaciones con respecto a las técnicas *k-means* y *c-means* dan la perspectiva de obtener información conectada en lugar de usar el enfoque particional, incrementado la métrica de precisión a 0,6571 cuando se varía el nivel de ruido a 0,4 veces la desviación estándar en cada *k*-grupo. En general, la propuesta metodológica se fundamenta en el análisis de requerimientos funcionales, técnicos y de accesibilidad al usuario, delimitación del diseño a través de una ejecución secuencial del proyecto, con retroalimentación en fase de evaluación hacia el diseño, donde la automatización de pruebas masivas fue orientada como método de detección de errores o funcionalidades incompletas dentro de las sentencias del enfoque.

## FINANCIAMIENTO

Este artículo es un producto del proyecto de investigación “Cluster-CV2: un abordaje de visión computacional para identificación espacial de agrupamientos de datos”, financiado por la Universidad Francisco de Paula Santander, con contrapartida de la Universidade Federal de Minas Gerais.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores del trabajo expresan su agradecimiento al Laboratorio de Inteligencia y Tecnología Computacional de la Universidad Federal de Minas Gerais, el cual permitió el acceso remoto a un computador especializado para desarrollo de *software*, además del Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Francisco de Paula Santander, el cual dispuso los espacios para el desarrollo continuo del proyecto.

## REFERENCIAS

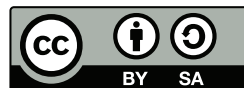
[Akyol, 2020] Akyol, K. (2020). Comparing of deep neural networks and extreme learning machines based on growing and pruning approach. *Expert Systems with Applications*, 140, 112875. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.112875> ↑Ver página 44



- [Amaya Balaguera, 2015] Amaya Balaguera, Y. D. (2015). Metodologías ágiles en el desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles. Estado actual. *Revista de Tecnología*, 12(2). <https://doi.org/10.18270/rt.v12i2.1291> ↑Ver página 45
- [Babic *et al.*, 2008] Babic, B., Nestic, N. y Miljkovic, Z. (2008). A review of automated feature recognition with rule-based pattern recognition. *Computers in Industry*, 59(4), 321-337. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2007.09.001> ↑Ver página 44
- [Báez Perez y Soto-Vergel, 2019] Báez Perez, A. A. y Soto-Vergel, Á. J. (2019). Enseñanza de sistemas de radiocomunicaciones terrestres con línea de vista mediante *software* educativo. *Revista Educación en Ingeniería*, 14(28), 78-87. ↑Ver página 44
- [Contreras Contreras, Dulcé-Moreno *et al.*, 2019] Contreras Contreras, G. F., Dulcé-Moreno, H. J. y Melo, R. A. (2019). Arduino data-logger and artificial neural network to data analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 1386, 12070. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1386/1/012070> ↑Ver página 51
- [Contreras Contreras, Medina Delgado *et al.*, 2019] Contreras Contreras, G. F., Medina Delgado, B., Ibarra, D. G., Leite De Castro, C. y Acevedo Jaimes, B. R. (2019, April 1). Cluster CV2: A computer vision approach to spatial identification of data clusters. En *2019 22nd Symposium on Image, Signal Processing and Artificial Vision, STSIVA 2019 - Conference Proceedings* (pp. 1-5). <https://doi.org/10.1109/STSIVA.2019.8730239> ↑Ver página 53
- [Diagne *et al.*, 2013] Diagne, M., David, M., Lauret, P., Boland, J. y Schmutz, N. (2013). Review of solar irradiance forecasting methods and a proposition for small-scale insular grids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 65-76. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.042> ↑Ver página 45
- [Gargiulo *et al.*, 2018] Gargiulo, F., Silvestri, S. y Ciampi, M. (2018). A clustering based methodology to support the translation of medical specifications to software models. *Applied Soft Computing Journal*, 71, 199-212. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.03.057> ↑Ver página 45
- [Gasca *et al.*, 2014] Gasca Mantilla, M. C., Camargo Ariza, L. L. y Medina Delgado, B. (2014). Metodología para el desarrollo de aplicaciones móviles. *Tecnura*, 18(40), 20-35. ↑Ver página 44, 45
- [Gilbert *et al.*, 2020] Gilbert, N., Mewis, R. E. y Sutcliffe, O. B. (2020). Classification of fentanyl analogues through principal component analysis (PCA) and hierarchical clustering of GC-MS data. *Forensic Chemistry*, 21, 100287. <https://doi.org/10.1016/j.forc.2020.100287> ↑Ver página 47
- [Giral *et al.*, 2021] Giral Ramírez, D. A., Montoya Giraldo, O. D., Vargas Robayo, C. Y. y Blanco Valbuena, D. F. (2021). Evaluación de modelos de programación lineal y no lineal para la planeación de sistemas de transmisión en el software GAMS. *Tecnura*, 25(69) [Preprint]. ↑Ver página 44



- [Halkidi *et al.*, 2020] Halkidi, M., Batistakis, Y. y Vazirgiannis, M. (2002). Clustering validity checking methods: part II. *ACM Sigmod Record*, 31(3), 19-27. ↑Ver página 52
- [Hernández *et al.*, 2021] Hernández, C., Sánchez Huertas, W. y Gómez, V. (2021). Optimal power flow in electrical energy systems through artificial intelligence techniques. *Tecnura*, 25(69) [Preprint]. ↑Ver página 44
- [Jaimes *et al.*, 2017] Jaimes, B. A., Castro, C. L., Torres, L. B., Silva, G. L. y Braga, A. P. (2017). Cluster-CV: Uma abordagem de visão computacional para a identificação espacial de agrupamentos de dados. ↑Ver página 45, 49, 53
- [Jain *et al.*, 1999] Jain, A. K., Murty, M. N. y Flynn, P. J. (1999). Data clustering: a review. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 31(3), 264-323. ↑Ver página 44
- [Kwon *et al.*, 2018] Kwon, B. C., Eysenbach, B., Verma, J., Ng, K., De Filippi, C., Stewart, W. F. y Perrer, A. (2018). Clustervision: Visual supervision of unsupervised clustering. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 24(1), 142-151. ↑Ver página 47
- [Lucas *et al.*, 2009] Lucas, F. J., Molina, F. y Toval, A. (2009). A systematic review of UML model consistency management. *Information and Software Technology*, 51(12), 1631-1645. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2009.04.009> ↑Ver página 45
- [Luque *et al.*, 2020] Luque Díaz, G. Y., Ramírez Salinas, L. C. y Ruíz Ochoa, M. A. (2020). Fuzzy techniques for environmental impact assessment in hydrocarbons transportation in Colombia. *Tecnura*, 24(64), 48-65. ↑Ver página 44
- [Molina *et al.*, 2010] Molina, J. C. y Torres Moreno, M. E. (2010). Análisis de requerimientos usando BPMN. *Revista Colombiana de Computación*, 11(1), 85-97. ↑Ver página 45, 50
- [Moreno, 2009] Moreno, J. (2009). Trading strategies modeling in Colombian power market using artificial intelligence techniques. *Energy Policy*, 37(3), 836-843. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.10.033> ↑Ver página 44
- [Mwangi *et al.*, 2014] Mwangi, B., Soares, J. C. y Hasan, K. M. (2014). Visualization and unsupervised predictive clustering of high-dimensional multimodal neuroimaging data. *Journal of Neuroscience Methods*, 236, 19-25. ↑Ver página 47
- [Ong *et al.*, 2019] Ong, S. P. (2019). Accelerating materials science with high-throughput computations and machine learning. *Computational Materials Science*, 161, 143-150. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2019.01.013> ↑Ver página 45
- [Ramírez-Carvajal *et al.*, 2019] Ramírez-Carvajal, L., Sierra-Peñaranda, G., Puerto-López, K. y Guevara-Ibarra, D. (2019). Computer-aided design software for multi-stage amplifiers with bipo-

- lar transistors and field effect. *Technology and Management Journal of Physics: Conference Series*, 1418, 12001. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1418/1/012001> ↑Ver página 44
- [Ramírez-Escobar *et al.*, 2021] Ramírez-Escobar, C. A. y Buriticá-Arboleda, C. I. (2021). Prototipo de cosecha inteligente de agua lluvia para mejorar la eficiencia energética residencial en Bogotá. *Tecnura*, 25(69) [Preprint]. ↑Ver página 44
- [Sánchez-Quintero *et al.*, 2021] Sánchez-Quintero, T., Gómez-Santamaría, C. e Hincapié-Reyes, R. C. (2021). Location estimation of multiple sources based on direction of arrival applying compressed sensing theory. *Tecnura*, 25(67), 40-52. ↑Ver página 44
- [Solano Meza *et al.*, 2019] Solano Meza, J. K., Orjuela Yepes, D., Rodrigo-Illarri, J. y Cassiraga, E. (2019). Predictive analysis of urban waste generation for the city of Bogotá, Colombia, through the implementation of decision trees-based machine learning, support vector machines and artificial neural networks. *Heliyon*, 5(11), e02810. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02810> ↑Ver página 44
- [Tafsast *et al.*, 2017] Tafsast, A., Hadjili, M. L., Bouakaz, A. y Benoudjit, N. (2017). Unsupervised cluster-based method for segmenting biological tumour volume of laryngeal tumours in 18F-FDG-PET images. *IET Image Processing*, 11(6), 389-396. ↑Ver página 47
- [Villa Betancur y Giraldo Plaza, 2012] Villa Betancur, A. y Giraldo Plaza, J. E. (2012). Automatización de pruebas unitarias de códigos PHP. *Scientia Et Technica*, XVII(50), 147-151. ↑Ver página 49
- [Zhu y Ma, 2018] Zhu, E. y Ma, R. (2018). An effective partitional clustering algorithm based on new clustering validity index. *Applied Soft Computing Journal*, 71, 608-621. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.07.026> ↑Ver página 47



## Diseño de modelo de simulación que representa el genoma de inteligencia colectiva de Malone, Laubacher y Dellarocas

### Design of a simulation model that represents the collective intelligence genome of (Malone *et al.*, 2010)

Mónica Patricia Vargas Guarnizo <sup>1</sup>, Luz Esperanza Bohórquez Arévalo <sup>2</sup>

Fecha de Recepción: 08 de julio de 2021

Fecha de Aceptación: 07 de febrero de 2022

**Cómo citar:** Vargas-Guarnizo ., M.P. y Bohórquez-Arévalo., L.E. (2022). Diseño de modelo de simulación que representa el genoma de inteligencia colectiva de Malone, Laubacher y Dellarocas. *Tecnura*, 26(72), 59-77. <https://doi.org/10.14483/22487638.16631>

## Resumen

**Contexto:** Thomas Malone definió la inteligencia colectiva (IC) en la apertura del Centro de Inteligencia Colectiva del MIT en 2006 como "grupos de personas que hacen cosas colectivamente que parecen inteligentes" (Glenn, 2015). El centro indica que su misión es investigar cómo pueden conectarse las personas para que, colectivamente, actúen de manera más inteligente que los individuos de manera individual. Esta investigación diseñó un modelo de simulación multiagente, cuyo objetivo fue representar el genoma de IC propuesto por Malone *et al.*, 2010, en un entorno con situaciones emergentes en el que coexista una organización jerárquica, a fin de explorar diferentes configuraciones de variables externas e internas a las organizaciones que permitan maximizar el aprovechamiento de recursos.

**Metodología:** Se planteó un modelo de simulación multiagente que incluye elementos estocásticos para modelar el comportamiento de los agentes y sus interacciones, que no se conocen con exactitud. La metodología propuesta planteó cinco etapas: 1) conceptualización, 2) definición de requerimientos, 3) análisis y diseño, 4) codificación, y 5) pruebas y validación. Para el proceso de verificación, sintonización y validación del modelo de simulación desarrollado, se representaron, en este, dos de los genomas documentados por Malone *et al.*, 2010, para el caso Wikipedia. El primero corresponde a la edición de artículos individuales; este genoma fue usado para ajustar las variables que intervienen en el modelo con el fin de maximizar el aprovechamiento de los recursos en las organizaciones; el segundo corresponde a cómo se incluye un artículo en la colección general de Wikipedia, dicho caso fue usado para determinar el grado en el cual el modelo de simulación desarrollado corresponde a la representación del modelo metodológico propuesto por Malone *et al.*, 2010.

**Resultados:** Considerando que los casos de Wikipedia documentados por Malone *et al.*, 2010 son teóricos, se definió que la situación a analizar en la contrastación del modelo metodológico con el modelo de simulación desarrollado era el comportamiento colectivo inteligente en la organización que contenía el genoma de IC; esto con el propósito de aprovechar de

<sup>1</sup>Ingeniera mecánica, magíster en Ingeniería Industrial. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Email: [mpvargasg@correo.udistrital.edu.co](mailto:mpvargasg@correo.udistrital.edu.co)

<sup>2</sup>Doctor en Ciencias de la Dirección, magíster en Administración de Empresas, especialista en Ingeniería de la Calidad, ingeniera Industrial. Docente Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Email: [lebohorqueza@udistrital.edu.co](mailto:lebohorqueza@udistrital.edu.co)

mejor manera los recursos disponibles para aprovechar ideas/oportunidades o mitigar amenazas. De las pruebas realizadas para determinar el grado de correspondencias entre los modelos, se evidenció que en el 70 % de ellas el porcentaje de aprovechamiento y de mitigación estuvo por encima del 50 %, de allí se concluyó que el modelo de simulación desarrollado correspondía a la representación del modelo metodológico del genoma de IC propuesto por [Malone et al., 2010](#), acorde con los casos empresariales de estudio.

**Conclusiones:** El modelo de simulación desarrollado contribuye a la comprensión del modelo metodológico y a la exploración de diferentes configuraciones del genoma de IC que permiten evaluar características que otorgue el comportamiento inteligente de una organización empresarial.

**Palabras clave:** inteligencia colectiva, genoma de inteligencia colectiva, simulación basada en agentes.

---

## Abstract

**Context:** Thomas Malone defined collective intelligence at the opening of the MIT Center for Collective Intelligence in 2006 as "groups of people who collectively do things that appear intelligent" ([Glenn, 2015](#)). The center indicates that its mission is to investigate How can people connect? so that, collectively, they act smarter than individuals individually. This research designed a multiagent simulation model whose objective was to represent the collective intelligence (CI) genome proposed by ([Malone et al., 2010](#)), in an environment with emergent situations in which a hierarchical organization coexists, in order to explore different configurations of external variables. and internal to organizations that allow maximizing the use of resources.

**Methodology:** A multiagent simulation model is proposed that includes stochastic elements to model the behavior of agents and their interactions, which are not known exactly. The proposed methodology presents five stages: 1) conceptualization, 2) definition of requirements, 3) analysis and design, 4) coding, and 5) testing and validation. For the verification, tuning and validation process of the simulation model designed, two of the genomes documented by ([Malone et al., 2010](#)) were represented in the Wikipedia case. The first corresponds to the edition of individual articles, this genome was used to adjust the variables that intervene in the model in order to maximize the use of resources in organizations; the second genome corresponds to how an article is included in the general collection of Wikipedia, this case was used to determine the degree to which the simulation model designed corresponds to the representation of the methodological model proposed by ([Malone et al., 2010](#)).

**Results:** Considering that the Wikipedia cases documented by ([Malone et al., 2010](#)) are theoretical cases, it was defined that the situation to be analyzed in the contrasting of the methodological model with the designed simulation model was the intelligent collective behavior in the organization that contained the genome of CI, this in terms of making better use of available resources to take advantage of ideas-opportunities or mitigate threats. From the tests carried out to determine the degree of correspondence between the models, it was evidenced that in 70 % of them the percentage of use and mitigation was above 50 %, hence it was concluded that the simulation model designed corresponded to the representation of the methodological model of the CI genome proposed by ([Malone et al., 2010](#)), in accordance with the business case studies.

**Conclusions:** The simulation model designed contributes to the understanding of the methodological model and to the exploration of different configurations of the CI genome that allow to evaluate characteristics that the intelligent behavior of a business organization grants.

**Keywords:** collective intelligence, collective intelligence genome, agent based simulation.

---

## Tabla de Contenidos

	<b>Página</b>
<b>Introduction</b>	<b>61</b>
<b>Metodología</b>	<b>62</b>
Diseño del modelo de simulación . . . . .	62
Validación del modelo de simulación . . . . .	66
<b>Resultados</b>	<b>71</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>74</b>
<b>References</b>	<b>75</b>

## INTRODUCTION

Dado que las organizaciones se enfrentan a mercados cambiantes, situación que ha impulsado a estas a la búsqueda de ventajas competitivas que les permitan sobresalir y mantenerse estables (De la Hoz *et al.*, 2014), esta investigación tuvo como objetivo diseñar, implementar y validar un modelo de simulación multiagente que represente el genoma de inteligencia colectiva (IC) propuesto por Malone *et al.*, 2010, en un entorno con situaciones emergentes en el que coexista una organización jerárquica, a fin de explorar diferentes configuraciones de variables externas e internas a las organizaciones que permitan maximizar el aprovechamiento de recursos.

La IC hace referencia a la capacidad de colaborar y coordinar de manera efectiva el trabajo de los integrantes de un grupo, generando la emergencia de comportamientos inteligentes que se reflejan en mayor aprovechamiento de recursos. La IC es quizás uno de los predictores de mayor relevancia en el desempeño de un equipo que las habilidades individuales (Malone *et al.*, 2010).

A la fecha, una de las propuestas de IC en organizaciones humanas de mayor reconocimiento es la realizada por el Centro de Inteligencia Colectiva del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts). En este centro se encuentra el trabajo de Malone *et al.*, 2010, quienes luego de examinar más de 250 ejemplos de IC identificaron bloques que clasificaron a partir de las siguientes preguntas: ¿Qué se está haciendo?, ¿quién lo está haciendo?, ¿por qué lo está haciendo?, y ¿cómo lo está haciendo? Cada uno de los bloques fue denominado gen; los genes vistos organizacionalmente son los elementos centrales a partir de los cuales se construyen los sistemas de IC. El mapa genético permite identificar las condiciones bajo las cuales cada gen es útil, y las múltiples posibilidades de combinarlos de manera efectiva; la combinación completa de genes asociados con un ejemplo específico de IC puede ser visto como el genoma de ese sistema (Malone *et al.*, 2010).

Para el desarrollo del documento, en la primera parte se presenta la metodología de la investigación; en la segunda, se describe el modelo del genoma de IC de Malone *et al.*, 2010; en la tercera, se pre-

senta el diseño de la simulación basada en agentes que representa el modelo de [Malone et al., 2010](#); en la cuarta, se exploran las diferentes configuraciones de variables externas e internas a la organización, a fin de identificar cuál maximiza el aprovechamiento de recursos para captar ideas/oportunidades y mitigar amenazas; finalmente se presentan las conclusiones de la investigación.

## METODOLOGÍA

La metodología propuesta planteó cinco etapas y la ejecución de cada una, de manera iterativa e incremental. La primera etapa fue la de conceptualización, con la que se buscó entender el comportamiento de los individuos ante determinada situación e identificar las características de los genes del genoma de IC para plasmarlas, para esto se consideró realizar la revisión de literatura alrededor de IC y modelación y simulación basada en agentes; además, se definieron parámetros y variables que determinaron el comportamiento de los individuos frente a las condiciones del entorno; por último, se procedió a caracterizar el genoma de IC en el modelo de simulación.

En la segunda etapa, definición de requerimientos, se estableció el quehacer de cada organización y de los agentes que forman parte de ellas. La tercera etapa fue la de análisis y diseño, que tuvo como objetivo implementar los requerimientos en el sistema. La primera actividad que se realizó en esta etapa fue analizar el modelo Ants Packet Predation 2NET Human, propuesto por Posada (2018), debido a que con anticipación se identificaron algunos rasgos característicos del genoma de IC; luego se creó un esquema inicial del diseño de la simulación objetivo de este trabajo, y por último, se establecieron las estructuras de datos, la arquitectura general de *software*, las representaciones de interfaz y los algoritmos.

En la cuarta etapa, codificación, se transformaron los requerimientos y el diseño funcional planteado en código. Para desarrollar el modelo de simulación se consideró el *software NetLogo*, debido a que ha sido usado en una amplia variedad de contextos educativos y a que académicamente se muestra con amplias facilidades de aplicación. La quinta y última etapa fue la de pruebas y validación, y consistió en determinar el grado en el que el modelo de simulación corresponde a la adecuada representación del modelo metodológico; lo anterior, a través de la verificación de la estructura y de los parámetros; la configuración y análisis del caso empresarial de Wikipedia expuesto por [Malone et al., 2010](#), en el modelo de simulación desarrollado; la configuración del entorno para definir los escenarios de prueba y la puesta a punto del modelo de simulación desarrollado hasta tanto represente el genoma de IC propuesto por [Malone et al., 2010](#) y se evidencie IC acorde con el caso empresarial de estudio.

### Diseño del modelo de simulación

El diseño del modelo tomó como punto de partida la simulación Ants Packet Predation 2NET Human, propuesta por [Posada, 2018](#), que tenía como propósito comparar el desempeño de dos or-

ganizaciones con respecto a la agilidad para atender las oportunidades y amenazas del entorno; y además, se consideró lo planteado por [Niño y Román, 2016](#):

El aprendizaje organizacional privilegia los niveles organizacionales y de grupo sobre el nivel individual, y se considera un proceso favorecido por estructuras organizacionales planas y ambientes organizacionales ricos en autonomía local, confianza y cooperación más allá de las fronteras funcionales entre divisiones o departamentos. (p. 136)

Para la consecución del objetivo de esta investigación, en el modelo de simulación se configuraron dos organizaciones empresariales: la primera representó el genoma de IC de [Malone et al., 2010](#) y la segunda tuvo características de una estructura jerárquica en la toma de decisiones y la orientación al dinero. Así, se pudo comparar el comportamiento de las dos organizaciones respecto al aprovechamiento de los recursos.

El desarrollo de una organización depende directamente de su capacidad para tomar decisiones y para adaptarse a las condiciones del entorno ([López et al., 2014](#)); por tanto, las condiciones externas que pueden influir en las dos organizaciones y con las que mantienen en continua interacción son cambiantes e iguales para las dos organizaciones; es decir, se encuentran inmersas en un entorno empresarial caracterizado por la presencia de ideas/oportunidades y factores perturbadores o amenazas, y en el que las dos empresas tienen la misma posibilidad de identificarlas, aprovecharlas o mitigarlas.

El desarrollo y ejecución de proyectos para aprovechar ideas/oportunidades puede realizarse de manera individual o grupal. Las acciones individuales son desarrolladas por un solo agente, en tanto que las grupales implica la coordinación de dos y hasta diez agentes. Las ideas/oportunidades desarrolladas de manera individual se encuentran concentradas en la interfaz gráfica del modelo de simulación en tres puntos equidistantes entre las dos organizaciones; por su parte, las ideas/oportunidades que pueden ser desarrolladas de manera grupal emergen en cualquier posición dentro del entorno empresarial. Adicionalmente, las ideas/oportunidades que pueden ser desarrolladas de manera individual se restablecen, es decir, vuelven a aparecer en el entorno empresarial cuando diez ideas/oportunidades del total de existentes quedan sin ejecutar; en el caso de las ideas/oportunidades grupales estas permanecen en el entorno por un periodo que depende de una constante y del número de agentes necesarios para ejecutarla.

Los factores perturbadores o amenazas (que pueden ser también comprendidos como amenazas) absorben los recursos disponibles de la organización y ponen en riesgo su perdurabilidad. En la simulación los agentes de cada organización tienen la capacidad de afrontar de manera individual o grupal los factores perturbadores o amenazas. Los factores perturbadores o amenazas no están ubicados en un punto fijo del entorno empresarial, por tanto, pueden presentarse en cualquier lugar y momento.

Por otro lado, y teniendo en cuenta que los recursos son uno de los factores que influyen en la emergencia de ideas y de manera amplia en la creatividad de una organización ([Dananjaya y Kus-](#)



wanto, 2015, Kim *et al.*, 2016, Smith *et al.*, 2008, Chang, Y. y Shih, 2019, Walton, 2003, Lomberg *et al.*, 2017, Jain y Jain, 2016, Blomberg y Kallio, 2017, Yeh y Huan, 2017), el modelo de simulación se configuró de tal forma que cuando un individuo es vinculado a cualquiera de las dos organizaciones, este adquiere una cantidad de recursos de tipo humano, material, financiero, técnico y tecnológico, cuyo valor corresponde a un número aleatorio en el rango de 0 a 650. El valor de los recursos disponibles por un empleado cambia en función del éxito en el desarrollo y ejecución de ideas/oportunidades, en la neutralización de factores perturbadores o amenazas explorados en el entorno empresarial, y en la ejecución de una idea que haya sido creada por él; es decir, el desarrollo y ejecución de algún proyecto y la creación de una idea exige una inversión en recursos y puede generar ganancias, si este se logra ejecutar de manera satisfactoria. La satisfacción en el desarrollo de un proyecto se da si este logra ejecutarse antes de que la oportunidad o el factor perturbador desaparezca del entorno empresarial.

El diseño de la forma en que trabajan las dos organizaciones se orientó por las preguntas que se encuentran en la propuesta de Malone *et al.*, 2010. Así, las tablas 1 y 2 resumen cómo fueron ideados cada uno de los genes para ser incorporados en el modelo de simulación, tanto para la organización configurada con el genoma de IC como para la organización jerárquica, respectivamente.

**Tabla 1.** Idealización de los genes propuestos por Malone *et al.*, 2010, para ser incorporados en el modelo de simulación para la organización configurada con el genoma de IC

¿Qué se está haciendo?	Decidir	Desarrollar y ejecutar proyectos para aprovechar ideas/oportunidades o mitigar factores perturbadores o amenazas.
	Crear	Concebir una idea de negocio para mejorar las circunstancias actuales o crear otras nuevas.
¿Quién lo está haciendo?	Multitud	Para la acción de decidir todos los agentes que forman parte de la lista de contactos del agente proponente intervienen en la decisión de aceptar o rechazar la propuesta de una actuación conjunta, sin tener en cuenta el rol que tiene el agente que la hace; es decir que es indiferente si la propuesta la hace un agente común o aquel que es marcado como líder.  En el caso de la acción crear todos los miembros de la organización, incluidos los líderes, pueden crear algún tipo de inquietud frente a los problemas identificados en la organización.
	Jerarquía	En la acción decidir se da más importancia al rol que tiene el agente que hace la propuesta, es decir, que si el agente identificado como líder es quien identifica una oportunidad de negocio y hace la propuesta de actuación conjunta hay más posibilidad de que los agentes que estén en su lista de contactos la acepten.  Para la acción crear solo los agentes identificados como líderes tienen la potestad de crear algún tipo de inquietud frente a los problemas identificados en la organización.

¿Por qué lo están haciendo?	Dinero	Basados en la definición de altruismo, los agentes de la organización priorizan la creencia en el beneficio para el individuo. Puede tomar valores entre 1 y 10: 1 representa que el colaborador está bajamente motivado, y 10 que está totalmente motivado. Modula la retribución en términos de recursos que los agentes reciben al realizar actividades de decisión y de creación.	
	Amor	Basados en la definición de altruismo, los agentes de la organización priorizan la creencia en el beneficio para la organización. Puede tomar valores entre 1 y 10: 1 representa que el colaborador está bajamente motivado, y 10 que está totalmente motivado. Modula la retribución en términos de recursos que la organización recibe al realizar actividades de decisión y de creación.	
	Gloria	Se definió como el reconocimiento que incrementa el nivel de confianza entre los agentes que forman parte de la organización. Puede tomar valores entre 1 y 10: 1 representa que el colaborador está bajamente motivado, y 10 que está totalmente motivado. Evoluciona en función del resultado de las actuaciones conjuntas, las experiencias positivas conducen a incrementar la confianza percibida entre los miembros, mientras que las negativas conducen a disminuirla; la confianza cambia acorde con la situación, el contexto y no es proporcional entre los agentes (Alfarez, 2005, Marsh, 1994, Luhmann, 1979, Deutsch, 1958).	
¿Cómo lo están haciendo?	Decisión individual	Mercado	Se basa en la valoración de recursos disponibles y el análisis de costo/beneficio, buscando maximizar tanto sus propios recursos como los de la organización.
		Red social	Se evidencia mediante el arreglo para la vinculación de los agentes a la organización y la evolución del grado de confianza entre ellos.
	Decisión grupal	Votación	La regla del sistema de votación expone que, si más de la mitad de los votantes se deciden por una de las opciones, esta debe ser el resultado único de la elección.
		Promedio	Se calcula la media aritmética, sumando los valores numéricos de la decisión de cada agente de desarrollar y ejecutar un proyecto, y dividiendo por el número de agentes convocados.
		Consenso	Todos los agentes convocados a participar en el desarrollo y ejecución de un proyecto aceptan o rechazan de manera unánime la propuesta.
		Mercado de predicción	Esta afectado indirectamente por el gen mercado toda vez que para una decisión grupal es necesaria la percepción individual de los agentes.
	Colección	Solo el agente que haya identificado un problema en el medio donde se encuentra y origine una inquietud sobre cómo resolverlo, podrá evaluar si su idea puede implementarse y ponerse a disposición de la organización para su aprovechamiento y ejecución; y pondrá los recursos necesarios para el proceso de creación.	
	Colaboración	El agente que haya originado la inquietud envía un mensaje directo a los individuos que forman parte de su lista de contactos para presentársela y pone a su consideración la opción de trabajar colaborativamente para ponerla a disposición de la organización; aquellos cuya evaluación haya sido positiva aportan parte de sus recursos disponibles al proceso de creación.	

**Fuente:** elaboración propia.

**Tabla 2.** Idealización de los genes propuestos por [Malone et al., 2010](#), para ser representados en el modelo de simulación para la organización jerárquica

¿Qué se está haciendo?	Crear	Concebir una idea de negocio para mejorar las circunstancias actuales o crear otras nuevas.
	Decidir	Desarrollar y ejecutar proyectos para para aprovechar ideas/oportunidades o mitigar factores perturbadores o amenazas.
¿Quién lo está haciendo?	Jerarquía	Solo los agentes identificados como líderes tienen la potestad de crear algún tipo de inquietud frente a los problemas identificados en la organización, o de proponer el desarrollo y ejecución de nuevos proyectos.
¿Por qué lo están haciendo?	Dinero	Basados en la definición de altruismo, los agentes de la organización priorizan la creencia en el beneficio para el individuo. Tiene un coeficiente estático en el tiempo y no modula la retribución en términos de recursos para los agentes que apoyan las actividades de creación o de decisión.
	Amor	Basados en la definición de altruismo, los agentes de la organización priorizan la creencia en el beneficio para la organización. Tiene un coeficiente estático en el tiempo y no modula la retribución en términos de recursos para la organización al desarrollar actividades de creación o de decisión.
	Gloria	Se definió como el reconocimiento que incrementa el nivel de confianza entre los agentes que forman parte de la organización. La dinámica de confianza evoluciona con el desarrollo de acciones conjuntas, pero a diferencia de la organización configurada con el genoma de IC es que no está siendo afectada adicionalmente por algún control deslizante, simplemente está acompañado por un coeficiente cuyo valor permanece invariable en el tiempo.
¿Cómo lo están haciendo?	Debido a que la disposición configurada para la organización jerárquica se concibió a partir de los principios de una estructura organizacional de jerarquía formal, basada en una sola autoridad; en donde todas las posiciones deben ubicarse a lo largo de líneas oficiales de mando y control de arriba hacia abajo, es decir, transmisión de órdenes de arriba hacia abajo; se consideró que solo los agentes identificados como líderes tienen la potestad de proponer el desarrollo y ejecución de proyectos y la creación de ideas, y por ende únicamente dichos agentes tienen la opción de convocar a otros para participar en una acción conjunta; cuando un agente recibe una propuesta de actuación conjunta por parte del líder, la procesa para aceptarla o rechazarla y si decide aceptarla se dirige hacia la ubicación de aquel líder.	

**Fuente:** elaboración propia.

Los mecanismos de evaluación implementados en el modelo de simulación, y que permiten que los agentes tanto de la organización configurada con el genoma de IC como de la jerárquica consideren aceptar o rechazar una propuesta de actuación conjunta, se resumen en la tabla 3.

Finalizada la configuración de las dos organizaciones, es importante aclarar que aquella que contiene los componentes del genoma de IC representa al modelo propuesto por [Malone et al., 2010](#), exclusivamente cuando la multitud es quien realiza la tarea de crear y decidir.

## Validación del modelo de simulación

En el proceso de verificación, sintonización y validación del modelo de simulación se seleccionaron algunas de las variables más relevantes y se combinaron entre sí, para observar y analizar qué comportamiento siguen las organizaciones configuradas y determinar qué combinación permite maximizar el aprovechamiento de los recursos y de ideas/oportunidades, o mitigar factores per-

**Tabla 3.** Mecanismos de evaluación

Organización configurada con el genoma de IC			Organización jerárquica	
Mecanismo de evaluación para la acción decidir	$\text{let decision} = (\text{GLORIA} * \text{e\_confidence}) + (\text{MULTITUD} * \text{e\_pwr}) + (\text{DINERO\_D} * \text{cbi\_a}) + (\text{AMOR\_D} * \text{cbo\_a})$	El valor de GLORIA, GLORIA_C, MULTITUD, MULTITUD_C, DINERO_D, DINERO_C, AMOR_D y AMOR_C está	$\text{set dec\_t abs} ((\text{C1} * \text{e\_confidence}) + (\text{C2} * \text{e\_pwr}) + (\text{C3} * \text{cbi\_a}) + (\text{C4} * \text{cbo\_a}))$	El valor de los coeficientes C1, C2, C3 y C4 dependerán de la jerarquización que se haga de las variables que intervienen.
Mecanismo de evaluación para la acción crear	$\text{set decreation} ((\text{GLORIA\_C} * \text{c\_crear}) + (\text{MULTITUD\_C} * \text{e\_pwr}) + (\text{DINERO\_C} * \text{cbi\_a}) + (\text{AMOR\_C} * \text{cbo\_a}))$	dado por el control deslizante dispuestos en la interfaz gráfica del modelo de simulación y que llevan el mismo nombre.	$\text{set dec\_C abs} ((\text{C1} * \text{c\_crear\_r}) + (\text{C2} * \text{e\_pwr}) + (\text{C3} * \text{cbi\_a}) + (\text{C4} * \text{cbo\_a}))$	

e\_pwr, representa la relación de influencia entre los agentes dada por una posición privilegiada entre ellos.  
 cbi\_a, representa la creencia en el beneficio para el individuo.  
 cbo\_a, representa la creencia en el beneficio para la organización.  
 e\_confidence, representa la el grado de confianza entre los individuos de una organización empresarial ante la acción de decidir.  
 c\_crear representa el grado de confianza entre los individuos de una organización empresarial ante la acción de crear.  
 c\_crear\_r, representa el grado de confianza generado entre los agentes por crear nuevas ideas en la organización jerárquica.

**Fuente:** elaboración propia.

turbadores o amenazas; las variables que se sometieron a modificación en este proceso fueron las descritas en la tabla 4.

Dado que el resultado de la simulación depende de una cantidad significativa de variables que deben ser ajustadas, y con el ánimo de conocer cómo influye cada una de ellas y cada posible combinación, se optó por un diseño experimental usando el paquete estadístico *Minitab*. De esta manera se podrán tomar decisiones respecto a cómo ajustar cada variable para lograr el comportamiento inteligente de las organizaciones, en términos del aprovechamiento de los recursos, al representar el genoma específico de Wikipedia. Este caso fue identificado por [Malone et al., 2010](#) y les permitió demostrar cómo grupos de personas grandes y poco organizados pueden trabajar juntos de manera sorprendentemente efectiva. [Malone et al., 2010](#) mencionan que, en Wikipedia, personas de todo el mundo han producido colectivamente la enciclopedia más grande del mundo, con artículos de nota-

**Tabla 4.** Variables sometidas a modificación en el proceso de validación del modelo de simulación

Variable	Descripción
e_Repo_Crear	Define las ganancias en términos de recursos que recibe cada uno de los agentes que participaron en la creación de una idea, cuando esta es desarrollada y ejecutada satisfactoriamente, inicialmente se evaluó con un valor mínimo de 1 y un máximo de 80.
e_Repo_Trans	Determina las ganancias en términos de recursos que recibe cada uno de los agentes que participaron en el desarrollo y ejecución de un proyecto, cuando este resulta satisfactorio, inicialmente se consideró como valor mínimo 1 y como valor máximo 80.
e_Repo_Nido	Establece las ganancias en términos de recursos que recibe la organización cada vez que el desarrollo y ejecución de un proyecto tiene un resultado satisfactorio, inicialmente se estimó como valor mínimo 1 y como valor máximo 80.
Costo_De_Idea	Representa el porcentaje de recursos que invierte un agente cada vez que participa en la creación de una idea, se evaluó con un valor mínimo de 0,1 y un máximo de 0,5.
Umbral_C	Corresponde al umbral de decisión para la creación de una idea en la organización configurada con el genoma de IC, es el valor que debe ser superado en la suma ponderada de los factores que intervienen en el mecanismo de evaluación para que una propuesta de creación sea aceptada; en el proceso de exploración se consideró inicialmente como valor mínimo -16 y como valor máximo 13.
Umbral_D	Corresponde al umbral de decisión para la ejecución de proyectos en la organización configurada con el genoma de IC, es el valor que debe ser superado en la suma ponderada de los factores que intervienen en el mecanismo de decisión para que una propuesta de ejecución de proyectos sea aceptada; en el proceso de exploración se consideró inicialmente como valor mínimo -16 y como valor máximo 13.
Umbral_C_R	Corresponde al umbral de decisión para la creación de una idea en la organización jerárquica, es el valor que debe ser superado en la suma ponderada de los factores que intervienen en el mecanismo de evaluación para que una propuesta de creación sea aceptada; en el proceso de exploración se consideró inicialmente como valor mínimo -1 y como valor máximo 10.
Umbral_T_R	Corresponde al umbral de decisión para la ejecución de nuevos proyectos en la organización jerárquica, es el valor que debe ser superado en la suma ponderada de los factores que intervienen en el mecanismo de decisión para que una propuesta de ejecución de proyectos sea aceptada; en el proceso de exploración se consideró inicialmente como valor mínimo -1 y como valor máximo 10.

**Fuente:** elaboración propia.

ble calidad; allí, quienes deciden colaborar pueden hacer cualquier modificación, y la decisión sobre qué cambios se mantienen, se toma mediante un consenso general de quienes se interesan, pues las personas que hacen este trabajo son voluntarias. El genoma de IC que planteó [Malone et al., 2010](#) para Wikipedia es el que se muestra en la tabla 5.

**Tabla 5.** Genoma de inteligencia colectiva para Wikipedia

Ejemplo	Qué		Quién	Por qué	Cómo
Editar un artículo existente en Wikipedia	Crear	Nueva versión del artículo	Multitud	Amor, gloria	Colaboración
	Decidir	Mantener la versión actual	Multitud	Amor, gloria	Consenso

**Fuente:** tomado de ([Malone et al., 2010](#)).

Lo primero para realizar el diseño de experimentos fue determinar las variables a analizar y sus niveles, como se indicó al inicio de este apartado; luego se creó el diseño factorial fraccional en el *software Minitab* para considerar la posible interrelación entre las variables, se seleccionaron cinco repeticiones o réplicas para cada prueba. Al introducir ocho variables, cada una con dos niveles, *Minitab* arroja que se deben ejecutar 80 pruebas; además, muestra una matriz de diseño con la configuración de cada una de ellas, cabe aclarar que son 16 escenarios o configuraciones diferentes y cinco corridas por cada uno.

Luego de tener el arreglo para cada una de las pruebas, se procedió a realizar la configuración del modelo de simulación para representar cada una y ejecutar las respectivas corridas; cada una se hizo para 6000 unidades de tiempo o *ticks* establecidas en *NetLogo*. La variable de respuesta que se consideró en el diseño de experimentos fue el comportamiento colectivo que parezca inteligente en las organizaciones configuradas, esto en términos de aprovechar de mejor manera los recursos disponibles y las ideas/oportunidades, o mitigar factores perturbadores o amenazas; por tanto, se sumó el número de proyectos que resultaron exitosos para cada caso.

Siguiendo con el diseño experimental, se procedió a ingresar los datos de la variable de respuesta al *software Minitab*, con el fin de obtener un modelo a partir de los datos y de generar algunas gráficas que permitieran evaluar los efectos de las ocho variables, y determinar cuáles son más importantes para optimizar el aprovechamiento de los recursos disponibles en las organizaciones configuradas.

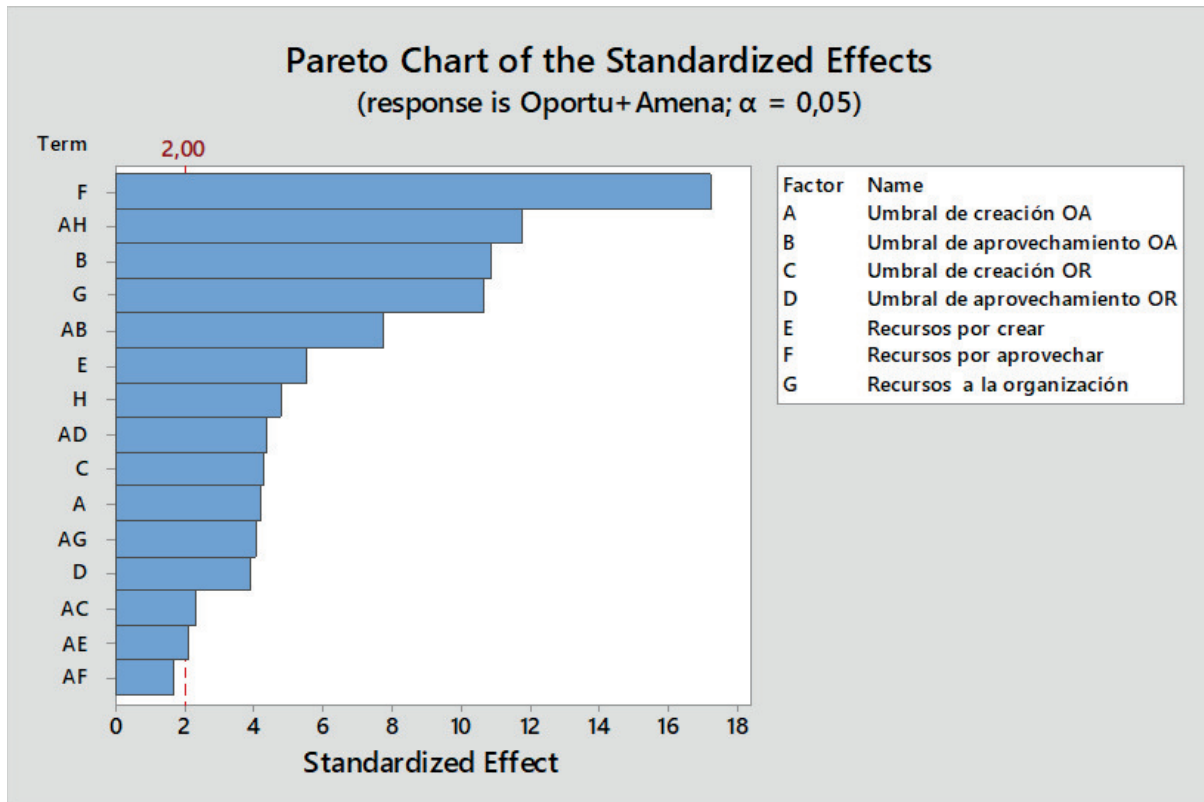
De los resultados arrojados por *Minitab* luego del análisis, y teniendo en cuenta que los efectos son estadísticamente significativos cuando sus valores *p* en la tabla *Coefficientes codificados* son menores

**Tabla 6.** Valor de referencia para las variables e interacciones

Term	p-Value	VIF
Constant	0,000	
Umbral de creación OA	0,000	1,00
Umbral de aprovechamiento OA	0,000	1,00
Umbral de creación OR	0,000	1,00
Umbral de aprovechamiento OR	0,000	1,00
Recursos por crear	0,000	1,00
Recursos por aprovechar	0,000	1,00
Recursos a la organización	0,000	1,00
Recursos invertidos para crear	0,000	1,00
Umbral de creación OA* Umbral de aprovechamiento OA	0,000	1,00
Umbral de creación OA* Umbral de creación OR	0,024	1,00
Umbral de creación OA* Umbral de aprovechamiento OR	0,000	1,00
Umbral de creación OA* Recursos por crear	0,036	1,00
Umbral de creación OA* Recursos por aprovechar	0,097	1,00
Umbral de creación OA* Recursos a la organización	0,000	1,00
Umbral de creación OA* Recursos invertidos para crear	0,000	1,00

**Fuente:** elaboración propia.

que el nivel de significancia, cuyo valor predeterminado es de 0,05, se concluyó que el efecto de todas las variables es significativo para el modelo, como lo muestra la tabla 6. Se evaluó también el diagrama de Pareto de los efectos estandarizados (figura 1) para determinar en qué medida los efectos influyen en la variable de respuesta; los efectos que se extienden más allá de la línea de referencia, que en este caso está en 2, son estadísticamente los más significativos para el modelo. De dicho grafico se ratifica lo concluido del análisis de varianza presentado en la tabla 6.



**Figura 1.** Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados

**Fuente:** elaboración propia.

Considerando los resultados obtenidos mediante el análisis de varianza, el diagrama de Pareto y la correlación entre variables (figura 2), se optó por adelantar nuevas pruebas en las cuales a la variable *e\_Repo\_Trans* y a la interacción entre las variables *Umbral\_C* y *Costo\_De\_Idea* se les asignaran diferentes niveles, con el propósito de maximizar la variable de respuesta; mientras que el resto de variables permanecerían constantes. Para lo anterior, se configuró un escenario optimista, otro de tendencias y uno pesimista; en la tabla 7 se relaciona el valor asignado a cada variable en cada uno de los escenarios.

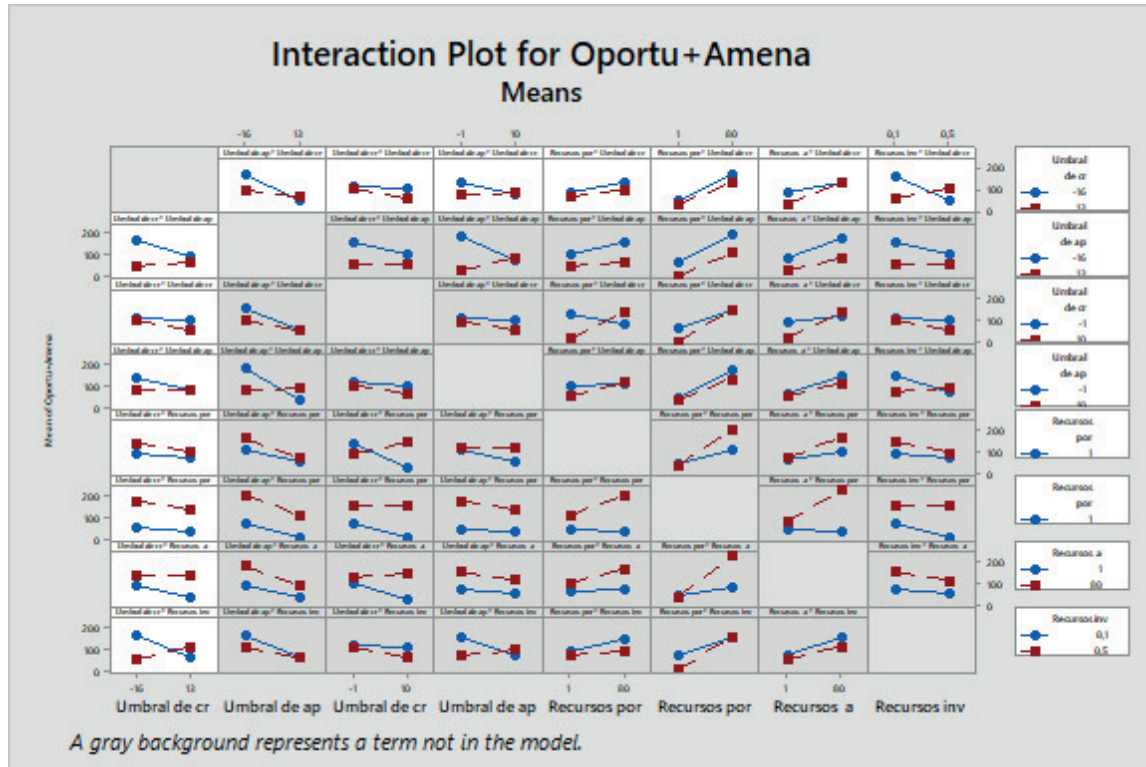


Figura 2. Interacción entre variables

Fuente: elaboración propia.

## RESULTADOS

De la combinación de los valores presentados en la tabla 7 resultaron 27 combinaciones diferentes por cada escenario, y para garantizar los resultados se hicieron 5 corridas por cada una; por tanto, en total se realizaron 405 pruebas, cada una para 6000 unidades de tiempo, o *ticks*, establecidas en *NetLogo*.

En las pruebas sobre el escenario optimista se evidenció que, en el 70% de las configuraciones, la organización que contenía el genoma de IC presentaba niveles más altos en términos de aprovechar de mejor manera los recursos disponibles y las ideas/oportunidades, o mitigar factores perturbadores o amenazas, comparados con los obtenidos por la organización jerárquica; la misma situación se presentó en el escenario de tendencia y en el pesimista con valores de 81% y 77%, respectivamente.

Por otro lado, en el escenario optimista, el valor más alto de aprovechamiento de recursos que alcanzaron las organizaciones fue 496 para la configurada con el genoma de IC, y 270 para la jerárquica. En el escenario de tendencia fue 572 y 168, respectivamente; y en el pesimista, fue 240 y 133. La tabla 8 resume las combinaciones que permiten maximizar el aprovechamiento de los recursos en las



**Tabla 7.** Parámetros definidos para el escenario optimista, de tendencia y pesimista, a partir de los resultados del diseño experimental

	Escenario optimista	Escenario de tendencia	Escenario pesimista
Umbral_C	-9	-9	-9
	-2	-2	-2
	6	6	6
Umbral_D	-9	-2	6
Umbral_C_R	0	5	8
Umbral_T_R	0	5	8
e_Repo_Crear	70	40	10
e_Repo_Trans	20	20	20
	40	40	40
	60	60	60
e_Repo_Nido	70	40	10
Costo_De_Idea	0,1	0,1	0,1
	0,25	0,25	0,25
	0,5	0,5	0,5

**Fuente:** elaboración propia.

organizaciones configuradas para cada uno de los escenarios; analizándolos se logró concluir que, para maximizar el aprovechamiento de los recursos en las organizaciones configuradas, las variables consideradas deben tomar los siguientes valores:

Umbral_C	-2
Umbral_D	-2
Umbral_C_R	5
Umbral_T_R	5
e_Repo_Crear	40
e_Repo_Trans	60
e_Repo_Nido	40
Costo_De_Idea	0,1

Una vez definido el valor que tomaría en el modelo de simulación diseñando cada una de las variables sometidas a sintonización, y continuando con el proceso de verificación del modelo de simulación, se recurrió a tomar otro de los casos documentados por [Malone et al., 2010](#) de Wikipedia, que es el que se muestra en la tabla 9, y representarlo en el modelo de simulación desarrollado.

**Tabla 8.** Combinaciones que optimizan la variable de respuesta para cada uno de los escenarios

	Escenario optimista		Escenario de tendencia		Escenario pesimista	
	Organización con el genoma de IC	Organización jerárquica	Organización con el genoma de IC	Organización jerárquica	Organización con el genoma de IC	Organización jerárquica
Umbral_C	-2	-2	-2	-2	6	-2
Umbral_D	-9	-9	-2	-2	6	6
Umbral_C_R	0	0	5	5	8	8
Umbral_T_R	0	0	5	5	8	8
e_Repo_Crear	70	70	40	40	10	10
e_Repo_Trans	60	60	60	60	60	40
e_Repo_Nido	70	70	40	40	10	10
Costo_De_Idea	0,1	0,25	0,1	0,5	0,1	0,1

**Fuente:** elaboración propia.

Dado que el caso de Wikipedia documentado por [Malone et al., 2010](#) es teórico, se definió que la situación a analizar en la contrastación del modelo metodológico con el modelo de simulación desarrollado era el comportamiento colectivo inteligente en la organización que contiene el genoma de IC, esto en términos de aprovechar de mejor manera los recursos disponibles y las ideas/oportunidades, o mitigar amenazas, por tanto, se estableció que cuando la organización influenciada por el genoma de IC presentara porcentajes de aprovechamiento y de mitigación de más del 50 %, se consideraría un comportamiento inteligente.

Para garantizar los resultados, la configuración del genoma se sometió a diez corridas, cada una se realizó hasta 6000 unidades de tiempo, o *ticks*. Los resultados de las pruebas realizadas que se relacionan en la tabla 10, permitieron evidenciar que, en el 70 % de las corridas, el porcentaje de aprovechamiento y de mitigación estuvo por encima del 50 %, de ahí se concluyó que el modelo de simulación desarrollado corresponde a la representación del modelo metodológico del genoma de IC propuesto por [Malone et al., 2010](#), acorde con el caso empresarial de estudio.

**Tabla 9.** Genoma de inteligencia colectiva para Wikipedia

Ejemplo	Qué		Quién	Por qué	Cómo
Crea la colección de artículos de Wikipedia	Crear	Artículo nuevo	Multitud	Amor, gloria	Colección
	Decidir	Eliminar la versión preliminar	Multitud	Amor, gloria	Votación

**Fuente:** tomado de [Malone et al., 2010](#).

**Tabla 10.** Resultados en términos de aprovechamiento de recursos para la organización que contiene el genoma de IC al representar el genoma de Wikipedia

	Número de ideas/oportunidades y amenazas dispuestas en el medio	Número de proyectos desarrollados por la organización configurada con el genoma de IC para aprovechar ideas/oportunidades y mitigar amenazas	Porcentaje de aprovechamiento y mitigación
Corrida 1	887	431	49
Corrida 2	829	379	46
Corrida 3	931	531	57
Corrida 4	850	533	63
Corrida 5	1145	573	50
Corrida 6	800	434	54
Corrida 7	405	314	78
Corrida 8	1024	520	51
Corrida 9	915	499	55
Corrida 10	962	565	59

**Fuente:** elaboración propia.

## CONCLUSIONES

Los modelos de simulación multiagente permiten representar los comportamientos emergentes de una organización empresarial, a partir de la interacción entre los agentes internos y externos.

Con los resultados obtenidos en la validación del modelo de simulación desarrollado, al representar el caso específico de la empresa Wikipedia, se puede afirmar que el modelo de simulación desarrollado representa el genoma de IC propuesto por [Malone et al., 2010](#), cuando la multitud es quien realiza la acción de crear y decidir, lo que contribuye a la comprensión del modelo metodológico y a la exploración de diferentes configuraciones del genoma que permita evaluar características que otorgue el comportamiento inteligente de una organización empresarial.

A través del análisis y validación realizado para sintonizar un modelo de simulación, se encuentran un número importante de interacciones no consideradas durante su desarrollo. Además, en el caso de una organización empresarial, el uso de un modelo como el desarrollado en esta investigación, pone de manifiesto puntos débiles en su estructura. Por tanto, el proceso de representación mediante modelos resulta beneficioso para la toma de decisiones.

Si bien todas las variables representativas del modelo son significativas para este, y pasan la validación estadística, la variable que mayor significancia representa corresponde a las ganancias en términos de recursos que recibe cada uno de los agentes que participaron en el desarrollo y ejecución de un proyecto.

Una de las actividades más complejas que se realizó en esta investigación fue la de sintonización de los factores externos e internos a la organización que permitieron maximizar el aprovechamiento de recursos, ya que debido a la complejidad del modelo no fue fácil identificar una metodología que permitiera considerar todos los posibles escenarios. Inicialmente se consideró adelantar la sintonización a través del método de ensayo y error; sin embargo, luego de varias iteraciones manuales no fue posible encontrar una región que permitiera comprobar la maximización de la variable de respuesta; por tanto, se optó por usar en primera medida un diseño experimental de la forma 2k, y luego la configuración de escenarios optimistas, de tendencias y pesimistas, en los cuales les fueron asignados diferentes niveles a aquellas variables que representaban mayor significancia para el modelo de simulación desarrollado.

El modelo de simulación desarrollado cuenta con limitaciones derivadas principalmente por la complejidad de representar organizaciones empresariales; sin embargo, pueden ser superadas en etapas posteriores de la investigación y de hecho constituyen un curso de acción a seguir dentro de la misma. El considerar otras interacciones u otros factores puede generar niveles de complejidad mayores que facilitarían la comprensión y análisis de las organizaciones empresariales; y ampliar así otras áreas de investigación.

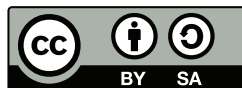
Una de las futuras líneas de investigación podría estar encaminada a analizar el efecto de diferentes configuraciones de los genes que conforman el genoma de IC propuesto por [Malone et al., 2010](#), como alternativa que permitiría a las organizaciones empresariales desarrollar agilidad, en comparación con organizaciones jerárquicas caracterizadas por la orientación al dinero y la toma de decisiones *top down*.

## REFERENCES

- [Alfarez, 2005] Alfarez, A. (2005). *A framework for decentralised trust reasoning* [Tesis doctoral]. University of London. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1444477> ↑Ver página 65
- [Blomberg y Kallio, 2017] Blomberg, A. y Kallio, T. (2017). Antecedents of organizational creativity: Drivers, barriers or both? *Journal of Innovation Management* Blomberg, 5, 78-104. [https://doi.org/10.24840/2183-0606\\_005.001\\_0007](https://doi.org/10.24840/2183-0606_005.001_0007) ↑Ver página 63
- [Chang, Y. y Shih, 2019] Chang, Y. y Shih, H. (2019). Work curiosity: A new lens for understanding employee creativity. *Human Resource Management Review*, 29(4), 100672. <https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2018.10.005> ↑Ver página 63
- [Dananjaya y Kuswanto, 2015] Dananjaya, I. y Kuswanto, A. (2015). Influence of external factors on the performance through the network of small and medium enterprises. *European Journal of Business and Management*, 7(27), 38-48. ↑Ver página 63

- [De la Hoz *et al.*, 2014] De la Hoz, J., Carrillo, E. y Gómez, L. (2014). Memorias organizacionales en la era del almacenamiento en la nube. *Tecnura*, 18(40), 115-126. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.2.a09> ↑Ver página 61
- [Deutsch, 1958] Deutsch, M. (1958). Trust and suspicion. *Journal of Conflict Resolution*, 2(4), 265-279. <https://doi.org/10.1177/002200275800200401> ↑Ver página 65
- [Glenn, 2015] Glenn, J. (2015). Collective intelligence systems and an application by the Millennium Project for the Egyptian Academy of Scientific Research and Technology. *Technological Forecasting and Social Change*, 97, 7-14. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.10.010> ↑Ver página 59, 60
- [Jain y Jain, 2016] Jain, R. y Jain, C. (2016). Employee creativity: A conceptual framework. *Management and Labour Studies*, 41(4), 294-313. <https://doi.org/10.1177/0258042X16676664> ↑Ver página 63
- [Kim *et al.*, 2016] Kim, K., Ryoo, S. y Lee, H. (2016). Environmental uncertainty and interorganizational information sharing: Accommodating manufacturer and supplier perspectives. *Information Development*, 32(5), 1485-1502. <https://doi.org/10.1177/0266666915608425> ↑Ver página 63
- [Lomberg *et al.*, 2017] Lomberg, C., Kollmann, T. y Stöckmann, C. (2017). Different styles for different needs. The effect of cognitive styles on idea generation. *Creativity and Innovation Management*, 26(1), 49-59. <https://doi.org/10.1111/caim.12188> ↑Ver página 63
- [López *et al.*, 2014] López, C. A., Medina, V. H. y Udden, L. (2014). Decision-making model for the development of productive capacity as a component of a knowledge management system. *Tecnura*, 18(edición especial doctorado), 16-29. 10.14483/Udistrital.Jour.Tecnura.2014.DSE1.A01. ↑Ver página 63
- [Luhmann, 1979] Luhmann, N. (1979). *Trust and power*. Polity Press. ↑Ver página 65
- [Malone *et al.*, 2010] Malone, T. W., Laubacher, R. y Dellarocas, C. (2010). *The collective intelligence genome*. *MIT Sloan Management Review*, 51(3), 21-31 <https://doi.org/10.1109/EMR.2010.5559142> ↑Ver página 59, 60, 61, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 72, 73, 74, 75
- [Marsh, 1994] Marsh, S. (1994). *Formalising trust as a computational concept* [Tesis doctoral]. University of Stirling]. ↑Ver página 65
- [Niño y Román, 2016] Niño, Y. y Román, R. (2016). El rol de los trabajos de grado como motor de aprendizaje organizacional. El caso de los programas académicos de Tecnología Industrial e Ingeniería de Producción en la Universidad Distrital (Bogotá, D. C.). *Tecnura*, 20(edición especial), 132-146. 10.14483/Udistrital.Jour.Tecnura.2016.SE1.a10. ↑Ver página 63

- [Posada, 2018] Posada, J. E. (2018). *La autoorganización empresarial como alternativa para incrementar la agilidad organizacional: una comparación de escenarios de simulación multiagente* [Tesis de maestría, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13507>. ↑Ver página 62
- [Smith *et al.*, 2008] Smith, M., Busi, M., Ball, P. y Van der Meer, R. (2008). Factors influencing an organisation's ability to manage innovation: A structured literature review and conceptual model. *International Journal of Innovation Management*, 12(4), 655-676. <https://doi.org/10.1142/S1363919608002138> ↑Ver página 63
- [Walton, 2003] Walton, A. (2003). The impact of interpersonal factors on creativity. *International Journal of Entrepreneurial Behaviour & Research*, 9(4), 146-162. <https://doi.org/10.1108/13552550310485120> ↑Ver página 63
- [Yeh y Huan, 2017] Yeh, S. y Huan, T. (2017). Assessing the impact of work environment factors on employee creative performance of fine-dining restaurants. *Tourism Management*, 58, 119-131. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.10.006> ↑Ver página 63



## Modeling of Mass Movement Phenomena to Determine the Depth of Rainfall Infiltration into the Soil

### Modelado del fenómeno de remoción de masa para determinar la profundidad de infiltración de la lluvia en el suelo

César Quintana-Cabeza <sup>1</sup>, Jemay Mosquera-Téllez <sup>2</sup>, Carlos Parra-Ortega <sup>3</sup>

Fecha de Recepción: 25 de mayo de 2021

Fecha de Aceptación: 07 de febrero de 2022

**Cómo citar:** Quintana-Cabeza, C. Mosquera-Téllez, J. y Parra-Ortega, C. (2022) Modeling of Mass Movement Phenomena to Determine the Depth of Rainfall Infiltration into the Soil. *Tecnura*, 26(72), 78-102. <https://doi.org/10.14483/22487638.17743>

### Abstract

**Context:** Establishing a dynamic model of the water precipitation intensity-soil porosity and infiltration speed system offers the possibility of measuring the depth of water infiltration and soil moisture that produce landslides.

**Methodology:** By applying system dynamics, a causal diagram of the geotechnical variables of two samples from sites affected by the mass movement phenomena in Pamplona (Colombia) was developed. The model was implemented using the Stella v9 software.

**Results:** The simulation results show the variation of soil depth to be saturated in order to reach the liquid limit or a failure due to shear stress.

**Conclusions:** The relation between mass movement and precipitation does not coincide with the current collective imaginary, but it depends on a characteristic set of precipitation values for each soil type.

**Financing:** This research was funded with the authors' own resources.

**Keywords:** soil moisture, system dynamics, landslides, critical rain

### Resumen

**Contexto:** El establecimiento de un modelo dinámico del sistema intensidad de precipitación de agua-porosidad del suelo y velocidad de infiltración ofrece la posibilidad de medir la profundidad de infiltración de agua y de humedad en el suelo

<sup>1</sup>Civil Engineer. Master in Environmental Engineering. Professor at Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia. Email: [cdquintana@ucatolica.edu.co](mailto:cdquintana@ucatolica.edu.co)

<sup>2</sup>Architect. PhD in Architecture, Postdoctoral Fellow in Cities and Megacities. Full professor and director of the Gestión Integral del Territorio (Integral Territory Management, GIT) research group of Universidad de Pamplona. Pamplona, Colombia. Email: [jemay.mosquera@unipamplona.edu.co](mailto:jemay.mosquera@unipamplona.edu.co)

<sup>3</sup>Systems Engineer. PhD in Applied Sciences, Full profesor of Universidad de Pamplona. Pamplona, Colombia. Email: [carapa@unipamplona.edu.co](mailto:carapa@unipamplona.edu.co)

que producen el deslizamiento.

**Metodología:** Aplicando la dinámica de sistemas, se desarrolló un diagrama causal de las variables geotécnicas de dos muestras de suelo de sitios afectados por fenómenos de remoción en masa en Pamplona (Colombia). El modelo fue implementado con el software Stella v9.

**Resultados:** Los resultados de simulación muestran la variación de profundidad de suelo a saturar para alcanzar el límite líquido o la falla debido al esfuerzo cortante.

**Conclusiones:** La relación entre el fenómeno de remoción en masa y precipitación no coincide con el imaginario colectivo actual, sino que depende de un conjunto característico de valores de precipitación para cada tipo de suelo.

**Financiamiento:** La investigación fue financiada con recursos propios de los autores.

**Palabras clave:** humedad del suelo, dinámica de sistemas, deslizamientos, lluvia crítica

---

## Table of Contents

	Page
<b>Introduction</b>	79
<b>Methodology</b>	80
Mass movement phenomena . . . . .	80
The Mora and Varhson methodology . . . . .	81
Mathematical formalizations . . . . .	83
Mathematical model approach . . . . .	87
<b>Results</b>	93
<b>Conclusions</b>	98
<b>Funding</b>	99
<b>ACKNOWLEDGMENTS</b>	99
<b>References</b>	99

## INTRODUCTION

There are several methodologies used to study and zone mass movement phenomena, such as uniparametric and biparametric models (Román & Chio, 2018), analyzing hydroclimatological, geological, physical, geometric, and mechanical parameters, or risk factor estimation (Rodríguez-Mejía *et al.*, 2019). Some of these methodologies assume that the occurrence of the phenomenon is due to the effect of high-intensity rainfall on the affected area; they also assume that the variable that measures soil moisture depends only on the intensity of rainfall and also confuse the geotechnical concept of saturation with moisture. In Mora and Varhson's methodology, the soil moisture factor



is directly related to monthly average precipitation values without further geotechnical considerations (INGEOMINAS-CVC, 2001). In addition, several researchers have complemented this methodology by incorporating other variables (Rodríguez-Solano *et al.*, 2013, Barrantes *et al.*, 2011).

In this study, by means of mathematical models complemented by the system dynamics methodology (Aracil & Gordillo, 1997), together with the use of simulation software and through the evaluation of the variables proposed in the American Society of Testing Materials (ASTM), a model was implemented for variables such as liquid limit (ASTM 423-66), saturated specific gravity, unit weights of solids and water, unit volumes of water and voids, porosity, cohesion, internal friction angle, permeability coefficient (ASTM D2434-68), and slope gradient regarding two soil samples from sites affected by landslide phenomena in Pamplona, Colombia.

The gravimetric moisture of the soil mass and the relative specific weight of the solids, as proposed in ASTM D2216-71 and ASTM D854-58, respectively, were characterized in the laboratory in order to calculate the gravimetric and volumetric ratios for the following variables: void ratio, porosity, and degree of saturation. The units of measurement used in the mathematical model are grams (g), centimeters (cm), and seconds (s).

Simulation assumptions consist of rainfall intensities of 0,002350, 0,001347, and 0,000181 cm/s, durations of 900 and 21.600 s, and a slip safety factor of 1 (Montzka *et al.*, 2011, Rodríguez-Solano *et al.*, 2013).

As shown by the simulation results, the saturation depth for the liquid limit to be reached in the entire soil mass does not vary in the soils, nor does the saturated depth at which shear failure occurs.

The system dynamics analysis concluded that the landslide phenomenon does not occur exclusively because of high-intensity rainfall or the frequency between rainfalls, but because the liquid limit value in the soil mass or shear failure is reached due to the duration of the rainfall.

This article shows a fraction of the work developed with the aim of providing another way for estimating the soil moisture factor within the aforementioned methodology.

## METHODOLOGY

### Mass movement phenomena

In Colombia, mass movement phenomena occur relatively frequently (Cuanalo-Camposa & Gallardo-Amaya, 2016) and mainly in rainy seasons. In the last few years, it has become important to conduct research on these phenomena due to the alleged increase in the frequency of their occurrence due to increased rainfall or to the perception of increased loss of life or materials each time they occur (INGEOMINAS-CVC, 2001). Not all cases of mass movement phenomena are caused by the action of nature; anthropogenic action also contributes to their occurrence, to the extent that “human activities alter landscapes’ evolutionary processes and shape their natural forms” (Castro *et al.*,

2014, p. 78). A mass movement or mass wasting phenomenon, can be understood as any movement of soil mass by the action of the force of gravity (SGC, 2016) with a downward character (Lara & Sepúlveda, 2008). These movements involve slope-forming materials under the influence of gravity, without the primary assistance of any fluid transport agent (SGC, 2017). The flow of soil dissolved in water, which is known as an avalanche, should also be considered to be a mass movement phenomenon (Quesada & Feoli, 2018).

The classifications of mass movement phenomena are based on morphological aspects of the fault surface, the area of occurrence, movement velocity, volume moved, and materials involved, among others (Alcántara, 2002). The most accepted and well-known classification is the one formulated by Varnes in 1978, which uses the type of movement and the material involved as criteria (Fell *et al.*, 2008).

It is important to determine the threat points of mass movement phenomena in order to regulate land use in territories and define prevention mechanisms (Fell *et al.*, 2008, Aristizábal *et al.*, 2010). Depending on the level of precision required for the evaluation and zoning of said phenomena, there are several methodologies that always relate internal factors of the slope and external factors that trigger the occurrence of the events (Guzzetti, 2000).

According to the Colombian Geological Survey (SGC), the geological, geomorphological, land cover, and land use aspects that condition landslide hazards are inherent to each study area and establish the “predisposition of the terrain to the occurrence of mass movements” (SGC, 2017, p. 19).

Considering the urgency of contributing to the solution of environmental conflicts and disaster risk management (Arévalo-Algarra *et al.*, 2021), the correct mapping of phenomena associated with the risk of slope instability must contemplate information related to the “spatial and temporal probability of occurrence, type, magnitude, speed, travel distance and limit of retrogressive advance of mass movements” (Soeters & van Westen, 1996). However, in practice, these aspects are not taken into account due to lack of resources for a detailed characterization of the slope.

The SGC (formerly INGEOMINAS), which is part of the National System of Science, Technology, and Innovation (SNCTI), classifies the FRM zoning methods (Castro *et al.*, 2014) as implicit, semi-implicit, empirically explicit, semi-analytically explicit, or analytically explicit according to the way in which the internal or external factors are synthesized to obtain the landslide hazard map.

### **The Mora and Varhson methodology**

This methodology was developed in Costa Rica by Sergio Mora and Wilhelm-Guenther Varhson in 1994 to classify landslide hazard in a given area or region using morpho-dynamic terrain indicators (Mora *et al.*, 2002, Alcántara, 2002). The methodology requires five factors; a combination of three of them (slope, lithology, and soil moisture) are defined as intrinsic factors and the rainfall and seismic intensity of the study area as extrinsic factors.

The SGC classification is an explicit empirical method because internal and external factors are represented by a numerical value assigned by an expert in order to indicate their degree of contribution to ground instability. These values are totaled and divided by ranges to determine the different threat levels (INGEOMINAS-CVC, 2001).

The combination of these factors is expressed as Equation (1), where  $H$  stands for hazard or degree of landslide susceptibility:

$$H = (Sr \times Sl \times sh) \cdot (Ds + Dp) \quad (1)$$

In this Equation,  $Sr$  is the relative relief,  $Sl$  the lithology, and  $Sh$  the soil moisture. The triggering or external factors are seismicity ( $Ds$ ) and precipitation intensity ( $Dp$ ).

Landslide susceptibility due to seismicity and precipitation intensity can be established by multiplying the product of the intrinsic factors ( $Sr, Sl, Sh$ ) by each of the external factors ( $Ds, Dp$ ).

The relative relief factor ( $Sr$ ) involves the topographic conditions of the terrain regarding the elevations and slope angles on the surface. The methodology establishes classification ranges for the different slope values that are finally represented in numerical values from 0 to 5.

The lithology ( $Sl$ ) establishes the influence of the different types of soils and rocks on the occurrence of landslides. Based on the geological maps of the area, the different lithological formations are taken into account and, according to their characteristics, they are assigned a numerical value ranging from 0 to 5.

The soil moisture ( $Sh$ ) factor aims to quantify the water retained in the soil. It indicates the amount of infiltrated water that remains in the subsoil, filling the soil particles. This parameter is calculated by using monthly rainfall averages from pluviometric stations located in the study area (Table 1).

**Tabla 1.** Values assigned to the monthly rainfall averages

Assigned value for	0	1	2
Monthly average rainfall (mm/month)	>125	125-250	>250

**Source:** (Rodríguez-Solano *et al.*, 2013)

The monthly averages are assigned the values in Table 2 and totaled for the twelve months of the year, thus obtaining a value between 0 and 24 units, later assigning the value of the soil moisture parameter ( $Sh$ ), as established in Table 2.

Note that the soil moisture factor does not depend on any geotechnical variable. For the seismic activity ( $Ds$ ) factor, the use of the modified Mercalli intensity scale is considered to be adequate, and, for the precipitation ( $Dp$ ) factor, a value between 1 and 5 is selected, which corresponds to the maximum daily precipitation value, as shown in Table 3.

**Tabla 2.** Evaluation of the soil moisture parameter ( $Sh$ )

Sum of the values assigned to each month	Description	Parameter rating
0-4	Very low	1
5-9	Low	2
10-14	Average	3
15-19	High	4
20-24	Very high	5

Source: (Rodríguez-Solano *et al.*, 2013)

**Tabla 3.** Precipitation factor values

Maximum precipitation (mm/day)	Description	Dp factor
<100	Very low	1
101-200	Low	2
201-300	Average	3
301-400	High	4
>400	Very high	5

Source: (Mora *et al.*, 2002)

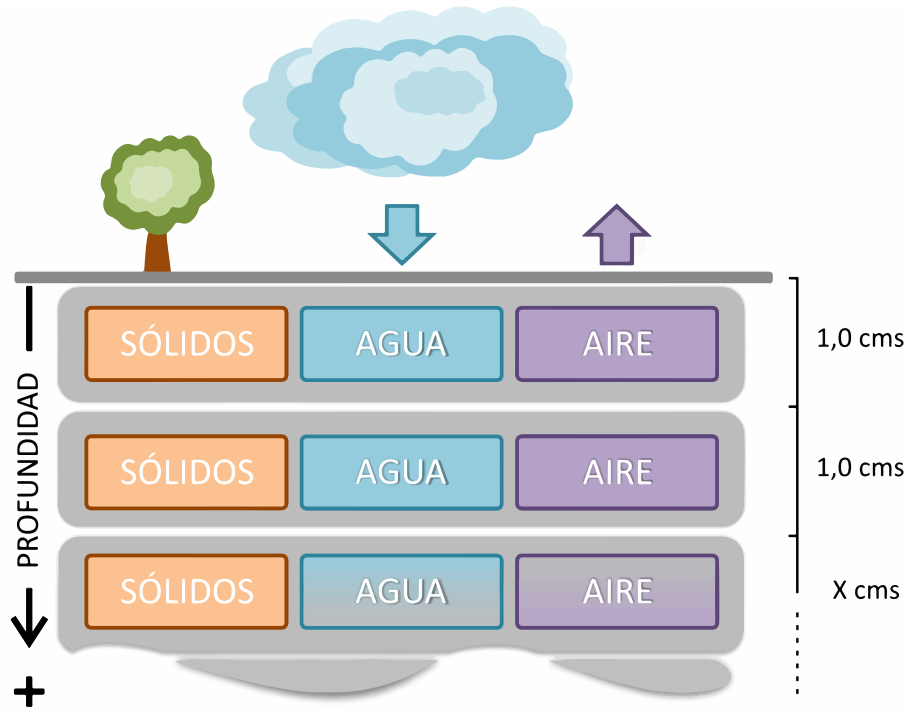
## Mathematical formalizations

In geotechnics, soil consists of solids, water, and air. The weight of the latter is neglected. The sum of the volumes of water and air are defined as the 'void volume' (Berry & Reid, 1993, Braja, 2015). Figure 1 shows this composition, as well as the source that originates them. Part of the water that precipitates is incorporated into the soil through runoff, and sometimes the air enclosed between solids passes into the atmosphere.

In geotechnics, the moisture ( $\omega$ ) of a soil is calculated by the ratio of the weight of water to the weight of soil, while the saturation ( $S$ ) in a soil is expressed as the ratio of the volume of water to the volume of voids. This is shown in Equations (2) and (3).

$$S = \frac{V_w}{V_v} \quad (2)$$

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \quad (3)$$



**Figure 1.** Graphical balance of water and air in the soil mass

Source: (Quintana-Cabeza, 2014).

Thus, there can be a saturated soil ( $S=100\%$ ) with a moisture content of  $60\%$ , just as there can be a soil with a moisture content greater than  $100\%$ , where the weight of water is much greater than the weight of solids in the soil mass; in this case, however, due to the large void volume, the soil does not reach  $100\%$  saturation.

The infiltration velocity ( $V_s$ ) is the rate of change for the actual length of advance of water through the void volume of the soil mass per unit time, as shown in Equation (4). The discharge velocity ( $v$ ) is the amount of water flowing per unit time through a total cross-section of soil perpendicular to the direction of the flow, and it is determined by the scalar product of the permeability coefficient ( $k$ ) and the hydraulic gradient ( $i$ ) obtained by laboratory tests according to Equation (5). For the presented model, the hydraulic gradient is 1.

$$V_s = \frac{v}{n}; \quad \text{where } v = ki \quad (4)$$

$$i = H \cdot \cos^2 \beta \quad (5)$$

Runoff, understood as rainwater flowing freely across the surface of a terrain, is estimated to occur if the intensity of the rainfall is greater than the permeability coefficient of the soil, that is, if the speed

with which the water manages to infiltrate the soil is less than the intensity of the rainfall that reaches the soil surface (in the same unit of time).

Under the assumptions of this model, soil sliding on the slope is estimated to be caused by fatigue in the shear strength of the solids comprised by the soil mass, but the liquid limit (LL) of soil consistency, proposed at the beginning of the 20th century by Swedish pedologist Albert Mauritz Atterberg, is also taken into account as a presumed trigger for sliding (Figure 2).



**Figure 2.** Theoretical consistency of the soil mass according to the moisture content

**Source:** (Quintana-Cabeza, 2014).

Sliding of soil on a slope due to shear strength fatigue could result in rotational and translational landslides, while exceeding the liquid limit could result in avalanche- or reptation-type landslides (?).

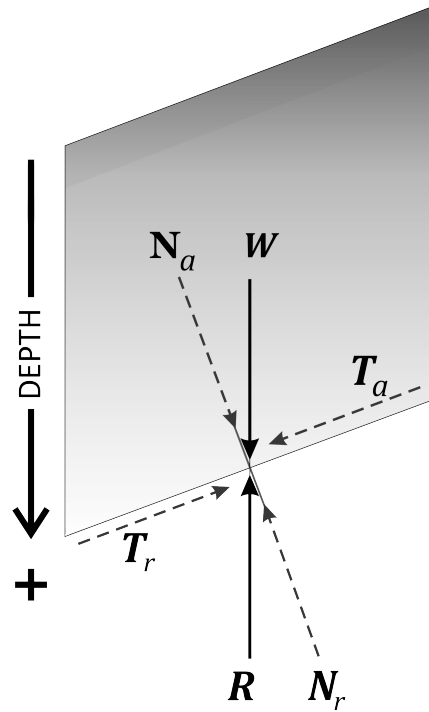
The fatigue of the material (soil solids) is calculated, second by second, by a mathematical expression that sums two relationships: a) cohesion ( $C$ ) with the product of the saturated specific weight of the soil ( $\gamma_{sat}$ ), the saturated depth ( $H$ ), and the slope slope angle ( $\beta$ ); and b) the product of the ratio of the effective specific weight of the soil ( $\gamma'$ ) and its saturated specific weight affected by the ratio between the tangents of the angle of internal friction ( $\Theta$ ) and the slope (inclination) (Braja, 2015).

$$FS = \frac{C}{\gamma_{sat} H \cos^2 \beta \tan \beta} + \left( \frac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \right) \left( \frac{\tan \varphi}{\tan \beta} \right) \quad (6)$$

Although the model does not aim to analyze the stability of the slope, the mathematical expression used for the calculation of the shear strength of soil solids defines the stability of infinite slopes with infiltration, as shown in Figure 3. A slope is an artificial conditioning of the soil to anthropic needs, whereas a hillside is the natural inclination that a soil mass has acquired at the end of its natural geological processes (Figure 3).

In this model, the expected value to which the mathematical expression tends is 1 because, at that instant, and at a certain saturated depth, the forces tangential to the plane at the saturated depth that resist the column of saturated soil are equal to the tangential forces that cause it to slide, *i.e.*, the failure is incipient (initiation). In slope stability, the employed safety factor is 1,5 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

The rainfall intensity values used in the model come from the intensity-duration-frequency (IDF) curves calculated by the Colombian Institute for Hydrology, Meteorology, and Environmental Studies (IDEAM), with data from meteorological station 16015020, which is located in Pamplona, Colombia (Lat. 7.373111 N, Long. 72.645 W, Alt. 2.340 masl). These curves are summarized in Table 4.



**Figure 3.** Analysis of an infinite slope, without infiltration

Source: Adapted from (Braja, 2015).

**Tabla 4.** Intensities in centimeters per second, Pamplona station (cm/s)

Duration	Return period (years)					
	3	3	3	3	3	3
900	0,001347	900	0,001347	900	0,001347	900
1.800	0,000992	1.800	0,000992	1.800	0,000992	1.800
3.600	0,000697	3.600	0,000697	3.600	0,000697	3.600
7.200	0,000428	7.200	0,000428	7.200	0,000428	7.200
21.600	0,000181	2.1600	0,000181	21.600	0,000181	21.600

Source: Authors, based on data from IDEAM, 2015.

The sampled sites correspond to known landslides within the urban perimeter of Pamplona (Colombia): 13 Atrás Cariongo, 10 Cristo Rey (low), 2 Jurado (high), 7 Jurado (low), 8 La Curva, 14 Las

Margaritas, 5 Los Olivos, 16 Salida Bucaramanga, 9 Santa Marta (high), and 6 Santa Marta (low) (Chaparro & Pedraza, 2012). The above sites are shown in Figures 4 and 5.

The samples taken from the sites affected by mass movement phenomena do not correspond to the soil removed by the phenomenon but to that adjacent to it. This was done in order to avoid obtaining data on residual cohesion, the angle of internal friction, and the permeability coefficient. The codes come from the programmed sequence of field activities for sampling, and the names obey the subjective appreciation of the authors, together with urban denominations. For the purposes of this paper, the model has been run for the dataset of sites 16 and 8. In other analyses performed by the authors, it has been found that the mass movement phenomena of these sites may be directly related to irregular anthropic interventions rather than to natural actions.

### Mathematical model approach

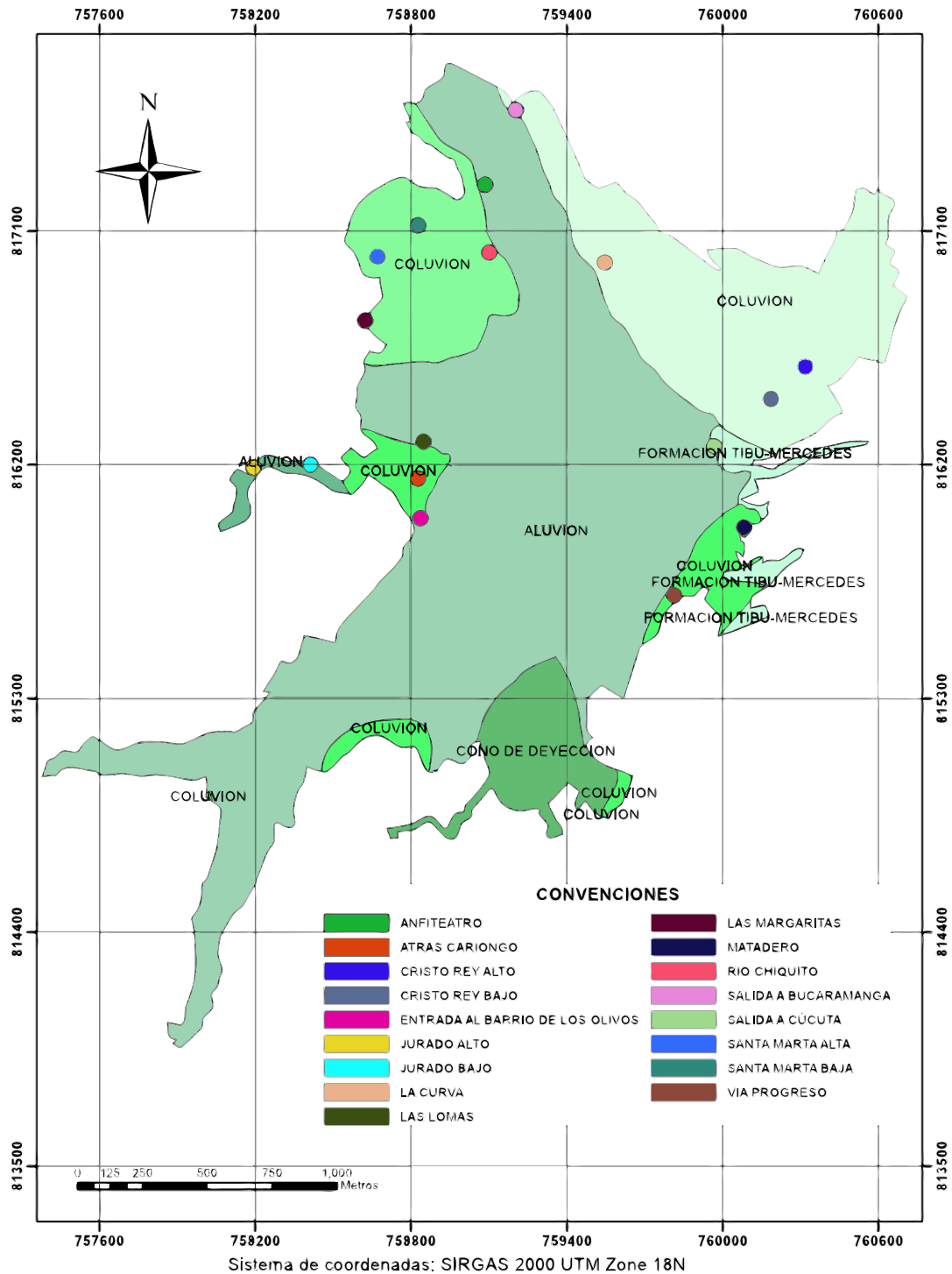
In order to obtain an operational model of the mass removal phenomenon which could be subsequently simulated under different scenarios, the methodology proposed by Aracil & Gordillo, 1997, which is based on Forrester's system dynamics (Forrester, 1997), was applied with a systemic approach. One way to systemically approach this phenomenon is to propose a causal diagram that relates the geotechnical and hydrological variables and thus observe the relationships of influence between them. With this, feedback cycles and accumulation equations of the state variables can be identified.

The vegetation cover acts as a water control mechanism within the soil, as it intercepts part of the rainwater, part of which percolates into the soil. The water that is not filtered runs off, leading to erosion, which is affected by the soil per unit runoff and is in turn influenced by soil erodibility in terms of "increased sediment entrainment and deposition" (Montoya-Armenta & Rodríguez-Díaz, 2020, p. 65). The initial causal diagram is shown in Figure 6.

One way to control erosion is through civil infrastructure as a means of control, which decreases the erodible soil through stabilization works, which are carried out when erosion is appreciable. In Figure 6, it corresponds to the feedback loop in the upper right corner. However, other variables such as runoff continue to affect erosion. These control measures do not have an instantaneous effect, so there may be delays in their final effects. In turn, the amount of water that infiltrates and passes into the soil depends on the water that is on the ground but is diminished by the vegetation cover, which absorbs part of that water. The effect of human settlements is noticeable, as they reduce the vegetation cover, thus allowing for a greater amount of infiltrated water.

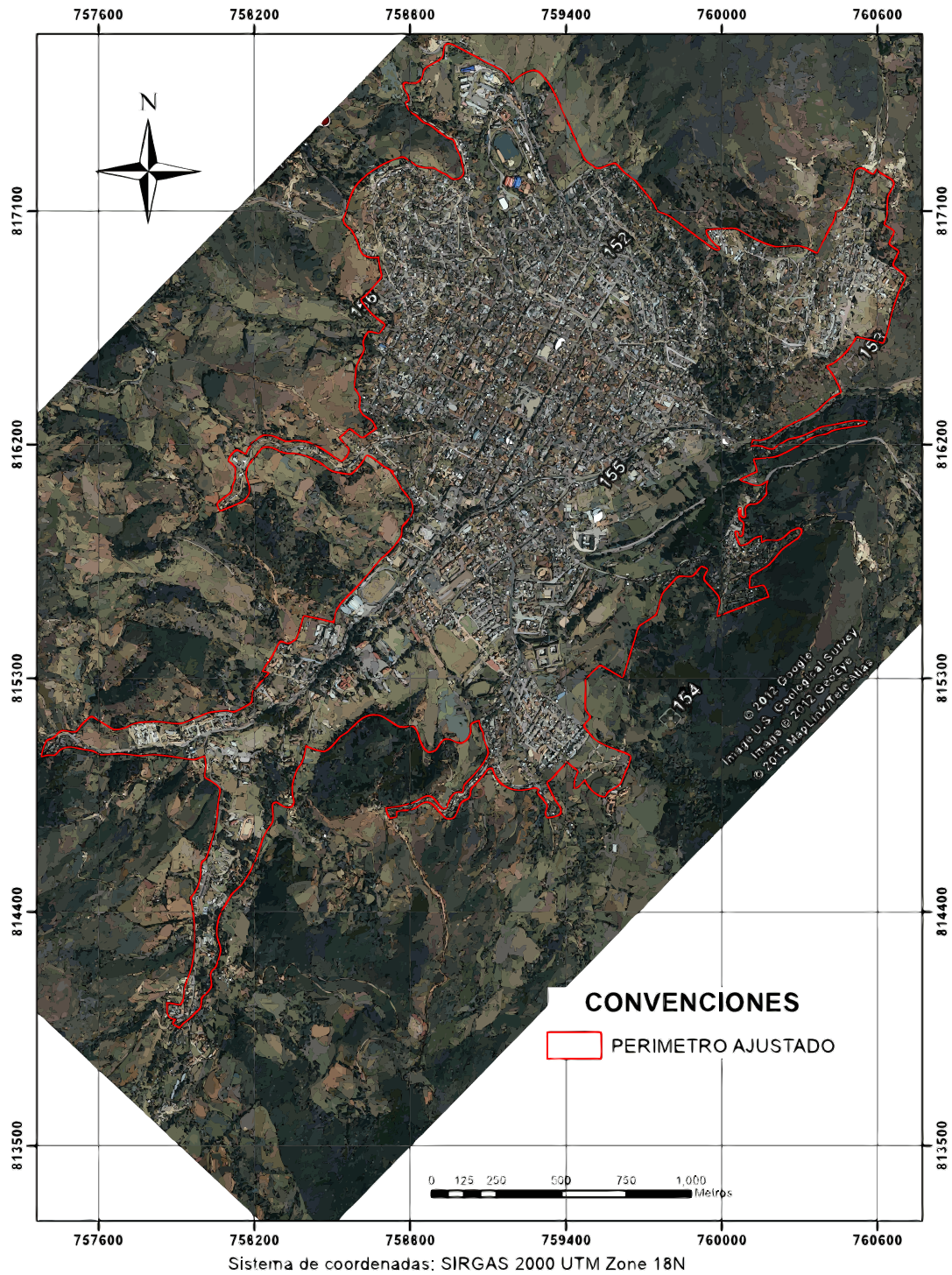
Once the variables have been identified by means of the causal diagram, they are classified, and then a Forrester diagram is generated (Aracil & Gordillo, 1997). This diagram allows the system of equations to explain the phenomena to be simulated. Table 5 lists the main variables. By way of convention, it is established that subsystem A groups the variables related to stability, B contains those associated with humidity, C is made up of those related to rainfall, D is made up of those





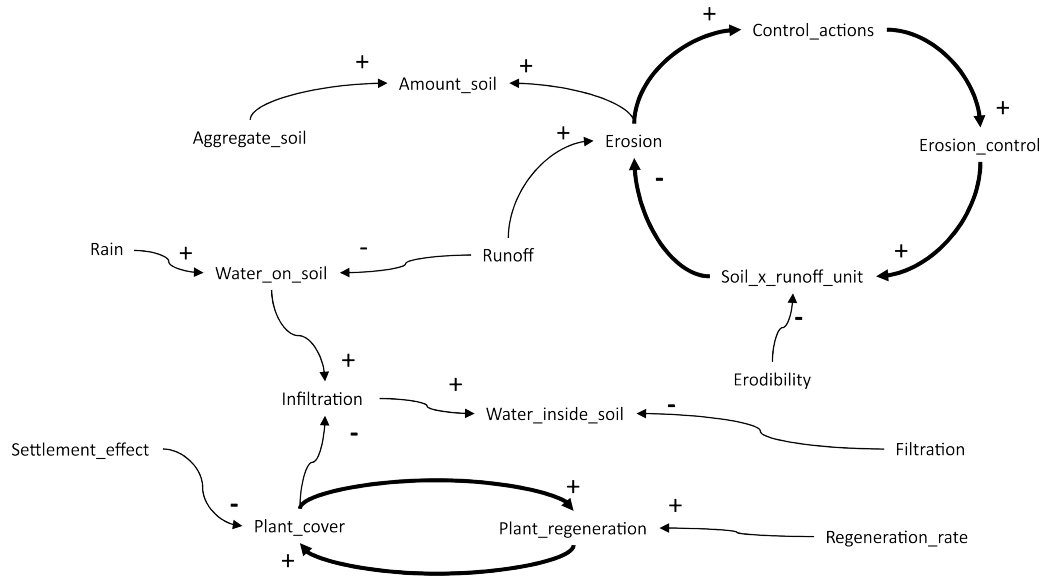
**Figure 4.** Geology and sampling points in the municipal capital of Pamplona, Colombia

Source: (Chaparro & Pedraza, 2012).



**Figure 5.** Urban perimeter of the municipal capital of Pamplona (Colombia)

Source: (Chaparro & Pedraza, 2012).



**Figure 6.** Causal diagram of the landslide event

**Source:** Adapted from [Quintana-Cabeza, 2014](#).

related to soil properties, and E is made up of variables related to permeability and infiltration. Table 5 lists the variables used in the model.

The model is based on the vertical calculation of the depth of soil saturated with water ( $H$ ) through the determination of the number of times that rainwater, immersed in the soil mass, occupies the unit void volume of the soil mass (AcumSaturatedDepth). It is expressed in 'void volume units' because it is the volume occupied by water and air in each cubic centimeter of soil mass. Figure 7 shows the structural diagram of the model, which results in a system of differential equations for the level variables, complemented by the algebraic equations that relate the other variables, which were previously established.

According to the Forrester diagram, soil moisture varies with respect to the amount of rainwater (TotalRain) which is added to the amount of water already in the soil mass (WeightWaterUnit). The volume and weight of solids per unit volume is constant (SolidsUnitWeight), and the total solids value varies (TotalSolids) as the depth increases because the volume of soil mass to be analyzed increases.

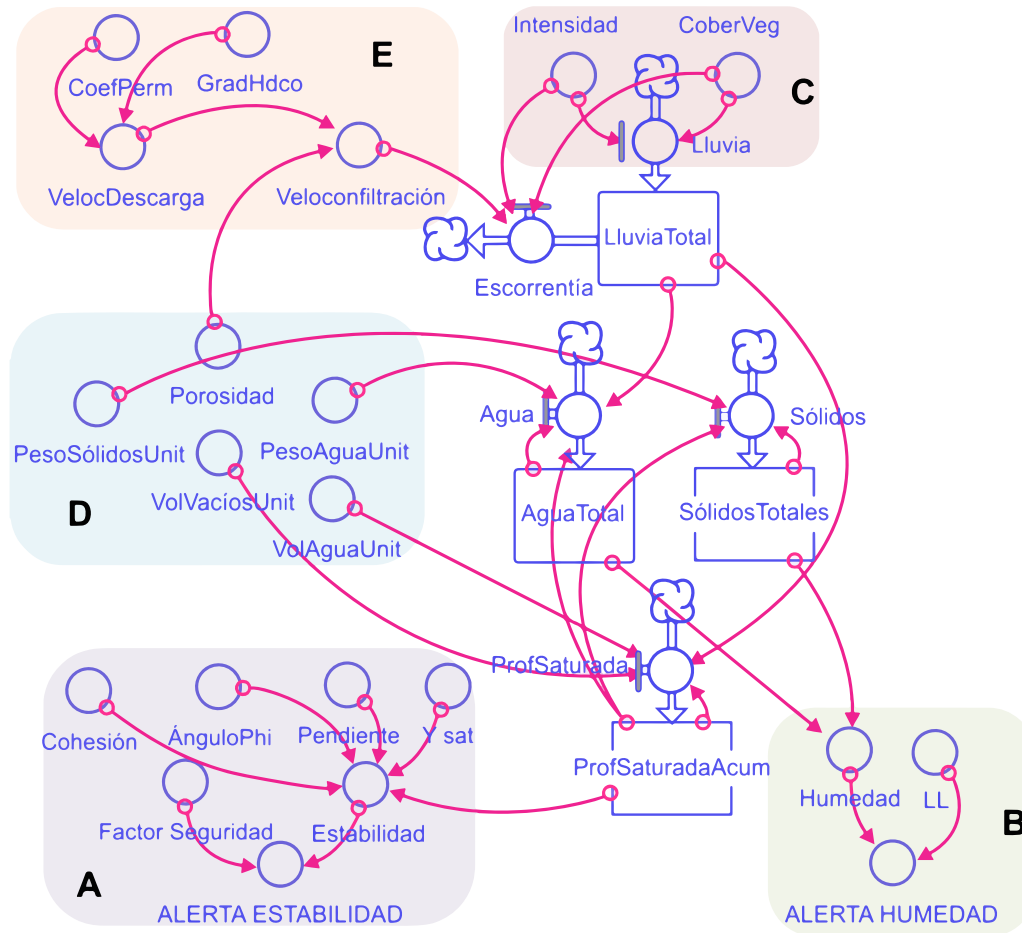
The MOISTURE ALERT variable acquires a value of 1 if the moisture of the soil mass as the simulated saturated depth reaches the value of the liquid limit (LL), since it is assumed that, at that moment, the soil acquires a liquid consistency and starts its displacement. The model does not estimate any displacement length or velocity.

In sector A, the model calculates the imbalance that exists between the shear forces at the simulated saturated depth. The STABILITY ALERT variable acquires a value of 1 if there is no longer

**Tabla 5.** Most relevant variables in the model

Variable	Description	Subsystem and variable type	Unit of measurement
AlertaEstabilidad	Stability indicator	A, auxiliary variable	N/A
FactorSeguridad	Threshold for stability	A, auxiliary variable	N/A
Cohesión	Soil cohesion factor	A, auxiliary variable	N/A
AnguloPhi	Angle $\varphi$	A, auxiliary variable	Radians
Pendiente	Angular measurement of slope	A, auxiliary variable	Radians
YSat	Depth of vertical saturation	A, auxiliary variable	cm
ProfSaturadaAcum	Unitary void volume of the soil mass	B, level variable	cm <sup>3</sup>
SolidosTotales	Amount of solids	B, level variable	cm <sup>3</sup>
AguaTotal	Amount of water	B, level variable	cm <sup>3</sup>
LluviaTotal	Water falling in precipitation over a period of time	C, level variable	cm <sup>3</sup>
Lluvia	Instantaneous water precipitation	C, flow variable	cm <sup>3</sup> /s
Escorrentía	Water runoff per unit of time	C, flow variable	cm <sup>3</sup> /s
Agua	Net water change rate	B, flow variable	cm <sup>3</sup> /s
Sólidos	Rate of change for the number of solids	B, flow variable	cm <sup>3</sup> /s
ProfSaturada	Amount of water entering the soil	B, flow variable	cm <sup>3</sup> /s
AleraHumedad	Moisture warning indicated	B, auxiliary variable	
Intensidad	Rainfall intensity	C, auxiliary variable	Mm
CoberVeg	Vegetative cover	C, auxiliary variable	g
VelocInfiltracion	Water infiltration rate	E, auxiliary variable	
Porosidad	Soil porosity factor	D, parameter	
GradHco	Water gradient	E, parameter	
CoefPerm	Permeability coefficient	E, parameter	
PesoAguaUnit	Weight of water per unit volume	D, auxiliary variable	g/cm <sup>3</sup>

Source: Authors.



**Figure 7.** Structural diagram of the landslide phenomenon

**Source:** Authors.

an imbalance of shear forces because it is assumed that, at that moment, the shear force resisting is less than the action of the normal component of the shear forces, which is due to the weight of the saturated soil column on the failure plane at the saturated depth.

Water infiltration into the soil is achieved by successive saturation of the surface unit volumes, which causes the water to move vertically downwards (to depth) by gravitational attraction due to the release of interstitial pressure. It is estimated that the depth of soil saturated with water depends only on the amount of rainwater that actually manages to enter the soil after being intercepted by the vegetation cover.

This leads to infer that a 100% saturation is essential because, without saturation, there is no vertical advance of water in the soil mass; if there is no saturation, one would be faced with a soil mass with such a high permeability coefficient that it does not experience pore pressure (interstitial

pressure) due to the transit of rainwater between its empty spaces (volumes) without any problem.

Therefore, in sector E, we have the variables for calculating the infiltration velocity (VelocInfiltration), which is compared to the rainfall intensity (Intensity) in order to define the presence of runoff, since this physical phenomenon reduces the amount of water entering the soil mass. In sector C, the amount of water reaching the soil surface is calculated, understanding the soil surface as the boundary between the atmosphere and the soil mass. The values of solids and water weight, as well as the values of water volume and voids, were analytically calculated with processed data and information from laboratory tests. The model was implemented for the data set of two sites: 16 and 8.

## RESULTS

According to the work described and conducted, it is convenient to establish some initial simulation conditions, under the assumption that the amount of water and solids in the model is 0, given that the depth of soil that is saturated at that moment is 0, *i.e.*, it starts on a dry surface. The units of measurement are grams (g), centimeters (cm), and seconds (s). Two sites were selected as the main scenario: site 8, with high soil stability, and site 16, with a more unstable soil type. The parameters in both sites are different, and the most important ones are shown in Table 6.

**Tabla 6.** Parameters of the sites where the model is applied

Site	Liquid limit	Plastic limit	Density	Humidity	Void volume
8 (La Curva)	23 %	13 %	1,7	10 %	0,4
16 (Salida Bucaramanga)	55 %	22 %	1,54	33 %	0,56

Source: (Quintana-Cabeza, 2014).

In the simulation of soil behavior at site 16, using the highest probable intensity (0,002350 cm/s) and occurring every 100 years, the soil reaches liquid limit moisture at 145 s (about three minutes), while stability is seriously compromised at 358 s (just under six minutes). The simulation has a total duration of 900 s, which corresponds to a period of 15 minutes. Figure 8 shows the behavior of the soil at this site.

For the soil at site 8, with the same rainfall intensity, the soil reaches the liquid limit moisture at 64 s, while stability is never compromised. The simulation also had a total duration of 900 s, and its results are shown in Figure 9.

Table 7 shows the evolution of the moisture and stability indicator variables for site 8 throughout the simulation.

For the lowest probable rainfall intensity (0,000181 cm/s) that occurs most frequently (every three years) and during 21.600 s (six hours), the soil of site 16 reaches the liquid limit in a little more than half an hour (1.864 s), and stability is compromised after an hour and a quarter of rain (4.626 s). Figure

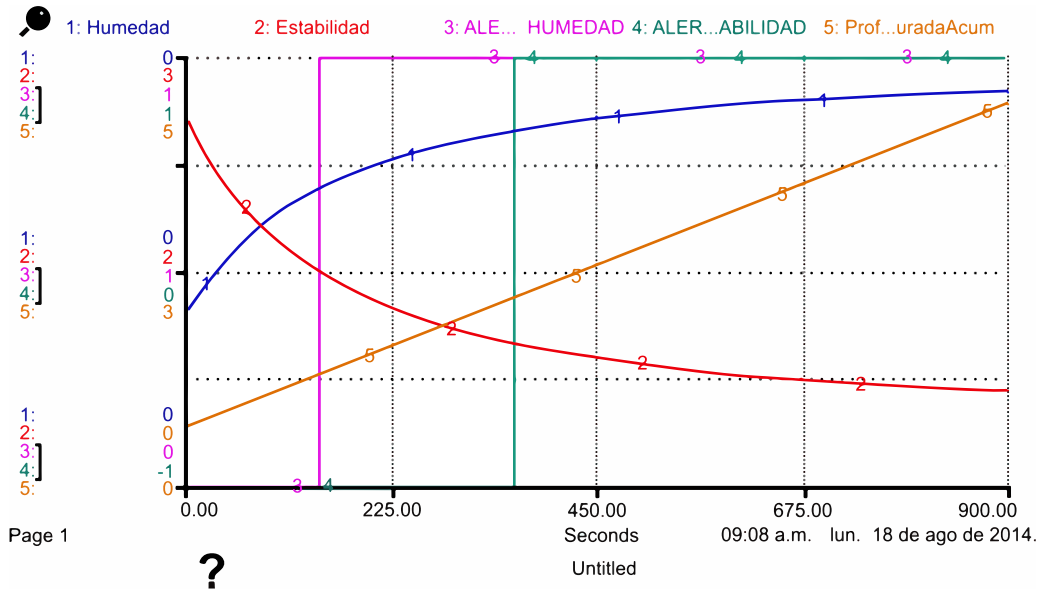


Figure 8. Simulation of soil behavior at site 16 with an intensity of 0,00235 cm/s

Source: Authors.

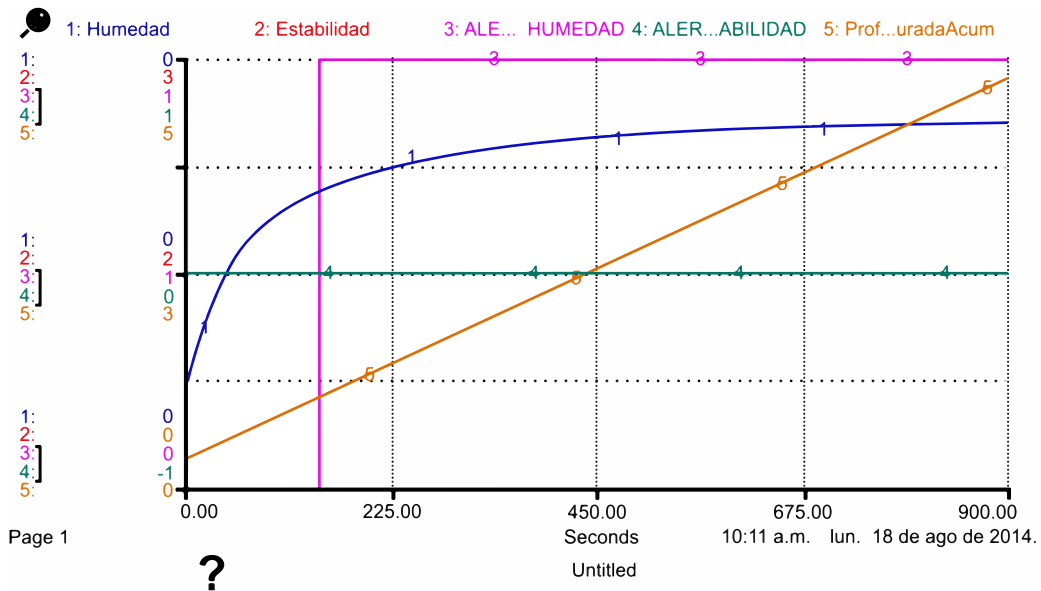


Figure 9. Simulation of soil behavior at site 16 with an intensity of 0,00235 cm/s

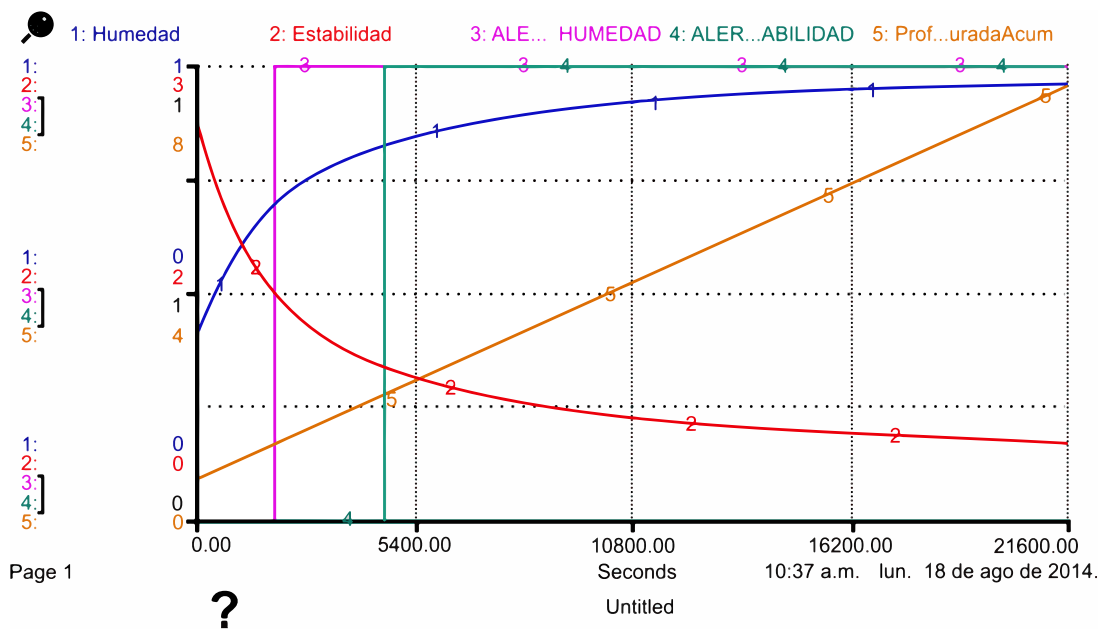
Source: Authors.

10 shows the behavior of these variables, and Table 8 shows the behavior of the variables associated with moisture and stability indicators.

**Tabla 7.** Appearance of moisture or stability alerts for soil at site 8

Seconds	Humidity	Stability	Moisture alert	Moisture stability	AcumSaturatedDepth
63	0,23	67,77	0,00	0,00	0,77
64	0.23	67,27	1,00	0,00	0,77
...					
899	0,34	11,64	1,00	0,00	5,73
End	0,34	11,63	1,00	0,00	5,74

Source: Authors.



**Figure 10.** Simulation of soil behavior at site 16 with an intensity of 0,000181 cm/s

Source: Authors.

For the soil at site 8, with the lowest probable intensity and the highest duration (six hours), the soil reaches liquid limit moisture at 819 s (just over 13 minutes), while stability is never compromised. Figure 11 and Table 9 summarize these results.

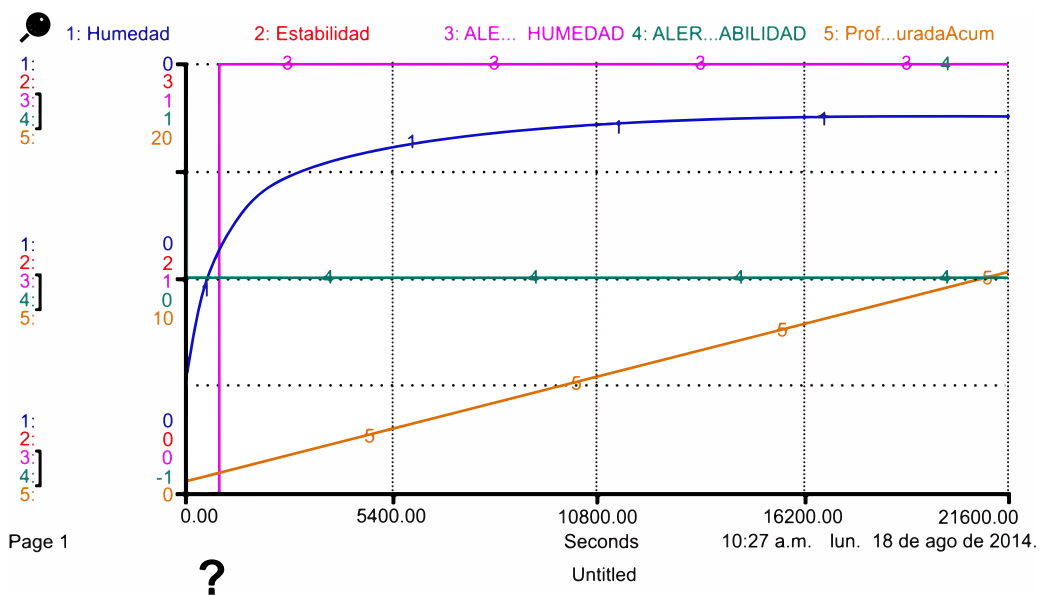
Soil behavior was also simulated for the presence of the highest intensity that occurs most frequently and for which a quarter-hour duration is expected ( $I = 0,001347 \text{ cm/s}$ ;  $D = 900 \text{ s}$ ;  $F = 3 \text{ years}$ ). Figures 12 and 13 show the results for sites 8 and 16, respectively, and Table 10 shows the moisture alerts.



**Tabla 8.** Appearance of moisture or stability alerts for the soil at site 16

Time	Humidity	Stability	Moisture alert	Moisture stability	AcumSaturatedDepth
1.864	0,55	1,49	1,00	0,00	1,28
...					
4.626	0,66	1,00	1,00	1,00	2,18

Source: (Quintana-Cabeza, 2014).



**Figure 11.** Soil behavior at site 8 with an intensity of 0,000181 cm/s

Source: Authors.

**Tabla 9.** Appearance of moisture or stability alerts for soil at site 8

Time	Humidity	Stability	Moisture alert	Moisture stability	AcumSaturatedDepth
819	0,23	67,27	1,00	0,00	0,77
...					
21.599	0,35	7,8	1,00	0,00	10,28
End	0,35	7,8	1,00	0,00	10,28

Source: Authors.

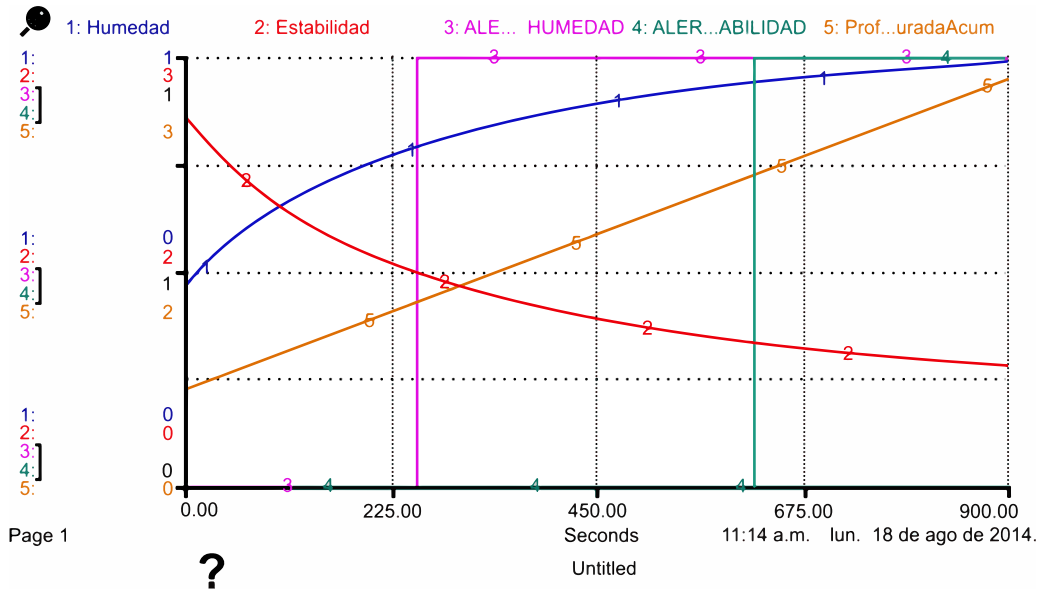


Figure 12. Simulation of soil behavior at site 8 with an intensity of 0,000181 cm/s

Source: Authors.

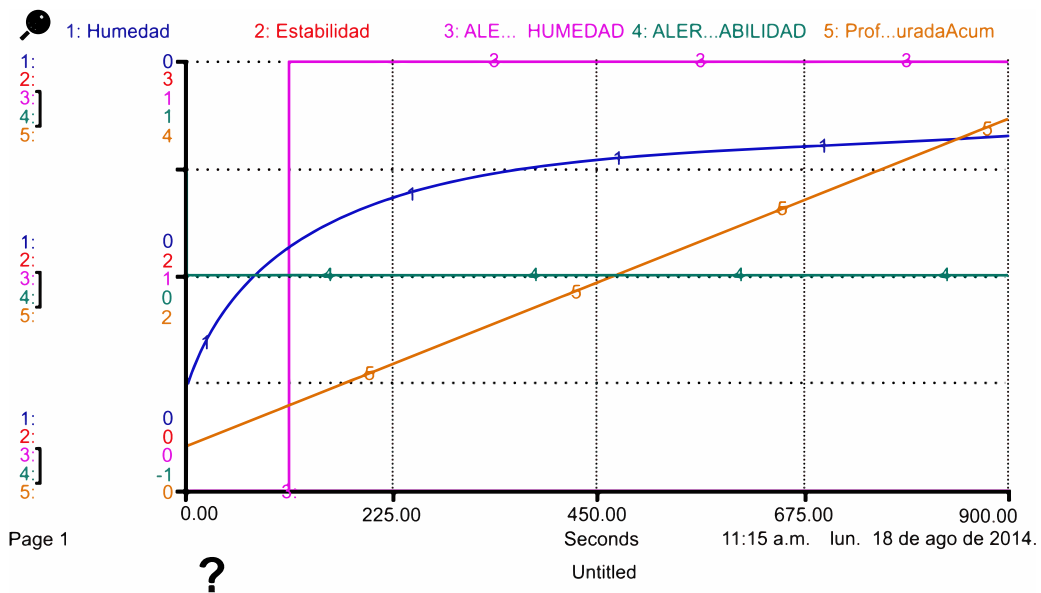


Figure 13. Soil behavior at site 16 with an intensity of 0,000181 cm/s

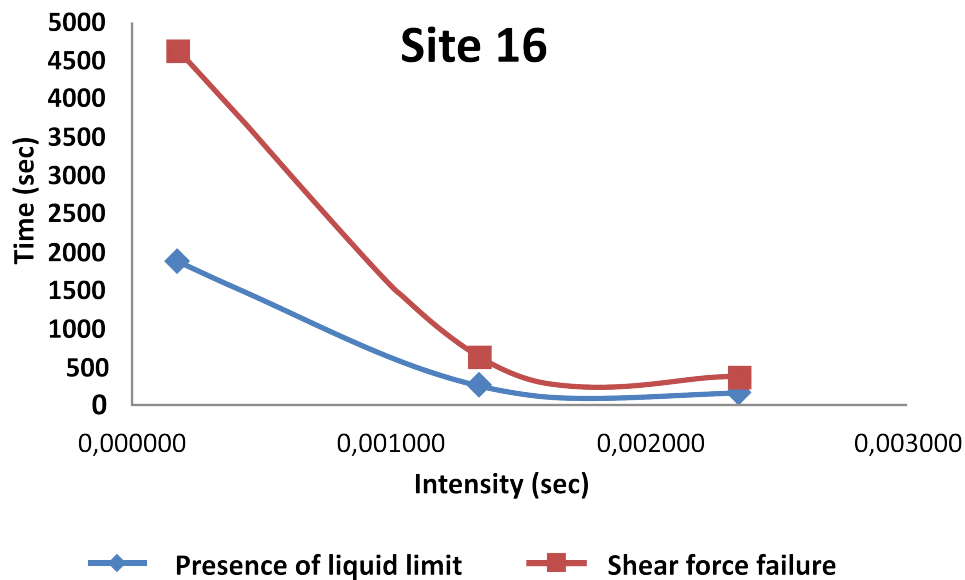
Source: Authors.

Finally, Figure 14 shows the time elapsed before the liquid limit and shear failure appear for different rainfall intensities at site 16, which is more prone to landslide events due to its instability.

**Tabla 10.** Appearance of moisture or stability alerts for soil at sites 16 and 8 with an intensity of 0,001347 cm/s, D = 900 s, F = 3 years

Site	Time	Humidity	Stability	Moisture alert	Moisture stability	AcumSaturatedDepth
16	251	0,55	1,49	1,00	0,00	1,28
16	623	0,66	1,00	1,00	1,00	2,18
8	111	0,23	67,25	1,00	0,00	0,78
8	End	0,33	17,35	1,00	0,00	3,46

Source: Authors.



**Figure 14.** Elapsed time for liquid limit or shear failure to appear at different rainfall intensities at site 16

Source: Authors.

As can be seen, shear failure is reached quickly with high rainfall intensities, but also with a lower intensity if the rainfall is prolonged.

## CONCLUSIONS

As shown by the simulation results, the soil depth that must be saturated does not vary (so the liquid limit is reached in the entirety of the soil mass) nor does the saturated depth at which shear failure occurs.

The exceedance of the liquid limit value by soil moisture or the loss of shear force imbalance in the saturated depth plane at the time of failure is indeed related to rainfall intensity.

However, in the collective imagination, there is an exclusive relationship between heavy rainfall and the presence of landslides on slopes due to the alleged saturation of soils. Saturation is a physical phenomenon that must exist for water infiltration into the soil mass to exist; otherwise, the water that comes into contact with the soil mass only joins with the water that naturally exists in the soil mass, but only as adhered to the surface of the solid particles of the soil mass.

In reality, the duration factor is responsible for the total filling of the soil mass void volume to the depth of occurrence of the liquid limit or shear equilibrium, as shown by the results of this research.

However, a high rainfall intensity of the order of 0,001325 cm/s or more, fractioned by simulation durations between 3.600 and 21.600 s, cannot be used in the model because it does not correspond to the statistical assumptions of the intensity-duration-frequency (IDF) curves.

The model only considers the vegetation cover factor as a reducer or obstacle for rainwater to come into contact with the soil mass. In reality, there are many factors that reduce the amount of water that reaches the bare soil surface, such as evaporation, transpiration, or water absorption by plant roots.

The model should not be used as a substitute for specific studies to determine the stability of a slope or as a tool for predicting landslides on slopes, but it can be used as an input for its application in methodologies for landslide hazard zoning.

## FUNDING

Universidad de Pamplona supported this research through the Master's program in Environmental Engineering.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to Universidad de Pamplona.

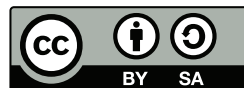
## REFERENCES

- [Alcántara, 2002] Alcántara, I. (2002). Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47, 107-124. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00083-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00083-1) ↑Ver página 81
- [Aracil & Gordillo, 1997] Aracil, J., & Gordillo, F. (1997). *Dinámica de sistemas*. Alianza Editorial. ↑Ver página 80, 87

- [Arévalo-Algarra *et al.*, 2021] Arévalo-Algarra., H. M., Perico-Granados., N. R., Reyes-Rodríguez., C. A., Vera., C. M., Monroy., J., & Perico-Martínez., C. (2021). Sitios de inundaciones causadas por los ríos La Vega y Jordán, Tunja (Boyacá). *Tecnura*, 25(67), 86-101. <https://doi.org/10.14483/22487638.15248> ↑Ver página 81
- [Barrantes *et al.*, 2011] Barrantes, G., Barrantes, O., & Núñez, O. (2011). Efectividad de la metodología Mora – Vahrson modificada en el caso de los deslizamientos provocados por el terremoto de Cinchona, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(47), 141-162. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/3970> ↑Ver página 80
- [Aristizábal *et al.*, 2010] Aristizábal, E., Gamboa, M., & Leoz, F. (2010). Sistema de alerta temprana por movimientos en masa inducidos por lluvia para el valle de Aburrá. *Revista EIA*, 13, 155-169. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=149213727011> ↑Ver página 81
- [Berry & Reid, 1993] Berry, P., & Reid, D. (1993). *Mecánica de Suelos*. McGraw-Hill. ↑Ver página 83
- [Braja, 2015] Braja, D. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Thomson. ↑Ver página 83, 85, 86
- [Castro *et al.*, 2014] Castro, E., Valencia, A., Ojeda, J., Muñoz, F., & Fonseca, S. (2014). *Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa, guía metodológica*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. ↑Ver página 80, 81
- [Castro-Garzón *et al.*, 2020] Castro-Garzón., H. Torres-Flórez., D., & Gallardo-Lichaa., N. J. (2020). Análisis de la intervención antrópica en cuerpos de agua: caso caño Banderas, en el municipio Puerto López (Meta, Colombia). *Tecnura*, 24(65) 77-84. <https://doi.org/10.14483/22487638.15772> ↑Ver página
- [Chaparro & Pedraza, 2012] Chaparro, F., & Pedraza, J. (2012). *Análisis de las propiedades geotécnicas (gravimétricas y volumétricas) de los suelos en los sitios afectados por fenómeno de remoción en masa de la zona urbana de Pamplona (Colombia)* [Undergraduate thesis, Universidad de Pamplona]. ↑Ver página 87, 88, 89
- [Cuanalo-Camposa & Gallardo-Amaya, 2016] Cuanalo-Camposa, O. A., & Gallardo-Amaya, R. J. (2016). Fenómenos de remoción en masa. Acciones para reducir la vulnerabilidad y el riesgo. *Vector*, 11, 30-38. [http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector11\\_5.pdf](http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector11_5.pdf) ↑Ver página 80
- [Fell *et al.*, 2008] Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., & Savage, W. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology*, 102, 99-111. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.014> ↑Ver página 81
- [Forrester, 1997] Forrester, J. (1997). Industrial dynamics. *Journal of the Operational Research Society*, 48 (10), 1037-1041. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600946> ↑Ver página 87

- [Guzzetti, 2000] Guzzetti, F. (2000). Landslide fatalities and the evaluation of landslide risk in Italy. *Engineering Geology*, (58), 89-107. Doi: 10.1016/S0013-7952(00)00047-8 ↑Ver página 81
- [IDEAM, 2015] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2015). *Estudio nacional del Agua 2014*. IDEAM. ↑Ver página 86
- [INGEOMINAS-CVC, 2001] Instituto Colombiano de Geología y Minería & Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (INGEOMINAS-CVC) (2001). *Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa - Guía metodológica* (1 st ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería. ↑Ver página 80, 82
- [Lara & Sepúlveda, 2008] Lara, M., & Sepúlveda, S. (2008). *Remociones en masa, apuntes del curso*. Universidad de Chile. ↑Ver página 81
- [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo-resistente*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. ↑Ver página 85
- [Montoya-Armenta & Rodríguez-Díaz, 2020] Montoya-Armenta., L. H., & Rodríguez-Díaz., Y. J. (2020). Efectos de las crecidas en el transporte de material particulado y carbono orgánico. Caso del río Oka (País Vasco, España). *Tecnura*, 24(65), 64-76. <https://doi.org/10.14483/22487638.15759> ↑Ver página 87
- [Montzka et al., 2011] Montzka, S. A., Dlugokencky, E. J., & Butler, J. H. (2011). Non-CO2 greenhouse gases and climate change. *Nature*, 476, 43-50. <https://doi.org/10.1038/nature10322> ↑Ver página 80
- [Mora et al., 2002] Mora, R., Chaves, J., & Vázquez, M. (2002). *Zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento: resultados obtenidos para la Península de Papagayo mediante la modificación del método Mora-Vahrson*. Universidad de Costa Rica. ↑Ver página 81, 83
- [Mora & Vahrson, 1994] Mora, S., & Vahrson, W. (1994). Macrozonation methodology for landslide hazard determination. *Environmental and Engineering Geoscience*, XXI(1), 49-58. <https://doi.org/10.2113/gsegeosci.xxxi.1.49> ↑Ver página
- [Quesada & Feoli, 2018] Quesada, A., & Feoli, S. (2018). Comparación de la metodología Mora-Vahrson y el método morfométrico para determinar áreas susceptibles a deslizamientos en la microcuenca del Río Macho, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central* 2(61), 17-45. <https://doi.org/10.15359/rgac.61-2.1> ↑Ver página 81
- [Quintana-Cabeza, 2014] Quintana-Cabeza, C. (2014). *Modelamiento de la amenaza relativa por fenómenos de remoción en masa en el sector urbano de Pamplona, Colombia, aplicando un complemento a la me-*

- Metodología Mora & Vahrson* [Master's thesis, Universidad de Pamplona]. ↑Ver página 84, 85, 90, 93, 96
- [Rodríguez-Mejía *et al.*, 2019] Rodríguez-Mejía, C. A., Bustos-Castelblanco, D. E., Cadena-Acevedo, A., & Salazar-Henao, D. M. (2019). Evaluación del riesgo por movimientos de remoción en masa activados por procesos de precipitación, estudio de caso vía Chagualá-Quindío. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 31(1), 7-14. <https://doi.org/10.33975/riuq.vol31n1.239> ↑Ver página 79
- [Rodríguez-Solano *et al.*, 2013] Rodríguez-Solano, J. G., Quintana-Cabeza, C. D., Rivera Alarcón, H. U., & Mosquera Téllez, J. (2013). Zonificación del peligro de remoción en masa en las zonas urbanas según método de análisis Mora y Vahrson: estudio de caso. *Revista Ambiental, Agua, Aire y Suelo* 4(1), 13-22. <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2013.146> ↑Ver página 80, 82, 83
- [Román & Chio, 2018] Román, D., & Chio, G. (2018). Análisis de modelos de deslizamiento en bloque para predecir el comportamiento dinámico del fenómeno de remoción en masa: modelo uniparamétrico y modelo biparamétrico. *Boletín de Geología*, 40(2), 113-124. <https://doi.org/10.18273/revbol.v40n2-2018007> ↑Ver página 79
- [SGC, 2016] Servicio Geológico Colombiano (SGC) (2016). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa* (1 st ed). SGC. <https://libros.sgc.gov.co/index.php/editorial/catalog/book/32> ↑Ver página 81
- [SGC, 2017] Servicio Geológico Colombiano (SGC) (2017). *Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000*. [https://www2.sgc.gov.co/Archivos/GM\(2017\).pdf](https://www2.sgc.gov.co/Archivos/GM(2017).pdf) ↑Ver página 81
- [Soeters & van Westen, 1996] Soeters, R., & van Westen, J. (1996). Slope instability recognition, análisis and zonation. In: A. K. Turner & R. L. Schuster (Eds.), *Landslides: Investigation and Mitigation* (pp. 129-177). National Academic Press. ↑Ver página 81



## Selección de guías de turismo por parte de agencias para realizar recorridos en casos de inmediatez en Cartagena de Indias

### Selection of tourism guides by agencies to carry out tours in cases of immediacy in Cartagena de Indias

Raúl José Martelo Gómez <sup>1</sup>, Paulo Sexto Oyola Quintero <sup>2</sup>, David Antonio Franco Borré <sup>3</sup>

Fecha de Recepción: 05 de agosto de 2021

Fecha de Aceptación: 07 de febrero de 2022

**Cómo citar:** Martelo Gómez., R.J. Oyola Quintero., P.S. Franco Borré., D.A. (2022) Selección de guías de turismo por parte de agencias para realizar recorridos en casos de inmediatez en Cartagena de Indias. *Tecnura*, 26(72), 103-113. <https://doi.org/10.14483/22487638.18555>

## Resumen

**Contexto:** Cartagena de Indias es uno de los destinos donde existe un potencial económico debido a los atractivos turísticos que lo caracterizan, entre ellos, la Ciudad Amurallada y su puerto. Lo anterior sirve como base para la operación de diferentes empresas turísticas que realizan recorridos y se resalta al guía como base para llevar a cabo estas actividades. Sin embargo, existen dificultades en empresas turísticas de esta ciudad al prestar el servicio debido a que los guías son trabajadores independientes que pueden seleccionar la empresa que mejor les convenga para laborar sin necesidad de vincularse formalmente; por tanto, es posible que se presente un caso de inmediatez donde se requiera de la realización de un recorrido, pero el guía de confianza con el que usualmente se contacta no esté disponible. De esta forma, el objetivo de esta investigación fue seleccionar guías de turismo competentes para realizar recorridos en casos de inmediatez presentados en agencias de Cartagena de Indias.

**Metodología:** La investigación fue mixta con un diseño exploratorio secuencial, donde se aplicó la entrevista para obtener información directa de empleados que laboran en empresas turísticas ubicadas en Cartagena de Indias, y la técnica revisión bibliográfica, con el fin de obtener referentes literarios que proporcionen información relevante sobre la temática abordada en esta investigación. Esto fue el punto de partida para aplicar de manera correcta la técnica *matriz de valoración de ideas*, y determinar guías de turismo competentes para realizar recorridos en casos de inmediatez presentados en agencias de Cartagena de Indias.

**Resultados:** Se obtuvo el guía adecuado para realizar el recorrido en un caso de inmediatez, el cual cuenta con diferentes

<sup>1</sup>Ingeniero de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander, especialista en Redes y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander. Docente investigador de tiempo completo de la Universidad de Cartagena. Líder del grupo de investigación Ingesinfo, categoría B de Colciencias. Cartagena de Indias, Colombia.

Email: [rmartelog1@unicartagena.edu.co](mailto:rmartelog1@unicartagena.edu.co)

<sup>2</sup>Administrador de Empresas de la Universidad de Cartagena, magíster en Educación, Universidad de Cartagena. Docente investigador del programa de Administración de Empresas, Universidad de Cartagena. Cartagena de Indias, Colombia.

Email: [poyolaq@unicartagena.edu.co](mailto:poyolaq@unicartagena.edu.co)

<sup>3</sup>Ingeniero de Sistemas, magíster en Ciencias Computacionales. Docente del programa de Ingeniería de Sistemas, Universidad de Cartagena. Líder del grupo de investigación Gimática. Cartagena de Indias, Colombia.

Email: [dfrancob@unicartagena.edu.co](mailto:dfrancob@unicartagena.edu.co)



ventajas como el conocimiento de diferentes idiomas y el manejo adecuado de las técnicas de guianza.

**Conclusiones:** La aplicación de técnica *matriz de valoración de ideas* permitió seleccionar guías de turismo competentes para realizar recorridos en casos de inmediatez presentados en agencias de Cartagena de Indias.

**Palabras clave:** agencia turística, recorrido, turismo, turista.

---

## Abstract

**Context:** Cartagena de Indias is one of the destinations where there is economic potential due to the tourist attractions that characterize it such as Las Murallas, and its port. The above serves as the basis for the operation of different tourist companies where tours are carried out and the guide is highlighted as a base to carry out these activities. However, there are difficulties in tourist companies in this city when providing the service because the guides are independent workers who can select the company that best suits them to work without the need to be formally linked, therefore, a case may arise of immediacy where a tour is required, but the trusted guide who is usually contacted is not available. In this way, the objective of this research was to select competent tourist guides to carry out tours in cases of immediacy presented in agencies of Cartagena de Indias.

**Methodology:** The research was of a mixed type with a sequential exploratory design, where the interview technique was applied to obtain direct information from employees who work in tourism companies located in Cartagena de Indias and the bibliographic review technique in order to obtain literary references that provide relevant information on the topic addressed in this research. The foregoing served as a basis to correctly apply the Ideas Assessment Matrix technique and determine competent tourist guides to carry out tours in cases of immediacy presented at agencies of Cartagena de Indias.

**Results:** The appropriate tour guide was obtained to carry out the tour in case of immediacy, which has different advantages such as the knowledge of different languages and the adequate handling of the guide techniques.

**Conclusions:** The application of the Ideas Assessment Matrix technique allowed determining competent tourist guides to carry out tours in cases of immediacy presented at agencies of Cartagena de Indias.

**Keywords:** tourism, tour, tourist, tourism agency.

---

## Tabla de Contenidos

	<b>Página</b>
<b>Introducción</b>	<b>105</b>
<b>Metodología</b>	<b>106</b>
Población y muestra . . . . .	106
Técnicas de recolección de información . . . . .	106
Análisis de los datos . . . . .	106
Metodología conceptual propuesta . . . . .	107
<b>Resultados</b>	<b>107</b>
Selección del guía de turismo . . . . .	107

<b>Conclusiones</b>	<b>109</b>
---------------------	------------

<b>Referencias</b>	<b>110</b>
--------------------	------------

## INTRODUCCIÓN

El turismo se ha convertido en una de las industrias con mayor crecimiento a nivel mundial, por lo cual puede actuar como herramienta para la generación de ingresos, y de nuevos empleos en diversas localizaciones geográficas (Cárdenas García *et al.*, 2016, Toscana *et al.*, 2017, Martelo *et al.*, 2019, Croes *et al.*, 2021, Grilli *et al.*, 2021, Hasyimi y Azizalrahman, 2021, Huang y Wen, 2021, Senyana *et al.*, 2021). Desde un punto de vista social, el turismo puede ser interpretado como el conjunto de actividades, procesos y resultados que tienen origen en la correlación que existe entre diferentes elementos de relevancia turística como las comunidades locales, las agencias turísticas y el gobierno (Lin *et al.*, 2021). Un aspecto que debe tenerse en cuenta en este campo son los atractivos turísticos que caracterizan a los destinos, debido a que se consideran una de las formas de negocio más rentables en esta industria, lo cual permite el impulso de la producción económica (Espinel *et al.*, 2018, Méndez Cadena *et al.*, 2021, Fonseca *et al.*, 2021, Wang *et al.*, 2021).

Teniendo en cuenta lo anterior, uno de los destinos donde existe un potencial económico es Cartagena de Indias, debido a los atractivos turísticos que lo caracterizan, como las murallas (Saba *et al.*, 2020, Galindo y Peñalver, 2020), su puerto (Wilson *et al.*, 2020, Montoya Rojas *et al.*, 2020), la Torre del Reloj (Lesser y Rossi, 2020) y el castillo de San Felipe (Laserna *et al.*, 2017). Por tanto, en esta ciudad hay empresas mediante las cuales se adquieren beneficios económicos a partir de los atractivos turísticos, donde se prestan servicios que ofrecen satisfacer las necesidades turísticas de las personas. Uno de estos servicios es la realización de recorridos con los cuales los turistas tengan la oportunidad de conocer diferentes aspectos de los atractivos, y su relevancia para la identidad cultural de la zona visitada.

En un recorrido turístico, el guía se encarga de orientar a los turistas en la visita a diferentes atractivos de la zona, donde se explican aspectos sobre la relevancia histórica, puntos de referencia y se llevan a cabo actividades culturales características del lugar, bajo la supervisión, asistencia e instrucción de la persona responsable del recorrido. En este sentido, se resalta la importancia del guía como base para la realización de la actividad, pues este contribuye al desarrollo de vivencias innovadoras y facilita el conocimiento sobre la historia y la cultura del área visitada (Houge y Raymond, 2020). No obstante, hay dificultades en empresas turísticas en Cartagena de Indias al prestar el servicio, ya que los guías son trabajadores independientes que pueden optar por seleccionar la empresa que mejor les convenga para laborar sin necesidad de vincularse formalmente (Poon, 2019, Pires de Carvalho *et al.*, 2019); por lo cual es posible que se presente un caso de inmediatez que requiera de la realización de un recorrido, pero el guía de confianza con el que usualmente se contacta no esté disponible.

Considerando lo descrito, las empresas contactan a otros guías, de los cuales se contrata al primero que cuente con disponibilidad de tiempo, sin tener en cuenta parámetros de calidad y compe-

titividad; así, se corre el riesgo de contratar a alguien que no cuente con las competencias requeridas. Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de esta investigación es determinar guías de turismo competentes para realizar recorridos en casos de inmediatez presentados en agencias de Cartagena de Indias.

## METODOLOGÍA

La investigación se clasificó como mixta debido a que se tuvieron en cuenta puntos de vista cualitativos y cuantitativos (Ary *et al.*, 2010). De esta manera se logró un mayor nivel de precisión al abordar la técnica de análisis. Respecto al diseño de investigación, se aplicó el exploratorio secuencial, porque se procesó información cualitativa para determinar datos de naturaleza numérica (Hernández *et al.*, 2014).

### Población y muestra

La población se conformó por empleados de agencias turísticas localizadas en Cartagena de Indias. Además, se aplicó un muestreo por conveniencia para determinar una muestra de cinco empleados de diferentes empresas turísticas de Cartagena de Indias, que corresponde a aquellos que tuvieron tiempo disponible y dieron su consentimiento para participar en el proceso.

### Técnicas de recolección de información

Se aplicó la entrevista para obtener información directa de empleados que laboran en empresas turísticas ubicadas en Cartagena de Indias. Igualmente, se implementó la técnica de revisión bibliográfica, con el fin de obtener referentes teóricos que proporcionaran información relevante sobre la temática de investigación.

### Análisis de los datos

Se utilizó la técnica *matriz de valoración de ideas* para el análisis de los datos, la cual consiste en evaluar diferentes elementos en contextos particulares con el fin de seleccionar el más conveniente. En cuanto al funcionamiento de esta técnica, primero el experto debe realizar un análisis del entorno de investigación que sirva como base para determinar los elementos a evaluar y los criterios de evaluación; luego, se definen los niveles de relevancia de los criterios mediante la asignación de porcentajes; posteriormente, se elaboran baremos que permitan categorizar las opciones de calificación, y por último, el experto se encarga de asignar las calificaciones a los elementos, teniendo en cuenta los criterios establecidos (García *et al.*, 2020). La implementación de esta técnica requiere de la elaboración de tablas en las que se pueda mostrar la información de manera adecuada, facilitar la lectura y reducir las dificultades de comprensión.

## Metodología conceptual propuesta

Se definió un modelo basado en la técnica matriz de valoración de ideas, conformado por las siguientes fases: a) determinación de criterios, b) definición del baremo, y c) selección del guía.

- *Determinación de criterios.* En esta fase se consultó con diferentes empleados de agencias turísticas los criterios que deben tenerse en cuenta al momento de seleccionar a un guía para realizar recorridos en casos de inmediatez y su nivel de relevancia (Tabla 1).

**Tabla 1.** Criterios de evaluación para determinar el guía de turismo

Nombre	Porcentaje (%)
Idiomas	40
Conocimiento de la zona	30
Experiencia en técnicas de guianza	30
Total	100

**Fuente:** elaboración propia.

- *Definición del baremo.* Se definió un baremo de calificaciones para realizar la evaluación de manera adecuada y precisa (Tabla 2), teniendo en cuenta el nivel de efectividad con el cual el guía cumple con el criterio evaluado.

**Tabla 2.** Baremo para evaluar a los guías

Categoría	Valoración
Muy alto	5
Alto	4
Medio	3
Bajo	2
Muy bajo	1
Nulo	0

**Fuente:** elaboración propia.

## RESULTADOS

### Selección del guía de turismo

En esta etapa, los sujetos que conformaron la muestra asumieron el papel de expertos con el fin de evaluar a los guías, los cuales se contactaron por teléfono celular con cuatro guías, y los sometie-

ron a prueba, con el fin de determinar al más idóneo de ellos para realizar el recorrido. Las pruebas consistieron en preguntas en diferentes idiomas (inglés, francés y alemán), sobre diversos aspectos del área del recorrido como puntos de referencia, y sucesos históricos. Por último, se aplicó una dinámica de evaluación en la que se ideaba una situación en la que el guía estaría realizando un recorrido bajo condiciones establecidas por los evaluadores para determinar la eficacia al momento de aplicar las técnicas de guianza. De esta forma, se pudo evaluar el conocimiento de la zona de recorrido, la experiencia en técnicas de guianza y el manejo de idiomas, los cuales son aspectos necesarios para esta labor en general. Los resultados obtenidos de la actividad evaluativa se observan en la Tabla 3.

A partir de lo anterior, el guía 3 fue el seleccionado para realizar el recorrido debido a que obtuvo un resultado promedio de 4,2, el cual es superior al de los demás guías evaluados. Teniendo en cuenta lo descrito, los expertos consideraron que habla de forma adecuada los idiomas evaluados, lo cual

**Tabla 3.** Resultados de evaluación de los guías

Guía	Experto	Idiomas	Conocimiento de la zona	Experiencia en técnicas de guianza	Resultado	Promedio
		40 %	30 %	30 %		
1	1	3	4	5	3,9	3,64
	2	3	4	5	3,9	
	3	2	3	4	2,9	
	4	3	3	5	3,6	
	5	3	4	5	3,9	
2	1	4	3	3	3,4	3,22
	2	4	3	2	3,1	
	3	4	2	3	3,1	
	4	4	2	3	3,1	
	5	4	3	3	3,4	
3	1	5	4	4	4,4	4,2
	2	4	4	4	4	
	3	4	4	4	4	
	4	4	5	5	4,6	
	5	4	4	4	4	
4	1	1	1	3	1,6	2,18
	2	2	2	3	2,3	
	3	2	2	3	2,3	
	4	1	3	4	2,5	
	5	1	2	4	2,2	

**Fuente:** elaboración propia.

facilita una mejor relación con los turistas que no hablen español, incrementa el nivel de atención debido a que los integrantes del recorrido pueden entender las explicaciones del guía, y disminuye los costos de contratación debido a que no se necesita de un traductor experto en los idiomas requeridos. Lo descrito complementa la postura de [Bogdan y Lasinski, 2019](#), quienes exponen que, mediante una comunicación efectiva, se pueden lograr diversos objetivos turísticos, como la transferencia de nuevos conocimientos, el entretenimiento y la generación de conciencia. Asimismo, se relaciona con [De Guzman et al., 2020](#), para quienes la comunicación es un componente esencial de la guianza ya que permite al encargado del recorrido actuar como un intérprete de información relacionada con la actividad, con lo cual se puede mejorar la experiencia turística. Esto destaca la importancia del manejo de diferentes idiomas, debido a que es uno de los factores que contribuyen a la buena comunicación entre el guía y los turistas.

Asimismo, el guía 3 cuenta con un amplio conocimiento sobre la zona del recorrido, elemento que reduciría costos en cuanto la contratación de baquianos que sirvan de apoyo para conocer el área, y facilitaría un recorrido en el que se aborden los atractivos turísticos más relevantes y se eviten lugares peligrosos. Además, demostró una aplicación efectiva de las técnicas de guianza, teniendo en cuenta las condiciones definidas por el evaluador; esto indica que puede encontrar soluciones a dificultades imprevistas que pueden surgir en un recorrido turístico y mantener un ambiente turístico lleno de armonía y disfrute. Esto se complementa con lo expuesto por [Kassawnh et al., 2019](#); es decir, se indica que el encargado del recorrido debe tener conocimiento sobre técnicas que permitan establecer un entorno a través del cual se genere armonía y se obtenga la estima de los turistas. Así, el manejo adecuado de técnicas de guianza turística adquiere relevancia al prestar un servicio de calidad del cual el turista pueda beneficiarse.

Por su parte, los guías 1, 2 y 4 no fueron seleccionados para realizar el recorrido, debido a que alcanzaron resultados de 3,64, 3,22 y 2,18, los cuales son menores comparados con el obtenido por el guía seleccionado. Se evidenciaron carencias en cuanto al manejo de idiomas en los guías 1 y 4, lo que puede influir negativamente en la comunicación con los turistas y en la forma de percibir la calidad del servicio; hecho que redundaría en turistas insatisfechos que hacen malos comentarios. Igualmente, se observó que los guías 2 y 4 presentaron niveles bajos de conocimiento sobre el área del recorrido, lo que se traduce en un incremento de costos debido a que se necesita del servicio de un baquiano conocedor del área. Por último, se encontró que el guía 2 registró niveles regulares de efectividad en cuanto al manejo de las técnicas necesarias para guiar, lo que indica la existencia de dificultades para capturar la atención de los turistas y aplicar mecanismos adecuados de seguridad que permitan evitar accidentes.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con lo obtenido, la técnica *matriz de valoración de ideas* contribuye a la selección del guía para la realización de recorridos turísticos en casos de inmediatez, debido a que se pueden eva-

luar diferentes candidatos y asignar calificaciones numéricas, a partir de criterios como el manejo de idiomas y el conocimiento de la zona, los cuales son aspectos de cumplimiento necesario al efectuar este tipo de actividades turísticas. Con la implementación de esta herramienta, una empresa turística puede prestar un servicio de mayor calidad en casos de inmediatez, pues se puede seleccionar al guía que cumpla de manera adecuada con los requisitos del servicio de forma rápida y sencilla, y se abre el camino a la satisfacción de los turistas y a la obtención de comentarios positivos.

En cuanto a la selección, el manejo de diferentes idiomas fue al aspecto al que mayor relevancia se le dio, porque permitió que el responsable del recorrido pudiera entablar un proceso de comunicación efectiva con los turistas, satisfacer las necesidades turísticas que surjan en el recorrido y aplicar de manera adecuada las técnicas de guianza turísticas.

## REFERENCIAS

- [Ary *et al.*, 2010] Ary, D., Cheser, L. y Sorensen, C. (2010). *Introduction to research in education*. Wadsworth Cenegage Learning. ↑Ver página 106
- [Bogdan y Lasinski, 2019] Bogdan, M. y Lasinski, G. (2019). Rhetorical aspects of tour guiding: The Polish case. *Journal of Tourism and Cultural Change*, 17(5), <https://doi.org/10.1080/14766825.2019.1588284> ↑Ver página 109
- [Cárdenas García *et al.*, 2016] Cárdenas García, P., Pulido Fernández, J. y Pulido Fernández, M. (2016). The influence of tourist satisfaction on tourism expenditure in emerging urban cultural destinations. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 33, 497-512. <https://doi.org/10.1080/10548408.2015.1064061> ↑Ver página 105
- [Croes *et al.*, 2021] Croes, R., Ridderstaat, J., Bak, M. y Zientara, P. (2021). Tourism specialization, economic growth, human development and transition economies: The case of Poland. *Tourism Management*, 82, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2020.104181> ↑Ver página 105
- [De Guzman *et al.*, 2020] De Guzman, A., Bollozos, J., De Los Santos, L., Moton, E. y Selosa, A. (2020). Genuineness matters in tourism: A phenomenology of filipino travel management students' emotional experiences of tour guides' verbalized hospitality during destination immersion. *Journal of Quality Assurance in Hospitality & Tourism*, 22(3), 267-292. <https://doi.org/10.1080/1528008X.2020.1773370> ↑Ver página 109
- [Espinel *et al.*, 2018] Espinel, L., Ladino, O. y Salinas, I. (2018). Diagnóstico de los efectos generados por el tráfico de largo destino en la malla vial del municipio de Cachipay, Cundinamarca. *Tecnura*, 22(56), 62-75. <https://doi.org/10.14483/22487638.13761>. ↑Ver página 105

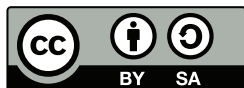
- [Fonseca *et al.*, 2021] Fonseca, C., García, J. y García-Benítez, P. (2021). Regional intellectual wealth and sustainable development in Colombia. *Tecnura*, 25(68), 15-27. <https://doi.org/10.14483/22487638.17389> ↑Ver página 105
- [Galindo y Peñalver, 2020] Galindo, J. y Peñalver, M. (2020). Rehabilitation techniques for walls during the 18th century in Cartagena de Indias (Colombia). *International Journal of Architectural Heritage*, 14(2), 163-175. <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1515274> ↑Ver página 105
- [García *et al.*, 2020] García, C., Martelo, Z. y Martelo, R. (2020). Definición de estrategias que contribuyan a la realización de un recorrido turístico seguro. *Revista Espacios*, 41(36), 216-230. ↑Ver página 106
- [Grilli *et al.*, 2021] Grilli, G., Tyllianakis, E., Luisetti, T., Ferrini, S. y Turner, R. (2021). Prospective tourist preferences for sustainable tourism development in Small Island Developing States. *Tourism Management*, 82, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2020.104178> ↑Ver página 105
- [Hasyimi y Azizalrahman, 2021] Hasyimi, V. y Azizalrahman, H. (2021). Economy-led sustainable touristic city: The case of Surakarta, Indonesia. *Journal of Tourism Futures*, (*ahead-of-print*), 1-17. <https://doi.org/10.1108/JTF-06-2020-0088> ↑Ver página 105
- [Hernández *et al.*, 2014] Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Education. ↑Ver página 106
- [Houge y Raymond, 2020] Houge, S. y Raymond, E. (2020). A conceptual model of adventure tour guide well-being. *Annals of Tourism Research*, 84, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2020.102977> ↑Ver página 105
- [Huang y Wen, 2021] Huang, S. y Wen, J. (2021). Developing and validating a Chinese cultural value scale in tourism. *Tourism Management*, 86, 2-11. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2021.104327> ↑Ver página 105
- [Kassawnh *et al.*, 2019] Kassawnh, M., Makhadmeh, I., Shatnawi, H. y Najdawi, B. (2019). The impact of behaviors and skills of tour guides in guiding tourist groups. *African Journal of Hospitality, Tourism and Leisure*, 8(1), 1-13. ↑Ver página 109
- [Laserna *et al.*, 2017] Laserna, J., McDaniel, G. y Duganne, E. (2017). Advertisement extraction: Interview with Juan David Laserna Montoya. *Photographies*, 10(3). <https://doi.org/10.1080/17540763.2017.1340735> ↑Ver página 105
- [Lesser y Rossi, 2020] Lesser, M. y Rossi, G. (2020). La Torre del Reloj de Cartagena de Indias. Estudio sobre las transformaciones arquitectónicas por medio del levantamiento de la permanencia



- y ausencia. *EGA, Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 25(38), 78-89. 10.4995/ega.2020.11888. <https://doi.org/10.4995/ega.2020.11888> ↑Ver página 105
- [Lin *et al.*, 2021] Lin, J., Fan, D., Tsaor, S. y Tsai, Y. (2021). Tourists' cultural competence: A cosmopolitan perspective among Asian tourists. *Tourism Management*, 83, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2020.104207> ↑Ver página 105
- [Martelo *et al.*, 2019] Martelo, R., Martelo, Z. y Villabona, N. (2019). Determinación de la viabilidad de proyectos turísticos mediante el método cualitativo por puntos. *Revista Espacios*, 40(37), 29-37. ↑Ver página 105
- [Méndez Cadena *et al.*, 2021] Méndez Cadena, M. E., Fascinetto Bárcena, G., Ocampo Fletes, I. y López Sánchez, H. (2021). Saberes y acciones de jóvenes del medio rural frente a problemas ambientales. *Tecnura*, 25(68), 125-139. <https://doi.org/10.14483/22487638.15775> ↑Ver página 105
- [Montoya Rojas *et al.*, 2020] Montoya Rojas, G., García, M., Bello Escobar, S. y Singh, K. (2020). Analysis of the interrelations between biogeographic systems and the dynamics of the Port-Waterfront Cities: Cartagena de Indias, Colombia. *Ocean and Coastal Management*, 185, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105055> ↑Ver página 105
- [Pires de Carvalho *et al.*, 2019] Pires de Carvalho, C., Freire Seoane, M. y López Bermúdez, B. (2019). Un análisis de la formación terciaria entre los trabajadores dependientes e independientes: el caso de Portugal. *Education Policy Analysis Archives*, 27(46), 1-19. 10.14507/epaa.27.3912. <https://doi.org/10.14507/epaa.27.3912> ↑Ver página 105
- [Poon, 2019] Poon, T. (2019). Independent workers: Growth trends, categories, and employee relations implications in the emerging gig economy. *Employee Responsibilities and Rights Journal*, 31(1), 63-69. 10.1007/s10672-018-9318-8. <https://doi.org/10.1007/s10672-018-9318-8> ↑Ver página 105
- [Saba *et al.*, 2020] Saba, M., Lizarazo Marriaga, J. y Quiñones-Bolaños, E. (2020). Overstress analysis of the Cartagena de Indias walls under different scenarios of masonry mechanical strength. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00410. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00410> ↑Ver página 105
- [Senyana *et al.*, 2021] Senyana, L., Tibabo, M. y Nyaupane, G. (2021). The state of tourism and community development research and future directions. *Tourism Review International*, 25, 79-88. <https://doi.org/10.3727/154427221X16098837279994> ↑Ver página 105
- [Toscana *et al.*, 2017] Toscana, A. (2017). Balneario El Géiser: una experiencia de turismo comunitario en México. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 26(2), 279-293. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v26n2.59189> ↑Ver página 105

[Wang *et al.*, 2021] Wang, T., Wu, P., Quansheng, G. y Zhizhong, N. (2021). Ticket prices and revenue levels of tourist attractions in China: Spatial. *Tourism Management*, 83, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2020.104214> ↑Ver página 105

[Wilson *et al.*, 2020] Wilson, G., Pinto, M., Brown, M. y Tucker, K. (2020). Non-verbal communication, emotions, and tensions in co-production: Reflections on researching memory and social change in Peru and Colombia. *Emotion, Space and Society*, 37, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.emospa.2020.100717> ↑Ver página 105



## Portland Cement Mortars Tested with Two Superplasticizers: A Case Study to Reduce Cement and Water in Concrete

### Morteros de cemento Portland probados con dos superplastificantes: estudio de caso para la reducción de cemento y agua en concretos

Andrea Muñoz-Zapata<sup>1</sup>, Sergio Cifuentes-Mosquera<sup>2</sup>,

Henry A. Colorado-Lopera <sup>3</sup>

Fecha de Recepción: 17 de agosto de 2021

Fecha de Aceptación: 07 de febrero de 2022

**Cómo citar:** A. Cifuentes-Mosquera., S. y Colorado-Lopera., H.A. (2022) Portland Cement Mortars Tested with Two Superplasticizers: A Case Study to Reduce Cement and Water in Concrete. *Tecnura*, 26(72), 114-146. <https://doi.org/10.14483/22487638.16824>

### Abstract

**Objective:** This research aims to reduce Portland cement contents in concrete by using small amounts of additives as an Industry-University partnership strategy towards a circular economy of concrete in Medellín, Colombia.

**Methodology:** Using a multilevel factorial statistical model, mortar mixes were prepared with two different super-plasticizers: additive 1, based on polycarboxilate; and additive 2 based on naftalene. Samples were evaluated at 7, 14, 21, and 28 days of curing via compression tests. The aforementioned model was implemented in order to study the influence of additives on the cement mortar mix. The microstructure was analyzed with x-ray diffraction and scanning electron microscopy.

**Results:** The results revealed that both additives improved workability. Additive 1 showed better overall properties, which is why this research focused on it.

**Conclusions:** Additive 1 (based on polycarboxylate) reduces the water-to-cement from 0,485 to 0,38, which corresponds with a cement reduction of 7,3% and a water reduction of 27,3%.

**Financing:** CComposites research group - Universidad de Antioquia, CONASFALTOS.

**Keywords:** superplasticizer, additive, mortar, cements, concrete

<sup>1</sup>Materials engineer, Universidad de Antioquia. CComposites laboratory, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Email: [andreamuzzap@gmail.com](mailto:andreamuzzap@gmail.com)

<sup>2</sup>Civil engineer, Universidad Industrial de Santander. Conasfaltos S.A., Medellín, Colombia. Email: [scifuentesmosquera@gmail.com](mailto:scifuentesmosquera@gmail.com)

<sup>3</sup>PhD Materials Science and Engineering, University of California, Los Angeles. Mechanical engineer, Universidad Nacional de Colombia. Full professor and director of the CComposites laboratory, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Email: [henry.colorado@udea.edu.co](mailto:henry.colorado@udea.edu.co)

## Resumen

**Objetivo:** Esta investigación tiene como objetivo reducir el contenido de cemento Portland en el concreto mediante el uso de bajas cantidades de aditivos. Esto, como estrategia de la asociación Industria-Universidad hacia la economía circular de hormigón en Medellín, Colombia.

**Metodología:** Utilizando un modelo estadístico factorial y multinivel, se prepararon mezclas de mortero con dos superplastificantes diferentes: el aditivo 1, basado en policarboxilato; y el aditivo 2, basado en naftaleno. Las muestras se evaluaron a los 7, 14, 21 y 28 días de curado mediante pruebas de compresión. El modelo mencionado se implementó para estudiar la influencia de los aditivos en la mezcla de mortero de cemento. La microestructura se analizó con difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido.

**Resultados:** Los resultados revelaron que ambos aditivos mejoraron la trabajabilidad. El aditivo 1 mostró mejores propiedades generales, por lo que esta investigación se enfocó en él.

**Conclusiones:** El aditivo 1 (basado en policarboxilato) reduce la relación agua/cemento de 0,485 a 0,38, lo cual corresponde a una reducción de cemento del 7,3% y una reducción de agua del 27,3%.

**Financiamiento:** Grupo de investigación CCComposites - Universidad de Antioquia, CONASFALTOS.

*Palabras clave:* superplastificante, aditivo, mortero, cementos, concreto

---

## Table of Contents

	<b>Page</b>
<b>Introduction</b>	<b>116</b>
<b>Methodology</b>	<b>117</b>
Materials . . . . .	117
Experimental design . . . . .	118
Sample preparation . . . . .	119
Compressive strength . . . . .	119
Setting time . . . . .	119
Fluidity and air content . . . . .	120
X-ray diffraction . . . . .	121
Scanning electron microscopy (SEM) . . . . .	121
<b>Results</b>	<b>122</b>
General multilevel factorial design . . . . .	127
Discussion . . . . .	132
<b>Conclusions</b>	<b>140</b>
<b>Funding</b>	<b>141</b>
<b>Acknowledgments</b>	<b>141</b>
<b>References</b>	<b>141</b>

## INTRODUCTION

The cement industry has been making substantial efforts to reduce CO<sub>2</sub> emissions due to the use of fossil fuels with regard to the calcination of raw materials to produce clinker. These global emissions are huge and were estimated to be 7% of the total, which corresponds to a cement production of 4,5 GTons (Telesca *et al.*, 2017). Cement manufacturing is a very intense energy-consuming process, and each ton of produced cement implies nearly one ton of CO<sub>2</sub> (Rehan & Nehdi, 2005). Therefore, one of the cement industry's main goals is to reduce its CO<sub>2</sub> footprint worldwide. This global issue is even worse in developing countries, where, in addition to poor regulation, few investments are made by both government and industry in research and technology aimed towards more eco-friendly processes. All this, in comparison with leading economies in Europe, North America, and some Asian countries.

In order to provide a real solution to this problem, the amount of fossil fuels used must be reduced through different strategies. This includes the use of alternative or supplemental materials in cement such as fly ash, steel slag, and natural pozzolans (Colorado *et al.*, 2016, Juenger & Siddique, 2015, Nuruddin *et al.*, 2014, Yuan *et al.*, 2018). Another alternative is the use of chemical admixtures and additives, which not only improves properties such as workability, pumping, durability, compressive strength, and contraction, but it also contributes significantly to reducing the amount of cement and water in the mix, thus reducing the CO<sub>2</sub> emissions and preserving water sources (Plank *et al.*, 2015). The additives used in this research were superplasticizers (SPs), which are classified as type F in the ASTM C494 standard (ASTM International, 1999) and known to be high-level water reducers. The concrete industry mainly uses sulphonated naphthalene formaldehyde condensate (SNF), sulphonated melamine formaldehyde condensate (SMF), modified lignosulphonates (MLS), and lignosulphonate (LS) as super-plasticizers (Ramachandran *et al.*, 1998, Usher *et al.*, 1980). These additives are nowadays extensively used in high-strength concrete with low water/cement ratios (W/C), despite the fact that they conserve optimal setting and compaction properties (Łaźniewska-Piekarczyk, 2013). Super-plasticizers are dispersants that work via the flocculation of cement particles, which repel each other and thus disperse (Aïtcin, P.-C., & Flatt, 2015, Dransfield, 2009, Y. Zhang & Kong, 2015). These are complex, high-density molecular polymeric materials that are soluble in water (Hewlett & Liska, 2019).

The super-plasticizer effect in Portland cement hydration has been a matter of intense research (El-Gamal *et al.*, 2012, Mollah *et al.*, 2000), where dispersive action is associated with molecule adsorption by the surface of the cement particles during the initial step of hydration. Explanations (El-Gamal *et al.*, 2012) are focused on the Ca ions interacting with the anionic parts of SPs, which promotes crosslinking and film-forming characteristics, therefore changing the process of crystallization in the setting of cement. The interaction between the ionic parts of the additives and Ca(OH) is very important during the process. These super-plasticizers can be absorbed by the cement grains in a

mechanism driven by negatively-charged anionic groups, thus charging the grains negatively and causing them to repel each other. There are three main contributions of SPs to delayed hydration action in cements (El-Gamal *et al.*, 2012, Y. Zhang & Kong, 2015):

- a) The absorbed SP molecules can obstruct the water and  $\text{Ca}^{+2}$  ions' diffusion.
- b) The  $\text{Ca}^{+2}$  ions can produce complexes due to their interaction with SP molecules, which can block the nucleation and precipitation of Ca components.
- c) The dispersive result of SP can change the morphology and kinetics of the hydration phases.

A novel family of SPs was developed from synthetic polymers, mainly from polycarboxylates, which are typically obtained from a polymerization process associated with acrylic and methacrylic acids. These SPs also produce electrostatic repulsion among the cement particles, which has been identified due to the repulsion between long-chain molecules of ether groups (El-Gamal *et al.*, 2012, Mollah *et al.*, 2000, Rivva, 2002, Y. Zhang & Kong, 2015).

In the city of Medellín, Colombia, there is an increasing interest by companies and universities in reducing the pollution and moving towards a circular economy. This research is the result of a partnership in this regard, and it aims to improve the properties of cement before and after the full setting process, as well as to reduce the cement and water contents in the studied formulations using only superplasticizers. Therefore, not only material characterization but also performance tests were conducted in order to evaluate the two selected additives. The analysis, conducted by means of a statistical multilevel factorial model, is very important for involving critical variables to be later implemented in a real large-scale process. The results and methodology of this research can have an impact in the cement context of the mix, and they were implemented in the concrete design of a large-scale production process by Conasfaltos S.A., a local company.

## METHODOLOGY

### Materials

Ordinary Portland cement from Cementos Argos was used in this study. Its physical and chemical properties are summarized in Table 1 and Table 2. Following the ASTM C494 standard (ASTM International, 1999), two different type F additives were used: additive 1 (A1), based on polycarboxylate; and additive 2 (A2), based on naphthalene. Both were used at 0,8 and 1,0 wt % contents with respect to the amount of cement. The contents of these additives were selected based on the recommendations given by the manufacturers. Moreover, two aggregate types supplied by Conasfaltos were used, which were obtained from a local quarry near Medellín. The characterization data provided by the company are shown in Table 3, and the gradation is shown in Figure 1.

**Table 1.** Chemical information for the cement used in this research

Component	wt %	NTC 321 Type I	ASTM C1157
MgO, max (%)	6,00	7,00	-
SO, max (%)	3,50	3,50	-

**Note:** NTC 321 is the Colombian standard based on ASTM C150

**Source:** Authors.

**Table 2.** Physical parameters of the cement used in this research

Parameters	Argos standard	NTC 121 Type I	ASTM C1157
Initial setting <sup>(1)</sup> , lowest value (min.)	45	45	45
Final setting <sup>(1)</sup> , maximum value (min.)	420	480	420
Autoclave expansion, max. (%)	0,8	0,8	0,8
Water expansion <sup>(2)</sup> , max. (%)	0,02	-	0,02
Strength at 28 days <sup>(3)</sup> , min. (MPa)	26,0	24,0	28,0
Blaine, min. (cm <sup>2</sup> /gr)	2.800	2.800	-

**Note:** NTC 121 is the Colombian standard based on ASTM 1157

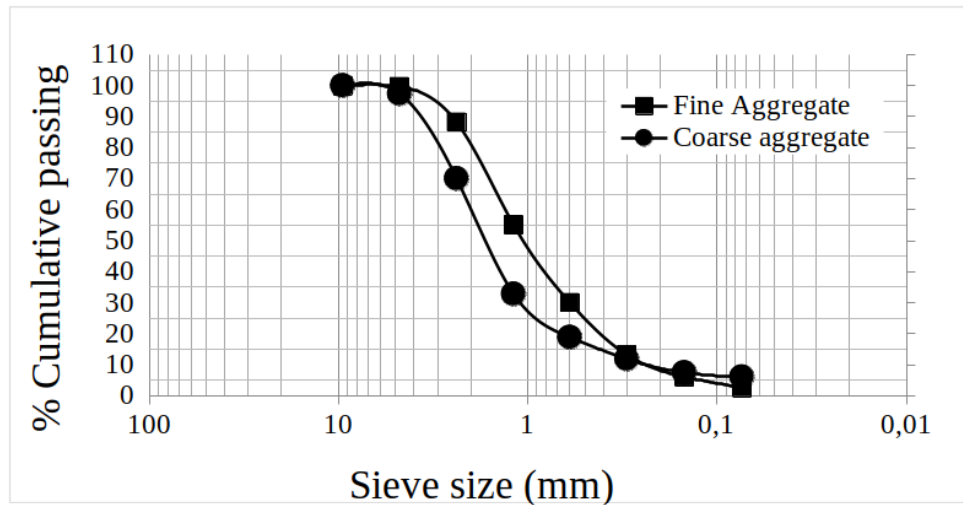
<sup>(1)</sup>Vicat needle tests following NTC 118 (ASTM C191)

<sup>(2)</sup>Tests on mortar bars after 14 days following NTC 4927 (ASTM 1038)

**Source:** Authors.

## Experimental design

A multilevel factorial design (Carter Jr., 1990) was implemented in this research using the Statgraphics statistical software, with the purpose of evaluating the main effects and the interaction of each factor (additive 1, additive 2, and sand) in the response. Two factorial designs were made since additive 1 and 2 should not be mixed. For a complete graphical representation, 3D response surface plots were generated to show the relationships between the experimental variables and their responses (Solaiman *et al.*, 2016). Tables 4, 5, 6, and 7 summarize the method and its results.



**Figure 1.** Granulometry results for fine and coarse sand

Source: Authors.

### Sample preparation

Cubic mortar samples of  $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$  were elaborated while keeping a water-to-cement ratio (W/C) of 0,485. Aggregate was used in aggregate-to-cement ratios (A/C) of 2,69/1 for fine sand aggregate and 2,73/1 for coarse sand aggregate. All materials were mechanically mixed with water, and then cement and sand were added. All components were mixed thereafter. The samples were cured at  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  and compression tested after 7, 14, 21, and 28 days of curing.

### Compressive strength

The compressive strength was determined for samples after 7, 14, 21, and 28 days of curing. In all cases, three cubic (5 mm cube edge) specimens were tested per formulation in order to determine the mean and the standard deviation. All this, while observing standard ASTM C109 ([ASTM International, 2013b](#)).

### Setting time

The setting time was estimated with a Vicat needle while following the ASTM C191 standard ([ASTM International, 2013a](#)). Tests were conducted on cement paste and cement paste with additives. The initial setting time was obtained when the needle penetration was 25 mm, and the final setting time was obtained when it was 0,0 mm. In order to reduce the external environmental effects, all samples were maintained at  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  in a humid room.



**Table 3.** Characteristics of the aggregates used in this research

Property	Fine sand	Coarse sand
Loose mass (kg/m <sup>3</sup> )	1.363	1.630
Compact mass (kg/m <sup>3</sup> )	1.541	1.693
Apparent specific weight	2,81	2,78
Fineness modulus	3.08	3,62
Organic matter content (NTC 174)	1	1
Sulfate soundness test (NTC 174) (%)	2,8	1,5
Clay lumps and friable particles in aggregate (%) (NTC 174)	0,7	0,67
Carbon and lignite (NTC 174)	0,01	0
Alkali-silica reactivity	Not harmful	Not harmful
Absorption (%)	1,65	1,34
Passing sieve 75 µm (%)	2,7	6,1

**Note:** NTC 174 is the Colombian standard based on ASTM C33

**Source:** Authors.

**Table 4.** Factors of experimental design A

Variables	Unit	-1	1
Additive 1	%	0,8	1
Sand	Size	Fine	Coarse

**Source:** Authors.

### Fluidity and air content

Fluidity tests were performed in a flow table apparatus following the ASTM C230 standard (ASTM International, 2008). The air content in the mix in the fresh state of cements was determined with a type B tester under the ASTM C231 standard (ASTM International, 1997).

**Table 5.** Samples for experimental design A

Sample	Additive 1	Sand
1	1	1
2	-1	1
3	1	-1
4	-1	-1

Source: Authors.

**Table 6.** Factors of experimental design B

Variables	Unit	-1	1
Additive 2	%	0,8	1
Sand	Size	Fine	Coarse

Source: Authors.

**Table 7.** Samples for experimental design B

Sample	Additive 2	Sand
5	-1	1
6	1	1
7	1	-1
8	-1	-1

Source: Authors.

## X-ray diffraction

In order to characterize the X-ray diffraction (XRD), tests were conducted at room temperature in a PANalytical X'Pert PRO diffractometer with a Copper  $K\alpha$  radiation of 1,5406 Å, voltage of 45 kV, and scanning from 10° to 90°.

## Scanning electron microscopy (SEM)

In order to stop the hydration reaction, samples cured for 28 days were submerged in acetone. Then, a drying process was carried out in all samples for 24 h at 55 °C using an electric (joule) furnace. A JEOL JSM 6700R SEM was used in this research, which operated in high vacuum mode. For SEM characterization, the samples were fractured in order to expose their internal microstructure, and

they were then sputtered in a Hummer 6.2 system operating at 15 mA AC for 30 s. This was done in order to make the surface conductive by the deposition of a thin film of gold. The samples were also chemically analyzed via energy-dispersed spectroscopy (EDS) adapted to the SEM.

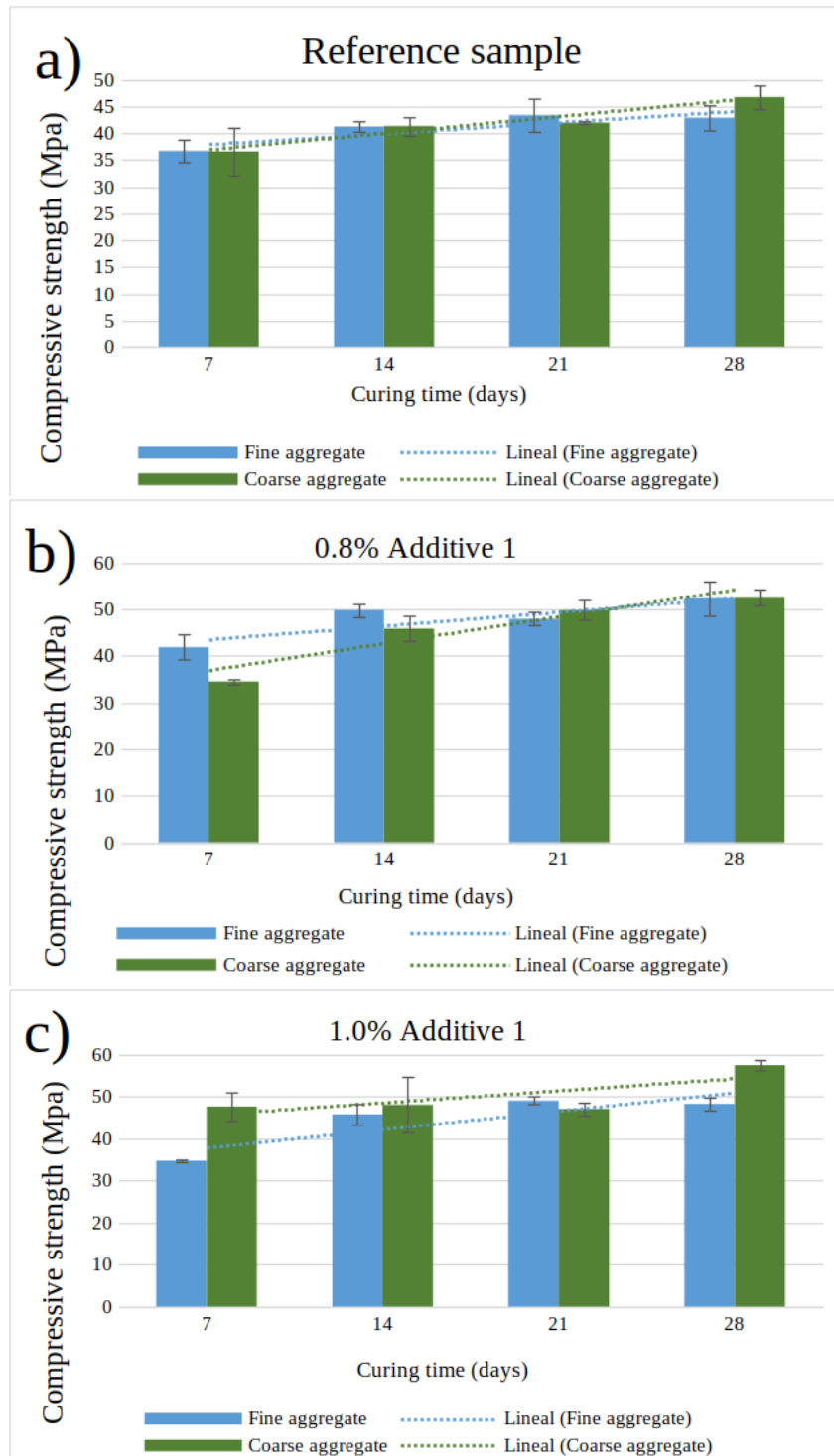
## RESULTS

The granulometry tests for the aggregates used in this research are shown in Figure 1. The results show a size distribution with soft continuous changes for both the fine and coarse sands. For sand to have a good gradation, it must have a uniformity coefficient of 6 or more and a curvature coefficient higher than 1 and lower than 3 (Juárez-Badillo & Rico-Rodríguez, 1998). The results for the uniformity coefficient for both fine and coarse sand were 5,739 and 8,798, respectively. Furthermore, the curvature coefficient for fine and coarse sand was 1,045 and 2,286, respectively. Therefore, fine sand does not have not the best gradation, as it does not fulfill the two requirements regarding uniformity and curvature coefficient, whereas coarse sand fulfills both requirements.

Figures 2 and 3 summarize the compressive strength measured at 7, 14, 21, and 28 days of curing. In case of the reference sample summarized in Figures 2a and 3a, which corresponds to the sample without additives, the strength of the sample with fine sand increased almost linearly by 3,62%, showing a correlation of 0,77. The strength of the sample with coarse sand also increased almost linearly by 5,43%, with a correlation of 0,93. Figure 2b shows samples with 0,8% of additive, with fine sand at 5,15% and a correlation of 0,73. Samples with coarse sand also showed a linear tendency towards increasing the strength with curing time, with a slope of 10,10% and a correlation of 0,55. Figure 2c shows the compressive strength for samples with 1 wt% of additive 1. Samples containing fine sand increased their slope by 7,67% and showed a correlation of 0,73, whereas, for coarse sand, the slope was 5,01% with a correlation of 0,89.

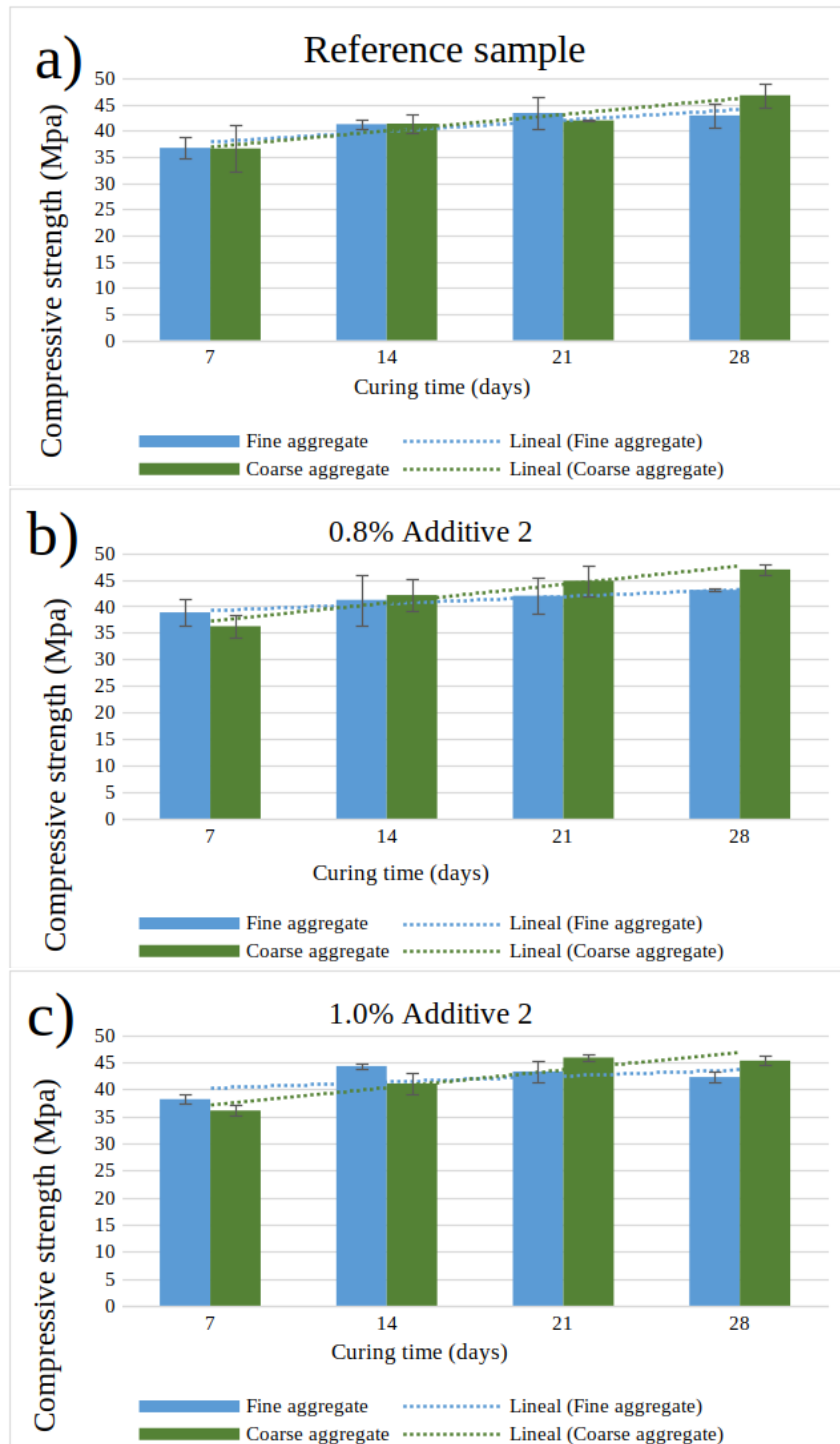
Figure 3b shows the results for samples containing 0,8 wt% of additive 2. Samples containing fine sand exhibited a slope of 2,34% and a correlation of 0,94, and samples with coarse sand also showed a linear tendency: a slope of 6,08% and a correlation of 0,94. Finally, Figure 3c shows samples with 1 wt% of additive 2; fine and coarse sand also showed a linear tendency towards increased strength with curing time. Fine sand exhibited a linear inclination of 1,97% and a correlation of 0,29, whereas coarse sand showed a slope of 5,68% with a correlation of 0,85. In general, Figures 2 and 3 show that the compressive strength is higher for larger sand sizes. A similar conclusion can be drawn regarding the additive: the more additive content, the higher the compressive strength, although samples with additive 2 (Figure 3) did not show a significant change in compressive strength with respect to the reference sample.

Figure 4 summarizes the initial and final setting times for the neat cement paste and the cement paste with additives. From these curves, it can be observed that samples with additives increased the initial setting time from 3 to 192 min, and there was an increase in the final setting time from 23 to 218



**Figure 2.** Compressive strength for a) reference samples without additives, b) samples with 0,8% additive 1, c) samples with 1,0% additive 1

Source: Authors.



**Figure 3.** Compressive strength for a) reference samples without additives, b) samples with 0,8% additive 2, c) samples with 1,0% additive 2

Source: Authors.

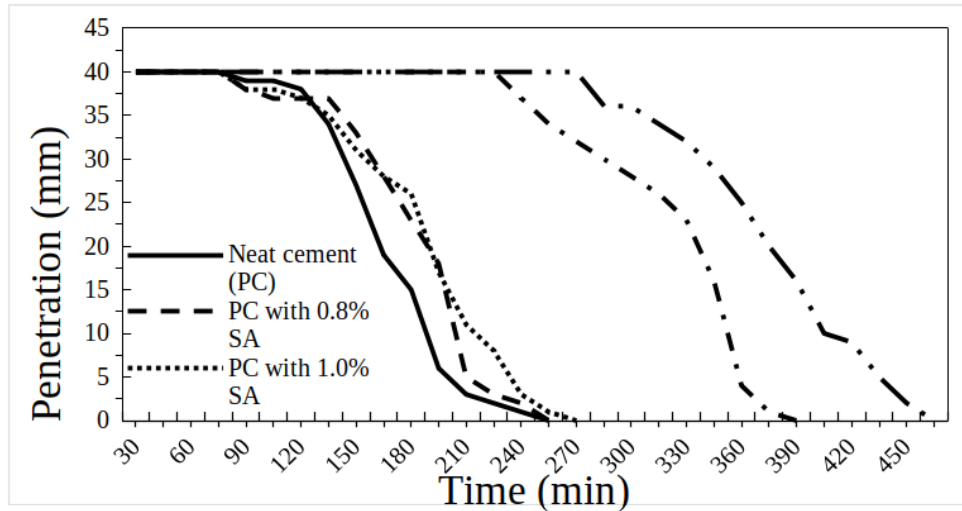


Figure 4. Penetration curve for setting time determination

Source: Authors.

min with respect to the reference for the sample without additives. It is also observed that samples with additive 1 showed a higher increase in the initial setting time (between 140 and 167 min), as well as in the final setting time (between 151 and 195 min) in comparison with additive 2. In addition, it is noted that samples with a higher content of additive (superplasticizer) have longer initial and final setting times. Considering that the delayed hydration (increase in setting time) is known to be due to adsorption of additive to the cement's particle surface (Brooks *et al.*, 2000), it can be stated that the adsorption of additive 1 is higher than that of additive 2, which is due to their different chemical natures.

Regarding the fluidity of the mortar, Table 8 shows that fluidity is below the required percentage (120%), considering that a mix with fine sand generally has a fluidity percentage (95,68%) higher than a sample with coarse sand (74,93%). Formulations with additive exhibit an increase in fluidity with respect to samples without additive, which allows the mixes to be used as pumpable concrete. Moreover, mixes with additive 1 have a higher fluidity (156,20% more than samples with additive 2). It is also observed that, by increasing the additive content, the fluidity increases as well. Therefore, since a higher adsorption of this additive (superplasticizer) over cement grains produces a higher fluidity (Burgos-Montes *et al.*, 2012), it is inferred that the dispersion capacity of additive 1 is higher than that of additive 2. Therefore, a larger amount of additive 2 is required (Sakai *et al.*, 2006).

Table 9 summarizes the air content of the samples. Those with additive 1 and coarse sand showed the lowest air content among all samples. Moreover, all samples with additive 1 had a lower air content than those with additive 2. Air bubbles are present in powdered materials and also are produced by the mixer (Šeputytė-Jucikė & Kligys, 2016). Therefore, the rheology of the mix altered by

**Table 8.** Mortar fluidity

Sample		Fluidity (%)
1	Coarse sand + 1 % Additive 1	156,2
2	Coarse sand + 0,8 % Additive 1	156,2
3	Fine sand + 1 % Additive 1	156,2
4	Fine sand + 0,8 % Additive 1	156,2
5	Coarse sand + 0,8 % Additive 2	114,36
6	Coarse sand + 1 % Additive 2	129,98
7	Fine sand + 1 % Additive 2	143,79
8	Fine sand + 0,8 % Additive 2	126,26
9	Coarse sand	74,93
10	Fine sand	95,68

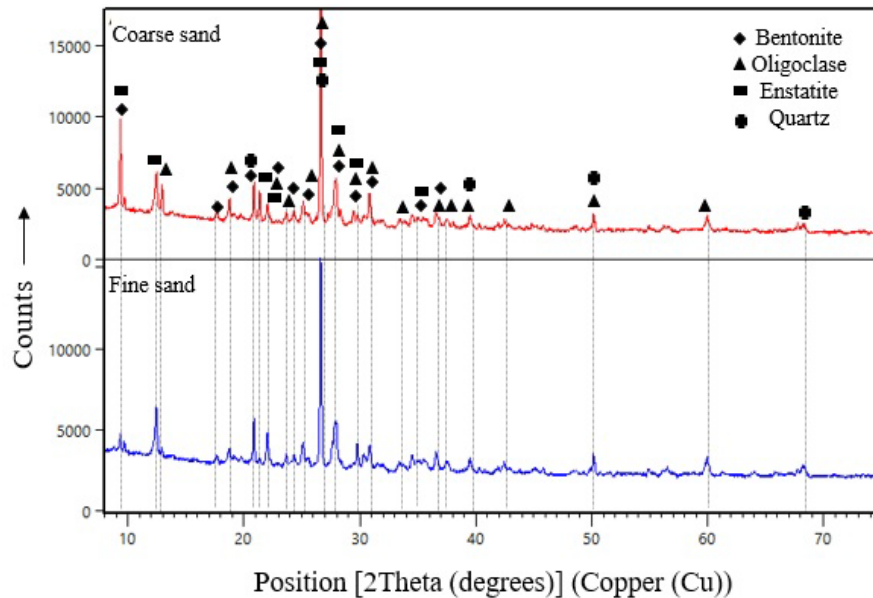
**Source:** Authors.

the superplasticizer can produce significant changes in the air content. A less viscous mix can more easily release bubbles through the surface, which is certainly true for additive 1, whereas the higher viscosity of additive 2 hinders bubble mobility and causes a large number of them to remain in the mix (Aïtcin, P.-C., & Flatt, 2015).

The XRD spectra for both fine and coarse sand are shown in Figure 5. The main phases found are oligoclase, bentonite, quartz, and enstatite. Figure 6 shows the case of cement paste with 0,8 wt % of additives 1 and 2. Calcium silicate hydrate (CSH), ettringite, and portlandite ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) were identified in this test. From these results, it is clear that the type of additive does not affect the composition of cement-hydrated phases. A close comparison of the XRD spectra of the samples containing additives 1 and 2 reveals that the intensity of the peaks is lower for samples with additive 1, which is associated with a lower growth rate of ettringite (Aïtcin, P.-C., & Flatt, 2015). This intensity decrease was also obtained in the case of portlandite. A peak at 31,13 has been associated with the CSH affected by the adsorption of polycarboxylate in  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  nucleation (Diamond & Bonen, 1993).

SEM images for several samples are shown in Figures 7 and 8.

CSH as fibrous particles were identified, namely those with reticular growth (type 1), reticular with fibrous structures in radial growth from the cement grain (type 2), globular (type 3), and amorphous gel (type 4) (Diamond & Bonen, 1993). Portlandite (CH), as usual, was in the form of parallel plates with a prismatic pseudo-hexagonal shape (Galan *et al.*, 2015). Ettringite (E) in circular sha-



**Figure 5.** XRD spectra for samples containing cement paste and additives  
**Source:** Authors.

pes was also observed. Figure 9 shows the SEM-EDS for selected samples. Figure 9a corresponds to sample 4, which is cement paste with coarse sand and 1,0 wt% additive 1 and showed the highest compressive strength. No pores were found, which supports the results regarding air content for this formulation. Figure 9b corresponds to sample 7, which is composed of fine sand with 1 wt % additive 2 and exhibited the lowest compressive strength values. Very few pores were found, which also confirms the air contents presented in this research. The images also show that the samples are basically composed of two materials: one with a high calcium content due to the cement paste; and another with a high content of silica and aluminum, most likely due to the aggregate.

### General multilevel factorial design

The main effects of additive 1 and sand over the density, air content, compressive strength, and fluidity for factorial design A are shown in Figure 10. In Figure 10a, it is observed that, by increasing the additive 1 content and the sand grain size, the density is increased, whereas an increase in the same variables produces a decrease in the air contents (Figure 10b). Figure 10c shows that increasing the content of additive 1 results in a decrease in compressive strength, whereas increasing the sand grain size increases it. Figure 10d shows that the fluidity does not significantly change by changing the amount of additive 1 and the sand grain size.



**Table 9.** Air content

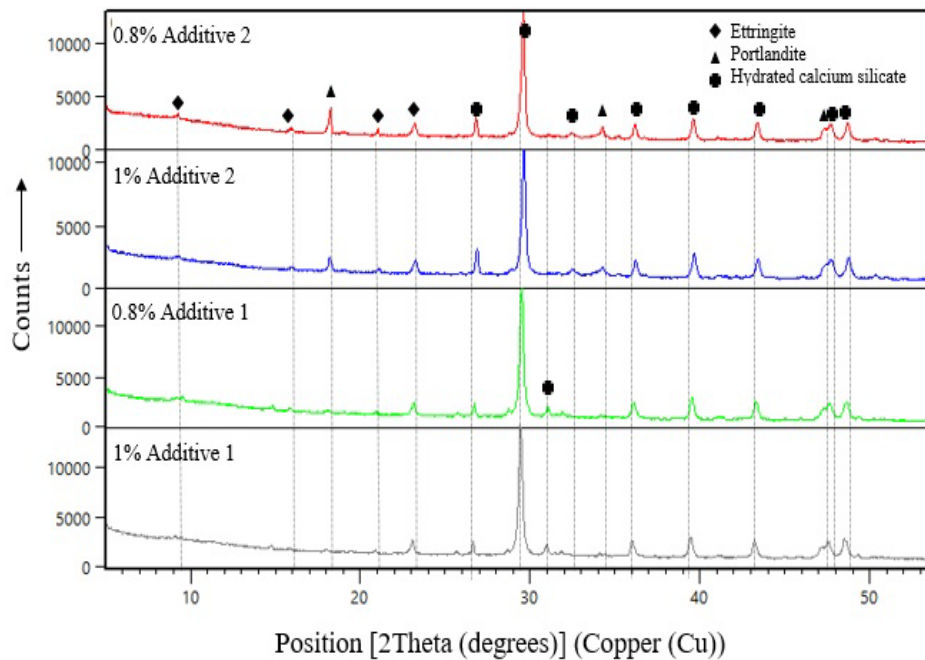
Sample		Air content (%)
1	Coarse sand + 1 % Additive 1	1,55
2	Coarse sand + 0,8 % Additive 1	1,85
3	Fine sand + 1 % Additive 1	2,9
4	Fine sand + 0,8 % Additive 1	3,38
5	Coarse sand + 0,8 % Additive 2	5,75
6	Coarse sand + 1 % Additive 2	6,15
7	Fine sand + 1 % Additive 2	6,3
8	Fine sand + 0,8 % Additive 2	7,1
9	Coarse sand	3,65
10	Fine sand	5,25

**Source:** Authors.

Similarly, Figure 11 shows how changes in additive 2 and sand content affect the density, air content, compressive strength, and fluidity of factorial design B. This Figure shows that, by increasing the contents of additive 2 and the sand grain size, a density increase is produced, whereas the air content is decreased (Figure 11b). Figure 11c shows that, when the amount of additive 2 increases, the compressive strength decreases. On the other hand, an increase in the sand grain size produces an increase in compressive strength. Figure 11d shows that, by increasing the additive 2 content, fluidity increases, which also occurs when the sand grain size increases.

The effect of the interaction between additive 1 and sand in factorial design A on density, air content, compressive strength, and fluidity is shown in Figure 12. In Figure 12a, it is clear that the sand and additive 1 contents will eventually intersect. It is observed that the lowest content of additive 1 is more significant than the lowest sand content. It is also observed that a low additive content and low grain size of sand produce a low density, while the highest density is obtained if the lowest additive content and the largest grain size are used. Figure 12b shows that the sand and additive contents do not interact and show no combined effect on the air content. If a low air content is needed, higher additive content and grain size must be employed, whereas, if a high air content is required, lower additive content and grain size must be employed.

Figure 12c shows that additive 1 and sand have a high interaction regarding compressive strength. In addition, a greater content of additive 1 has a great effect on sand. Furthermore, for a higher compressive strength, the best combination is a greater content of additive 1 with coarser sand. Figure



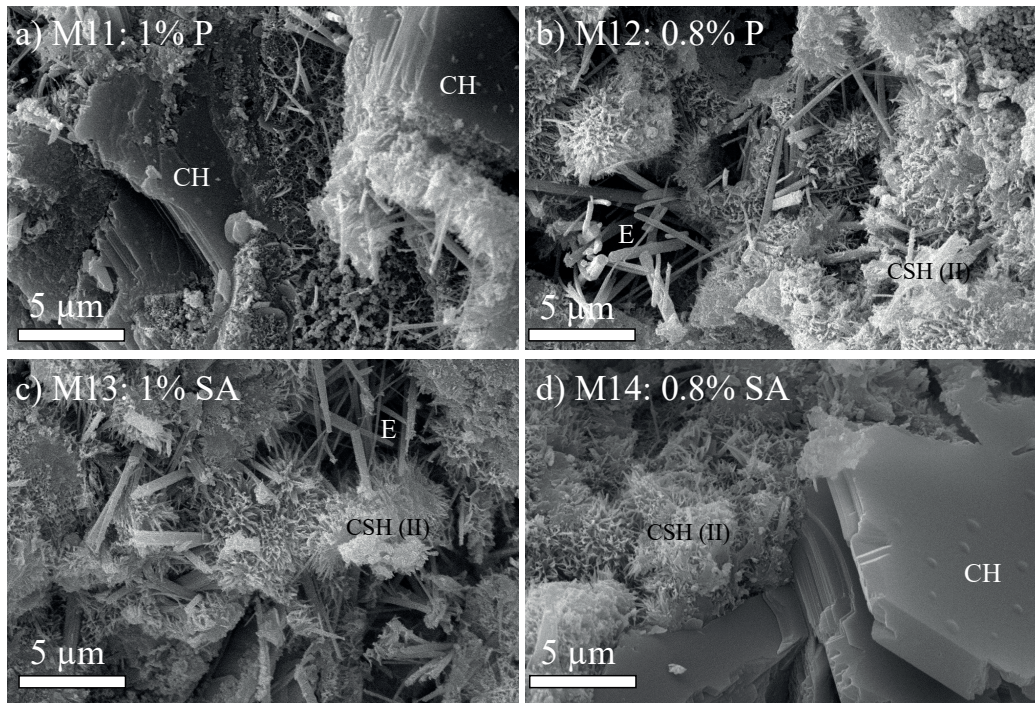
**Figure 6.** XRD spectra for samples containing cement paste and additives

**Source:** Authors.

12d shows not only that there is no interaction between additive 1 and sand, but also that there is no significant change in the fluidity, regardless of the combination of additive 1 and sand used.

The interaction between additive 2 and the sand in the factorial design B in terms of density, air content, compressive strength, and fluidity is shown in Figure 13. Figure 13a shows a low interaction between sand and additive 2; the lower the content of additive 2, the greater the effect on sand. If a higher density is required, the best combination is a lower content of additive 2 with a higher sand grain size. On the other hand, if a lower density is required, the best combination is given by a lower content of additive 2 and a lower size of sand. Figure 13b shows the interaction between additive 2 and sand: the lowest content of additive 2 has a significant effect on sand.

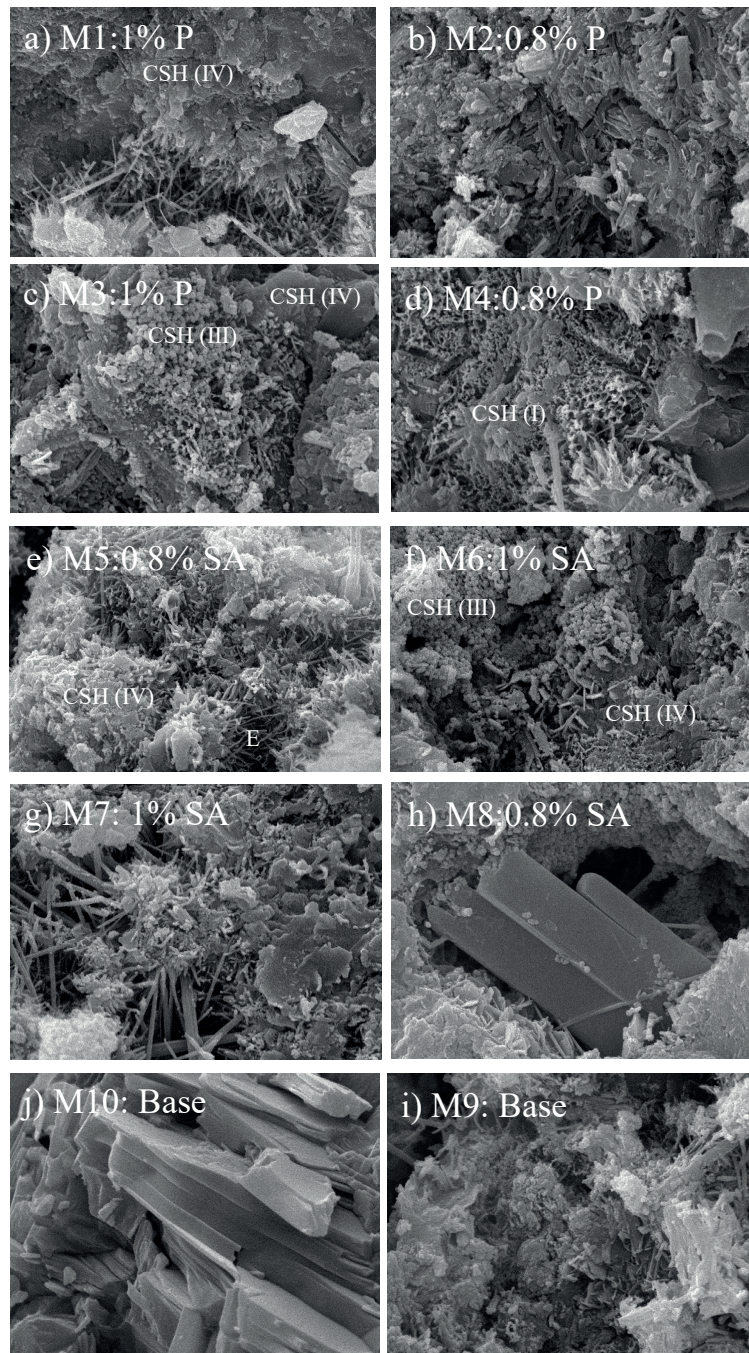
Moreover, for a high air content, less additive 2 and smaller sand are needed. Conversely, a low air content requires less additive 2 and larger sand. Figure 13c shows a poor interaction between additive 2 and sand regarding compressive strength. Both high and low contents have a similar effect on sand. If a high compressive strength is desired, less additive and larger sand are required. Figure 13d also reveals a poor interaction between additive 2 and sand, as well as the fact that both low and high additive 2 contents have similar effects on sand. If a high fluidity is required, a higher amount of additive 2 and a smaller size will work. Figure 14 shows the surface response of factorial design



**Figure 7.** SEM images for cement paste with additives: a) 1,0 wt % additive 1, b) 0,8 wt % additive 1, c) 1,0 wt % additive 2, d) 0,8 wt % additive 2

**Source:** Authors.

A for the effect of additive 1 and sand on density, air content, compressive strength, and fluidity. Figure 14a shows that density increases with less additive 1 and smaller sand. Figure 14b shows that the air content decreases with additive 1, regardless of the sand size. In addition, there is a slight increase in the air content with an increase in sand size, regardless of the additive 1 contents. Figure 14c shows that compressive strength decreases with the increase in additive 1 and smaller sand, but the strength increases with additive 1 and larger sand. Figure 14d suggests that fluidity does not change with additive 1, regardless of the sand size or additive content in any of the tested contents. The surface response of factorial design A regarding the effect of additive 1 and sand on density, air content, compressive strength, and fluidity is shown in Figure 15. Figure 15a shows that density increases with additive 2 for small sand sizes and has no significant effect on large sand grains. Density increases with sand and both high and low contents of additive 2. Figure 15b shows that the air content increases with sand when low contents of additive 2 are used, but it is not affected by sand when additive 2 contents are higher. Furthermore, the density decreases with additive 2 regardless of sand size. The same happens with compressive strength, as shown in Figure 15c. In addition, compressive strength increases with sand regardless of the additive 2 content, as does fluidity (Figure 15d).



**Figure 8.** SEM images for mortar samples with additives: a) 1,0 wt% additive 1 and coarse sand, b) 0,8 wt% additive 1 and coarse sand, c) 1,0 wt% additive 1 and fine sand, d) 0,8 wt% additive 1 and fine sand, e) 0,8 wt% additive 2 and coarse sand, f) 1,0 wt% additive 2 and coarse sand, g) 1,0 wt% additive 2 and fine sand, h) 0,8 wt% additive 2 and fine sand, i) base sample with coarse sand, j) base sample with fine sand

Source: Authors.

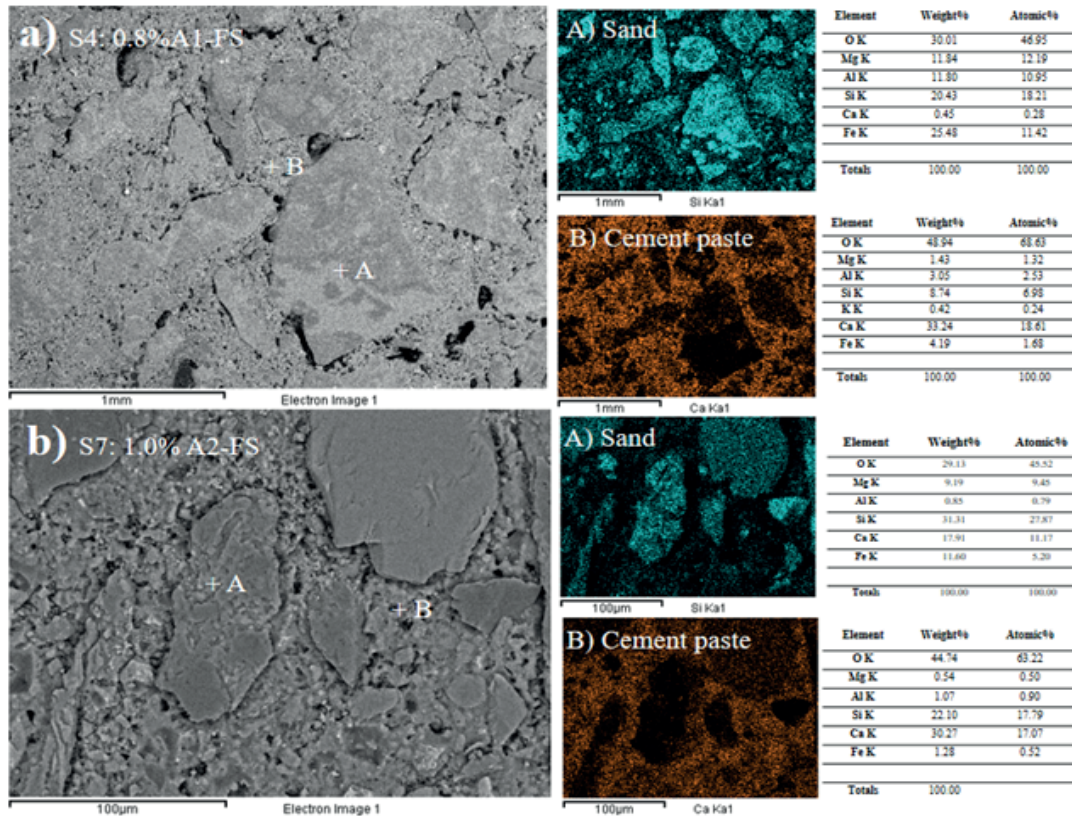


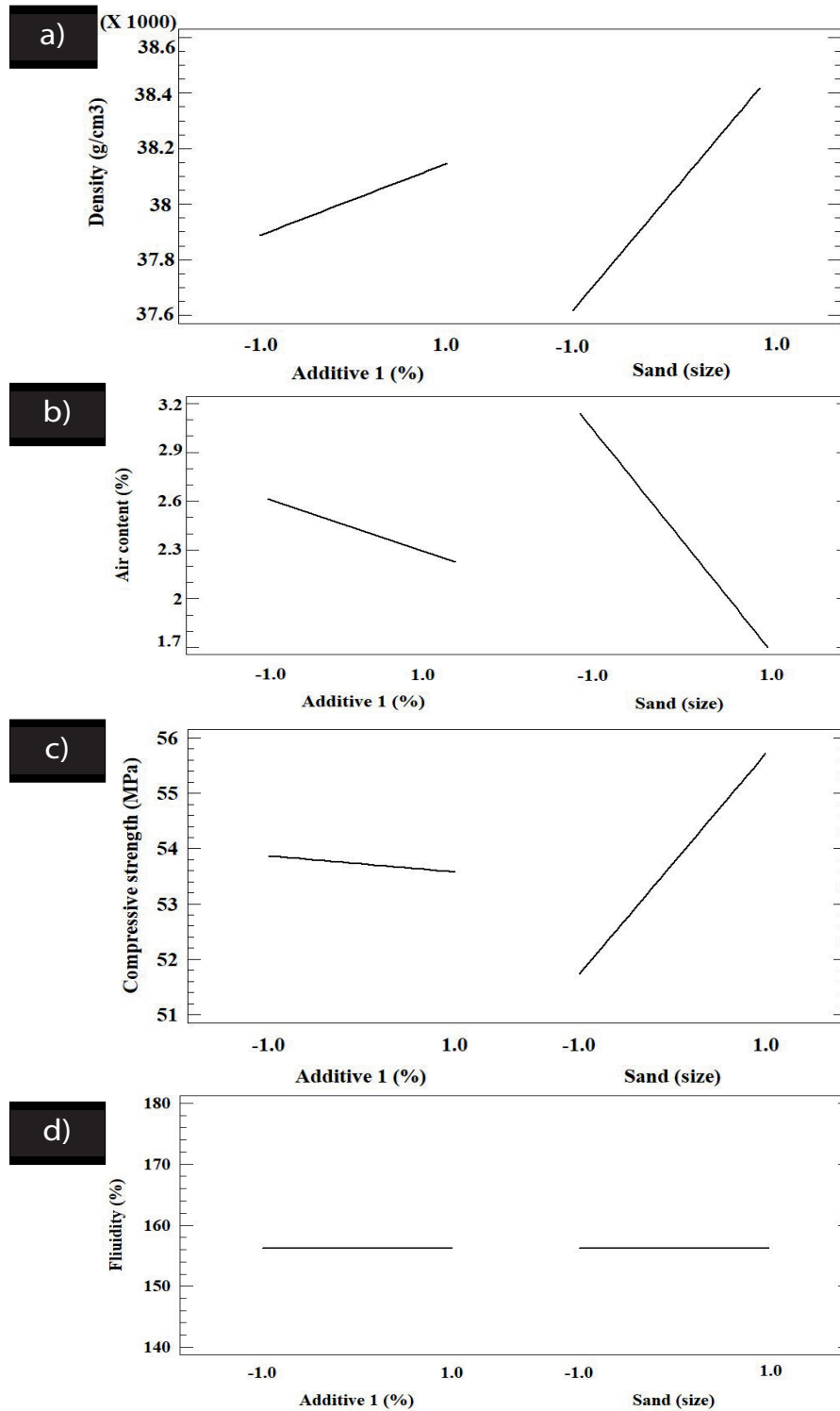
Figure 9. EDS-SEM maps for a) sample 4 and b) sample 7

Source: Authors.

## Discussion

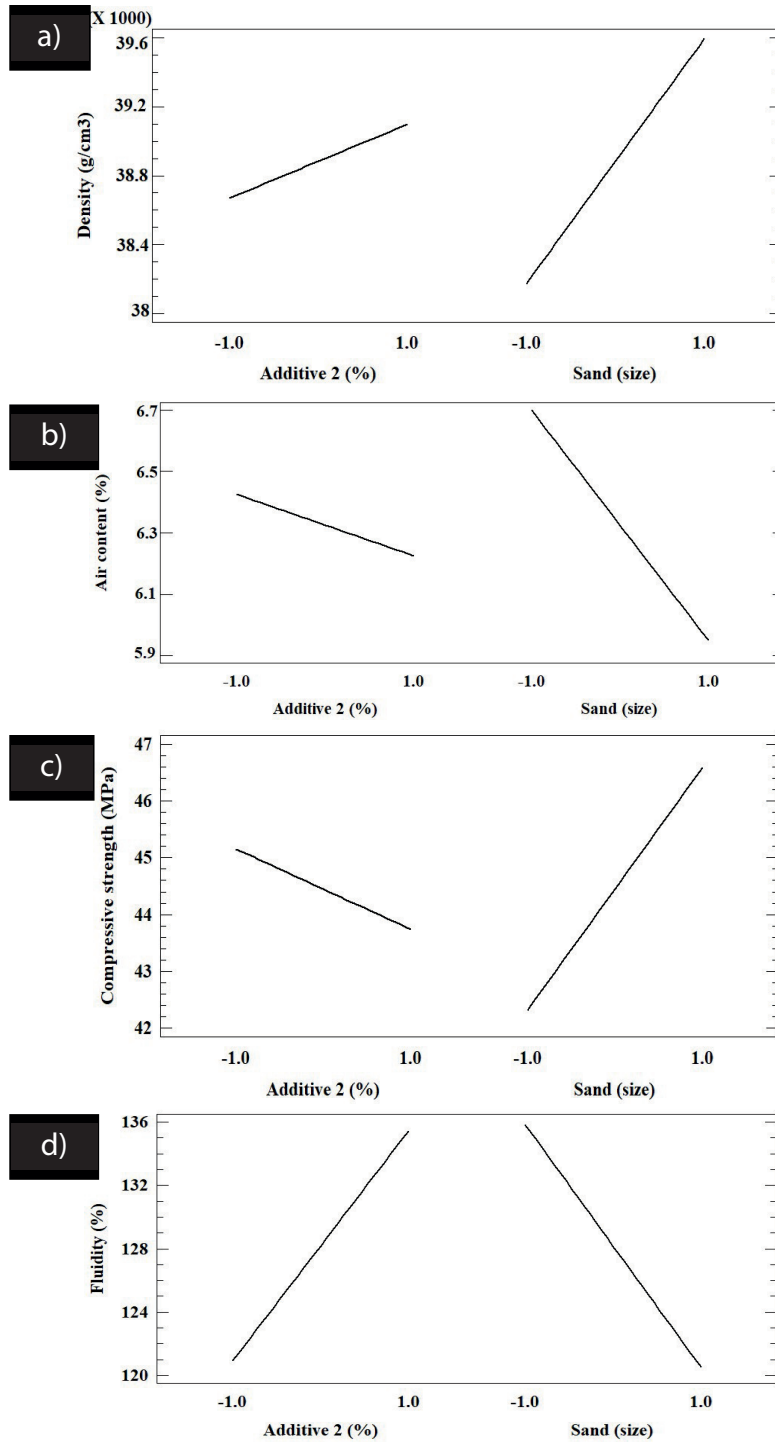
In the first place, this research was very important for Conasfaltos, a large-scale manufacturer and constructor in Medellín, Colombia, given that its results and methods were implemented in the company within the framework of a large-scale production process. This will benefit the city, as this collaboration addresses a major problem in the region, which involves pollution from many different sources. More companies will eventually implement these methods, not only because the community and scientists demand it, but also because some leading companies are now implementing them.

The results presented in this article are very important because the two studied commercial additives showed very significant differences, even though their manufacturers claim to offer the same benefits. Regardless of the additives, the evidence certainly supports the fact that, for every chemical variation in the cement, mortar, or concrete used, a full study must be conducted to determine the actual interaction of the materials involved. The two superplasticizers were very representative for the studied cement formulations. However, they cannot be generalized to other materials or cements,



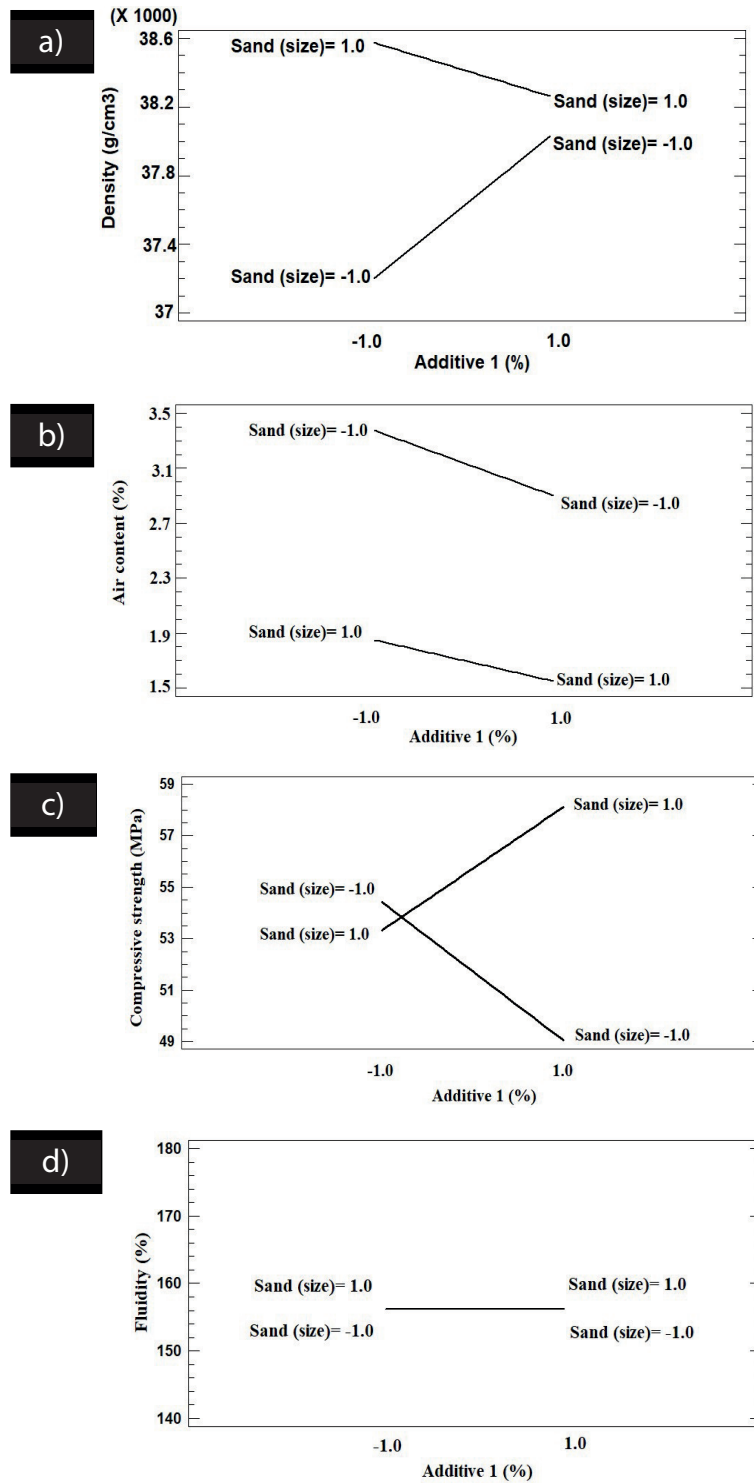
**Figure 10.** Main effects plots of factorial design A for a) density, b) air content, c) compressive strength, and d) fluidity

Source: Authors.



**Figure 11.** Main effects plots of factorial design A for a) density, b) air content, c) compressive strength, and d) fluidity

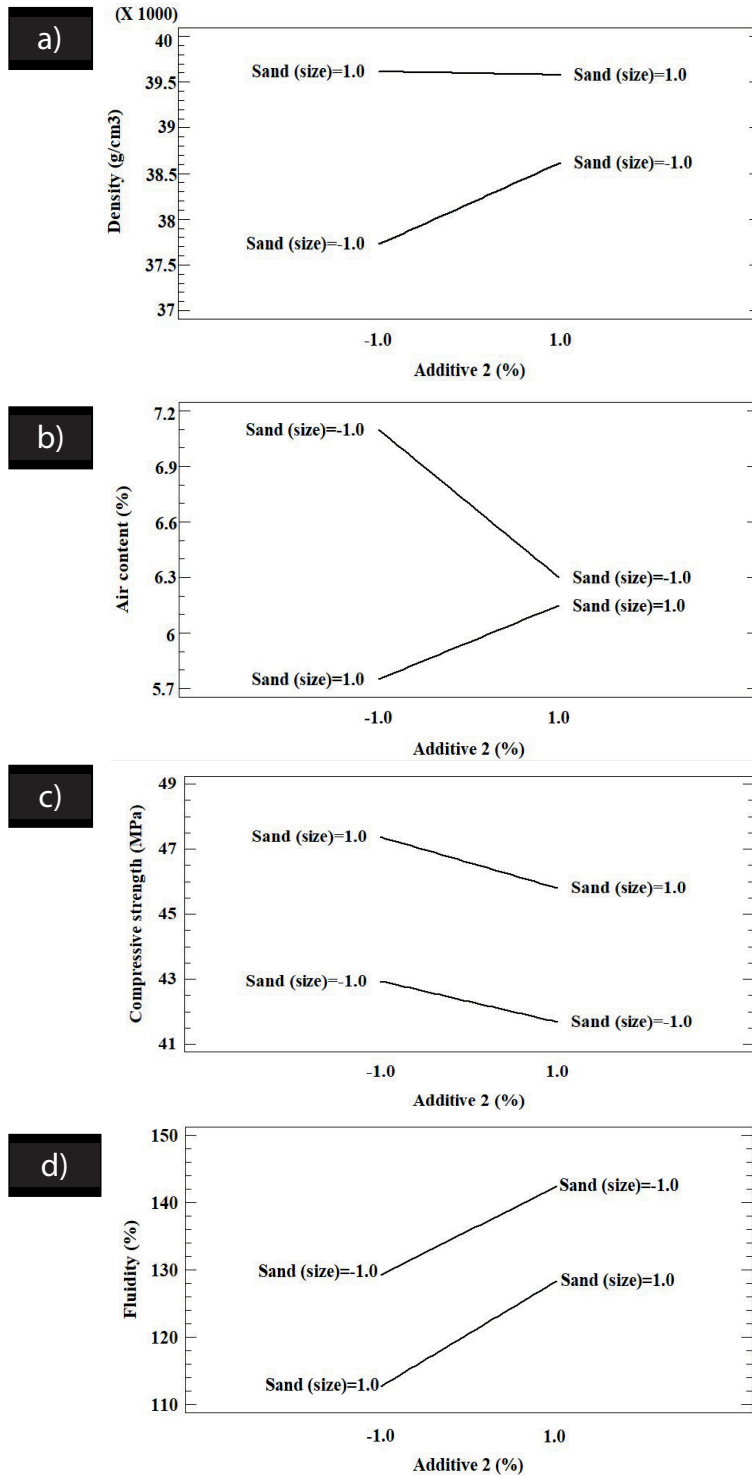
Source: Authors.



**Figure 12.** Interaction plots of factorial design A for a) density, b) air content, c) compressive strength, and d) fluidity

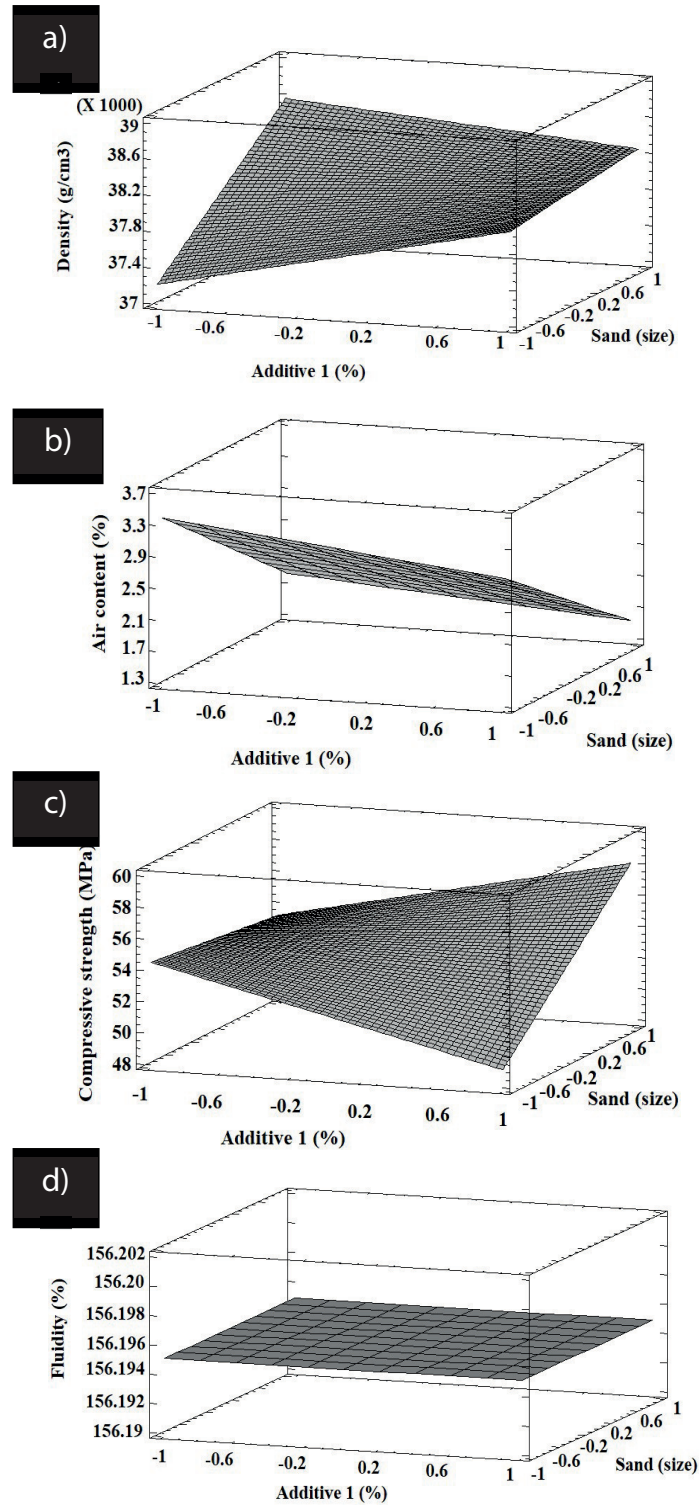
Source: Authors.





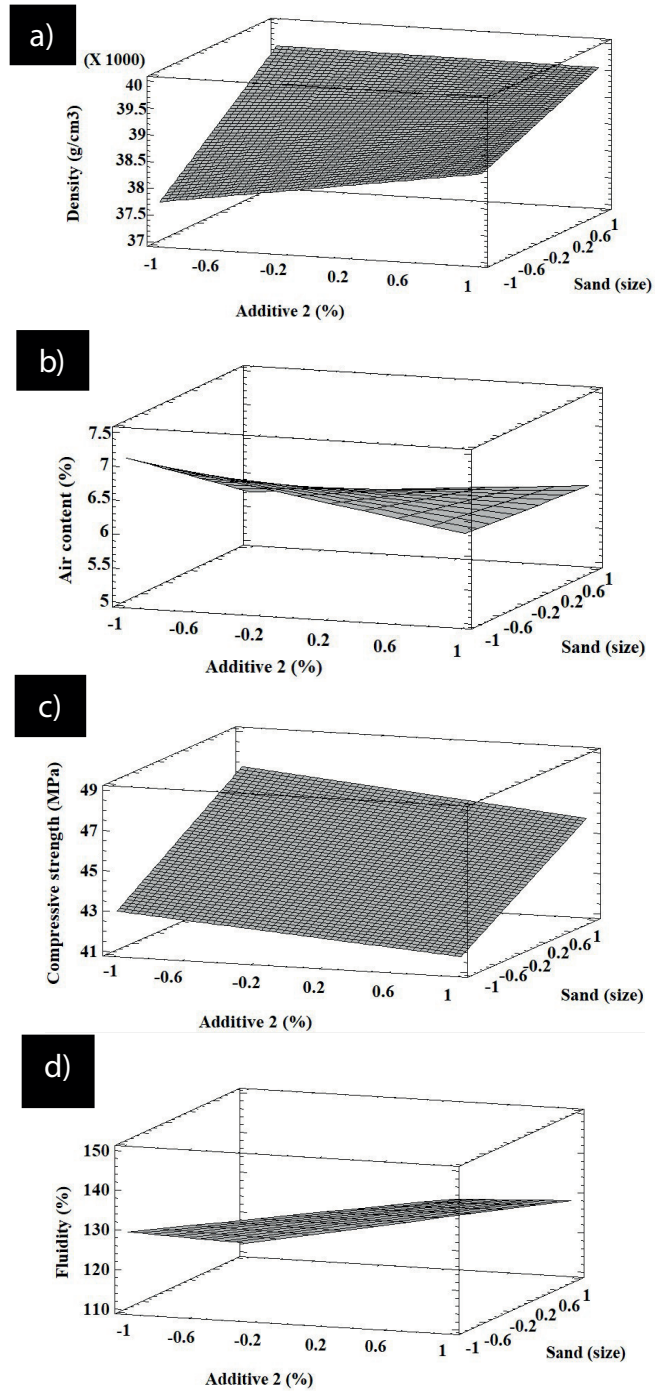
**Figure 13.** Interaction plots of factorial design B for a) density, b) air content, c) compressive strength, and d) fluidity

Source: Authors.



**Figure 14.** 3D response surface plots for factorial design A showing the effect of additive 1 and sand on a) density, b) air content, c) compressive strength, and d) fluidity

**Source:** Authors.



**Figure 15.** 3D response surface plots for factorial design B showing the effect of additive 2 and sand on a) density, b) air content, c) compressive strength, and d) fluidity

Source: Authors.

since, despite the low content of these nanomaterials in the mix, they are very reactive and can easily affect a large number of properties; their influence in the mix can therefore be quite significant and chemistry-dependent.

The formulations of these superplasticizers are recommended in applications where it is necessary to use ultra-high-performance or ultra-high-strength cements or concretes, such as in skyscrapers, bridges, or infrastructure subjected to ultra-high stresses. Other applications may include prestressed girders, precast concrete piles, thin bonded overlays of bridge decks, and security and blast mitigation applications (Azme & Shafiq, 2018). Moreover, they are appropriate when materials with complex chemistry must be incorporated in cement or concrete, such as waste, which may require tailoring the rheology or other material properties of the mix (Colorado *et al.*, 2015, de Azevedo *et al.*, 2021, Florez *et al.*, 2018, Florez *et al.*, 2019). For example, these results can be useful to adapt the mix for natural fiber cement composites (de Azevedo *et al.*, 2021, Quintero-Dávila *et al.*, 2019) where properties such as viscosity need to be optimized in order to enable manufacturing with fibers. These results also contribute to applications involving additive manufacturing of cements, as rheology plays a key role in production, and typical formulations used in the industry do not work and need to be adapted as well (Vergara & Colorado, 2020). Certainly, the use of these superplasticizers contributes to using less water and cements, thus enabling more sustainable methods in new technologies (Colorado *et al.*, 2020).

In the results of this this research, it is observed that additive 1 entails a better increase in the evaluated properties of the mortar, not only in fresh but also in hardened samples. The additive 1 content that proved to be more valuable during testing was 1,0 wt%. Coarse (larger) sand was selected for making the mortar mix as per the compressive strength results. Table 10 summarizes the reductions implied by these methods and materials: the water/cement ratio was reduced by 21,65 wt%, the amount of raw cement by 7,27 wt%, and water by 27,34 wt%. With this dosage, the same tests were conducted for both fresh and hardened samples: the compressive strength was determined in samples released from the mold after 28 days of curing by applying a compression force of  $58,87 \pm 3,07$  MPa. Fluidity was 121,86 wt%, and the air content was 4,9 wt%.

Figures 14 and 15 show that the mortar properties strongly depend on both the sand size and the additive type. This research confirmed that the use of superplasticizer additives delays the initial setting time and increases the final setting time in cement (Brooks *et al.*, 2000). In addition, the air content in the mix changes depending on its fluidity; if the mix has a high fluidity, it has a low air content. Conversely, if it is too viscous, it has a high air content (Aïtcin, P-C., & Flatt, 2015). Moreover, this study also revealed that the use of superplasticizers increases the fluidity of the mix, as reported before (Burgos-Montes *et al.*, 2012, Sakai *et al.*, 2006). The use of these additives increased the compressive strength, which agrees with previous research (Lohtia *et al.*, 1995).

The naphthalene-based superplasticizing additives are adsorbed to the cement grains through their anionic groups (Lohtia *et al.*, 1995). In addition, a part of these negatively charged groups remain in contact with the solution, giving the cement grains a net negative charge, which is responsible

**Table 10.** Water and cement content reduction

Component	Reference (without additive)	Modified (with additive)
Water/cement ratio (W/C)	0,485	0,38
W/C decrease (%)	21,65 %	
Cement content (kg/m <sup>3</sup> )	550	510
Cement decrease (%)	7,27 %	
Water content (kg/m <sup>3</sup> )	266,75	193,8
Water content decrease (%)	27,34 %	

**Source:** Authors.

for an electrostatic-type repulsion between them (Mollah *et al.*, 2000, Y. Zhang & Kong, 2015). In contrast, the adsorption of additives based on polycarboxylate occurs through carboxylate groups. The dispersion that these additives induce among the cement grains has been associated with an electrostatic repulsion (as in additives based on melanin and naphthalene) and fundamentally to a steric repulsion phenomenon that is related to the long sidechains of the ethers (Aïtcin, P.-C., & Flatt, 2015, Rivva, 2002). Considering the differences in properties obtained in this study for just these two additives, new technologies such as additive manufacturing (Revelo & Colorado, 2018) in the field of building materials could be substantially improved by the proper use of additives 1 and 2.

## CONCLUSIONS

- The size of the aggregate used in mortar mixtures has an effect not only on the liquid, fresh, unhardened mortar, but also on the hardened solid paste. When a fine sand is used, the fluidity increases, but the compressive strength of the mortar is reduced. On the contrary, when a coarse sand is used, the fluidity decreases, while the compressive strength increases.
- The use of additive 2 (superplasticizer) improves the workability and increases the fluidity of the mixtures while keeping a W/C of 0,485, thus fulfilling the required conditions of a pumpable mortar. However, this does harm the compressive strength of samples with respect to the neat cement sample, even if the dosage is increased from 0,8 to 1,0 wt %.
- The use of additive 1 has a greater efficiency at improving the several properties of the mix. As the dose increases from 0,8 to 1,0 wt %, the workability, fluidity, and setting time increase. This implies a decrease in porosity, and, therefore, the value of the compressive strength increases

with respect to the reference sample. In addition, this superplasticizer can be used to reduce both the amount of water and raw cement powder. In this work, the W/C was reduced from 0,485 to 0,38. This also implied a reduction of 7,27 % in cementitious material and of 27,34 % in the amount of water needed. In addition, the reduced mixture meets the conditions of a pumpable mortar.

- The use of the studied additives affected the degree of crystallinity of the portlandite and ettringite phases, which can lead to denser structures in the cement paste mixtures.
- By implementing this research work and under the parameters herein specified, the amount of cementing material used by Conasfaltos can be reduced from 1.021.800 to 947.480 tons, which would decrease the production of gray cement by 74.320 tons and CO<sub>2</sub> emissions by about 66.888 tons.
- The chemistry of the additives influences the properties of cement, mortar, and concrete because these work in the solid-liquid interface of cement. Therefore, the functional groups that make up the chain of the additives must be taken into account since these are responsible for the adsorption process. This implies that any cement mix must be studied with each additive if an optimal material is desired.

## FUNDING

This research was funded by the CCComposites research group, Universidad de Antioquia, and Conasfaltos.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors want to express their gratitude to the Conasfaltos S.A. company, as well as to Universidad de Antioquia for procuring the resources involved in this project.

## REFERENCES

- [Aïtcin, P.-C., & Flatt, 2015] Aïtcin, P.-C., & Flatt, R. J. (2015). *Science and Technology of Concrete Admixtures* (1st ed.). Woodhead Publishing, Elsevier. ↑Ver página 116, 126, 139, 140
- [ASTM International, 1997] ASTM International (1997). *ASTM C231: Standard test method for air content of freshly mixed concrete by the pressure method*. American Society for Testing and Materials. ↑Ver página 120

- [ASTM International, 1999] ASTM International. (1999). *ASTM 494: Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*. American Society for Testing and Materials. ↑Ver página 116, 117
- [ASTM International, 2008] ASTM International (2008). *ASTM 230: Standard specification for flow table for use in tests of hydraulic cement*. American Society for Testing and Materials. ↑Ver página 120
- [ASTM International, 2013a] ASTM International (2013a). *ASTM C191: Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle*. American Society for Testing and Materials. ↑Ver página 119
- [ASTM International, 2013b] ASTM International (2013b). *ASTM C109: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*. American Society for Testing and Materials. ↑Ver página 119
- [Azmeem & Shafiq, 2018] Azmeem, N. M., & Shafiq, N. (2018). Ultra-high performance concrete: From fundamental to applications. *Case Studies in Construction Materials*, 9, e00197. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2018.e00197> ↑Ver página 139
- [Brooks et al., 2000] Brooks, J. J., Johari, M. A. M., & Mazloom, M. (2000). Effect of admixtures on the setting times of high-strength concrete. *Cement and Concrete Composites*, 22(4), 293-301. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00025-1](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00025-1) ↑Ver página 125, 139
- [Burgos-Montes et al., 2012] Burgos-Montes, O., Palacios, M., Rivilla, P., & Puertas, F. (2012). Compatibility between superplasticizer admixtures and cements with mineral additions. *Construction and Building Materials*, 31, 300-309. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.092> ↑Ver página 125, 139
- [Carter Jr., 1990] Carter Jr., C. W. (1990). Efficient factorial designs and the analysis of macromolecular crystal growth conditions. *Methods*, 1(1), 12-24. [https://doi.org/10.1016/S1046-2023\(05\)80142-2](https://doi.org/10.1016/S1046-2023(05)80142-2) ↑Ver página 118
- [Colorado et al., 2016] Colorado, H. A., Garcia, E., & Buchely, M. F. (2016). White Ordinary Portland Cement blended with superfine steel dust with high zinc oxide contents. *Construction and Building Materials*, 112, 816-824. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.201> ↑Ver página 116
- [Colorado et al., 2020] Colorado, H. A., Velásquez, E. I. G., & Monteiro, S. N. (2020). Sustainability of additive manufacturing: the circular economy of materials and environmental perspectives. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(4), 8221-8234. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.04.062> ↑Ver página 139

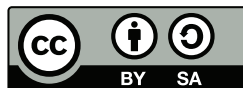
- [Colorado *et al.*, 2015] Colorado, H. A., Wang, Z., & Yang, J.-M. (2015). Inorganic phosphate cement fabricated with wollastonite, barium titanate, and phosphoric acid. *Cement and Concrete Composites*, 62, 13-21. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.04.014> ↑Ver página 139
- [de Azevedo *et al.*, 2021] de Azevedo, A. R. G., Costa, A. M., Cecchin, D., Pereira, C. R., Marvila, M. T., & Adesina, A. (2021). Economic potential comparative of reusing different industrial solid wastes in cementitious composites: a case study in Brazil. *Environment, Development and Sustainability*, 24, 5938-5931. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01630-7> ↑Ver página
- [de Azevedo *et al.*, 2021] de Azevedo, A. R. G., Marvila, M. T., Antunes, M. L. P., Rangel, E. C., & Fediuk, R. (2021). Technological Perspective for Use the Natural Pineapple Fiber in Mortar to Repair Structures. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 5131-5145. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01374-5> ↑Ver página 139
- [Diamond & Bonen, 1993] Diamond, S., & Bonen, D. (1993). Microstructure of hardened cement paste –a new interpretation. *Journal of the American Ceramic Society*, 76(12), 2993-2999. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1993.tb06600.x> ↑Ver página 126
- [Dransfield, 2009] Dransfield, J. (2009). Admixtures. In Forde, M. (Ed.), *ICE manual of construction materials: Volume I/II: Fundamentals and theory; Concrete; Asphalts in road construction; Masonry* (pp. 91-100). ICE Publishing. <https://doi.org/10.1680/mocm.35973> ↑Ver página 116
- [El-Gamal *et al.*, 2012] El-Gamal, S. M. A., Al-Nowaiser, F. M., & Al-Baity, A. O. (2012). Effect of superplasticizers on the hydration kinetic and mechanical properties of Portland cement pastes. *Journal of Advanced Research*, 3(2), 119-124. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2011.05.008> ↑Ver página 116, 117
- [Florez *et al.*, 2019] Florez, R., Colorado, H. A., Alajo, A., & Giraldo, C. H. C. (2019). The material characterization and gamma attenuation properties of Portland cement-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> composites for potential dry cask applications. *Progress in Nuclear Energy*, 111, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2018.10.022> ↑Ver página 139
- [Florez *et al.*, 2018] Florez, R., Colorado, H. A., Giraldo, C. H. C., & Alajo, A. (2018). Preparation and characterization of Portland cement pastes with Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> microparticle additions for neutron shielding applications. *Construction and Building Materials*, 191, 498-506. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.019> ↑Ver página 139
- [Galan *et al.*, 2015] Galan, I., Glasser, F. P., Baza, D., & Andrade, C. (2015). Assessment of the protective effect of carbonation on portlandite crystals. *Cement and Concrete Research*, 74, 68-77. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.04.001> ↑Ver página 126
- [Juárez-Badillo & Rico-Rodríguez, 1998] Juárez-Badillo, E., & Rico-Rodríguez, A. (1998). *Mecánica de suelos: fundamentos de la mecánica de suelos* (3rd ed.). LIMUSA-Noriega Editores. ↑Ver página 122



- [Juenger & Siddique, 2015] Juenger, M. C. G., & Siddique, R. (2015). Recent advances in understanding the role of supplementary cementitious materials in concrete. *Cement and Concrete Research*, 78, 71-80. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.03.018> ↑Ver página 116
- [Łaźniewska-Piekarczyk, 2013] Łaźniewska-Piekarczyk, B. (2013). The influence of chemical admixtures on cement hydration and mixture properties of very high performance self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 49, 643-662. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.072> ↑Ver página 116
- [Hewlett & Liska, 2019] Hewlett, P. C., & Liska (2019). *Lea's Chemistry of Cement and Concrete* (5th ed.). Elsevier Science. <https://www.perlego.com/book/1835238/leas-chemistry-of-cement-and-concrete-pdf> ↑Ver página 116
- [Lohtia et al., 1995] Lohtia, R. P., Joshi, R. C., & Ramachandran, V. S. (1995). *Concrete Admixtures Handbook – Properties, Science, and Technology* (2nd ed.). Noyes Publications. <https://doi.org/10.1016/B978-081551373-5.50014-3> ↑Ver página 139
- [Mollah et al., 2000] Mollah, M. Y. A., Adams, W. J., Schennach, R., & Cocke, D. L. (2000). A review of cement–superplasticizer interactions and their models. *Advances in Cement Research*, 12(4), 153-161. <https://doi.org/10.1680/adcr.2000.12.4.153> ↑Ver página 116, 117, 140
- [Nuruddin et al., 2014] Nuruddin, M. F., Chang, K. Y., & Azmee, N. M. (2014). Workability and compressive strength of ductile self compacting concrete (DSCC) with various cement replacement materials. *Construction and Building Materials*, 55, 153-157. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.094> ↑Ver página 116
- [Plank et al., 2015] Plank, J., Sakai, E., Miao, C.-W., Yu, C., & Hong, J.-X. (2015). Chemical admixtures— Chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability. *Cement and Concrete Research*, 78(Part A), 81-99. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.05.016> ↑Ver página 116
- [Quintero-Dávila et al., 2019] Quintero-Dávila, M., Monteiro, S. N., & Colorado, H. A. (2019). Composites of Portland cement and fibers of *Guadua angustifolia* Kunth from Colombia. *Journal of Composite Materials*, 53(7), 883-892. <https://doi.org/10.1177/0021998318792297> ↑Ver página 139
- [Ramachandran et al., 1998] Ramachandran, V. S., Malhotra, V. M., Jolicoeur, C., & Spiratos, N. (1998). *Suplerplasticizers: properties and applications in concrete*. Natural Resources Canada. <https://doi.org/10.4095/328653> ↑Ver página 116
- [Rehan & Nehdi, 2005] Rehan, R., & Nehdi, M. (2005). Carbon dioxide emissions and climate change: policy implications for the cement industry. *Environmental Science & Policy*, 8(2), 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2004.12.006> ↑Ver página 116

- [Revelo & Colorado, 2018] Revelo, C. F., & Colorado, H. A. (2018). 3D printing of kaolinite clay ceramics using the Direct Ink Writing (DIW) technique. *Ceramics International*, 44(5), 5673-5682. <https://doi.org/10.1016/J.CERAMINT.2017.12.219> ↑Ver página 140
- [Rivva, 2002] Rivva, E. (2002). *Concreto de alta resistencia* (1st ed.). Fondo Editorial ICG. ↑Ver página 117, 140
- [Sakai *et al.*, 2006] Sakai, E., Kasuga, T., Sugiyama, T., Asaga, K., & Daimon, M. (2006). Influence of superplasticizers on the hydration of cement and the pore structure of hardened cement. *Cement and Concrete Research*, 36(11), 2049-2053. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.08.003> ↑Ver página 125, 139
- [Šeputytė-Jucikė & Kligys, 2016] Šeputytė-Jucikė, J., & Kligys, M. (2016). The effects of modifying additives and chemical admixtures on the properties of porous fresh and hardened cement paste. *Construction and Building Materials*, 127, 679-691. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.014> ↑Ver página 125
- [Solaiman *et al.*, 2016] Solaiman, A., Suliman, A. S., Shinde, S., Naz, S., & Elkordy, A. A. (2016). Application of general multilevel factorial design with formulation of fast disintegrating tablets containing croscaremellose sodium and Disintequick MCC-25. *International Journal of Pharmaceutics*, 501(1-2), 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2016.01.065> ↑Ver página 118
- [Telesca *et al.*, 2017] Telesca, A., Marroccoli, M., Ibris, N., Lupiáñez, C., Díez, L. I., Romeo, L. M., & Montagnaro, F. (2017). Use of oxyfuel combustion ash for the production of blended cements: A synergetic solution toward reduction of CO2 emissions. *Fuel Processing Technology*, 156, 211-220. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.10.026> ↑Ver página 116
- [Usher *et al.*, 1980] Usher, P. M., Angles, J. G., Rixom, R. M. & Ryle, R. K. (1980). *Guide to chemical admixtures for concrete (Technical Report No. 18)*. The Cement Admixtures Association, Concrete Society. ↑Ver página 116
- [Vergara & Colorado, 2020] Vergara, L. A., & Colorado, H. A. (2020). Additive manufacturing of Portland cement pastes with additions of kaolin, superplastificant and calcium carbonate. *Construction and Building Materials*, 248, 118669. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118669> ↑Ver página 139
- [Yuan *et al.*, 2018] Yuan, Q., Zhou, D., Li, B., Huang, H., & Shi, C. (2018). Effect of mineral admixtures on the structural build-up of cement paste. *Construction and Building Materials*, 160, 117-126. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.050> ↑Ver página 116
- [T. Zhang *et al.*, 2001] Zhang, T., Shang, S., Yin, F., Aishah, A., Salmiah, A., & Ooi, T. L. (2001). Adsorptive behavior of surfactants on surface of Portland cement. *Cement and Concrete Research*, 31(7), 1009-1015. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00511-7](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00511-7) ↑Ver página

[Y. Zhang & Kong, 2015] Zhang, Y., & Kong, X. (2015). Correlations of the dispersing capability of NSF and PCE types of superplasticizer and their impacts on cement hydration with the adsorption in fresh cement pastes. *Cement and Concrete Research*, 69, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.11.009> ↑Ver página 116, 117, 140



## Recursos tecnológicos utilizados por profesores universitarios de carreras de ingeniería, en tiempos de virtualidad en Barranquilla (Colombia)

### Technological resources used by university professors of engineering careers in virtual times in Barranquilla (Colombia)

Iván Andrés Padilla Escorcía <sup>1</sup>, Robinson Junior Conde Carmona <sup>2</sup>, Teremy Tovar Ortega <sup>3</sup>

Fecha de Recepción: 25 de agosto de 2021

Fecha de Aceptación: 07 de febrero de 2022

**Cómo citar:** Padilla Escorcía, I.A. Conde Carmona, R.J. y Tovar Ortega, T. (2022). Recursos tecnológicos utilizados por profesores universitarios de carreras de ingeniería, en tiempos de virtualidad en Barranquilla (Colombia). *Tecnura*, 26(72), 147-166. <https://doi.org/10.14483/22487638.18277>

## Resumen

**Objetivo:** Caracterizar los recursos tecnológicos utilizados por diez profesores que enseñan matemáticas en los programas de ingeniería industrial y mecatrónica en una institución de educación superior (IES) en Barranquilla (Colombia) durante la pandemia del covid-19.

**Metodología:** Esta investigación se llevó a cabo bajo un enfoque de tipo cualitativo y diseño descriptivo; se fundamentó en los subdominios de *conocimiento tecnológico del contenido*, *conocimiento tecnológico* y *conocimiento tecnológico pedagógico del profesor*, propuestos en el modelo TPACK. La recolección de la información se realizó mediante instrumentos validados por el método Delphi, como entrevistas de tipo virtual y llamadas telefónicas. Seguidamente, se transcribieron en detalle aspectos que reúnen la práctica del profesor con respecto al uso de recursos tecnológicos utilizados, conocimiento y formación de la educación virtual.

**Resultados:** Se encontró como hallazgos significativos la renuencia al uso de las tecnologías por parte de los participantes, poco uso de pizarras como *Idroop* y *Openboard*, escasa formación de *software* especializados de la matemática como *GeoGebra*, *Geo TIC*, *Cabri*, *MATLAB*, entre otros. Esto limitó el proceso de enseñanza de las asignaturas: Cálculo I, Cálculo II, Álgebra Lineal, Ecuaciones Diferenciales y Métodos Numéricos.

**Conclusiones:** Se concluyó que debido a la escasa interacción de los profesores y estudiantes y que condujo a la poca connotación pedagógica que le atribuyen al uso de recursos tecnológicos en sus clases.

<sup>1</sup>Licenciado en Matemáticas, especialista en Estadística Aplicada, magíster en Educación. Docente e investigador de la Universidad del Atlántico. Barranquilla, Colombia.

Email: [iapadilla@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:iapadilla@mail.uniatlantico.edu.co)

<sup>2</sup>Licenciado en Matemáticas, especialista en Métodos Numéricos, doctorando en Educación Matemáticas. Docente e investigador de la Universidad del Atlántico. Barranquilla, Colombia.

Email: [rjconde@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:rjconde@mail.uniatlantico.edu.co)

<sup>3</sup>Licenciada en Ciencias Básicas con énfasis en Matemáticas, magíster en Educación. Docente e investigadora de la Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia.

Email: [ttovarortega@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:ttovarortega@mail.uniatlantico.edu.co)

**Palabras clave:** covid-19, herramientas tecnológicas, TIC, formación de profesores, enseñanza de las matemáticas, TPACK, educación superior, virtualidad.

## Abstract

**Objective:** To characterize the technological resources used by 10 professors who teach mathematics in industrial engineering and mechatronics programs at a Higher Education Institution (IES) in Barranquilla-Colombia during the Covid-19 pandemic.

**Methodology:** This research was carried out under a qualitative approach and descriptive design, it was based on the sub-domains technological knowledge of the content, technological knowledge and pedagogical technological knowledge of the teacher proposed in the TPACK model. Information was collected using instruments validated by the Delphi method such as virtual interviews and telephone calls. Next, aspects that gather the teacher's practice with respect to the use of technological resources used, knowledge and training of virtual education were transcribed in detail.

**Results:** Significant findings were the reluctance to use technologies by the participants, little use of blackboards such as Idroop and Openboard, little training in specialized mathematics software such as GeoGebra, Geo TIC, Cabri, Matlab, among others. What limited the teaching process of the subjects (calculus I, calculus II, linear algebra, differential equations and numerical methods).

**Conclusions:** It was concluded that due to the scarce interaction of teachers and students and that it led to the little pedagogical connotation that they attribute to the use of technological resources in their classes.

**Keywords:** Covid-19; Technological tools; TIC; teacher training; mathematics teaching, TPACK, higher education, virtuality.

## Tabla de Contenidos

	<b>Página</b>
<b>Introducción</b>	<b>149</b>
<b>Antecedentes</b>	<b>150</b>
<b>Modelo TPACK</b>	<b>152</b>
<b>Metodología</b>	<b>153</b>
Participantes . . . . .	154
Instrumentos . . . . .	154
<b>Resultados</b>	<b>155</b>
Formación del profesorado acerca del <i>e-learning</i> . . . . .	156
Conocimiento y percepción del <i>e-learning</i> . . . . .	157
Conocimiento y aplicación de recursos tecnológicos para enseñar matemáticas . . . . .	158
<b>Discusión</b>	<b>160</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>161</b>

**Financiamiento** 162

**Referencias** 162

## INTRODUCCIÓN

La educación mediada por la tecnología ha generado una transformación en el proceso de enseñanza/aprendizaje y ha modificado las prácticas tradicionales de enseñanza (Fajardo *et al.*, 2020). La diversidad de herramientas que hoy se encuentran en el mercado educativo permiten no solo interactuar en las prácticas del quehacer docente, sino también llevar al estudiante a vivir un mundo de enseñanza más cercano a la realidad (Alvarado *et al.*, 2020). Por ese motivo, la implementación de la tecnología ha mejorado el intercambio de espacios reales a virtuales de forma natural, y ha permitido que las instituciones educativas se adapten a las necesidades específicas de los estudiantes (Hidalgo *et al.*, 2021, Malizar *et al.*, 2020). A pesar de que la tecnología avanza constantemente y su diversificación también, es necesario que los docentes fortalezcan sus competencias en el uso de las nuevas tendencias en educación, en programación y lógica de programación (Aguilar, 2020), ya que es de esta manera como los enfoques y modelos pedagógicos también se han reestructurado, y la unificación de asignaturas en algunos casos ha sido eficaz a partir de las tecnologías como elemento transversal (Urbano *et al.*, 2020).

Por otra parte, el desarrollo de tecnologías y su facilidad de integración en todos los niveles educativos han derivado un auge de su uso de en las aulas de clase, no siendo la excepción el caso de la educación matemática, que se ha visto rodeada por un nuevo ecosistema basado en diferentes entornos tecnológicos adaptados a todos los niveles escolares y que buscan fortalecer el sistema educativo, acorde a las necesidades de los profesionales que se pretenden formar en el siglo XXI (Alvarado *et al.*, 2020, Khoza, 2020, Bheki y Thabile, 2019, Castaño-Tamara, 2016).

Así mismo, es importante tener en cuenta que la existencia de las tecnologías, permiten el rápido acceso a la información y la comunicación (Armesto y Angarita, 2017), pero no asegura la construcción del conocimiento y, mucho menos, la disposición a ser utilizada en la sociedad; esto último depende de las personas, más que de las tecnologías en sí mismas (Abar y Lavizca, 2019). Por ello, es de destacar el papel de las tecnologías en la educación, el cual debe estar dirigido a construir conocimiento y ayudar al aprendizaje. Por tanto, su uso en educación no es un fin, sino una herramienta para el desarrollo cognitivo, que demanda una implementación reflexiva con el objetivo de lograr una educación de calidad que impulse el desarrollo pedagógico del aula (Valbuena *et al.*, 2021).

En la actualidad, debido a la contingencia ocasionada por la covid-19. En Colombia y la mayoría de los demás países, la implementación de la educación virtual ha sido lo más pertinente. En respuesta, se han creado y perfeccionado diferentes recursos y herramientas digitales para apoyar la labor de los docentes, y facilitarles la transición de la educación presencial a la educación virtual (Aguilar, 2020, Conde-Carmona *et al.*, 2021). Por esa razón, es indispensable estudiar dos elementos claves: el conocimiento y uso de la tecnología de los docentes de matemáticas, y los criterios de la implemen-

tación para las tecnologías (recursos) de *e-learning* en sus prácticas pedagógicas.

Esto, debido a que este tipo de estudio permite analizar en las instituciones de educación superior (IES) el aprendizaje en las áreas del conocimiento en tiempos de la covid-19, como es el caso de las matemáticas. Además, facilita el abordaje de las necesidades de los estudiantes de las IES, una comprensión de sus identidades y, por tanto, un mejor servicio a la sociedad (Mpungose, 2019, Pather, 2016, Clifford y Montgomery, 2017). Debido a estas motivaciones, preguntas de investigación como “¿Qué recursos utilizan los profesores de matemáticas que enseñan en programas de ingeniería de una IES?”; “¿Cómo utilizan los profesores de matemáticas los recursos tecnológicos durante la enseñanza del área en la virtualidad?”, y “¿Por qué utilizan esos recursos tecnológicos los profesores de una IES en la virtualidad?”, pretenden ser respondidas en esta investigación mediante el siguiente objetivo general: caracterizar, categorizar, comparar e identificar los recursos tecnológicos utilizados por profesores de matemática que enseñan en programas de ingeniería de una IES en la ciudad de Barranquilla.

## ANTECEDENTES

A lo largo de los años, la implementación de recursos tecnológicos en la enseñanza de las matemáticas ha sido un tránsito en las prácticas del profesorado (Padilla-Escorcia y Conde-Carmona, 2020). Diversos *software*, páginas web y herramientas TIC han surgido con la necesidad de hacer más flexible la enseñanza de esta área del conocimiento. Diversas investigaciones se han adelantado con el objetivo de evidenciar la efectividad que ofrecen estos recursos para enseñar contenidos de matemáticas, las cuales se citan a continuación:

En el apartado de Aguirre, 2018 se describen recursos tecnológicos, sus usos e implicaciones para enseñar matemáticas, de modo que el *software Mathematica 10* se considera uno de los más relevantes, dada su funcionalidad para la visualización de los contenidos (gráficas) y su manipulación, puesto que les permite a los estudiantes entenderlos de manera dinámica. Por eso, este *software* desarrolla una serie de herramientas que facilitan el aprendizaje de temas de precálculo; así, se considera un recurso fundamental en cuanto a su utilidad en profesores de IES.

Del mismo modo, Bheki y Thabile, 2019 afirman que el uso de *hardware* (equipos como computadores, computadores portátiles, tabletas, teléfonos móviles) y *software* (programas de aplicación, sitios web y otros, utilizados junto con *hardware*) son claves en los procesos de enseñanza/aprendizaje de las matemáticas en IES. Esto está alineado con lo afirmado por (Molina-Toro *et al.*, 2019), quienes aseguran que existen tres tipos de herramientas potenciales para enseñar matemáticas: *software* de geometría dinámica, sistemas de álgebra computacional y programas de hojas de cálculo, los cuales desarrollan procesos de programación de algoritmos y análisis de gráficos en estudiantes universitarios, lo cual facilita desarrollar habilidades relacionadas con la creatividad, concretización de conceptos matemáticos, definición de variables y construcción de supuestos en problemas, el análisis de gráficos y la búsqueda de soluciones a la situación en estudio.

Por otro lado, no se puede perder de vista el *software GeoGebra*, con utilidad en cualquier nivel de escolaridad, y que en la educación superior se puede combinar el álgebra y cálculo, lo que permite diversas representaciones de objetos matemáticos. Por lo que, se considera una herramienta práctica para el profesorado, dada su utilidad en la creación de objetos de aprendizaje que facilita diversidad, como gráficos simples hasta páginas web dinámicas (Olivares y Valero, 2018).

Ahora bien, la situación generada por la covid-19 y la transición repentina de la educación presencial a la educación virtual han llevado a que este tipo de recursos tecnológicos tome más prioridad en las prácticas del profesorado que enseña matemáticas. En América Latina, puntualmente en Chile, Vásquez *et al.*, 2020 fomentan el uso de recursos tecnológicos para la enseñanza de la estadística. Entre los principales recursos seleccionados en la modalidad *e-learning* destacaron: el generador gráfico, o *advance data grapher*, el cual posibilita el ingreso de datos propios o el uso de algunos disponibles para el tránsito entre distintas representaciones visuales; al igual que el recurso tecnológico *Adjustable Spinner*, que ejecuta simulaciones de probabilidad y experimentos aleatorios aplicados a situaciones contextuales.

En Norteamérica, específicamente en la Universidad de Brockport, en Nueva York (EE. UU.), (Champlin, 2020) diseñó planificaciones curriculares para que los profesores atendieran sus clases en la modalidad *e-learning* durante tiempos de la covid-19, particularmente instructivos para la enseñanza de la geometría, con recursos tecnológicos como: a) *EDpuzzle*, un sitio web que permite subir, crear o usar videos educativos con cuestionarios interactivos; b) *Google Classroom*, que facilita interacción entre estudiantes y profesores; c) *Kuta Software*, un sitio web que proporciona actividades matemáticas que pueden ser utilizadas por los profesores, así como la creación de material propio por parte de estos; d) *Math Worksheets 4 Kids*, un sitio web que también ofrece actividades para todas las áreas de las matemáticas; e) *Office 365*, que brinda múltiples plataformas para la creación de documentos y hojas de cálculo; f) *Online 2 PDF*, un sitio web en el que es posible formatear y combinar varios documentos en uno solo; g) *PDFescape*, un sitio web en el que se editan archivos pdf, se vinculan páginas, videos, sitios web, imágenes y documentos, además, se escriben, eliminan, dibujan y muchas más funciones sobre archivos pdf; h) *Screencastify*, un servicio web que puede grabar videos de trabajo en pantalla; i) *Quizziz*, un sitio que convierte las pruebas estándar en juegos interactivos de trivia; y j) *YouTube*, una plataforma para compartir videos en línea.

Ahora bien, del otro lado del mundo, en Indonesia, la investigación de Malizar *et al.*, 2020 muestra que, como atención al brote generado por la covid-19, el Gobierno de dicho país propuso la modalidad *e-learning* como la más conveniente para continuar con la normalidad con los procesos de enseñanza/aprendizaje en el sector escolar. Para esto, sugirió las plataformas de aprendizaje en línea *Ruman Belajar* y *SPAD*, desarrolladas por el Ministerio y Cultura de Indonesia para todas las áreas del conocimiento, incluida las matemáticas. Además, se asoció con varias aplicaciones en línea como *MejaKita*, *ICANDO*, *Ganeca Digital*, *Kelas Pintar*, *Quipper School*, *Ruang Guru*, *Sekolahmu*, *Zenius*, *Cisco Webex* y *Pahamify*, los cuales son todos recursos tecnológicos que apoyan a los profesores para desarrollar el aprendizaje de los estudiantes desde casa.



Siguiendo con el continente asiático, en China, primer país del mundo en donde el brote de la covid-19 tuvo mayor auge, coordinó 22 plataformas de aprendizaje en línea que ofertaron alrededor de 24 000 cursos gratuitos y disponibles a nivel nacional para los profesores y estudiantes, proporcionando un sin número de recursos tecnológicos para llevar a cabo los procesos educativos bajo la modalidad *e-learning*. Entre estos destacan herramientas cognitivas, como *Mapping* y *GeoGebra* (con potencial para las matemáticas); de edición colaborativa, como *wiki*, *Knowledge Forum*, documentos de Google, aplicativos de realidad virtual, como *Sandboxie*, *KRPano* (con potencial para la matemática), además de otros recursos (*Moodle*, *Rain-Classroom*, *Camtasia*) (Huang et al., 2020).

En última instancia, se identificaron recursos tecnológicos utilizados en el aprendizaje de las matemáticas, en escuelas de Zambia (Mulenga y Marbán, 2020a, Mulenga y Marbán, 2020b), país africano con notorias dificultades económicas; sin embargo, esto no fue impedimento para que el Senado de las Universidades de dicho país propusiera que, durante la modalidad *e-learning*, el aprendizaje se llevará a cabo por medio de plataformas de aprendizaje electrónico como *Moodle* y *Astria*. Aun así, en Zambia, la modalidad *e-learning*, no tiene la relevancia que requiere en la actualidad un país en vía de desarrollo, por lo que la pandemia generó muchas dificultades en los procesos educativos, puntualmente en la enseñanza de las matemáticas, dado que en ningún colegio o universidad de ese país se ofrecen programas universitarios que relacionen asignaturas afines a esta área del conocimiento en línea, y el tránsito de la presencialidad a la virtualidad no ha sido el esperado debido a la escasez de competencias en TIC que le permita al profesorado enseñar matemáticas.

## MODELO TPACK

En la contingencia actual, es necesario que los profesores de matemáticas tengan conocimiento de recursos tecnológicos que faciliten la enseñanza de esta disciplina, cuando la modalidad de enseñanza es el *e-learning*. En este sentido, el estudio se sustenta en el modelo TPACK (*conocimiento del contenido tecnológico pedagógico*), dado que permite incorporar interpretaciones de las representaciones de los contenidos que se enseñan mediados por la tecnología. Para esto, se utilizan enfoques pedagógicos que facilitan a los profesores reflexionar sobre los conocimientos tecnológicos con los que deben contar, para llevar a cabo un proceso de enseñanza/aprendizaje de las matemáticas eficiente.

Así, este modelo integra contenido, pedagogía y tecnología, y las relaciones e interacciones entre estos a través de diversos contextos: conocimiento pedagógico del conocimiento (PCK), conocimiento tecnológico del contenido (TCK), conocimiento pedagógico tecnológico (TPK), conocimiento tecnológico (TK), conocimiento pedagógico (PK), conocimiento del contenido (CK) (Koehler y Mishra, 2009, Saubern et al., 2020). Sin embargo, para esta investigación, se asumen el TCK, TK y TPK, ya que relacionan elementos de la tecnología con la práctica docente, los cuales son objetivos de análisis y de estudio, puntualmente en los recursos tecnológicos utilizados en las prácticas de profesores de

matemáticas de una IES en tiempos de la covid-19.

Entonces, autores como [Koehler y Mishra, 2009](#), y [Salas, 2020](#) definen el conocimiento tecnológico (TK) del profesor como el que este posee sobre las tecnologías de tipo tradicional o avanzado para desarrollar actividades en la enseñanza de los contenidos; por ejemplo, el conocimiento de *software*, *hardware*, wikis, procesadores de texto, hojas de cálculo, programas de Microsoft Office, navegadores, entre otros. El conocimiento del contenido tecnológico (TCK) está ligado al conocimiento del profesor para establecer relaciones entre herramientas tecnológicas y el contenido del área que enseña; por ejemplo en matemáticas, área de interés de esta investigación, el *software GeoGebra* y sus características potenciales son utilizados según el nivel que se requiera, en IES, para el gráfico de funciones, como caso puntual. El conocimiento tecnológico pedagógico (TPK) es el que el profesor posee para relacionar herramientas y recursos tecnológicos en los procesos de enseñanza con el diseño de estrategias de tipo didáctico o pedagógica que permitan el uso de estos elementos TIC en el contexto educativo de manera eficiente.

## METODOLOGÍA

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, ya que se basa en la percepción y la comprensión humana y la recolección de los datos para afinar y analizar las preguntas de investigación y, así, revelar interrogantes emergentes en el proceso investigativo ([Stake, 2010](#)). Igualmente, se trabajó un diseño de tipo descriptivo, que se justifica en la medida en que permite una visión exploratoria del fenómeno de estudio por la naturaleza de los datos que se recogen, además, de detallar las propiedades más importantes de personas, grupos, comunidades, entes u organizaciones que sean sometidos a un proceso de análisis ([Hernández-Sampieri et al., 2014](#)). En este caso, dicho análisis corresponde a la descripción de las prácticas de los profesores de una IES que enseñan matemáticas en programas de ingeniería industrial y mecatrónica con recursos tecnológicos bajo la modalidad virtual en tiempos de la covid-19. De este modo, se busca caracterizar, categorizar, comparar e identificar los recursos tecnológicos utilizados por profesores de matemática de una IES en la ciudad de Barranquilla. Para la metodología, las fases de la metodología se adaptaron de [Sintema, 2020](#), que se citan a continuación:

1. Se realizaron entrevistas por medio de encuestas electrónicas y llamadas telefónicas por el aislamiento social de todos los ciudadanos, debido a la pandemia.
2. Se transcribieron las entrevistas grabadas, para estudiarlas con detalles y cruzar la información con las categorías.
3. Se hizo uso de técnicas de análisis cualitativas, codificación de la información, esto realizado por los investigadores y apoyado por expertos en *e-learning*, para dispersar sesgos, luego se discutieron las transcripciones con el fin de evitar inconsistencias.

4. Se les pidió a los participantes que leyeran escritos transcritos de sus respuestas, y así, verificarán que estas representaban sus ideas y puntos de vista; esto permitió aumentar la validez y fiabilidad de los datos.
5. Se procedió a identificar los datos más representativos y las excepcionalidades, se categorizó la información (los recursos tecnológicos), se confrontó con el constructo, se compararon los hallazgos y se caracterizó y explicó lo siguiente: ¿Qué recursos utilizan los profesores de matemáticas que enseñan en programas de ingeniería de una IES? ¿Cómo utilizan los profesores de matemáticas los recursos tecnológicos durante la enseñanza del área en la virtualidad? ¿Por qué utilizan esos recursos tecnológicos los profesores de una IES en la virtualidad?

## Participantes

La muestra de estudio de esta investigación corresponde a diez profesores que dictan asignaturas relacionadas con las matemáticas: Cálculo, Álgebra Lineal, Álgebra y Trigonometría, Estadística, Ecuaciones Diferenciales y Métodos Numéricos, de una institución de educación superior (IES) de la ciudad de Barranquilla (Colombia), los cuales son educadores matemáticos que están adscritos a la Facultad de Ingenierías, específicamente a los programas de Ingeniería Industrial e Ingeniería Mecatrónica.

## Instrumentos

Se diseñó una entrevista con 25 preguntas abiertas y cerradas (semiestructurada), subdivididas en 3 categorías objetivo de análisis: formación del profesorado acerca del *e-learning*, conocimiento y percepción del *e-learning*, conocimiento y aplicación de recursos tecnológicos para enseñar matemáticas. El cuestionario fue validado por el Comité de Ética de la Universidad en la cual se desarrolló esta investigación, al tratarse de profesores de matemáticas. Así mismo, por el método Delphi –técnica de deliberación sistemática en la que los investigadores recopilan opiniones de paneles de expertos–, fue posible que los expertos se comunicaran anónimamente entre sí, para que luego explotaran la información subyacente recopilada sobre los problemas o ideas del enfoque (Brown y Casado, 1970, Cruz, 2009, Linstone y Turrof, 2002). Los expertos son investigadores en educación matemática residentes en España y México, con estudios de maestría y doctorado en Educación Matemática, inicialmente estuvieron de acuerdo con las 3 categorías derivadas de las 25 preguntas propuestas por los investigadores. De igual manera, la versión final de la entrevista se validó con otro profesor de matemáticas de una IES, que cuenta con estudios de posgrado en la misma área, y con experiencia en recursos tecnológicos para la enseñanza de las matemáticas, de manera de que se pudiera comprobar una clara comprensión de las preguntas, por lo que fue necesario modificar las de la versión final, dados los resultados hallados en la tabla 1.

**Tabla 1.** Aplicación final del método Delphi

Factores que agrupan a los tres indicadores	I	Criterios					
		MA	BA	A	PA	Media por fila	Valores de escala (h-media por fila)
	1	0,84	1,28	1,50	1,83	1,36	-0,07
	2	0,43	1,11	1,50	1,83	1,21	0,08
	3	0,62	1,28	1,50	1,83	1,30	-0,01
<b>Punto de corte (media por columna)</b>		0,63	1,22	1,50	1,83	h= 1,29	

I: indicadores; MA: muy adecuado; BA: bastante adecuado; A: adecuado; PA: poco adecuado; I: inadecuado.

**Fuente:** elaboración propia.

Ahora bien, posterior a la aplicación del método de validación cualitativo Delphi, los puntos de corte, determinados por la media de las columnas correspondientes a MB, BA, A y PA, se elaboró la figura 1, adaptada de la investigación de Cruz, 2009.

$$(MA)0,63(BA)1,22(A)1,50(PA)1,83(I)$$

Esta figura evidencia que, en la última columna determinada con h-media por fila de la tabla 1, correspondiente a la diferencia de la media de los puntos de corte con el promedio de las filas de cada categoría, los resultados arrojados se ubican en la categoría de muy adecuado (MA), que está determinada por todos los valores menores o iguales 0,63. Por ejemplo, el valor hallado en la categoría 2 es de 0,08, que es un valor menor a 0,63, y por tanto cumple con la condición anterior. Así, se denota la validez y pertinencia en la aplicación de las 3 categorías en las que fueron subdivididas las 25 preguntas aplicada a los 10 participantes de esta investigación.

## RESULTADOS

Estos se centran en 3 categorías de análisis y a partir de los resultados obtenidos en la encuesta a 10 profesores de matemáticas de una institución de educación superior, de los cuales 71,4 % tiene experiencia en este nivel de enseñanza de entre 1 y 3 años; 14,3 %, entre 3 y 5 años, y 14,3 %, entre 5 y 10 años. Aquí, las asignaturas Álgebra Lineal y Cálculo I fueron las que en porcentaje mayor les tocó dictar en tiempos de pandemia (42,9 % de los participantes), y Cálculo II y Métodos Numéricos, las que menos tuvieron que desarrollar bajo esta modalidad con un 14,3 % de los participantes. De

igual manera se tiene que 57,1 % de la muestra de esta investigación tiene estudios de posgrado de especialización; 28,6 %, de maestría, y 14,3 %, de pregrado. Esto es interesante si se tiene en cuenta que más de 75 % de ellos tienen estudios de posgrado. Ahora bien, las categorías objetivo de análisis se describen a continuación.

### **Formación del profesorado acerca del *e-learning***

La formación del profesorado en la virtualidad va más allá de solo entrar a una página; es necesario la utilización de herramientas específicamente en el área a desarrollar un proceso de enseñanza; muchos de estos recursos apoyan la conectividad y fortalecen la cercanía con los estudiantes, y también la intención es que apoyen la explicación de temas que por lo general solían apoyarse en el tablero. Ahora bien, el docente en la era de *e-learning* debe repensar y transformar sus métodos, para lo cual se requiere de una formación por parte de las IES. A los participantes se les preguntó “¿En la universidad o instituto de educación superior donde labora le brindaron capacitaciones y/o programas de formación del profesorado acerca de recursos educativos digitales para la enseñanza de las matemáticas y/o asignaturas afines?”.

Las universidades tienen el papel de brindarles a los docentes las herramientas y mecanismos para su debido uso dentro de los procesos de enseñanza. Un 57,1 % afirma que la IES les dio capacitaciones acerca de recursos educativos digitales, mientras que un 42,9 % manifiesta no haberla recibido, lo que entra en disyuntiva, dado que los niveles de porcentajes de la respuesta no se muestran tan alejados.

Sí, ya que preparan al docente para capacitarse en plataformas que no está acostumbrado. (P1)

Sí, porque le permite al docente ampliar el conocimiento sobre herramientas virtuales y así poder escoger la que más se adapte a las características de una asignatura para poder ser impartida de una manera más cercana a la forma presencial. (P2)

En este apartado se denota la importancia que tiene el conocimiento pedagógico tecnológico del profesor, ya que recibir procesos de formación docente en herramientas que anteriormente no eran de uso común, les permitió a los participantes contar con un repertorio de recursos tecnológicos y plataformas digitales a su alcance, y de este modo llevar a cabo la enseñanza de las matemáticas de forma dinámica, sin que se notara mucho el cambio de la educación presencial a la educación *e-learning*.

Para algunos docentes su uso y manejo no les causa grandes trastornos y posiblemente el no recibir una formación adecuada no les cause obstáculos, otros más bien se llenan de asombro con algunas herramientas y esto atiende a las diversas generaciones que existe entre un equipo de docentes.

Por consiguiente, ante la pregunta “¿Cuándo aprendió a utilizar los recursos tecnológicos para la enseñanza de las matemáticas?” se encontró que, 42,9 % de los profesores manifestaron haber apren-

dido herramientas como GeoGebra, Excel, GeoTic, durante su formación como profesional, dado que cursaron asignaturas relacionadas con las TIC en educación matemáticas, mientras que un 28,6 % de los profesores manifestó que aprendieron a utilizar estos recursos en su quehacer profesional, debido a que es una necesidad conocer de recursos que faciliten la enseñanza de disciplinas complejas ligadas a las matemáticas como lo es el cálculo, álgebra lineal, estadística, entre otras. Por su parte, el 14,3 % de los profesores aseguró que aún no tienen conocimiento a profundidad de este tipo de recursos, y que fue gracias a la necesidad de hacer uso de estos durante la pandemia que utilizaron material empírico para la enseñanza, como es los vídeos de YouTube.

Ahora bien, las competencias del maestro en tiempo actuales cumplen papeles importantes, debido a que deben ser el conjunto de recursos, conocimientos, habilidades y actitudes que necesita para resolver de forma satisfactoria las situaciones a las que se enfrenta en su ejercicio profesional, a ser diferenciador en el proceso de transmisión de conocimiento y a adaptarse a cambios buscando individualmente crecer profesional y humanamente.

### **Conocimiento y percepción del *e-learning***

La imprevista contingencia de la covid-19 ocasionó dudas y miles de preguntas por parte del profesorado de matemáticas; no obstante, también motivación para, a partir de la coyuntura, utilizar la formación en TIC, y con base en esta desarrollar buenas prácticas para la enseñanza. De esta manera, en la pregunta que se formuló a los participantes, “¿Cómo enfrentó la noticia de que sus clases se desarrollarían completamente en la modalidad *e-learning* debido a la contingencia del covid-19?”, distintas opiniones fueron manifestadas. El 57,1 % asegura que esta situación les generó motivación, ya que el conocimiento con el que cuentan acerca de recursos tecnológicos para la enseñanza, puntualmente de las matemáticas, les permitía de manera efectiva enseñar matemáticas en la modalidad virtual (*e-learning*). Es interesante la paridad en las percepciones del resto del profesorado participante en esta investigación, puesto que 14,3 % asumió dentro de su quehacer la necesidad de reconfigurar el rol docente para la enseñanza. Se destaca lo afirmado por uno de los participantes:

Reinventar el rol docente desde herramientas TIC es fundamental en tiempos de pandemia y salir de la zona de confort y empezar a diseñar material didáctico *e-learning* es una experiencia de retos y nuevos conocimientos, pero sobre todo de prueba y error. (P1)

Este reto está alineado con el conocimiento tecnológico del profesor, que manifiestan [Koehler y Mishra, 2009](#) en el modelo TPACK, ya que se requiere de conocimiento, tradicional y actualizado, de estas herramientas antes de ponerlas en práctica en la enseñanza de contenidos particulares, en este caso de las matemáticas o áreas afines en IES. Por otro lado, el 14,3 % de la muestra aseguró sentirse impotente más allá de su conocimiento acerca de recursos tecnológicos para la enseñanza, al no contar con herramientas o medios de comunicación para plasmar estos en la institución donde labora (IES), lo que contrasta con el otro 14,3 % de profesores, quienes manifestaron su preocupación

por la escasa formación en TIC y de recursos tecnológicos de la matemática que permitiera suplir de manera acorde la enseñanza de esta área del conocimiento, y que se evidencia en lo afirmado a continuación:

La inserción del *e-learning* en mis prácticas docentes la recibí con preocupación, dado que, aunque conozco recursos digitales que facilitan la educación, no contaba con la experticia en los mismos, lo que me generaba dudas, especialmente la transición en la educación remota. (P2)

En ese sentido, lo anterior guarda relación con las investigaciones realizadas por [Mulenga y Marbán, 2020a](#), [Mulenga y Marbán, 2020b](#) en tiempos de la pandemia, quienes aseguran que, en países con estructuras económicas poco desarrolladas como es el caso de Zambia, iba a ser más notoria la tensión de los gobiernos en cuanto a la escasa formación del profesorado en TIC y de recursos tecnológicos disponibles. Esta situación se asemeja a la de Colombia, país en vía de desarrollo y que, según un porcentaje de los profesores de matemáticas de una institución de educación superior, aun ejerciendo en la práctica, es poco el conocimiento con el que contaban para desarrollar clases de matemática, bajo una modalidad altamente desconocida dentro de su formación (*e-learning*).

Ahora, resultaron interesantes las respuestas de los participantes a la pregunta “¿Cuál es la definición más cercana de *educación virtual* que usted tiene debido a su formación profesional?”, esto debido a que existieron diversas perspectivas con respecto a *e-learning*, el cual tiene vigencia de muchos años atrás, antes de que la pandemia tomara auge en 2020. Específicamente, los profesores afirman que *e-learning* es un método de enseñanza, cuyo enfoque está ligado al uso de herramientas tecnológicas en el aula de clase. Así mismo, como un mecanismo con el cual los estudiantes aprenden haciendo uso del internet, de manera sincrónica o asincrónica. Por tal motivo, es curioso que los profesores dentro de su discurso no mencionaran que esta modalidad de enseñanza se lleva a cabo a través de ambientes de aprendizajes que no relacionan aulas físicas (presencialidad), sino más bien, dispositivos tecnológicos que se conectan a redes y que les permiten interactuar con los estudiantes ([Parra, 2020](#)). No obstante, al ser la muestra de estudio profesores de matemáticas, y más allá de falta de conocimiento conceptual y práctico de la educación virtual, 71,4 % aseguró que mediante pizarras digitales (recurso tecnológico) es posible desarrollar las competencias del área del conocimiento de las matemáticas; por su parte, 28,6 % de los profesores piensa que bajo esta modalidad no es posible abordar todas las competencias del área, por lo que se intuye que los profesores de matemáticas de esta IES no visualizan que, con la educación virtual (*e-learning*), sea posible promover las mismas características que tiene enseñar matemáticas de manera presencial.

### **Conocimiento y aplicación de recursos tecnológicos para enseñar matemáticas**

El concepto *e-learning* lleva actualmente a los profesores a pensar y repensar sus métodos de enseñanza; han llegado a cambiar un tablero por herramientas tecnológicas, que un porcentaje altos se

negaba a incluir en sus procesos de enseñanza. En este sentido, a los participantes se les preguntó “En la metodología a distancia, la clase magistral prácticamente desaparece y se da paso al conocido profesor-tutor. ¿Cuál de las siguientes páginas utilizó como medio de comunicación e interacción en la planificación de las clases con sus estudiantes?”. Según las respuestas, cobran fuerza las plataformas propias de las IES en un 100 %, lo que se equipara a la respuesta de los correos electrónicos con 85,7 %. Esto demuestra que en las IES se encontraban dotadas de herramientas web y que su uso no era tan masivo; ahora bien, debido a la emergencia, los docentes se vieron en la obligación de no solamente hacer uso de estas herramientas para la enseñanza de los contenidos del área, sino también de conocer y actualizarse de cada una de estas, para hacer una adecuación pertinente y adecuada.

Asimismo, pizarras digitales como *iDroop* y *OpenBoard* alcanzaron un 14,3 %, lo que lleva a los docentes con formación matemática a repensar sus métodos de enseñanza en tiempo de covid-19, ya que por sus bondades educativas, estas son pizarras que deben ser usadas con mayor frecuencia, sobre todo en temas muy específicos de las matemáticas que requieren mayor interacción entre el estudiante y el docente y que desde la mirada de ? garantiza que existan aprendizajes significativos en los estudiantes.

Ahora bien, cuando se les cuestionó, si los recursos tecnológicos utilizados lo usaban por convicción, sorprendentemente 90 % de ellos señaló que era más por obligación, es decir, que si las circunstancias lo permitieran no era una opción para ellos trabajarlos. Al respecto, se resaltan dos respuestas que, además, fueron muy comunes: “En torno de los estudiantes y exigencias de la institución” (P1); “Ya que la universidad en donde laboro nos pidió adecuarnos más a este tipo de plataforma las utilicé” (P2).

Lo anterior se contradice con lo señalado [Mulenga y Marbán, 2020a](#), quienes evidencian cómo los diferentes recursos tecnológicos educativos potencian las competencias del profesor de matemáticas; además, invitan a la reflexión y la curiosidad, llevándolos a cuestionar su práctica día a día, para decidir si sus metodologías son las adecuadas o necesitan ajustes. Cerrarle las puertas a la tecnología o mostrarse renuentes lleva al profesor a prácticas repetitivas y sin ninguna innovación.

Por otra parte, cuando se les consultó por las ventajas de enseñanza mediante las TIC, ningún profesor quiso señalar alguna; por el contrario, se centraron en las desventajas, por el servicio de internet, o por el servicio eléctrico. Curiosamente, no vieron bondades en el uso de las TIC para enseñar matemáticas, e incluso, la pregunta sirvió para que algunos mencionaran ventajas banales y desahogarán lo que han vivido con el proceso: “Ventajas: evito gastar gasolina y puedo comer a horas precisas. Duerme uno menos porque el día no rinde...Desventajas: incremento del trabajo y mucho estrés laboral. Se incrementaron gastos de servicios y alimenticios. Ansiedad por comer” (P6).

En este sentido, se puede interpretar que los profesores carecen de algunos conocimientos expuestos por [Saubern et al., 2020](#) por el modelo TPACK, como el TCK, TPK y el TK, con lo que se deduce que sus carencias, en cuanto al manejo de recursos y el uso de la tecnología, los llevó a posturas negativas sobre esta oportunidad; ante la aceptación de dificultades con estos elementos tecnológicos, vivieron el proceso, en muchos casos, con mucho sufrimiento y desesperación.



Por último, cuándo se les consultó por los *software* que utilizaban para sus clases de matemática, ninguno mencionó un programa especializado para la enseñanza de las matemáticas; la mayoría se limitó a mencionar los ofrecidos por Microsoft Office, incluso un participante confundió los *software* o elementos electrónico y respondió: "Computador, *tablet*, celular internet", lo que evidenció problemas desde su misma formación, en concordancia con lo encontrado por [Padilla-Escorcía y Conde-Carmona, 2020](#). Por otra parte, 70 % de ellos manifestó que sus conocimientos en tecnología recién los fueron adquiriendo en su etapa de profesionales en ejercicio; es decir, no en su pregrado, curiosamente algunos expresaron que muchas de las cosas que saben ahora las aprendieron durante la pandemia, lo que muestra profundos problemas con su conocimiento tecnológico (TK), y agudiza y repercute en que muy pocos recursos sean incluidos en sus prácticas pedagógicas ([Koehler y Mishra, 2009](#)).

## DISCUSIÓN

La contingencia por la covid-19 en una institución de educación superior en Barranquilla (Colombia) ocasionó que los profesores de matemáticas utilizaran recursos tecnológicos especializados del área que enseñan, siendo *GeoGebra* el *software* más común para la enseñanza de asignaturas como Cálculo y Álgebra Lineal. No obstante, solamente 14,3 % del profesorado de las IES analizadas en esta investigación lo utilizó, lo cual es preocupante, debido a la complejidad que tienen asignaturas relacionadas con las matemáticas, en programas de ingeniería y que requieren de un mejor dinamización y visualización para poder ser comprendidas por los estudiantes ([Granados-Ortiz y Padilla-Escorcía, 2021](#), [Padilla-Escorcía y Acevedo-Rincón, 2021](#)). Sumado a esto, se hallaron dificultades de conexión y carencia de aparatos electrónicos en la modalidad de enseñanza e-learning, lo que a su vez influyó en que el transcurrir de las clases fuera más lento, si se compara con la educación presencial ([Conde-Carmona y Padilla-Escorcía, 2021](#)). En esta línea, [Olivares y Valero, 2018](#) aseguran que este tipo de herramienta es clave en la enseñanza de las matemáticas en estudiantes universitarios, ya que permite crear diferentes representaciones de objetos matemáticos y fomentar el desarrollo de la abstracción, por la misma dinamización que ofrece en el desarrollo de los contenidos matemáticos.

Ahora bien, esto contrasta con las investigaciones realizadas por [Vásquez et al., 2020](#), [Champlin, 2020](#), [Huang et al., 2020](#), [Mulenga y Marbán, 2020a](#), [Mulenga y Marbán, 2020b](#) alrededor del mundo, puntualmente en países como Chile, Malasia, Zambia, Estados Unidos y China, en donde la pandemia no fue limitante para que el profesorado de matemáticas utilizara herramientas tecnológicas especializadas como *Advance Data Grapher*, *Math Worksheets*, *Mapping*, *GeoGebra*, *Adjustable Spinner*. Según [Molina-Toro et al., 2019](#), este tipo de herramientas son potenciales para la enseñanza de las matemáticas, puesto que desarrollan procesos sobre análisis de gráficos, además de que permiten construir simulaciones de situaciones de contexto que estén relacionados con modelos matemáticos.

En este sentido, se encontró que los profesores hicieron uso de herramientas como la videoconferencia, plataformas informativas y *software* para grabar videos, con el fin de desarrollar encuentros

remotos y/o sincrónicos que permitieran llevar a cabo las clases de forma similar a como son los ambientes de aula presenciales. Entre las herramientas más usadas por los profesores estuvieron *Google Classroom*, correo electrónico, *Moodle*, *Google Meet*, *Teams*, *Zoom*, *Camtasia*, *YouTube*. En ese sentido, 85,7% del profesorado aseguró haber utilizado el correo electrónico como medio de comunicación asincrónico; por su parte, el 42,9% utilizó *Teams*, 28,6% *Google Meet* y *Zoom*, como plataformas interactivas para mantener contacto directo con los estudiantes desde casa.

Ante esto, y entendiendo la necesidad de que un profesor tenga conocimientos tecnológicos (KT), conocimientos del contenido tecnológico (TCK) y conocimiento pedagógico tecnológico (TPK) (Koehler y Mishra, 2009, Salas, 2020) de acuerdo con el modelo TPACK y que esta contingencia evidenció, se sugiere que dentro de la formación de los profesores de matemáticas en tecnología, estos tengan conocimiento de *software* y programas exclusivos de la enseñanza de las matemáticas, de herramientas TIC genéricas y de estrategias que integren de manera eficiente los recursos educativos tecnológicos con los contenidos matemáticos a enseñar (Padilla-Escorcia y Conde-Carmona, 2020). Así, es posible contribuir a las prácticas del profesorado en cualquier ámbito, incluido el actual, que corresponde a la enseñanza de las matemáticas en la modalidad *e-learning*.

## CONCLUSIONES

A pesar que los profesores de matemática de la institución universitaria usan en sus clases recursos educativos, de fondo no trabajan ningún modelo metodológico que permita articular las TIC con los procesos de enseñanza/aprendizaje de sus asignaturas. Esto significa que no perciben las bondades e incluso limitaciones que las tecnologías les pueden representar en sus prácticas pedagógicas, puesto que las emplean de forma improvisada. Así, este comportamiento puede resultar contraproducente en las dinámicas de proceso y ocasionar que no se logren los aprendizajes deseados en los estudiantes. Además, la pandemia por covid-19 desnudó ciertos elementos en el sistema educativo, que antes no eran visibles, por ejemplo, las dificultades que presentan los profesores en el uso de la tecnología en sus clases, los problemas en su formación inicial y continua en esta área, la falta de integración natural de las TIC con sus clases de matemática.

En ese orden de ideas, se evidenciaron dificultades en los participantes, en cuanto a su conocimiento tecnológico del contenido (TCK), conocimiento tecnológico pedagógico (TPK) y conocimiento tecnológico del modelo (TK) del TPACK, debido a la escasa integración que hacen de recursos tecnológicos reconocidos para la enseñanza de las matemáticas como *GeoGebra*, en la enseñanza de los contenidos del área. Así mismo, se registraron ciertos pensamientos de resistencia hacia el uso de estas herramientas. Del mismo modo, y como oportunidad a futuro de investigación con los participantes, sería interesante explorar acerca de su conocimiento del contenido, conocimiento pedagógico y conocimiento pedagógico del contenido, categorías del TPACK no estudiadas a profundidad en esta investigación, además de las relaciones que se dan entre cada una de estas con las categorías que relacionan aspectos TIC dentro del quehacer del profesor.

Por último, se resalta el poco uso de *software* especializados en enseñanza de la matemática, por parte de los participantes; es más, el poco conocimiento que tiene por ellos, la pandemia los obligó a indagar un poco sobre estos, pero exhibiendo que aún están lejos del ideal, en cuanto a la administración de las TIC pero también en la articulación armónica con los procesos de enseñanza/aprendizaje. Con los resultados de este estudio hubo retroalimentación a los participantes, para generar espacios de reflexión y autoevaluación que les permitieran en un futuro mejorar sus prácticas.

## FINANCIAMIENTO

Esta investigación fue desarrollada gracias al apoyo brindado por la Universidad del Atlántico, ubicada en Barranquilla (Colombia).

## REFERENCIAS

- [Abar y Lavizca, 2019] Abar, C. y Lavizca, Z. (2019). Underlying theories for use of digital technologies in mathematics education. *Acta Scientiae*, 21(1), 39-54. <https://doi.org/10.17648/acta.scientiae.v21iss1id4913> ↑Ver página 149
- [Aguilar, 2020] Aguilar, S. (2020). A research-based approach for evaluating resources for transitioning to teaching online. *Information and Learning Sciences*, 121(5), 301-310. <https://doi.org/10.1108/ILS-04-2020-0072> ↑Ver página 149
- [Aguirre, 2018] Aguirre, A. (2018). Uso de recursos TIC en la enseñanza de las matemáticas: retos y perspectivas. *Entramado*, 14(2), 198-214. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.4751> ↑Ver página 150
- [Alvarado et al., 2020] Alvarado, L., Aragón, R. y Bretones, F (2020). Teachers' attitudes towards the introduction of ICT in ecuadorian public schools. *TechTrends*, 64, 498-505. <https://doi.org/10.1007/s11528-020-00483-7> ↑Ver página 149
- [Armesto y Angarita, 2017] Armesto, A. y Angarita, W. (2017). Identificación de un método cuantitativo para la evaluación de la calidad ambiental de centros educativos cercanos a antenas de estaciones base de telefonía. *Tecnura*, 21(51), 132-139. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.1.a010> ↑Ver página 149
- [Bheki y Thabile, 2019] Bheki, S. y Thabile, A. (2019). Decolonising technological pedagogical content knowledge of first year mathematics students. *Education and Information Technologies*, 25, 2665-2679. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-10084-4> ↑Ver página 149, 150

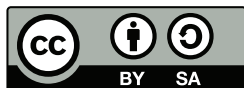
- [Brown y Casado, 1970] Brown, B. y Casado, M. (1970). Metodología usada para obtener la opinión de los expertos. *Revista Española de la Opinión Pública*, 21/22, 217-226. <https://doi.org/10.2307/40181465> ↑Ver página 154
- [Castaño-Tamara, 2016] Castaño-Tamara, R. (2016). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias, las ciencias sociales y CTS. *Tecnura*, 20(edición especial), 177-204. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.2.a14> ↑Ver página 149
- [Clifford y Montgomery, 2017] Clifford, V. y Montgomery, C. (2017). Designing an internationalised curriculum for higher education: Embracing the local and the global citizen. *Higher Education Research & Development*, <https://doi.org/10.1080/07294360.2017.1296413> ↑Ver página 150
- [Conde-Carmona y Padilla-Escorcía, 2021] Conde-Carmona, R. y Padilla-Escorcía, I. (2021). Aprender matemáticas en tiempos del covid-19: un estudio de caso con estudiantes universitarias. *Educación y Humanismo*, 23(40), 1-17. <https://doi.org/10.17081/eduhum.23.40.4380> ↑Ver página 160
- [Conde-Carmona et al., 2021] Conde-Carmona, R., Fontalvo-Meléndez, A. y Padilla-Escorcía, I. (2021). El uso de la tecnología en la enseñanza del límite, para el fortalecimiento de competencias matemáticas en estudiantes de secundaria en tiempos de pandemia. *Educación y Ciudad*, 41, 147-170. <https://doi.org/10.36737/01230425> ↑Ver página 149
- [Cruz, 2009] Cruz, M. (2009). *El método Delphi en las investigaciones educacionales*. Editorial Academia. ↑Ver página 154, 155
- [Champlin, 2020] Champlin, M. (2020). *Geometry A does not stop for COVID-19: Resources for remote instruction*. Documento presentado como cumplimiento parcial de los requisitos del Adolescence Inclusive Generalist Mathematics Education Program. [https://digitalcommons.brockport.edu/ehd\\_planoutlines/7](https://digitalcommons.brockport.edu/ehd_planoutlines/7) ↑Ver página 151, 160
- [Fajardo et al., 2020] Fajardo, A., Freire, E., Medina, L. y Ochoviet, C. (2020). Uso de recursos tecnológicos para enseñar matemática en la formación de profesores. *Reloj de Agua*, 21, 17-26. ↑Ver página 149
- [Granados-Ortiz y Padilla-Escorcía, 2021] Granados-Ortiz, C. y Padilla-Escorcía, I. (2021). El aprendizaje gráfico de la recta tangente a través de la modelación de las secciones cónicas utilizando GeoGebra. *Revista Científica*, 40(1), 118-132. <https://doi.org/10.14483/23448350.16137> ↑Ver página 160
- [Hernández-Sampieri et al., 2014] Hernández-Sampieri, R., Fernández Colado, C. y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Interamericana. ↑Ver página 153

- [Hidalgo *et al.*, 2021] Hidalgo, C., Llanos, J. y Bucheli, V. (2021). Una revisión sistemática sobre aula invertida y aprendizaje colaborativo apoyados en inteligencia artificial para el aprendizaje de programación. *Tecnura*, 25(69), 196-214. <https://doi.org/10.14483/22487638.16934> ↑Ver página 149
- [Huang *et al.*, 2020] Huang, R., Liu, D., Tlili, A., Yang, J., Wang, H. *et al.* (2020). *Handbook on facilitating flexible learning during educational disruption: The Chinese experience in maintaining undisrupted learning in COVID-19 outbreak*. Smart Learning Institute of Beijing Normal University. ↑Ver página 152, 160
- [Khoza, 2020] Khoza, S. (2020). Lecturers' reflections on curricular spider web concepts transformation strategies. En E. N. Ivala y C. L. Scott (eds.), *Transformation of higher education institutions in post-apartheid South Africa* (pp. 15-26). Routledge-Taylor & Francis Group. ↑Ver página 149
- [Koehler y Mishra, 2009] Koehler, M. y Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60-70. ↑Ver página 152, 153, 157, 160, 161
- [Linstone y Turrof, 2002] Linstone, H. y Turrof, M. (2002). *The Delphi method: Techniques and applications*. University of Southern California. ↑Ver página 154
- [Malizar *et al.*, 2020] Malizar, A., Abdulsman, Maulina, S. y Bruce, S. (2020). Secondary school mathematics teachers' views on e-learning implementation barriers during the COVID-19 pandemic: The case of Indonesia. *Eurasia, Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(7), 1-9. <https://doi.org/10.29333/ejmste/8240> ↑Ver página 149, 151
- [Molina-Toro *et al.*, 2019] Molina-Toro, J., Rendón-Mesa, P. y Villa-Ochoa, J. (2019). Research trends in digital technologies and modelling in mathematics education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 15(8), 1-13. <https://doi.org/10.29333/ejmste/108438> ↑Ver página 150, 160
- [Mpungose, 2019] Mpungose, C. (2019). Is Moodle or WhatsApp the preferred e-learning platform at a South African university? First-year students' experiences. *Education and Information Technologies*, 25, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-10005-5> ↑Ver página 150
- [Mulenga y Marbán, 2020a] Mulenga, E. y Marbán, J. (2020a). Is COVID-19 the gateway for digital learning in mathematics education? *Contemporary Educational Technology*, 12(2), 1-11. <https://doi.org/10.30935/cedtech/7949> ↑Ver página 152, 158, 159, 160
- [Mulenga y Marbán, 2020b] Mulenga, E. y Marbán, J. (2020b). Prospective teachers' online learning mathematics activities in the age of COVID-19: A cluster analysis approach. *Eurasia, Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(9), 1-9. <https://doi.org/10.29333/ejmste/8345> ↑Ver página 152, 158, 160

- [Olivares y Valero, 2018] Olivares, J. y Valero, E. (2018). Animations and interactive creations in linear differential equations of first order: The case of GeoGebra. *Journal of Physics: Conference Series*, 1141, 1-5. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1141/1/012126> ↑Ver página 151, 160
- [Padilla-Escorcía y Conde-Carmona, 2020] Padilla-Escorcía, I. y Conde-Carmona, R. (2020). Uso y formación en TIC en profesores de matemáticas. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, 60, 116-136. <https://www.doi.org/10.35575/rvucn.n60a7> ↑Ver página 150, 160, 161
- [Padilla-Escorcía y Acevedo-Rincón, 2021] Padilla-Escorcía, I. y Acevedo-Rincón, J. (2021). Conocimiento especializado del profesor que enseña la reflexión de la función trigonométrica seno: mediaciones con TIC. *Eco Matemático*, 12(1), 93-106. <https://doi.org/10.22463/17948231.3072> ↑Ver página 160
- [Parra, 2020] Parra, J. (2020). Prácticas de docencia tradicional en ambientes de educación virtual. *Academia y Virtualidad*, 13(1), 93-106. <https://doi.org/10.18359/ravi.4295> ↑Ver página 158
- [Pather, 2016] Pather, R. (2016). *Library spaces in higher education: Exploring academics' understanding* [Tesis doctoral]. University of KwaZulu-Natal. [ukzn-dspace.ukzn.ac.za/bitstream/handle/10413/17699/Pather\\_Roshini\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ukzn-dspace.ukzn.ac.za/bitstream/handle/10413/17699/Pather_Roshini_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y) ↑Ver página 150
- [Salas, 2020] Salas, R. (2020). TPACK: technological, pedagogical and content model necessary to improve the educational process on mathematics through a web application? *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 15(1), 1-13. <https://doi.org/10.29333/iejme/5887> ↑Ver página 153, 161
- [Saubern *et al.*, 2020] Saubern, R., Urbach, D., Koehler, M. y Phillips, M. (2020). Describing increasing proficiency in teachers' knowledge of the effective use of digital technology. *Computers & Education*, 147, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103784> ↑Ver página 152, 159
- [Sintema, 2020] Sintema, E. (2020). Effect of COVID-19 on the performance of grade 12 students: Implications for STEM education. *Eurasia, Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(7), 1-6. <https://doi.org/10.29333/ejmste/7893> ↑Ver página 153
- [Stake, 2010] Stake, R. (2010). *Qualitative research. Studying how things work*. The Gilford Press. ↑Ver página 153
- [Urbano *et al.*, 2020] Urbano, F., Chanchí, G. y Campo, W. (2020). Desarrollo de recursos educativos para Matemáticas en educación básica primaria, un enfoque colaborativo. *Revista Espacios*, 41(20), 355-369 ↑Ver página 149

[Valbuena *et al.*, 2021] Valbuena, S., Rodríguez, D. y Tavera, A. (2021). Perfiles de competencias TIC en la práctica educativa ante el reto de la enseñanza remota. *Sophia*, 17(1), 1-13. <http://dx.doi.org/10.18634/sophiaj.17v.1i.1052> ↑Ver página 149

[Vásquez *et al.*, 2020] Vásquez, C., Ruz, F. y Martínez, M. (2020). Recursos virtuales para la enseñanza de la estadística y la probabilidad: un aporte para la priorización curricular chilena frente a la pandemia de la covid-19. *Tangram: Revista de Educação Matemática*, 3(2), 159-183. [10.30612/tangram.v3i2.12299](https://doi.org/10.30612/tangram.v3i2.12299) ↑Ver página 151, 160



## Urban Drainage Water Quality Modeling on the SWMM Software, Northeastern Sector, Santa Inés District, Tunja

### Modelación de calidad de agua del drenaje urbano en el software SWMM, sector nororiental, Santa Inés, Tunja

Melquisedec Cortés-Zambrano <sup>1</sup>, Mónica Yineth Lara-Pérez <sup>2</sup>, Iván Darío Acosta-Sabogal <sup>3</sup>

Fecha de Recepción: 09 de febrero de 2021

Fecha de Aceptación: 07 de febrero de 2022

**Cómo citar:** Cortés-Zambrano., M. Lara-Pérez., M.Y. y Acosta-Sabogal., I.D. (2022) Urban Drainage Water Quality Modeling on the SWMM Software, Northeastern Sector, Santa Inés District, Tunja. *Tecnura*, 26(72), 167-184. <https://doi.org/10.14483/22487638.17575>

### Abstract

**Objective:** This research aimed to design a drainage quality hydrodynamic model of the northeastern sector of Tunja (Santa Inés neighborhood), Boyacá, Colombia, which was validated and calibrated by means of the mean square error method, where a comparison between the values observed in the field and the simulation results in the model was determined in order to observe and analyze the effect of precipitation on pollutants before entering the treatment plant.

**Methodology:** For this study, rainfall and water flow equipment were installed in the district. A validated and calibrated urban drainage model was created on the SWMM 5.1 software, which allowed a temporal hydrodynamic modeling of the system. In addition, samples were taken to determine the quality of the water arriving at the treatment plant and evaluate the transportation of pollutants, as well as the possibility of hydrogen sulfide generation in the study area.

**Results:** The results obtained with the model show that all pollutants generate drag in their concentrations. An excess of these values is observed within the total flow, which demonstrates the relevance of accumulation, washing, and transport processes, in light of the pollutant remnants causing the flow to decrease before the pollutant load.

**Conclusions:** Our sampling indicates that it is necessary to analyze the coliforms present in wastewater discharges, as well as the sulfate, nitrite, and nitrate values in the case of a specific discharge. The entity in charge of discharge control must be then informed.

**Financing:** Universidad Santo Tomas - Tunja

**Keywords:** sewerage, water quality, modeling, SWMM

<sup>1</sup>PhD in Materials Engineering and Science, Master's degree in Civil Engineering with an emphasis on Water Resources and Hydroinformatics, Civil engineer. Professor at the Department of Civil Engineering, Universidad Santo Tomás. Tunja, Colombia.

Email: [melquisedec.cortes@usantoto.edu.co](mailto:melquisedec.cortes@usantoto.edu.co)

<sup>2</sup>Master's degree in Civil Engineering with an emphasis on Hydro-Environment Engineering, civil engineer. Professor at the Department of Civil Engineering, Universidad Santo Tomás. Villavicencio, Colombia.

Email: [monicalara@usantotomas.edu.co](mailto:monicalara@usantotomas.edu.co)

<sup>3</sup>Specialist in Water Resources, Civil engineer. Professor at the Department of Civil Engineering, Universidad Santo Tomás. Villavicencio, Colombia.

Email: [ivan.acosta@usantotomas.edu.co](mailto:ivan.acosta@usantotomas.edu.co)



## Resumen

**Objetivo:** Esta investigación pretendió diseñar un modelo hidrodinámico de calidad de drenaje urbano del sector nororiental de Tunja (barrio Santa Inés), Boyacá, Colombia, calibrado y validado por el método del error cuadrático medio, donde se determinó una comparación entre los valores observados en campo y los resultados de la simulación en el modelo en aras de observar y analizar el efecto de la precipitación sobre los contaminantes antes de ingresar a la planta de tratamiento.

**Metodología:** Para el presente estudio se instalaron equipos de precipitación y flujo de agua en el distrito. Se creó un modelo de drenaje urbano validado y calibrado en el programa SWMM 5.1, que permitió obtener la modelización hidrodinámica temporal del sistema. Adicionalmente se tomaron muestras de agua en la red para conocer la calidad de agua que llega a la planta de tratamiento y evaluar el transporte de los contaminantes y la posible generación de sulfuro de hidrógeno en la red de estudio.

**Resultados:** Los resultados obtenidos con el modelo muestran que todos los contaminantes generan arrastre de sus concentraciones. Se observa un exceso de estos valores frente al caudal máximo, lo cual demuestra la relevancia de los procesos de acumulación, lavado y transporte, en vista de que el remanente de contaminantes es lo que ocasiona que el caudal disminuya primero que la carga contaminante. Adicional a esto se presenta un análisis en los tramos de concreto en la red para así determinar la posible generación de sulfuro de hidrógeno, como se presenta en la Tabla 7 de este documento.

**Conclusiones:** Nuestro muestreo indica que es necesario analizar los coliformes presentes en los vertimientos de aguas residuales, así como los valores de sulfatos, nitritos y nitratos en el caso un vertimiento puntual. Posteriormente se debe informar a la entidad encargada de control de vertimientos.

**Financiamiento:** Universidad Santo Tomas, Tunja, Boyacá, Colombia.

**Palabras clave:** alcantarillado, calidad del agua, modelado, SWMM

---

## Table of Contents

	Page
<b>Introduction</b>	<b>169</b>
<b>Methodology</b>	<b>170</b>
1. Area characterization and sampling . . . . .	170
Topological base drainage network of the Santa Inés district (Amaya-Tequia, 2019) . .	170
EPA modeling - SWMM (Gironás <i>et al.</i> , 2009) . . . . .	171
Hydrogen sulfide (U.S. Environmental Protection Agency, 1974) . . . . .	171
Hydraulic characterization . . . . .	171
Wastewater characterization . . . . .	172
Predictive equations . . . . .	172
Sulfur generation indicators . . . . .	172
Z formula . . . . .	173
<b>Results</b>	<b>173</b>
1. Characterization . . . . .	173

2. SWMM model . . . . .	175
2. Hydrogen sulfide prediction . . . . .	178
Oxygen influence on sulphur generation (Roca-Hernández, 2012) . . . . .	181
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>182</b>
<b>Funding</b>	<b>182</b>
<b>References</b>	<b>182</b>

## INTRODUCTION

Nowadays, the city of Tunja is experiencing a phenomenon of occupation or alteration of the natural channels of rainwater or runoff that lead these flows to the receiving bodies, thus causing an impact on the drainage since the hydrology of the natural basins is not respected, which affects their drainage capacity. In addition, there is considerable and accelerated urban development in the city's northeastern sector, which has caused concern due to this and the continuous substitution of drainage surfaces that allow infiltration by hard and impermeable areas, causing overflows and floods that affect the citizens (Amaya-Tequia, 2019).

In a city whose aqueduct and sewerage networks are growing, it is necessary to know the operating behavior of the system. Knowing the hydraulic operation of the networks in real time is a vital tool to identify areas of conflict, vulnerabilities, and risks. Thus, it is also possible to propose prevention measures, dictate alternative solutions, optimize the functioning of the urban drainage system, prevent damage and problems in the structures, prioritize resources, meet contractual targets, and improve the citizens' quality of life (Gerencia de Planeación y Construcciones, 2017).

The over-dimensioning of the elements of a unitary urban sewerage system, even though it allows the transport of flows collected from rainfall runoff, provides a significant potential for sedimentation of wastewater solids during dry periods. This is because runoff speeds are, in many cases, inadequate to keep them in suspension. As a result, during periods without rainfall, the ducts act as reservoirs for said sediments, thus affecting water quality (Seco & Gómez-Valentín, 2011). Earlier, there was a tendency to not consider water quality aspects in the design and operation of drainage systems. This trend remains in the development of most projects (Rodríguez, 2005).

The management of pollution associated with urban runoff is a difficult problem to solve, especially considering the stochastic nature of rainfall and the hydrological regimes of some rivers (Obermann *et al.*, 2009). The natural channels of some regions have flows whose seasonal differences are significant, which makes them more sensitive to discharges from unit systems at times when the water flow provided by the spillways may be of the same order or greater than the flow rate. The assessment of urban rainwater quality is of great importance for the current approach to integrated urban drainage management. The characteristics of wastewater can be determined in different ways depending on the specific purpose. A sampling software for water characterization and quality con-

control involves careful analysis of the samples type, the number of samples, and the parameters to be studied (Romero-Rojas, 2004).

It is important to know where and how the flows are incorporated into the network in order to be able to analyze their hydraulic behavior. For this reason, together with the Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P. company, a measurement and modeling of the contaminants present in the water was carried out regarding BOD (biological oxygen demand), COD (chemical oxygen demand), lead, TSS (total suspended solids), and nitrogen, with the purpose of improving rainfall drainage to avoid economic, environmental, and public health consequences as a result of climate change and its impact on the design flow of urban drainage systems (Veolia Tunja, 2017).

In addition to the above, an analysis of the possible generation of sulfides is also carried out, since one of the main causes for the deterioration of drainage systems is microbiological corrosion. An example of this is *Thiobacillus Thiooxidans*, which is also known as *Acidithiobacillus thiooxidans*, a sulfur-oxidizing organism that has been reported in sewerage systems in several countries including Mexico, the United States, Japan, Belgium, and China. The restoration costs of the concrete elements affected by microbiological corrosion represent a great investment in some countries and cities such as Germany, where it accounts for 40 % of the US\$100 billion invested in wastewater infrastructure; Belgium, where it accounts for 10 % of the total expenditure; and Los Angeles, USA, where approximately US\$400 million are invested. It is also estimated that the United States spends around US\$25 billion annually on the maintenance of sewerage systems (Cortés & Vera, 2019). The corrosion of concrete structures is very common in the world; it is a silent phenomenon that must be addressed because of the large amount of money that is lost in performing maintenance works (Cortés & Vera, 2019).

## METHODOLOGY

### 1. Area characterization and sampling

#### *Topological base drainage network of the Santa Inés district (Amaya-Tequia, 2019)*

Once the activities involving inspection, network cadastre, verification of the connectivity of the system, and identification of initial wells were performed, the delimitation of the Santa Inés district, as indicated in Figure 1, was carried out.

The points where the wastewater sampling was conducted are also indicated in Figure 1. These points were chosen given their location, as they are at the beginning, the middle (where a significant part of the system's water is collected), and at the end of the network.



**Figure 1.** Urban basin of the Santa Inés drainage network

**Source:** Authors.

### **EPA modeling - SWMM (Gironás *et al.*, 2009)**

SWMM's rainwater management model is a dynamic rain runoff simulation model that calculates quantity and quality mainly in urban areas. It operates in a collection of sub-catchment areas that receive precipitation and generate runoff and polluting loads. Routing transports the runoff through a pipe system, tracking its quality within each sub-uptake and the quality of the water in each pipe during a simulation period composed of multiple time steps.

This software shows how to simulate the accumulation and washing of pollutants in an urban basin. The influence of different land uses on pollutant accumulation is considered, and the average concentrations of events such as exponential functions are used to represent the washing process. The quality of surface runoff is an extremely important but very complex problem in the study of wet climate flows and their environmental impact. SWMM provides a flexible set of mathematical functions that can be calibrated to estimate the accumulation of pollutants on the Earth's surface during dry weather periods, as well as their release from runoff during storm events.

### **Hydrogen sulfide (U.S. Environmental Protection Agency, 1974)**

#### ***Hydraulic characterization***

Hydraulic characterization of sewage is necessary to determine the correlation between existing and predicted sulfur concentrations. It requires measuring the speed, flow depth, and slope of the

sewer, by means of hydraulic relations. The flow rate and depth are obtained at the time of sampling of sulfides.

Speed can be measured through several methods (*e.g.*, flotation speed). The slope of the culvert can be measured on the ground or taken in the form of constructed plans. The actual hydraulic roughness coefficient ( $n$ ) can be calculated using the Manning Equation (1):

$$n = \frac{1,486 R^{2/3} S^{1/2}}{V} \quad (1)$$

where:

$V$ : average speed ft/s

$S$ : slope

$A$ : hydraulic radio (ft)

$N$ : roughness coefficient

### ***Wastewater characterization***

Parameters such as biochemical oxygen demand, pH, temperature, dissolved oxygen, and sulfate need to be controlled; their concentrations can be measured by individual or composite laboratory tests.

The daily mean sulfide concentration and pH values can be calculated by applying a correction factor (which is derived from the diurnal sulfide variation graph) to the sulfide concentrations measured in one day. Since speed is one of the determining factors in the generation of sulfides, it is feasible that all three conditions of possible sulfide generation exist in a pipe at some point within a period of 24 h. Therefore, for definition purposes, the three categories that define the sulfide generation characteristics of a pipeline are based on the average speed for the maximum flow period of 6 h.

### ***Predictive equations***

The quantitative Pomeroy and Parkhurst method for the prediction of sulfides has proven its effectiveness in studies conducted in California, Louisiana, and Texas. It was developed and is applicable only for partially filled trunk sewage culverts when conditions are favorable for sulfide accumulation. Since misleading results may be obtained under other conditions, indicators are evaluated to determine whether there is a possibility of sulfide generation before using this method.

### ***Sulfur generation indicators***

The recommended method of analysis is to evaluate the formula Z and A/B curves. If any of the indicators shows that conditions are favorable for the generation of sulfides, the Pomeroy and

Parkhurst method is used to determine if there is a real problem. If both indicators show no potential for sulfide generation, no further analysis is required.

### **Z formula**

The first equation to express the necessary conditions for sulfide generation in gravity nets was developed in 1946. This formula did not deal with sulfide levels, but merely with whether a build-up of sulfide could occur. In 1950, Davy presented a more complete formula that related the Reynolds number, the BOD5 effectiveness, the flow cross-sectional area, and the surface width. This work was later modified by Pomeroy to develop what is known as the Z formula:

$$Z = \frac{eBOD}{S^{0,50}Q^{0,33}} \times \frac{P}{b} \quad (2)$$

Where:

*Z*: defined function

*S*: slope

*eBOD* : effective BOD5, (mg/L)

*P*: wet perimeter (ft)

*Q*: flow rate (ft<sup>3</sup>/s)

*b*: width (ft)

**Table 1.** Interpretation of Z values

<b>Z value</b>	<b>Sulfur condition</b>
$Z < 5.000$	Sulphur is rarely produced
$5.000 \leq Z \leq 10.000$	Secondary condition for sulfide accumulation
$Z > 10.000$	Sulfur accumulation is common

**Source:** (U.S. Environmental Protection Agency, 1974)

## **RESULTS**

### **1. Characterization**

The sewerage system of the neighborhood is of combined nature since the pipe system collects and transports both waste and rainwater. The pipes are built from concrete (96 %) and PVC (4 %). The outflow well provides the right conditions for the installation of a flow meter, with a depth to level of

1,58 m. The main collector is built from concrete pipe with a diameter of 30 inches. A simultaneous monitoring of rainfall and flow during 4 months was carried out, and the representativeness of these events was executed by cross-referencing the data recorded in the measuring equipment, verifying the magnitude and time of occurrence between hydrograms and hietograms (Amaya-Tequia, 2019). Within the monitoring period (year 2018), six representative rainfall events were captured, the model of this research was implemented on July 16 th because sampling was conducted on that day, with the results shown in Table 2 and obtaining a maximum flow of 161,13 l/s.

**Table 2.** Rainfall events, precipitated volume, and associated return period

Event	Total rain (mm)	Rainfall volume (m <sup>3</sup> )	Duration (min)	Intensity (mm/h)	Return period
July 16th	3,75	598,50	35	6,43	< 2 years

Source: Authors.

Sampling was carried out for 24 h in dry and rainy periods at the established points of the network. During the sampling, *in situ* parameters such as pH, temperature, and percentage of dissolved oxygen were measured, and the corresponding samples were taken to the laboratory in order to analyze the other parameters. Tables 3, 4, and 5 present the results at each of the sampling points in the study area.

**Table 3.** Results for point 3955

Parameter	Method	Units	Dry period	Rainy period
BOD-5	SM5210 B	mg O <sub>2</sub> /L	315,6	96
COD	SM 5220 B	mg O <sub>2</sub> /L	522,16	481
Chlorides	SM 4500-CL-D	mg Cl <sub>-</sub> /L	60,69	52,0
pH	SM 4500-H-B		6,94	7,96
TSS	SM 2540-D	mg/L	132,5	86,0
Sulfates	SM 4500-SO4-E	mg S <sub>O4-</sub> /L	61,90	68,9
Sulfides	SM 4500 S2-F	mg S <sub>-</sub> /L	<4	350

Source: Authors.

**Table 4.** Results for point 3910

Parameter	Method	Units	Dry period	Rainy period
BOD-5	SM5210 B	mg O <sub>2</sub> /L	372,15	267
COD	SM 5220 B	mg O <sub>2</sub> /L	541,86	481
Chlorides	SM 4500-CL-D	mg Cl <sub>-</sub> /L	53,55	37
pH	SM 4500-H-B		6,89	8,10
TSS	SM 2540-D	mg/L	115	85
Sulfates	SM 4500-SO4-E	mg S <sub>O4-</sub> /L	44,90	63,7
Sulfides	SM 4500 S2-F	mg S <sub>-</sub> /L	<4	294

Source: Authors.

**Table 5.** Results for point 4091

Parameter	Method	Units	Dry period	Rainy period
BOD-5	SM5210 B	mg O <sub>2</sub> /L	365,165	321
COD	SM 5220 B	mg O <sub>2</sub> /L	522,16	518
Chlorides	SM 4500-CL-D	mg Cl <sub>-</sub> /L	60,69	41
pH	SM 4500-H-B		7,04	7,04
TSS	SM 2540-D	mg/L	117,5	30
Sulphates	SM 4500-SO4-E	mg S <sub>O4-</sub> /L	74,05	86,9
Sulphides	SM 4500 S2-F	mg S <sub>-</sub> /L	<4	385

Source: Authors.

## 2. SWMM model

To this date, there are several studies on modeling sewerage systems. It has been deduced that the spatial simplification scale influences the results of the SWMM simulation (Marcos & Pedraza, 2012). The total concentration time of the urban watershed of the study area was estimated via the Carter method at 21,60 minutes, considering the weighted average slope of sub-basins and the main length of the flow (Amaya-Tequia, 2019).



In 2012, a study was conducted with the purpose of determining specific quality patterns of the behavior of the sewerage system of a sector in Catalonia, where the unitary network was calibrated and validated with data of rainfall episodes. For ease of access, the SWMM software and the variables adopted in the simulation were tailored when performing the calibration and validation of the proposed model (Seco & Gómez-Valentín, 2011). This model treats each basin as a non-linear reservoir obtained by the continuity and the Manning equation for each sub-basin (Hogue et al., 1988). Figure 2 presents the continuity of the simulated runoff in the model.

***** Runoff Quantity Continuity *****	Volume hectare-m -----	Depth mm -----
Total Precipitation .....	0.060	3.750
Evaporation Loss .....	0.006	0.345
Infiltration Loss .....	0.017	1.082
Surface Runoff .....	0.036	2.272
Final Storage .....	0.001	0.052
Continuity Error (%) .....	-0.035	

Figure 2. Runoff continuity

Source: Authors.

Figure 3 shows the runoff quality in the continuity balance throughout the study area. Input loads are expressed as "Initial Buildup" prior to the start of the simulation, "Surface Buildup" during the dry period, and "Wet Deposition" pollutants in the rain. The output loads include "Infiltration Loss", generated by direct rain; "Surface Runoff", the pollutant load which includes a portion of accumulation; and the continuity report, indicated by "Remaining Buildup".

***** Runoff Quality Continuity *****	DBO-5 kg -----	DQO kg -----	Cloruros kg -----	SST kg -----	Sulfatos kg -----	Sulfuros kg -----
Initial Buildup .....	616.651	1317.268	1317.268	1317.268	1317.268	1317.268
Surface Buildup .....	65.298	125.227	125.227	125.227	125.227	125.227
Wet Deposition .....	192.177	310.118	24.546	17.960	52.026	230.493
Sweeping Removal .....	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Infiltration Loss .....	55.474	89.519	7.085	5.184	15.018	66.534
BMP Removal .....	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Surface Runoff .....	343.941	996.647	823.662	819.673	840.308	948.415
Remaining Buildup .....	457.080	637.994	634.041	633.950	634.421	636.892
Continuity Error (%) .....	2.017	1.623	0.154	0.113	0.319	1.264

Figure 3. Runoff quality in the study area

Source: Authors.

Figure 4 shows the quality routing. Only runoff loads through the transport system are shown. Dry weather is not shown; it is only supplied by the user through external inputs. Therefore, the three variables represented are "Wet Weather Inflow", "External Outflow", and "Final Stored Mass". The entry for wet weather is the same.

***** Quality Routing Continuity *****	DBO-5 kg	DQO kg	Cloruros kg	SST kg	Sulfatos kg	Sulfuros kg
Dry Weather Inflow .....	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Wet Weather Inflow .....	343.758	996.353	823.639	819.656	840.259	948.196
Groundwater Inflow .....	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
RDI Inflow .....	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
External Inflow .....	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
External Outflow .....	335.908	940.902	768.148	764.164	784.771	892.734
Flooding Loss .....	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Exfiltration Loss .....	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mass Reacted .....	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Initial Stored Mass .....	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Final Stored Mass .....	0.304	0.597	0.264	0.256	0.296	0.504
Continuity Error (%) .....	2.195	5.505	6.705	6.739	6.568	5.796

Figure 4. Routing quality

Source: Authors.

Figure 5 compares the results of the measured flow with respect to the different pollutants established in the model at the point at the outlet of the basin. For all pollutants, the concentrations exceeded the maximum flow, thus demonstrating the initial analysis in which the importance of the accumulation, washing, and transport processes was mentioned, given that it is the remains of the pollutants generated that affect the flow.

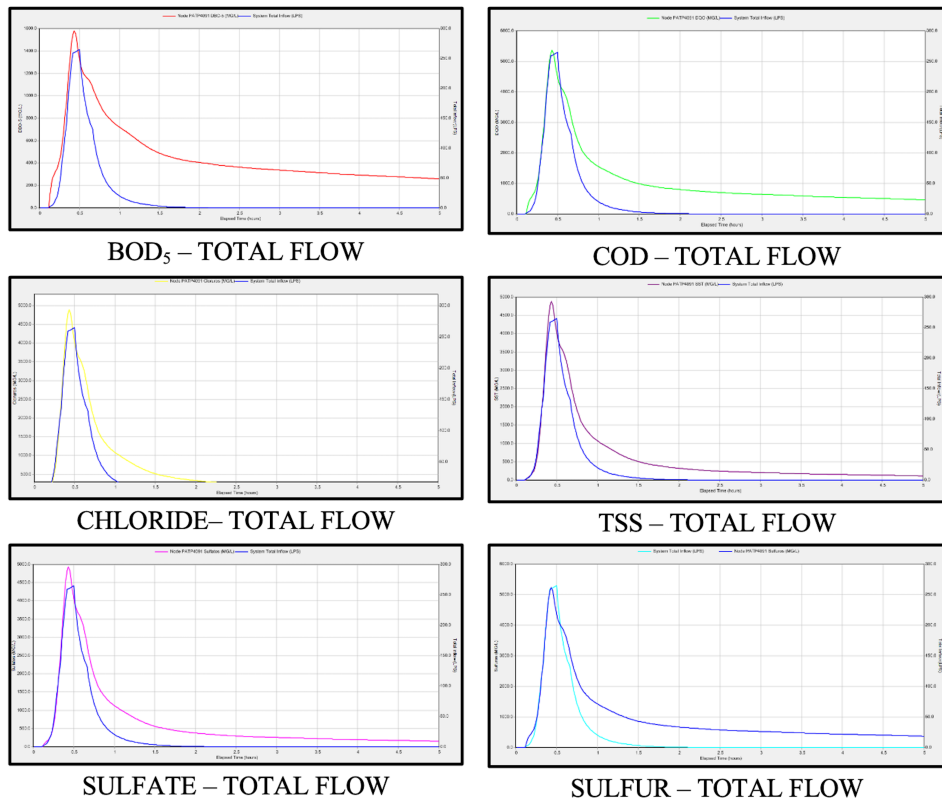


Figure 5. Behavior of pollutants and total flow during a rainfall event

Source: Authors.

Figure 6 shows the behavior of all the pollutants studied in a rainy period. It is evident that BOD5 has a lower concentration than the others and COD is the one with the highest concentration.

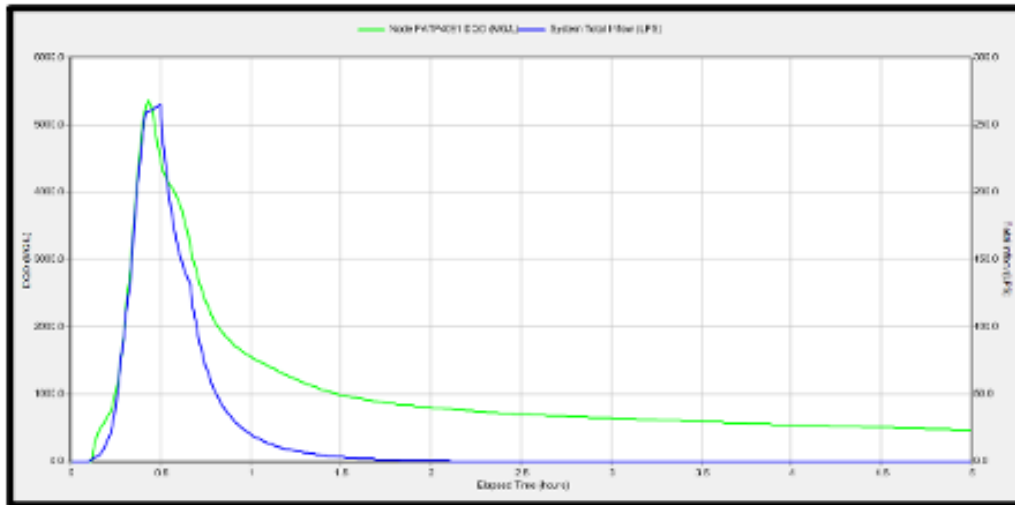


Figure 6. Comparison of pollutants evaluated in a rainfall event

Source: Authors.

## 2. Hydrogen sulfide prediction

Table 6 shows the results of all sections of the study area. Green indicates that sulfide is rarely produced; yellow indicates a probability that it will occur; and red shows hydrogen sulfide accumulation.

Table 6. Hydrogen sulfide production probability

Tranche	eBOD5 (mg/l)	S	Flow rate (ft3/s)	P (ft)	b (ft)	Z
PATLAL4741	2,73	0,0028	0,0074	0,85	0,772	286,948
PATLAL4742	785,70	0,0072	0,3517	1,15	1,008	14.961,449
PATLAL4743	699,03	0,0047	0,3510	1,74	1,274	19.732,557
PATLAL4744	61,98	0,0054	0,3687	2,19	1,306	1.959,816
PATLAL4745	452,33	0,0013	0,1928	1,22	1,050	25.010,071
PATLAL4746	377,38	0,0026	0,0773	1,08	0,962	19.325,388
PATLAL4747	0,00	0,0070	0,0000	0,33	0,320	0,000
PATLAL4748	0,00	0,0060	0,0000	0,00	0,035	0,000
PATLAL4749	484,43	0,0004	0,1056	1,18	1,030	55.131,607
PATLAL4750	641,96	0,0029	0,2525	0,15	1,179	2.428,179
PATLAL4751	80,70	0,0136	0,3524	1,74	1,274	1.334,034
PATLAL4752	717,51	0,0018	3,0452	3,21	2,394	15.509,457

**Table 6.** Hydrogen sulfide production probability

Tranche	eBOD5 (mg/l)	S	Flow rate (ft3/s)	P (ft)	b (ft)	Z
PATLAL4754	853,94	0,0012	2,7259	3,16	2,379	23.519,386
PATLAL4757	0,00	0,0050	0,0000	0,37	0,366	0,000
PATLAL4758	0,00	0,0083	0,0064	1,04	0,937	0,000
PATLAL4759	32,86	0,0029	0,0675	1,55	1,214	1.898,148
PATLAL4760	48,38	0,0046	0,2892	2,27	1,296	1.878,098
PATLAL4761	921,83	0,0017	3,9376	3,41	2,443	20.049,830
PATLAL4762	887,79	0,0006	4,0877	3,31	2,421	30.969,852
PATLAL4763	913,54	0,0000	4,3991	3,16	2,379	0,000
PATLAL4764	5,54	0,0035	0,0650	1,77	1,280	320,329
PATLAL4765	874,58	0,0032	4,5093	3,36	2,432	13.064,168
PATLAL4766	48,20	0,0021	0,2140	2,86	2,176	2.319,844
PATLAL4768	590,94	0,0042	0,1900	1,41	1,203	18.467,157
PATLAL4769	0,00	0,0039	0,0000	0,65	0,623	0,000
PATLAL4771	862,19	0,0009	4,6746	3,67	2,481	25.334,140
PATLAL4772	60,10	0,0028	0,3945	2,33	1,286	2.816,970
PATLAL4773	463,27	0,0020	0,2214	1,25	1,069	19.934,308
PATLAL4774	0,00	0,0009	0,0000	0,61	0,573	0,000
PATLAL4775	974,49	0,0066	0,2472	1,15	0,967	22.679,642
PATLAL4776	0,00	0,0053	0,0000	0,66	0,623	0,000
PATLAL4777	0,00	0,0205	0,0000	0,00	0,035	0,000
PATLAL4778	0,00	0,0025	0,0000	0,00	0,030	0,000
PATLAL4779	828,45	0,0031	0,2338	1,15	0,967	28.491,066
PATLAL4780	402,73	0,0029	0,2137	1,15	1,008	14.134,925
PATLAL4781	40,38	0,0034	0,3803	2,01	1,311	1.452,415
PATLAL4782	873,11	0,0018	4,9479	3,67	2,481	17.733,161
PATLAL4783	863,97	0,0006	5,2470	3,62	2,476	29.716,490
PATLAL4784	0,00	0,0037	0,0000	0,78	1,134	0,000
PATLAL4785	36,42	0,0037	0,3489	1,90	1,303	1.236,264
PATLAL4787	870,89	0,0027	5,5373	3,62	2,476	13.859,458
PATLAL4788	879,92	0,0015	5,7527	3,62	2,476	18.495,793
PATLAL4789	875,06	0,0018	5,7255	3,52	2,461	16.470,123
PATLAL4790	27,54	0,0073	0,2080	2,15	1,142	1.018,695
PATLAL4791	307,30	0,0012	0,2211	1,18	0,926	18.608,470
PATLAL4792	1.030,76	0,0020	0,2483	1,87	1,146	59.200,972

**Table 6.** Hydrogen sulfide production probability

Tranche	eBOD5 (mg/l)	S	Flow rate (ft3/s)	P (ft)	b (ft)	Z
PATLAL4794	1.267,01	0,0040	0,2444	1,33	1,053	40.473,978
PATLAL4795	0,00	0,0035	0,0000	0,70	0,657	0,000
PATLAL4796	31,83	0,0053	0,2352	1,69	1,143	1.037,811
PATLAL4797	0,00	0,0029	0,0000	0,74	0,689	0,000
PATLAL4798	0,00	0,0037	0,0000	0,00	0,035	0,000
PATLAL4799	0,00	0,0025	0,0000	0,00	0,035	0,000
PATLAL4800	0,00	0,0057	0,0000	0,00	0,035	0,000
PATLAL4801	0,00	0,0047	0,0000	0,00	0,031	0,000
PATLAL4802	0,00	0,0035	0,0000	0,00	0,035	0,000
PATLAL4803	0,00	0,0018	0,0000	0,00	0,035	0,000
PATLAL4804	0,00	0,0019	0,0000	0,70	0,657	0,000
PATLAL4805	641,97	0,0044	0,2066	1,12	0,951	19.181,969
PATLAL4806	836,67	0,0027	0,3704	1,55	1,120	31.057,307
PATLAL4807	0,00	0,0053	0,0000	0,40	0,392	0,000
PATLAL4809	22,86	0,0040	0,0346	1,16	0,917	1.379,208
PATLAL4810	57,18	0,0086	0,3931	2,04	1,125	1.518,157
PATLAL4811	925,85	0,0042	6,1080	3,26	2,408	10.606,031
PATLAL4994	70,92	0,0108	0,2617	2,01	1,311	1.627,460
PATLAL4995	501,12	0,0020	0,1208	1,31	1,105	27.077,951
PATLAL4996	105,79	0,0100	0,2850	1,98	1,310	2.424,133
PATLAL4997	654,80	0,0014	0,1649	1,49	1,191	39.640,400
PATLAL4998	1.025,13	0,0035	0,1896	1,12	0,986	33.712,539
PATLAL4999	0,00	0,0046	0,0000	0,00	0,035	0,000
PATLAL5000	0,00	0,0034	0,0000	0,00	0,035	0,000
PATLAL5001	0,00	0,0032	0,0000	0,75	0,712	0,000
PATLAL7594	40,84	0,0007	0,0046	0,66	0,623	9.346,264
PATLAL7595	0,00	0,0022	0,0000	0,46	0,450	0,000
PATLAL7596	540,94	0,0062	0,0791	0,81	0,746	17.278,768
PATLAL7597	0,00	0,0047	0,0000	0,61	0,586	0,000
PATLAL7598	1.077,87	0,0062	0,1190	0,85	0,772	30.387,260
PATLAL7599	364,71	0,0010	0,1151	1,18	1,030	27.500,090
PATLAL7600	1.070,14	0,0038	0,3535	1,34	1,121	29.416,646
PATLAL7601	434,09	0,0101	0,3496	1,28	1,087	7.212,652
PATLAL7604	0,00	0,0054	0,0000	0,81	0,746	0,000

**Table 6.** Hydrogen sulfide production probability

Tranche	eBOD5 (mg/l)	S	Flow rate (ft3/s)	P (ft)	b (ft)	Z
PATLAL7606	0,00	0,0044	0,0000	0,57	0,545	0,000
PATLAL7607	1.038,02	0,0018	0,0646	0,85	0,772	66.811,409
PATLAL7608	245,85	0,0024	0,0600	0,91	0,820	14.086,141
PATLAL7609	709,01	0,0051	0,2211	1,01	0,882	18.706,940
PATLAL7610	1.001,47	0,0145	0,3563	1,18	1,030	13.436,455
PATLAL7612	680,12	0,0024	0,4248	1,84	1,677	20.397,905
PATLAL7613	671,07	0,0039	0,7674	2,12	1,873	13.211,050
PATLAL7615	908,96	0,0014	1,3003	2,37	2,031	26.256,416
PATLAL7616	572,65	0,0016	1,4592	2,61	2,159	15.333,006
PATLAL7619	872,21	0,0028	2,5246	2,89	2,285	15.472,388
PATLAL7620	0,00	0,0038	0,0000	0,52	0,501	0,000
PATLAL7621	311,75	0,0014	0,0650	0,95	0,842	23.382,543
PATLAL7622	854,89	0,0026	0,2260	1,18	1,030	31.519,325
PATLAL7623	353,90	0,0019	0,2468	1,34	1,121	15.548,603
PATLAL7624	851,85	0,0040	0,7999	1,55	1,214	18.593,306
PATLAL7625	263,12	0,0081	0,8013	1,82	1,291	4.449,585
PATLAL7626	71,53	0,0042	0,0321	0,81	0,746	3.718,041
PATLAL7627	84,73	0,0033	0,0300	0,89	0,821	5.086,538
PATLAL7628	384,87	0,0016	0,1010	1,08	0,962	23.324,631
PATLAL7629	0,00	0,0073	0,0000	0,23	0,227	0,000
PATLAL7630	0,00	0,0067	0,0000	0,65	0,623	0,000
PATLAL7631	0,00	0,0087	0,0000	0,40	0,392	0,000
PATLAL7632	5,24	0,0020	0,0028	0,78	0,719	877,806
PATLAL7633	318,60	0,0018	0,1596	1,23	1,007	16.701,222
PATLAL7634	277,06	0,0015	0,3348	1,43	1,088	13.416,357
PATLAL7635	922,40	0,0006	0,2458	1,22	1,050	70.174,637
PATLAL7636	158,64	0,0140	0,2437	1,15	1,008	2.435,488
PATLAL9265	229,37	0,0039	0,0406	0,75	0,712	11.200,975
PATP4812	0,00	0,0080	0,0000	0,00	0,076	0,000

Source: Authors.

### *Oxygen influence on sulphur generation (Roca-Hernández, 2012)*

In a sewer system that circulates by gravity, water is aerated. This process can be slow in large collectors due to the gentle slope and flow depth. The rate increases in smaller pipes, and this does

not happen in pressure systems, so the oxygen is consumed in a shorter time, thus yielding a higher concentration of sulfides. Oxygen is consumed by microorganisms present in the body of water (in the biofilm of the pipes), and the rate of consumption and oxygen can vary depending on the distance that the wastewater has to travel due to the diffusion in the biologically active film of the pipe wall.

The structure of the biofilm is formed by several layers, with an aerobic and an anaerobic zone. If the former prevails, the conditions will be given for sulfate reduction to occur. The relationship between these zones is delimited by the concentration of organic matter. If the oxygen concentration in the current is close to zero, then not all the sulfide can be oxidized and passed into the current.

## CONCLUSIONS

The behavior of the physicochemical and microbiological characteristics measured along the sewerage network at the three established points evidences that there is spatial uniformity in the analyzed parameters and that there is little variability in their behavior when the first wash occurs at each point. All this, considering the results indicated in Tables 3, 4, and 5.

The design of the hydrodynamic model of urban drainage quality of the northeastern sector of Tunja, Santa Inés neighborhood, was performed, calibrated, and validated via the SWMM 5.1 software based on data obtained in the field.

The implementation of the model allowed concluding that the sewerage of the city of Tunja, despite being combined, and considering the current dumping regulations in Colombia, namely Resolution 0631 of 2015 ([Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015](#)) which indicates the maximum allowable values for any type of dumping, requires prior treatment to avoid contamination in the dry period. As indicated by the rule, the maximum allowed value for suspended solids is 90 mg/L. This limit was exceeded in all three points. During the rainy period, although the value was not exceeded at the two points near the exit, it was very close to the limit: 85 and 86 mg/L, respectively.

It is recommended that treatment alternatives be considered in the activated sludge process, based on the relationship between BOD and COD, since waste can be degraded through a biological process ([Ramos-Velandia, 2017](#)).

Given that the  $Z$  formula has generally been successful in predicting the occurrence of sulfide problems in gravity sewers, for our network, specifically with 96 % of the pipelines, approximately 48 % show no likelihood of sulfur generation. For pipelines that are likely to generate hydrogen sulfide, it is recommended to ensure proper aeration in order to avoid gas accumulation.

## FUNDING

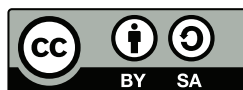
This work was funded by Universidad Santo Tomás (Tunja, Boyacá, Colombia).

## REFERENCES

- [Amaya-Tequia, 2019] Amaya-Tequia, E. (2019). *Modelización hidráulica de drenaje urbano. Aplicación sector nororiental distrito Santa Inés Tunja-Boyacá* [Undergraduate thesis, Unversidad Santo Tomás]. <http://hdl.handle.net/11634/22086> ↑Ver página 168, 169, 170, 174, 175
- [Cortés & Vera, 2019] Cortés, M., & Vera, E. (2019a). Durability considerations for mitigating corrosion caused by biogenic sulfuric acid in sewerage system. *Journal of Physics: Conference Series*, 1386, 012088. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1386/1/012088> ↑Ver página 170
- [Cortés & Vera, 2019] Cortés, M., & Vera, E. (2019b). Methodology for simulating the process of microbiologically induced degradation of concrete by chemical exposure of specimens under controlled laboratory conditions. *Journal of Physics: Conference Series*, 1386, 012089. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1386/1/012089> ↑Ver página 170
- [Cortés-Zambrano et al., 2020] Cortés-Zambrano, M., Amaya-Tequia, E., & Gamba-Fernández, D. (2020). Implementation of the hydraulic modelling of urban drainage in the northeast sector, Tunja, Boyacá. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 101, 74-83. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20200798> ↑Ver página
- [Gironás et al., 2009] Gironás, J., Roesner, L. A., & Davis, J. (2009). *Storm Water Management Model Applications Manual*. United States Environmental Protection Agency. <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P100EA7H.txt> ↑Ver página 168, 171
- [Hogue et al., 1988] Hogue, T. S., Gupta, H., & Sorooshian, S. (1988). A 'user-friendly' approach to parameter estimation in hydrologic models. *Journal of Hydrology*, 320(1-2), 202-217. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.009> ↑Ver página 176
- [Pérez-Carmona, 2013] Pérez-Carmona, R. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras*. Ecoe Ediciones. ↑Ver página
- [Rodríguez, 2005] Rodríguez, J. (2005). *Desarrollo y aplicación de un modelo de calidad del agua del interceptor Fucha - Tunjuelos - Canoas* [Master's thesis, Universidad de los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/8998/u270910.pdf?sequence=1> ↑Ver página 169
- [Romero-Rojas, 2004] Romero-Rojas, J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. ↑Ver página 170
- [Seco & Gómez-Valentín, 2011] Seco, R., & Gómez-Valentín, M. (2011). *Aplicación del modelo SWMM 5.0 para la estimación del arrastre de depósitos de sedimentos y contaminantes asociados en sistemas de*







- alcantarillado unitario* [Conference presentation]. IWA Spain National Young Water Professionals Conference, Madrid, Spain. <http://hdl.handle.net/2117/18111> ↑Ver página 169, 176
- [Temprano & Tejero, 2002] Temprano, J., & Tejero, I. (2002). Detention storage volume for combined sewer overflow into a river. *Environmental Technology*, 23(6), 663-675. <https://doi.org/10.1080/09593332308618381> ↑Ver página
- [Roca-Hernández, 2012] Roca-Hernández, R. (2012). *Estudio de la eliminacion y de la prevencion de la generacion de sulfuros en redes de saneamiento* [Master's thesis, Universidad Politecnica de Cartagena]. [https://www.upct.es/hidrom/publicaciones/Tesis\\_pfc/redes\\_de\\_saneamiento%20.pdf](https://www.upct.es/hidrom/publicaciones/Tesis_pfc/redes_de_saneamiento%20.pdf) ↑Ver página 169, 181
- [Obermann *et al.*, 2009] Obermann, M., Rosenwinkel, K., & Tournoud, M. (2009). Investigation of first flushes in a medium-sized mediterranean catchment. *Journal of Hydrology*, 373(3), 405-415. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.04.038> ↑Ver página 169
- [Marcor & Pedraza, 2012] Marcor, J., & Pedraza, R. (2012). Efectos de la discretización en la simulación de la escorrentía urbana. *Ingeniería del Agua*, 13(1), 35-46. <https://doi.org/10.4995/ia.2006.2882> ↑Ver página 175
- [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015). *Resolución número 0631. Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.* <https://www.rds.org.co/es/recursos/resolucion-631-de-2015-parametros-vertimientos#:~:text=Por%20la%20cual%20se%20establecen,y%20se%20dictan%20otras%20disposiciones.> ↑Ver página 182
- [Ramos-Velandia, 2017] Ramos-Velandia, C. C. (2017). *Evaluacion de un sistema de tratamiento de lodos activados para la remocion de carga organica en las aguas residuales domesticas generadas en el colegio San Viator* [Undergraduate thesis, Universidad de América]. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/6578> ↑Ver página 182
- [U.S. Environmental Protection Agency, 1974] U.S. Environmental Protection Agency. (1974). *Process Design Manual for Sulfide Control in Sanitary Sewerage Systems*. United States of America: EPA. ↑Ver página 168, 171, 173



## Nuevos desafíos de las pequeñas y medianas empresas en tiempos de pandemia

### New challenges for small and medium-sized businesses in times of pandemic

Johanna Catalina Adan Gallo <sup>1</sup>, Laura Alejandra Munar López <sup>2</sup>, Gustavo Andrés Romero Duque <sup>3</sup>, Aldemar Gordillo Galeano <sup>4</sup>

Fecha de Recepción: 16 de abril de 2021

Fecha de Aceptación: 07 de febrero de 2022

**Cómo citar:** Adan Gallo., J.C. Munar López., L.A. Romero Duque., G.A y Gordillo Galeano., A. (2022) Nuevos desafíos de las pequeñas y medianas empresas en tiempos de pandemia. *Tecnura*, 26(72), 185-208. <https://doi.org/10.14483/22487638.17879>

### Resumen

**Contexto:** Las pymes representan aproximadamente el 50% del PIB mundial, y debido a la pandemia por la covid-19, se han visto gravemente afectadas. Este documento proporciona un panorama general de factores que incidieron en la economía de las pymes y presenta algunas soluciones para mantener su operación en tiempos de dificultades.

**Metodología:** La elaboración del manuscrito esta soportada en literatura relevante publicada entre 2019 y 2021. La estrategia de búsqueda se aplicó a través de las bases de datos *Embase*, *Web of Sciences*, *Scopus*, bajo términos de búsqueda clave covid-19, *pandemic*, *small enterprises*, *medium-sized enterprises*, *global economic*, *economic growth*, *developing countries*, *emerging economies*, *economic impact*, *financial fragility*, *government action\**, *credit risk*, *travel restriction\**, *e-commerce*, *digital technologie\**, *digital transformation*, *emerging market\**, *supply chain\**, *small business*. Posteriormente, se efectuó la clasificación y análisis documental a través del método Raceer (recopilación, almacenamiento, elaboración esquemática conceptual, enlace de unidades informativas, redacción).

<sup>1</sup>Ingeniera de Producción, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnóloga industrial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnóloga en Automatización Industrial, Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Bogotá, Colombia.

Email: [jcadang@correo.udistrital.edu.co](mailto:jcadang@correo.udistrital.edu.co)

<sup>2</sup>Ingeniera de Producción, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Tecnóloga industrial, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

Email: [lamunar@correo.udistrital.edu.co](mailto:lamunar@correo.udistrital.edu.co)

<sup>3</sup>Magíster en Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; magíster en Innovación del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, México; ingeniero de Producción, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia; diseñador industrial, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá Colombia. Docente-investigador y miembro del grupo GIDAD de la Fundación Universitaria Los Libertadores.

Email: [garomerod@libertadores.edu.co](mailto:garomerod@libertadores.edu.co)

<sup>4</sup>Doctor en Ciencias Farmacéuticas, Universidad Nacional, magíster en Ciencias Farmacéuticas, Universidad Nacional. Químico, Universidad Nacional; docente e investigador, miembro del grupo de Investigación en Desarrollo y Calidad de Productos Farmacéuticos y Cosméticos de la Universidad Nacional de Colombia, y asociado de Patentes en Olarte Moure & Asociados. Bogotá, Colombia.

Email: [agordillo@unal.edu.co](mailto:agordillo@unal.edu.co)

**Resultados:** El análisis de la información relevante reveló que la economía de las pymes cumplió un papel importante en la fuerte caída del PIB y en el aumento de los niveles de pobreza y desempleo a nivel mundial, y que aquellas que querían mantenerse en operación debieron reinventarse e incursionar con nuevas estrategias de negocio.

**Conclusiones:** La pandemia generada por la covid-19 produjo cambios significativos en hábitos de compra, métodos de fabricación y formas de trabajar que impactaron gravemente el desempeño de las pymes. Para lidiar con este nuevo escenario económico, se espera que la tecnología y la innovación direccionen a nuevos modelos de negocio de rápida adaptación.

**Palabras clave:** PIB, cambio climático, nueva realidad, recesión, SARS CoV-2.

---

## Abstract

**Context:** SMEs represent approximately 50 % of world GDP and due to the Covid-19 pandemic, they have been severely affected. This document provides an overview of the factors that affected the economy of SMEs and presents some solutions to maintain their operation in times of difficulties.

**Methodology:** The elaboration of the manuscript is supported in relevant literature published between 2019-2021. The search strategy was applied through the databases EMBASE, WEB OF SCIENCES, SCOPUS under key search terms COVID-19, pandemic, small enterprises, medium-sized enterprises, global economic, economic growth, developing countries, emerging economies, economic impact, financial fragility, government action\*, credit risk, travel restriction\*, e-commerce, digital technologie\*, digital transformation, emerging market\*, supply chain\*, small business. Subsequently, the document classification and analysis were carried out through the Raceer method (compilation, storage, conceptual schematic elaboration, link of informative units, writing).

**Results:** The analysis of the relevant information revealed that the economy of SMEs played an important role in the sharp drop in GDP and in the increase in poverty and unemployment levels worldwide, and that those that wanted to remain in operation, they had to reinvent themselves and dabble in new business strategies.

**Conclusions:** The pandemic generated by Covid-19 produced significant changes in purchasing habits, manufacturing methods and ways of working that seriously impacted the performance of SMEs. To deal with this new economic scenario, technology and innovation are expected to lead to new rapidly adapting business models.

**Keywords:** GDP, Climate change, New reality, Recession, SARS CoV-2.

---

## Tabla de Contenidos

	<b>Página</b>
<b>Introducción</b>	<b>187</b>
<b>Las pequeñas y medianas empresas en el escenario económico mundial</b>	<b>188</b>
<b>Impacto social y económico del descalabro de las pymes. El caso de Latinoamérica</b>	<b>190</b>
<b>Desafíos adicionales de las pymes en medio de la pandemia</b>	<b>192</b>
<b>Covid-19 y sostenibilidad: el no retorno o el principio de una nueva era</b>	<b>193</b>
Adaptarse o adaptarse: el surgimiento de nuevos modelos de negocio . . . . .	193

<b>El difícil pero esperanzador camino hacia nuevas formas de consumo</b>	<b>195</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>196</b>
<b>References</b>	<b>197</b>

## INTRODUCCIÓN

Con el brote de la enfermedad generada por el SARS CoV-2 (covid-19), notificado por primera vez en Wuhan, China, en diciembre de 2019, se generó una pandemia sin precedentes para el mundo moderno. A la fecha, el virus se ha extendido por los cinco continentes, afectando a 219 países y causando más de 4,4 millones de muertes ([Johns Hopkins University, 2021](#)). La pandemia supuso una carga cada vez mayor para los sistemas sanitarios, las economías y las sociedades, asociada a la alta tasa de contagio ([Thompson et al., 2020](#)) y a los elevados costos del tratamiento de la enfermedad en los pacientes más graves. Esta crisis sanitaria ha obligado a casi detener el transporte de carga y mercancías, así como actividades conexas incluyendo el transporte de pasajeros. Además, ha llevado a cerrar fronteras entre países, desencadenando una contracción considerable del comercio internacional, fuertes fluctuaciones de los precios de los bienes primarios y una elevada volatilidad en los mercados financieros.

La pandemia generada por la covid-19 tomó por sorpresa a empresarios, trabajadores y gobiernos ([Choi, 2020](#), [Obrenovic et al., 2020](#), [Qin et al., 2020](#)). Lo que en principio fue una emergencia sanitaria se ha convertido en una crisis financiera, económica y laboral de escala mundial. En un intento por paliar la desaceleración económica, los gobiernos del mundo han respondido relajando la política monetaria y utilizando cada vez más la política fiscal ([FMI, 2020](#)). Así mismo se espera que comiencen a hacer uso de herramientas como la dinámica de sistemas que les permitan medir y controlar los diferentes cambios presentados en la demanda, oferta y la rentabilidad ([Becerra y Herrera, 2018](#)), y lograr reactivar o evitar la caída del consumo y la inversión en las pequeñas y medianas empresas (pymes), con la esperanza de que los consumidores aumenten su gasto, las instituciones financieras reanuden sus préstamos y las empresas comiencen a invertir, producir, comercializar y a contratar de nuevo.

Sin embargo, el impacto a mediano plazo de estas medidas aún se desconoce y ha sido más difícil de predecir de lo que se pensaba. Por ejemplo, el segundo pico de la pandemia resultó ser mucho más fuerte que el primero, y obligó a imponer nuevas cuarentenas y medidas de restricción en casi todos los países afectados. Además, y a pesar de los esfuerzos de la comunidad científica de proporcionar vacunas para la infección en tiempo récord, la velocidad de vacunación no ha resultado como se esperaba por razones que van desde problemas en la capacidad de producción de las farmacéuticas para cumplir con las dosis requeridas para inmunizar a toda la población, hasta falta de infraestructura y de logística adecuadas para llevar a cabo los planes de vacunación. En consecuencia, la reactivación económica y la transición a lo que se consideraba “normal” no parece ser posible, por lo menos en el

corto plazo.

Alrededor del mundo, cientos de pymes han tenido que cerrar sus actividades, mientras que la gran mayoría de empresas han visto negativamente afectadas sus operaciones con lo que las tasas de desempleo han alcanzado niveles históricos (Lu *et al.*, 2020, Liu *et al.*, 2013). En consecuencia, en este manuscrito se presenta de modo general la importancia de las pymes en el desempeño económico mundial y cómo han sido impactadas por la pandemia. También, se plantean algunas alternativas para superar la crisis aprovechando los desafíos y oportunidades evidenciados por la pandemia y que podrían contribuir a mejorar el desempeño económico y social de las economías emergentes en la escena mundial.

## LAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS EN EL ESCENARIO ECONÓMICO MUNDIAL

En general, las pymes contribuyen sustancialmente en la producción, la generación de empleo y el valor agregado tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo (Brown *et al.*, 2020, Eggers, 2020). De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), las pymes generan entre el 50 % y el 60 % del valor agregado, y en cifras de desarrollo, son responsables de alrededor del 33 % del producto interno bruto (PIB) (Nowakowska-Grunt *et al.*, 2018). Sin embargo, y aunque empresas de todos los tamaños se han visto afectadas por la pandemia, las pymes suelen ser las primeras en sufrir los efectos negativos de cualquier desaceleración económica. No obstante, a pesar de su enorme peso sobre la economía mundial, siguen siendo pobremente atendidas por la mayoría de las políticas monetarias emprendidas por los gobiernos del mundo para contrarrestar los efectos de la pandemia.

En consecuencia, la capacidad de los países para limitar los cierres, bancarrotas y despidos de empleados en estas empresas que podrían llegar a reducirse hasta en un 35 % (Kottika *et al.*, 2020), contribuirá en gran medida a la reactivación de la economía mundial y de las economías nacionales. Asimismo, las capacidades que tengan las pymes para responder de manera rápida y oportuna a la crisis para mantenerse en el mercado determinarán su futuro y contribución en el escenario económico mundial posterior a la pandemia.

En concreto, para 2018 se estimaba que de todas las empresas del sector empresarial no financiero de los países miembros de la Unión Europea cerca del 99,8 % correspondían a pymes (Muller, Robin *et al.*, 2019), generadoras de dos tercios de los empleos y aportando entre el 50 % y 60 % del valor agregado. Adicionalmente, la mayoría de estas empresas operan en los sectores de servicios de baja intensidad de conocimiento y, en menor medida, en las industrias de servicios de alta intensidad de conocimiento o en industrias de producción de bienes (Muller, Caliandro *et al.*, 2019).

Por ejemplo, algunos datos de mayo 2020 sugieren que el 41 % de las pymes del Reino Unido habían detenido sus operaciones y el 35 % temían que no pudieran volver a abrir (FSB, 2020). En Alemania, el 50 % de las pymes esperaba un efecto negativo debido a la crisis y un tercio anticipó

una disminución de los ingresos de más del 10 %. En Italia, más del 70 % indicó afectaciones por la crisis (Juergensen *et al.*, 2020, OECD, 2020).

Adicionalmente, se estima que el Brexit afecte las expectativas de las pymes con respecto a su crecimiento futuro, inversión de capital fijo y los planes de financiamiento externo e innovación (Brown *et al.*, 2018). En consecuencia, los reducidos niveles de inversión de capital inevitablemente tendrán repercusiones negativas para el crecimiento futuro de las pymes (Cepal, 2020d), dado que no van a tener acceso y libre circulación al mercado único europeo, cuyos beneficios incluían el estímulo de la competencia y el comercio, la eficiencia, la calidad y control sobre los productos y precios más bajos (Centre for Britain and Europe, 2020).

De acuerdo con la Oficina Nacional de Estadísticas del Reino Unido (ONS), la inversión empresarial en el Reino Unido estuvo 10,3 % por debajo del nivel presentado en el último trimestre del 2019 (ONS, 2021), este descenso no solo se atribuye a la pandemia por la covid-19, sino también a la salida del Reino Unido de la Unión Europea. Además, el Fondo Monetario Internacional (FMI) señala que probablemente la cifra se mantenga por debajo inclusive, hasta el año 2022 (Eggers, 2020). Sin embargo, las cifras oficiales contrastan con los resultados arrojados en la encuesta realizada por la comunidad de emprendedores Great British Entrepreneur Awards y el banco Digital Starling, en donde, un 80 % de las pymes británicas se presentan más optimistas ante la situación presentada por la covid-19, mientras que un 39 % ha cambiado o mejorado su modelo de negocio (ICEX, 2020).

Para el caso del continente asiático se estimó una caída del PIB del 1,6 % al cierre del cuarto trimestre del 2020. Algunas de las potencias económicas del continente incluyendo a China, también se vieron gravemente afectadas por la llegada del SARS CoV-2; las estimaciones indican que el impacto sobre el crecimiento del PIB en China en 2020 podría estar ubicado entre -0,4 y 2 puntos porcentuales, para el cierre del cuarto trimestre de 2020 (Martin-Martin *et al.*, 2019, Cowling *et al.*, 2020, Zimon *et al.*, 2020).

En particular, las pymes desempeñan un papel importante en todas las economías asiáticas, ya que son responsables de grandes proporciones de empleo y producción (Keskin *et al.*, 2010). Sin embargo, en los sistemas financieros, las pymes tienen dificultades para acceder a financiación barata; es difícil para los bancos evaluar sus opciones, ya que a menudo no cuentan con sistemas contables sólidos (Yoshino y Taghizadeh-hesary, 2018). Muchas empresas piden prestado dinero pagando tasas de interés muy elevadas u ofrecen garantías costosas, lo que dificulta su crecimiento. A pesar de esto, Asia se ha reconocido como una de las economías con mejores resultados del mundo, en particular, las economías de Taiwán y Hong Kong se basan en gran medida en pequeñas empresas, mientras que cerca del 81 % de todo el empleo en Japón se encuentra generado en las pymes.

Por otro lado, de acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la economía de Sudáfrica podría verse afectada con una caída del 8 %, por ejemplo, las exportaciones de crudo desde Nigeria podrían reducirse entre los USD14 000 y USD19 000 millones (ONU, 2020). Además, se espera que la recuperación se extienda hasta el año 2024 (PNUD, 2020). Esta crisis sanitaria también podría hundir a cerca de 40 millones de personas en la pobreza extrema en África, lo

que haría retroceder a la región en aproximadamente cinco años en la lucha contra la pobreza ([Banco Mundial, 2020a](#)).

Para el caso de Norteamérica, tanto Estados Unidos como Canadá cerraron 2020 con una caída de aproximadamente 3,5 % en su PIB ([Kottika et al., 2020](#)). A grandes rasgos, en Estados Unidos, podemos encontrar microempresas y empresas que tengan una baja proyección de crecimiento, pero así mismo, existen otras compañías que se encuentran en búsqueda de apoyo del Gobierno para lograr conseguir una alta proyección de crecimiento y desarrollo, formando unidades de negocio independientes, lo que les facilita su manejo estratégico.

A pesar de que Estados Unidos tiene una las economías más fuertes del mundo, este país también se vio gravemente afectado por la crisis de la pandemia. De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal), el índice de desempleo paso de estar en 4,4 % a un 14,7 % entre marzo y abril de 2020 ([Cepal, 2020b](#)). Desde otro punto de vista, un aspecto a rescatar en contra de las alzas de los índices de desempleo es que el índice de teletrabajo aumento y se llegó a ubicar en un 35,4 % en mayo de 2020 ([United States Department of Labor, 2021](#)), pero a pesar de esta medida, se estima que la economía del país sea un 5 % más baja en el 2022, que si la pandemia no hubiera ocurrido. Además, el índice de pobreza alcanzo un nivel 16,7 % en septiembre del 2020 para la región estadounidense ([DW, 2020](#)). También el índice de estrés del mercado financiero, llego a niveles sin precedentes, alcanzo el 10,26 % en marzo de 2020 ([OFR, 2021](#)).

Mientras tanto, se pronosticó que el PIB en la región de América Latina y el Caribe (excepto Venezuela) retrocediera un 7,9 % en 2020 ([Banco Mundial, 2020b](#)). A cierre de 2020, los países pertenecientes a esta región, que tuvieron una mayor caída en su PIB, y encabezaron la lista fueron Perú, con un descenso del 12,9 %; seguido de Panamá, con una caída del 11 %, y en tercer lugar Argentina, con una tasa del -10,5 % ([Cepal, 2020a](#)).

Por otra parte, la principal característica de las empresas de América Latina es la de ser grandes empleadoras de mano de obra poco calificada, de allí que las pymes representan entre el 80 % y el 90 % del empleo total. Esta podría ser una de las razones por las que los hacedores de política pública de los países latinoamericanos, después de centrarse durante años en las grandes inversiones y cortejar a las multinacionales, estén comenzando a ver las pymes como las verdaderas creadoras de empleo y actores importantes en las cadenas de suministro ([Muñoz y Mayor, 2015](#)).

## **IMPACTO SOCIAL Y ECONÓMICO DEL DESCALABRO DE LAS PYMES. EL CASO DE LATINOAMÉRICA**

Gran parte de la literatura existente sobre crisis de salud pública ya indicaba a partir de análisis de datos históricos, que las pandemias tienen un impacto significativo en las actividades económicas; como lo fue en el caso de la influenza y su incidencia negativa en el crecimiento económico durante su periodicidad ([Gu et al., 2020](#), [Fan et al., 2016](#)). La crisis económica desatada por la covid-19 ha afectado de manera negativa el desempeño económico de la mayoría de los países el mundo, incluyendo a las

economías más poderosas. Por ejemplo, Estados Unidos, Japón, Reino Unido, Alemania y Francia experimentaron una caída en su PIB en los primeros meses del 2020, de 1,22 %, 0,85 %, 1,98 %, 2,22 % y 5,83 %, respectivamente (Qin *et al.*, 2020, Cai y Luo, 2020).

Para el caso de América Latina y el Caribe, se estimó que la tasa de desocupación para el 2020 fue cercana al 12,3 % (OIT, 2020), estableciendo que los mercados pudieron haber retrocedido al menos diez años. Junto con esto, el desempleo no solo afecta económicamente a las familias latinoamericanas, sino que también puede estar incidiendo directamente en su salud (Banco Mundial, 2015).

En el caso de Colombia, en 2020, cerró con una tasa de desocupación del 15,9 %, siendo las ciudades principales las que generaron mayor incidencia con una cifra de pérdida de empleo en más de 900 000 personas (Portafolio, 2020). Los sectores que se vieron mayormente afectados en el desempleo fueron el de los servicios, comercio, industria y construcción (CCB, 2021).

Además del desempleo, otra de las cifras importantes para recalcar son los costos adicionales que se generaron para contener el virus en las diferentes instancias, se estima que los costos a nivel productivo para las empresas pueden establecerse en un 67 % del PIB (Cepal, 2020e). En Colombia, de acuerdo con la encuesta nacional de impacto económico covid-19, una de las mayores preocupaciones de los empresarios es el mayor precio de los insumos, siendo estos, superior al 26 % (CCB, s. f.).

Por otra parte, es necesario evidenciar otro de los factores importantes que se ve influenciado por la crisis de la covid-19, como lo es la variación en los índices de pobreza en la región. De acuerdo con la Cepal, 2020f, se estima que la cifra de población en pobreza podría llegar a 83,4 millones de personas en 2020 (Cepal, 2020f). Además, para el caso específico de Colombia, de acuerdo con algunos de los distintos escenarios establecidos por la Fundación para la Educación Superior y el Desarrollo (Fedesarrollo), acerca del comportamiento del desempleo y la pobreza en Colombia, se evidencia que, en un escenario medio, la incidencia de pobreza monetaria aumentará en 2,5 %, llegando a un nivel nacional del 29,7 % (Mejía, 2020).

Las proyecciones de crecimiento para las economías de América Latina y el Caribe en 2021 son positivas. Se espera un crecimiento promedio del 3,7 % para la región; sin embargo, dentro del marco estadístico, estas tasas demuestran bajo nivel de aumento, lo que refleja la situación económica presentada en 2020. Por su parte, 3,1 puntos de la tasa de incremento que se esperan para la región en 2021 pertenecen al arrastre estadístico y, además, este porcentaje solo permitiría recuperar un 44 % de la pérdida de PIB registrada en 2020 (Cepal, 2020a). Como si este panorama ya no fuese lo bastante desalentador, la Cepal proyecta que la recuperación de los niveles anteriores al 2019 de PIB no se alcanzaría ni siquiera en la próxima década, lo que producirá un aumento de la pobreza, lo que a su vez terminará agudizando las brechas de equidad entre ricos y pobres (Cepal, 2020a).

Por otro lado, se estima que la región de América Latina es una de las áreas más afectadas por la pandemia de la covid-19 desde una perspectiva económica. De acuerdo con el Fondo Multilateral de Inversiones, las pymes son responsables del 66 % de los empleos en todo el mundo (Hernández-Sánchez *et al.*, 2020), y más del 90 % de las empresas en Latinoamérica son pymes (Muñoz y Mayor, 2015). En promedio, según la Cepal, el crecimiento económico esperado para la región en 2020 habría



sido del 1,3 %, impulsado principalmente por la recuperación de las dos principales economías del continente: Brasil y México (ONU, 2021), pero debido a la expansión de la covid-19, los analistas estimaron una recesión de 2,5 % a 5,2 % (Cepal, 2020d).

## DESAFÍOS ADICIONALES DE LAS PYMES EN MEDIO DE LA PANDEMIA

Tradicionalmente las pymes enfrentan algunos desafíos adicionales en comparación con las grandes empresas para mantener sus operaciones, particularmente, debido a que tienen mayores costos operativos y menor flexibilidad financiera (Kottika *et al.*, 2020). Las pymes se enfrentan a la responsabilidad de la pequeñez (Freeman *et al.*, 1983). Esto significa que cuanto más pequeña es la empresa, menos recursos controla típicamente, lo que la hace más vulnerable a eventos internos y externos, como la renuncia de un empleado eficiente a su trabajo, una disminución de las opciones de financiamiento, una reducción de la demanda debido a un competidor que ingresa al mercado o, en el caso de este manuscrito, una crisis que golpea la economía global (Eggers, 2020).

Desde una perspectiva financiera, diversos autores relacionan la poca solidez y perdurabilidad que presentan las pymes como consecuencia de su tamaño y estructura de propiedad, por lo que se vuelven particularmente vulnerables a los choques externos (Liu *et al.*, 2013, Cowling *et al.*, 2020). De hecho, es muy probable que crisis de largo periodo como la pandemia de covid-19 tengan un efecto desmesurado en las pymes, dados sus recursos limitados (humanos, financieros y técnicos) en comparación con las grandes empresas (Martin-Martin *et al.*, 2019, Cowling *et al.*, 2020) y que los clientes reducen o dejan de gastar por completo y los inversores financieros se vuelven más cuidadosos en términos de sus inversiones (Eggers, 2020).

Antes de la llegada del virus, muchas pymes ya se enfrentaban a riesgos de flujo de caja, ya que en muchas ocasiones sus ingresos apenas les permitían pagar varios gastos fijos y durante la pandemia debían solventar estos gastos a pesar de que tenían pocos o ningún ingreso (Lu *et al.*, 2020). Con la disminución de la demanda y los problemas de financiación (Yemelyanov *et al.*, 2020), se comienzan a presentar más desafíos para las pymes, quienes deben generar procesos de adaptación para poder sobrevivir (Cowling *et al.*, 2014), en la búsqueda por desarrollar una cultura de sostenibilidad coherente y proactiva que permita entre otras cosas, implementar prácticas de sostenibilidad social (SSP), referidas estas, a las prácticas y formas en que las empresas abordan cuestiones relacionadas con la salud, la seguridad, las iniciativas de progresión profesional, la libertad y el bienestar de las personas asociadas con la cadena de suministro (Silvestre, 2015, Chowdhury y Shumon, 2020).

Por tal razón, también es importante analizar los diferentes escenarios que se han presentado para las pymes, como consecuencia de la fluctuación de la oferta y la demanda (Choi, 2020) debido a la expansión de la covid-19. Por el lado de la oferta, las pymes se han enfrentado a problemas logísticos consecuencia de la interrupción del transporte y la escasez de mano de obra (Cai y Luo, 2020, Cheng, 2020). Por el lado de la demanda, las pymes han visto disminuir su demanda sustancialmente resultado de las medidas de bloqueo, una caída en la confianza del consumidor y el cierre de una serie de

cadena de valor en las industrias afectadas (Juergensen *et al.*, 2020).

Otra desventaja notable en una crisis como una pandemia es conseguir nuevos clientes y ganarse su confianza; las pymes no tienen la capacidad financiera para darse a conocer a través de medios masivos tradicionales (Flynn, 2017) y aunque con dificultades y ciertos prejuicios ante las nuevas innovaciones tecnológicas, pero con la certeza de que a través de un diagnóstico bien desarrollado de la organización y sus características se identificarían fácilmente los puntos de mejora a través de la tecnología (Medina *et al.*, 2016). Con esto, las pymes han tenido que aprender y arriesgarse a iniciar procesos de comercio virtual para ampliar su mercado (Effendi *et al.*, 2020).

## COVID-19 Y SOSTENIBILIDAD: EL NO RETORNO O EL PRINCIPIO DE UNA NUEVA ERA

De acuerdo con Alicia Bárcena, secretaria ejecutiva de la Cepal, deberá existir un fuerte apoyo entre la comunidad para lograr adaptarse a la *nueva normalidad*,

La coordinación de nuestros países en materia macroeconómica y productiva es crucial para negociar las condiciones de la nueva normalidad, particularmente en una dimensión urgente en la actual crisis y en el mediano plazo: la del financiamiento para un nuevo estilo de desarrollo con igualdad y sostenibilidad ambiental. (Vu *et al.*, 2020, p. 3)

Con esto, la Cepal abre la discusión, a los nuevos hábitos y costumbres que se han generado a partir de la crisis por la covid-19 y por supuesto, las pymes forman parte de este gran plan de ajuste ante la *nueva normalidad*. Además de las medidas de contención del virus, que inciden fuertemente, el inicio de la *nueva normalidad* se ha enfocado en un término importante tanto para la sociedad en general, como para las pymes: la sostenibilidad (Nicola *et al.*, 2020, Ward, 2020).

De acuerdo con un informe de la red española del pacto global, el papel de las pymes en esta recuperación es esencial; su flexibilidad y capacidad de adaptación como centro de oportunidad para que a través de nuevos modelos de negocio, el desarrollo de procesos más empáticos con grupos de interés y el asumir su rol como ciudadanos corporativos (Pacto Global Red Colombia, 2020), les permita a las pymes impulsar el desarrollo de nuevos mercados y oportunidades de negocios que ayuden a afrontar la recuperación de esta crisis de una forma más efectiva (Red Española del Pacto Mundial, 2020), seguramente aprovechando acuerdos comerciales internacionales ya existentes.

### Adaptarse o adaptarse: el surgimiento de nuevos modelos de negocio

Las pymes son más flexibles y adaptables que sus contrapartes más grandes; debido a su pequeño tamaño, su tendencia a ser de propiedad privada y sus estructuras jerárquicas relativamente planas, todo lo cual puede ser beneficioso durante una crisis (Zimon *et al.*, 2020, Juergensen *et al.*, 2020), lo que les permite incursionar más fácilmente en el mundo digital y sus transformaciones, aprovechando las oportunidades que brindan (Irimiás y Mitev, 2020, Bican y Brem, 2020) el desarrollo de nuevos

modelos de negocio (Papadopoulos *et al.*, 2020, Beaunoyer *et al.*, 2020), las innovaciones no tecnológicas como en *marketing* (Low *et al.*, 2020) y la generación de alianzas estratégicas que impacten en los resultados económicos, la eficiencia en los procesos de negocio y facilitando la toma de decisiones estratégicas (Aremu *et al.*, 2019, Bican y Brem, 2020, Pan y Zhang, 2020, Shahzad *et al.*, 2020, Wang *et al.*, 2020, Winarsih *et al.*, 2021).

Parte del desarrollo de procesos más empáticos se puede asumir bajo modelos de colaboración donde actividades como las compras se pueden adelantar bajo procesos de clusterización con el vecino más cercano y así poder contar con proveedores en común que permitan procesos de negociación y pago más favorables (Zimon *et al.*, 2020, Kottika *et al.*, 2020). Por ejemplo, la industria automotriz, los fabricantes de equipos originales, los fabricantes de componentes y los fabricantes de subsistemas automotrices están tratando de establecer cadenas de suministro alternativas, flexibles y adaptables al tiempo, considerando el abastecimiento, el ensamblaje y la entrega desde dentro de las fronteras del sistema de gestión estratégicamente centralizado de la región, y han comenzado a reexaminar el establecimiento de centros logísticos regionales compartidos (Ishida, 2020).

Es como si, adicional a las estrategias de acompañamiento o subvención sostenidas desde el sector financiero (Yemelyanov *et al.*, 2020, Pattnaik *et al.*, 2020, Brickell *et al.*, 2020), esta *nueva realidad* estuviera empezando a mostrarse como un ambiente propicio para el aumento y lanzamiento de propuestas que no necesariamente provienen de este sector, pero que buscan apoyar financieramente a los afectados: campañas de financiación colectiva y/o desarrollo de plataformas de financiación desde economía colaborativa. El efecto de la covid-19 en los mercados financieros proporciona evidencia sobre cambios en el proceder de los inversores minoristas, mostrando nuevas participaciones en inversiones financieras no tradicionales (Battaglia *et al.*, 2020).

Durante el transcurso de la pandemia, la economía de colaboración ha sido empleada para ayudar a reponer las repentinas deficiencias económicas que acompañan a las empresas en una crisis global (Ahsen *et al.*, 2021). En este contexto, está sugerido el *crowdfunding* de capital como una forma nueva y alternativa de financiación a los mercados de financiación tradicionales, en los que los oferentes efectúan una llamada abierta para ofrecer una cantidad específica de participaciones o bonos a través de una plataforma, con el fin de atraer a un gran grupo de pequeños inversores (Battaglia *et al.*, 2020).

La pandemia por la covid-19 ha generado casi cuatro veces más campañas de *crowdfunding*, lo que sugiere una contribución más pronunciada y sostenida de la *multitud* a una amplia gama de proyectos o negocios empresariales. Una tendencia ascendente similar en toda actividad de *crowdfunding* fue evidente en KissKissBankBank (KKBB) en términos de la cantidad total de fondos recaudados y *donantes*: al 22 de abril, se habían recaudado más de EUR1 087 000 euros gracias a 16 660 personas. Esto representa el 23 % de los montos totales recaudados en 2020 (Cepal, 2020c).

El éxito continuo del *crowdfunding* depende fuertemente de la aceptación del mercado y de cómo los empresarios y los consumidores deciden crear y gastar durante y después de la pandemia, así mismo, su versatilidad faculta la combinación con herramientas como *blockchain*, que le permite generar características de privacidad, gestión, confianza, consenso y escalabilidad (Pava *et al.*, 2020, Rodri-

guez, 2020) a las diferentes campañas de *crowdfunding*, adaptándose a la variabilidad de soluciones que esta metodología presta.

No hay duda de que el mercado en continua evolución impacta tanto en las tendencias de los empresarios como de los consumidores, desafiando las tasas de éxito habituales de las campañas de las empresas que deciden apoyarse en compañías como UppEffect (Farhoud *et al.*, 2021) o como Digikala (Seddighi *et al.*, 2020).

Las campañas más fuertemente desarrolladas por las plataformas *crowdfunding* a nivel mundial durante el inicio de la pandemia fueron aquellas encaminadas a recaudar fondos para equipos de protección personal (EPP) para los trabajadores; estas fueron las más lanzadas en todos los países, excepto en Estados Unidos y Australia. Este hallazgo refleja el impacto que generó este problema en todo el mundo, mostrando que muchos países no estaban preparados para suministrar elementos de protección críticos para los trabajadores de salud de primera línea. De hecho, durante el brote inicial de la pandemia, el acceso a EPP se convirtió en una competencia entre países, provincias y ciudades (Flynn, 2017).

En el sector de la moda se empezó a utilizar el servicio de WhatsApp por las tiendas físicas individuales y miembros de su personal. En el sitio web de la empresa, se puede ver una lista de tiendas que brindan números de WhatsApp, los consumidores pueden comunicarse con los vendedores en la tienda en la que desean comprar a través de WhatsApp, los pedidos se pueden realizar con la ayuda de los vendedores y así organizar las entregas (Caballero-Morales, 2021, Choi y Sethi, 2021).

Muchas empresas optaron por la capacidad de innovación para mejorar el rendimiento empresarial con el desarrollo de nuevos productos para satisfacer las necesidades de la actualidad (Christa y Kristinae, 2021). Otras emplearon sus materias primas para elaborar productos que, aunque no tenían ninguna relación con su línea de negocio, sí podrían ser de fácil venta debido a la crisis sanitaria; innovación en sus empaques, nuevas redes de distribución y llamativas campañas publicitarias fueron algunas de las ideas para incrementar ventas en tiempos de pandemia.

## EL DIFÍCIL PERO ESPERANZADOR CAMINO HACIA NUEVAS FORMAS DE CONSUMO

Los nuevos hábitos de consumo generados por las diferentes medidas de contención del virus SARS Cov 2 inciden directamente en el proceso de adaptación de las pymes (Wang *et al.*, 2020). Se debe mencionar que existe una reducción de gastos innecesarios por parte de los consumidores, haciendo ineludible que los oferentes deban considerar este cambio de niveles de bienestar como un *insight* para reevaluar y mejorar sus propuestas de valor al mercado, y sirva bajo este mecanismo como acelerante de la recuperación económica en las pymes (Obrenovic *et al.*, 2020).

Qin *et al.*, 2020 mencionan que las relaciones entre oferta y demanda en algunas industrias eran profundas. Por ejemplo, las pymes de las industrias de alojamiento, vacaciones, restaurantes, educación, cultura, deportes y aquellas dedicadas a brindar entretenimiento, se vieron afectadas directa y

severamente debido a las restricciones generalizadas de viaje y las órdenes de cuarentena diseñadas para frenar la propagación de la infección. Las restricciones y los bloqueos han devastado los destinos dependientes del turismo y han desplazado a millones de trabajadores vulnerables (Sónmez *et al.*, 2020). Lo que recuerda que estos negocios impulsan una economía de escala. Tras el turismo, crecen un sinnúmero de negocios adicionales como la hostelería, las cadenas de restaurantes, compañías de viajes y un sinnúmero de pymes dedicadas al entretenimiento (Fezzi y Fanghella, 2020), quienes comercializan bajo su propia marca, produciendo bienes finales para el mercado del entretenimiento (Ferna, 2015).

Pero ¿en qué radica la gran crisis del mercado turístico? La razón principal, la pandemia por la covid-19, la cual ha creado profundas marcas en el pensamiento y los sentimientos del turista, cambiando la forma en que viajan. Este punto de vista es diferente y teóricamente más sofisticado que los enfoques meramente descriptivos y técnicos que muestran un número cada vez menor de viajeros y reservas como consecuencia directa de la pandemia y las restricciones de viaje (Zenker y Kock, 2020). Cambiar la forma de pensar de las personas es una acción muy compleja, la crisis por la covid-19 se ha convertido en un paradigma para el desarrollo internacional y se debe tratar con un enfoque global (Oldekop *et al.*, 2020).

Este detalle permite evidenciar una primera visión, desde la cual, la relación o forma en que los clientes reciben el producto o servicio se convierte en un factor que incide fuertemente y en el cual deben trabajar las pymes para poder adaptarse y afrontar la pandemia.

Además del cambio de pensamiento y de la transformación de los hábitos de consumo de las personas, la mayoría de los países del mundo han impuesto cierres fronterizos parciales o completos, con prohibiciones de viaje que afectan al 93 % de la población mundial. Las industrias a nivel mundial de viajes, turismo y alojamiento se encuentran entre las más afectadas (Qiu *et al.*, 2020), con una pérdida calculada de más de USD 200 000 millones, excluyendo otras pérdidas de ingresos por viajes turísticos. Hubo una disminución del 82 % en la demanda de viajes aéreos a nivel mundial en el primer trimestre de 2020 y más del 90 % en Europa en comparación con 2019 (Akbar y Kisilowski, 2020). Cerca de 4,5 millones de cancelaciones de vuelos ya han causado una caída del 55 % en los ingresos (USD 314 000 millones) para la industria de las aerolíneas internacionales antes de finalizar mayo de 2020 (Sónmez *et al.*, 2020, Qiu *et al.*, 2020), obligando a algunas aerolíneas a suspender temporalmente sus operaciones, como Air Baltic, LOT Polish Airlines, La Compagnie y Scandinavian Airlines, y se pronostica que el desplome de estas aerolíneas costará a la industria de la aviación una pérdida cercana a los USD113 000 millones (Akbar y Kisilowski, 2020, Ozili y Arun, 2020).

## CONCLUSIONES

La crisis global por la covid-19 ha afectado al sector empresarial en todo el mundo; de hecho, después de que esta termine, no se puede esperar que la economía vuelva rápidamente a su estado normal. Los hábitos de compra, los métodos de fabricación y las formas de trabajar han cambiado,

lo que afectará el futuro de la economía. Los gobiernos nacionales comenzaron con su apoyo activo al sector empresarial de pequeñas y medianas empresas, aunque el nivel de su influencia sobre su funcionamiento difiere significativamente. Las instituciones que gestionan el apoyo al entorno empresarial no tienen las suficientes herramientas para preparar escenarios que ayuden a las pymes a recuperarse por completo de las consecuencias negativas que deja la pandemia sobre ellas.

Como se observa en este artículo, los desarrollos de la economía mundial y las tecnologías digitales proporcionan evidencia de que son realmente necesarios y útiles ante las situaciones de crisis, con el fin de mejorar la ventaja competitiva y asegurando la supervivencia de las empresas. Ahora que el mundo se prepara para una nueva etapa industrial en la que la tecnología y la innovación marcaran el paso de las actividades operativas, las pymes, a pesar de su limitada capacidad financiera, deben tomar la opción de llevar su negocio al mundo digital, que ahora tiene disponible diversas plataformas de las cuales pueden hacer uso. Esta opción digital es asequible y se puede implementar con una experiencia técnica mínima; lo cual puede ayudar a las pequeñas empresas a emprender operaciones virtuales en situaciones de bloqueo comunitario, como los casos que ocurren durante la pandemia por la covid-19.

En este panorama empresarial competitivo, las pymes que se encuentran en la etapa de crecimiento pueden implementar nuevas estrategias competitivas y sentar las bases para su evolución a largo plazo y conseguir el liderazgo del mercado. Además, el surgimiento de la pandemia actual por la covid-19 ofrece una oportunidad para el surgimiento de una generación de nuevos empresarios que lideren los próximos desafíos comerciales e inventen nuevas formas de hacer negocios utilizando la tecnología.

Finalmente se debe resaltar que no solo al tener éxito al adoptarse la digitalización en las pymes las llevará a flote durante la pandemia, también es necesario consolidar de mejor manera la fuerza financiera de las pequeñas y medianas empresas; por tal motivo, los créditos se convierten en un elemento importante a considerar para que las compañías puedan cumplir con sus objetivos. Además, se convierten en un desahogo para aquellas compañías que no pueden conseguir más inversión para su negocio, la importancia de las compañías que manejan este modelo de negocio no solo se refiere a un salvavidas para pequeñas y medianas empresas, sino que también en gran medida cierran el gran círculo que ayuda a crecer la economía de los países a nivel mundial.

## REFERENCES

[Ahsen *et al.*, 2021] Ahsen, M. E., Garimella, A., Subramanyam, R. y Wu, A. A. (2021). Keeping kids learning: Online crowdfunding communities respond to the COVID-19 Pandemic [En línea]. Manuscript submitted to MISQ – Confidential Review Copy (pp. 1-34). [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3779438](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3779438) ↑Ver página 194

- [Akbar y Kisilowski, 2020] Akbar, Y. H. y Kisilowski, M. (2020). To bargain or not to bargain: Airlines, legitimacy and nonmarket strategy in a COVID-19 world. *Journal of Air Transport Management*, 88, 101867. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101867> ↑Ver página 196
- [Aremu *et al.*, 2019] Aremu, A. Y., Shahzad, A. y Hassan, S. (2019). The impacts of enterprise resource planning system adoption on firm's performance among medium size enterprises. *International Journal of Information Systems and Social Change*, 11(1), 24-42. <https://doi.org/10.4018/ijissc.2020010103> ↑Ver página 194
- [Banco Mundial, 2015] Banco Mundial. (01 de junio de 2015). *El desempleo daña la salud en Latinoamérica* [En línea]. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2015/06/01/el-desempleo-danha-la-salud-en-latinoamerica> ↑Ver página 191
- [Banco Mundial, 2020a] Banco Mundial. (2020a). *El Banco Mundial confirma una crisis económica en África al sur del Sahara y delinea políticas fundamentales necesarias para la recuperación* [En línea]. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/10/08/world-bank-confirms-economic-downturn-in-sub-saharan-africa-outlines-key-policies-needed-for-recovery> ↑Ver página 190
- [Banco Mundial, 2020b] Banco Mundial. (2020b). *La región de América Latina y el Caribe debe contener el costo de la COVID-19 mientras espera por una vacuna* [En línea]. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/10/09/latin-america-caribbean-contain-costs-covid19> ↑Ver página 190
- [Battaglia *et al.*, 2020] Battaglia, F., Busato, F. y Manganiello, M. (2020). Equity crowdfunding: Brave market or safe haven for the crowd during the COVID-19 crisis? [En línea]. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3666021> ↑Ver página 194
- [Beaunoyer *et al.*, 2020] Beaunoyer, E., Dupéré, S. y Guitton, M. J. (2020). COVID-19 and digital inequalities: Reciprocal impacts and mitigation strategies. *Computers in Human Behavior*, 111, 106424. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106424> ↑Ver página 194
- [Becerra y Herrera, 2018] Becerra, M. y Herrera, M. (01 de julio de 2018). Planeación de capacidades operativas asociadas a la rentabilidad en empresas prestadoras de servicios. Un enfoque de dinámica de sistemas. *Tecnura*, 22(57), 32-43. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/9169> ↑Ver página 187
- [Bican y Brem, 2020] Bican, P. M. y Brem, A. (2020). Digital business model, digital transformation, digital entrepreneurship: Is there a sustainable "digital"? *Sustainability*, 12(13), 1-15. <https://doi.org/10.3390/su12135239> ↑Ver página 193, 194

- [Brickell *et al.*, 2020] Brickell, K., Picchioni, F., Natarajan, N., Guermond, V., Parsons, L., Zanello, G. y Bateman, M. (2020). Compounding crises of social reproduction: Microfinance, over-indebtedness and the COVID-19 pandemic. *World Development*, 136, 105087. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105087> ↑Ver página 194
- [Brown *et al.*, 2018] Brown, R., Lliares-Zegarra, J. M. y Wilson, J. O. S. (2018). What happens if the rules change? The impact of Brexit on the future strategic intentions of UK SMEs [En línea]. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3066614> ↑Ver página 189
- [Brown *et al.*, 2020] Brown, R., Rocha, A. y Cowling, M. (2020). Financing entrepreneurship in times of crisis: Exploring the impact of COVID-19 on the market for entrepreneurial finance in the United Kingdom. *International Small Business Journal: Researching Entrepreneurship*, 38(5), 380-390. <https://doi.org/10.1177/0266242620937464> ↑Ver página 188
- [Caballero-Morales, 2021] Caballero-Morales, S.-O. (2021). Innovation as recovery strategy for SMEs in emerging economies during the COVID-19 pandemic. *Research in International Business and Finance*, 57, 101396. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2021.101396> ↑Ver página 195
- [Cai y Luo, 2020] Cai, M. y Luo, J. (2020). Influence of COVID-19 on manufacturing industry and corresponding countermeasures from supply chain perspective. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 25(4), 409-416. <https://doi.org/10.1007/s12204-020-2206-z> ↑Ver página 191, 192
- [CCB] Cámara de Comercio de Bogotá (CCB). (l.s. f.). *Prevención productiva* [En línea]. <https://www.ccb.org.co/Prevencion-Productiva> ↑Ver página 191
- [CCB, 2021] Cámara de Comercio de Bogotá (CCB). (enero de 2021). *Reporte del mercado laboral para Bogotá y Colombia, Agosto 2021* [En línea]. <https://www.ccb.org.co/observatorio/Economia/Economia-dinamica-incluyente-e-innovadora/Mercado-laboral> ↑Ver página 191
- [Centre for Britain and Europe, 2020] Centre for Britain and Europe. (2020). *Analysing Brexit's impact on small and enterprises (SMEs)*. <https://www.surrey.ac.uk/sites/default/files/2019-10/analysing-brexit-impact-on-uk-small-and-medium-sized-enterprises.pdf> ↑Ver página 189
- [Cepal, 2020a] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). (2020a). *Balance preliminar de las economías de América Latina y el Caribe*. [En línea]. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46501-balance-preliminar-economias-america-latina-caribe-2020> ↑Ver página 190, 191



- [Cepal, 2020b] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). (2020b). *Impacto del COVID-19 en la economía de los Estados Unidos y respuestas de política* [En línea]. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45981-impacto-covid-19-la-economia-estados-unidos-respuestas-politica> ↑Ver página 190
- [Cepal, 2020c] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). (2020c). *Mipymes y el covid-19* [En línea]. <https://www.cepal.org/es/euromipyme/mipymes-covid-19> ↑Ver página 194
- [Cepal, 2020d] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). (2020d). *Observatory in Latin America and the Caribbean Economic and social impact*. <https://www.cepal.org/en/topics/covid-19> ↑Ver página 189, 192
- [Cepal, 2020e] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). (abril de 2020e). *La única opción estratégica en el mediano plazo para mitigar los efectos del COVID-19 en la región es avanzar hacia un nuevo modelo de desarrollo a través de una mayor integración* [En línea]. <https://www.cepal.org/es/comunicados/la-unica-opcion-estrategica-mediano-plazo-mitigar-efectos-covid-19-la-region-es-avanzar> ↑Ver página 191
- [Cepal, 2020f] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal). (junio de 2020f). *FAO y Cepal: millones de personas pueden caer en la pobreza extrema y el hambre en 2020 en América Latina y el Caribe debido al impacto de la pandemia* [En línea]. <https://www.cepal.org/es/comunicados/fao-cepal-millones-personas-pueden-caer-la-pobreza-extrema-hambre-2020-america-latina> ↑Ver página 191
- [Cowling et al., 2020] Cowling, M., Brown, R. y Rocha, A. (2020). Did you save some cash for a rainy COVID-19 day? The crisis and SMEs. *International Small Business Journal: Researching Entrepreneurship*, 38(7), 593-604. <https://doi.org/10.1177/0266242620945102> ↑Ver página 189, 192
- [Cowling et al., 2014] Cowling, M., Liu, W., Ledger, A. y Zhang, N. (2014). What really happens to small and medium-sized enterprises in a global economic recession? UK evidence on sales and job dynamics. *International Small Business Journal*, 33(5), 488-513. <https://doi.org/10.1177/0266242613512513> ↑Ver página 192
- [Cheng, 2020] Cheng, F. R. (2020). Supply chain thinking amid the COVID-19 outbreak: Lessons from beer game. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 35(3), 289-296. <https://doi.org/10.16418/j.issn.1000-3045.20200221001> ↑Ver página 192
- [Choi, 2020] Choi, T. M. (2020). Innovative “Bring-Service-Near-Your-Home” operations under Corona-Virus (COVID-19/SARS-CoV-2) outbreak: Can logistics become the Messiah? *Transportation Letters*, 12(1), 1-12. <https://doi.org/10.1080/15475174.2020.1769111> ↑Ver página 192

- tation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 140, 101961. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101961> ↑Ver página 187, 192
- [Choi y Sethi, 2021] Choi, T. M. y Sethi, S. (2021). Innovative service operations for survivals of SMEs under COVID-19: Two cases in Hong Kong. *IEEE Engineering Management Review*, 49(1), 50-54. <https://doi.org/10.1109/EMR.2021.3050406> ↑Ver página 195
- [Chowdhury y Shumon, 2020] Chowdhury, P. y Shumon, R. (2020). Minimizing the gap between expectation and ability: Strategies for SMEs to implement social sustainability practices. *Sustainability*, 12(16), 6408. <https://doi.org/10.3390/su12166408> ↑Ver página 192
- [Christa y Kristinae, 2021] Christa, U. R. y Kristinae, V. (2021). The effect of product innovation on business performance during covid 19 pandemic. *Uncertain Supply Chain Management*, 9(1), 151-158. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2020.10.006> ↑Ver página 195
- [DW, 2020] DW. (15 de octubre de 2020). *Ocho millones de personas han caído en la pobreza en Estados Unidos por la pandemia* [En línea]. <https://www.dw.com/es/ocho-millones-de-personas-han-caído-en-la-pobreza-en-estados-unidos-por-la-pandemia/a-55289998> ↑Ver página 190
- [Effendi *et al.*, 2020] Effendi, M. I., Sugandini, D. e Istanto, Y. (2020). Social media adoption in SMEs impacted by COVID-19: The TOE model. *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 7(11), 915-925. <https://doi.org/10.13106/jafeb.2020.vol7.no11.915> ↑Ver página 193
- [Eggers, 2020] Eggers, F. (2020). Masters of disasters? Challenges and opportunities for SMEs in times of crisis. *Journal of Business Research*, 116, 199-208. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.05.025> ↑Ver página 188, 189, 192
- [Fan *et al.*, 2016] Fan, V., Jamison, D. y Summers, L. (2016). *The inclusive cost of pandemic influenza risk*. National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w22137> ↑Ver página 190
- [Farhoud *et al.*, 2021] Farhoud, M., Shah, S., Stenholm, P., Kibler, E., Renko, M. y Terjesen, S. (2021). Social enterprise crowdfunding in an acute crisis. *Journal of Business Venturing Insights*, 15, e00211. <https://doi.org/10.1016/j.jbvi.2020.e00211> ↑Ver página 195
- [FSB, 2020] Federation of Small Businesses (FSB). (2020). *One in three closed small firms fear they'll never reopen amid widespread redundancy plans* [En línea]. <https://www.fsb.org.uk/resources-page/one-in-three-closed-small-firms-fear-they-ll-never-reopen-amid-widespread-redundancy-plans.html>. ↑Ver página 188

- [Ferna, 2015] Ferna, A. (2015). Entrepreneurial orientation and export intensity: Examining the interplay of organizational learning and innovation. *International Business Review*, 24(1), 148-156. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2014.07.004> ↑Ver página 196
- [Fezzi y Fanghella, 2020] Fezzi, C. y Fanghella, V. (2020). Real-time estimation of the short-run impact of COVID-19 on economic activity using electricity market data. *Environmental and Resource Economics*, 76, 885-900. <https://doi.org/10.1007/s10640-020-00467-4> ↑Ver página 196
- [Flynn, 2017] Flynn, A. (2017). Re-thinking SME disadvantage in public procurement. *Journal of Small Business and Enterprise Development*, 24(4), 991-1008. <https://doi.org/10.1108/JSBED-03-2017-0114> ↑Ver página 193, 195
- [FMI, 2020] Fondo Monetario Internacional (FMI). (2020). *IFM Annual report 2020. A year no other*. <https://www.imf.org/external/pubs/ft/ar/2020/eng/> ↑Ver página 187
- [Freeman *et al.*, 1983] Freeman, J., Carroll G. y Hannan, M. (1983). The liability of newness: Age dependence in organizational death rates. *American Sociological Review*, 48(5), 692-710. <https://doi.org/10.2307/2094928> ↑Ver página 192
- [Gu *et al.*, 2020] Gu, X., Ying, S., Zhang, W. y Tao, Y. (2020). How do firms respond to COVID-19? First evidence from Suzhou, China. *Emerging Markets Finance and Trade*, 56(10), 2181-2197. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2020.1789455> ↑Ver página 190
- [Hernández-Sánchez *et al.*, 2020] Hernández-Sánchez, B. R., Cardella, G. M. y Sánchez-García, J. C. (2020). Psychological factors that lessen the impact of covid-19 on the self-employment intention of business administration and economics' students from latin america. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(15), 1-22. <https://doi.org/10.3390/ijerph17155293> ↑Ver página 191
- [ICEX, 2020] ICEX, Red de oficinas Económicas y Comerciales de España en el Exterior (2020). *Reino unido, noticias* [En línea] <https://www.icex.es/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/paises/navegacion-principal/noticias/NEW2020859197.html?idPais=GB> ↑Ver página 189
- [Irimiás y Mitev, 2020] Irimiás, A. y Mitev, A. (2020). Change management, digital maturity, and green development: Are successful firms leveraging on sustainability? *Sustainability*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/SU12104019> ↑Ver página 193
- [Ishida, 2020] Ishida, S. (2020). Perspectives on supply chain management in a pandemic and the post-COVID-19 Era. *IEEE Engineering Management Review*, 48(3), 146-152. <https://doi.org/10.1109/EMR.2020.3016350> ↑Ver página 194

- [Johns Hopkins University, 2021] Johns Hopkins University. (2021). *COVID-19 Dashboard* [En línea]. Center for Systems Science and Engineering (CSSE) de Johns Hopkins University (JHU). Coronavirus Resource Center. <https://coronavirus.jhu.edu/map.html> ↑Ver página 187
- [Juergensen *et al.*, 2020] Juergensen, J., Guimón, J. y Narula, R. (2020). European SMEs amidst the COVID-19 crisis: Assessing impact and policy responses. *Journal of Industrial and Business Economics*, 47(3), 499-510. <https://doi.org/10.1007/s40812-020-00169-4> ↑Ver página 189, 193
- [Keskin *et al.*, 2010] Keskin, H., Sentürk, C., Sungur, O. y Kiris, H. (8-9 de junio de 2010). The importance of SMEs in developing economies. En *2nd International Symposium on Sustainable Development* (pp. 183-192). Sarajevo . <https://core.ac.uk/download/pdf/153446896.pdf> ↑Ver página 189
- [Kottika *et al.*, 2020] Kottika, E., Özsoyer, A., Rydén, P., Theodorakis, I. G., Kaminakis, K., Kottikas, K. G. y Stathakopoulos, V. (2020). We survived this! What managers could learn from SMEs who successfully navigated the Greek economic crisis. *Industrial Marketing Management*, 88, 352-365. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2020.05.021> ↑Ver página 188, 190, 192, 194
- [Liu *et al.*, 2013] Liu, Z., Xu, J. y Han, B. T. (2013). Small- and medium-sized enterprise post-disaster reconstruction management patterns and application. *Natural Hazards*, 68(2), 809-835. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0657-3> ↑Ver página 188, 192
- [Low *et al.*, 2020] Low, S., Ullah, F., Shirowzhan, S., Sepasgozar, S. M. E. y Lee, C. L. (2020). Smart digital marketing capabilities for sustainable property development: A case of Malaysia. *Sustainability*, 12(13). <https://doi.org/10.3390/su12135402> ↑Ver página 194
- [Lu *et al.*, 2020] Lu, Y., Wu, J., Peng, J. y Lu, L. (2020). The perceived impact of the Covid-19 epidemic: evidence from a sample of 4807 SMEs in Sichuan Province, China. *Environmental Hazards*, 19(4), 323-340. <https://doi.org/10.1080/17477891.2020.1763902> ↑Ver página 188, 192
- [Martin-Martin *et al.*, 2019] Martin-Martin, D., Romero, I. y Wegner, D. (2019). Individual, organizational, and institutional determinants of formal and informal inter-firm cooperation in SMEs. *Journal of Small Business Management*, 57, 1698-1711. <https://doi.org/10.1111/jsbm.12445> ↑Ver página 189, 192
- [Medina *et al.*, 2016] Medina, Y., Arevalo, Y. y Rico, D. (23 de agosto de 2016). Alineación estratégica bajo un enfoque organizacional de gestión tecnológica: ITIL & ISO 20000. *Tecnura*, 20(ed. esp.), 82-94. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/11681/12417> ↑Ver página 193

- [Mejía, 2020] Mejía, L. F. (2020). Choque dual y posibles efectos sobre la economía colombiana. *Tendencia Económica*, 204, 3-18 [https://www.fedesarrollo.org.co/sites/default/files/DocumentosTrabajo/2020-03-26\\_choque\\_dual\\_y\\_posibles\\_efectos\\_sobre\\_la\\_economia\\_colombiana.pdf](https://www.fedesarrollo.org.co/sites/default/files/DocumentosTrabajo/2020-03-26_choque_dual_y_posibles_efectos_sobre_la_economia_colombiana.pdf) ↑Ver página 191
- [Muller, Caliendo *et al.*, 2019] Muller, P., Caliendo, C., Peycheva, V., Gagliardi, D., Marzocchi, C., Ramlogan, R. y Cox, D. (2019). *Annual report on European SMEs 2018/2019*. European Union. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2826/500457> ↑Ver página 188
- [Muller, Robin *et al.*, 2019] Muller, P., Robin, N., Jonathan, S., Braun, H., Sophie, L., Farnenkopg, J., Caboz, S., Ivanova, M., Lange, A., Kelly, O., Sophia, T. y Pedersen, B. (2019). *Annual report on European SMEs by SMEs - Background document*. European Commission. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/cadb8188-35b4-11ea-ba6e-01aa75ed71a1/language-en> ↑Ver página 188
- [Muñoz y Mayor, 2015] Muñoz, Á. y Mayor, M. P. (2015). Las pymes en América Latina, Japón, la Unión Europea, Estados Unidos y los clúster en Colombia. *Administración y Desarrollo*, 45(1), 7-24. ↑Ver página 190, 191
- [Nicola *et al.*, 2020] Nicola, M., Alsafi, Z., Sohrabi, C., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Iosifidis, C., Agha, M. y Agha, R. (2020). The socio-economic implications of the coronavirus pandemic (COVID-19): A review. *International Journal of Surgery*, 78, 185-193. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2020.04.018> ↑Ver página 193
- [Nowakowska-Grunt *et al.*, 2018] Nowakowska-Grunt, J., Kowalczyk, A. y Wojtaszek, H. (2018). Prospects for development of the SME sector in Poland in the, field of government's policy towards small and medium-sized enterprises. *World Scientific News*, 103, 234-244. ↑Ver página 188
- [Obrenovic *et al.*, 2020] Obrenovic, B., Du, J., Godinic, D., Tsoy, D., Khan, M. A. S., & Jakhongirov, I. (2020). Sustaining enterprise operations and productivity during the COVID-19 pandemic: "Enterprise Effectiveness and Sustainability Model". *Sustainability*, 12(15), 5981. <https://doi.org/10.3390/su12155981> ↑Ver página 187, 195
- [OFR, 2021] Office of Financial Research (OFR). (2021). *OFR financial stress index* [En línea]. <https://www.financialresearch.gov/financial-stress-index/> ↑Ver página 190
- [Oldekop *et al.*, 2020] Oldekop, J. A., Horner, R., Hulme, D., Adhikari, R., Agarwal, B., Alford, M., Bakewell, O., Banks, N., Barrientos, S., Bastia, T., Bebbington, A. J., Das, U., Dimova, R., Duncombe, R., Enns, C., Fielding, D., Foster, C., Foster, T., Frederiksen, T., ... Zhang, Y. F. (2020). COVID-19 and the case for global development. *World Development*, 134, 105044. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105044> ↑Ver página 196

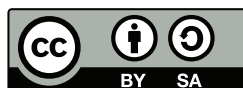
- [ONS, 2021] Office for National Statistics (ONS). (2021). *UK economy latest* [En línea]. <https://www.ons.gov.uk/economy/economicoutputandproductivity/output/articles/ukeconomylatest/2021-01-25> ↑Ver página 189
- [OECD, 2020] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2020). *COVID-19 Global Pandemic: Joint Statement by the OECD Development Assistance Committee*. <https://www.oecd.org/dac/development-assistance-committee/daccovid19statement.htm> ↑Ver página 189
- [ONU, 2020] Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2020). *África podría perder la mitad de su producto interno bruto por la crisis del coronavirus COVID-19* [En línea]. News.un.org. <https://news.un.org/es/story/2020/03/1471292> ↑Ver página 189
- [ONU, 2021] Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2021). *The 2014-2020 Period will mark the lowest growth in the last seven decades for Latin American and Caribbean economies: ECLAC* [En línea]. <https://www.cepal.org/en/pressreleases/2014-2020-period-will-mark-lowest-growth-last-seven-decades-latin-american-and> ↑Ver página 192
- [OIT, 2020] Organización Internacional del Trabajo (OIT). (2020). *Impactos en el mercado de trabajo y los ingresos en América Latina y el Caribe*. [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/documents/publication/wcms\\_749659.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/documents/publication/wcms_749659.pdf) ↑Ver página 191
- [Ozili y Arun, 2020] Ozili, P. K. y Arun, T. (2020). Spillover of COVID-19: Impact on the global economy. *SSRN Electronic Journal* [En línea]. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3562570> ↑Ver página 196
- [Pacto Global Red Colombia, 2020] Pacto Global Red Colombia. (abril de 2020).#*Consultorio Pymes. Una buena noticia para las pymes en medio de la crisis COVID19. Consultorio de S.O.S.tenibilidad Pymes Latam* [En línea]. <https://www.pactoglobal-colombia.org/news/consultorio-de-s-o-s-tenibilidad-pymes-latamtm.html> ↑Ver página 193
- [Pan y Zhang, 2020] Pan, S. L. y Zhang, S. (2020). From fighting COVID-19 pandemic to tackling sustainable development goals: An opportunity for responsible information systems research. *International Journal of Information Management*, 55, 102196. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102196> ↑Ver página 194
- [Papadopoulos et al., 2020] Papadopoulos, T., Baltas, K. N. y Balta, M. E. (2020). The use of digital technologies by small and medium enterprises during COVID-19: Implications for theory and practice. *International Journal of Information Management*, 55, 102192. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102192> ↑Ver página 194

- [Pattnaik *et al.*, 2020] Pattnaik, D., Hassan, M. K., Kumar, S. y Paul, J. (2020). Trade credit research before and after the global financial crisis of 2008 – A bibliometric overview. *Research in International Business and Finance*, 54, 101287. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2020.101287> ↑Ver página 194
- [Pava *et al.*, 2020] Pava, R., Pérez, J. y Niño, L. (3 de noviembre de 2020). Perspectiva para el uso del modelo P6 de atención en salud bajo un escenario soportado en IoT y blockchain. *Tecnura*, 25(67), 112-130. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/16159/16858> ↑Ver página 194
- [Portafolio, 2020] Portafolio.co (29 de enero de 2021). Colombia cerró el 2020 con una tasa de desempleo en 15,9% [En línea]. <https://www.portafolio.co/economia/tasa-de-desempleo-en-colombia-2020-dane-548662> ↑Ver página 191
- [PNUD, 2020] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2020). *El PIB de Sudáfrica podría caer un 8% este año debido a la pandemia* [En línea]. [https://www.undp.org/content/undp/es/home/news-centre/news/2020/South\\_Africa\\_GDP\\_will\\_take\\_at\\_least\\_five\\_years\\_to\\_recover\\_from\\_COVID19\\_impact\\_says\\_UNDP\\_study.html](https://www.undp.org/content/undp/es/home/news-centre/news/2020/South_Africa_GDP_will_take_at_least_five_years_to_recover_from_COVID19_impact_says_UNDP_study.html) ↑Ver página 189
- [Qin *et al.*, 2020] Qin, X., Huang, G., Shen, H., & Fu, M. (2020). COVID-19 Pandemic and firm-level cash holding - Moderating effect of goodwill and goodwill impairment. *Emerging Markets Finance and Trade*, 56(10), 2243-2258. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2020.1785864> ↑Ver página 187, 191, 195
- [Qiu *et al.*, 2020] Qiu, R. T. R., Park, J., Li, S. N. y Song, H. (2020). Social costs of tourism during the COVID-19 pandemic. *Annals of Tourism Research*, 84, 102994. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2020.102994> ↑Ver página 196
- [Red Española del Pacto Mundial, 2020] Red Española del Pacto Mundial. (2020). *Pymes y COVID-19: hacia una recuperación sostenible*. <https://www.pactomundial.org/wp-content/uploads/2020/06/Guía-Pymes-y-COVID-19-hacia-una-recuperación-sostenible.pdf> ↑Ver página 193
- [Rodríguez, 2020] Rodríguez, M. (abril de 2020). La aplicación de la tecnología *blockchain* en el *crowdfunding*: cómo tokenizar un proyecto. *E-Dictum*, 98. [https://dictumabogados.com/wp-content/uploads/2020/04/actualidad\\_profesional\\_abril\\_2020.pdf](https://dictumabogados.com/wp-content/uploads/2020/04/actualidad_profesional_abril_2020.pdf) ↑Ver página 194
- [Seddighi *et al.*, 2020] Seddighi, H., Seddighi, S., Seddighi, S., Salmani, I. y Sharifi Sedeh, M. (2020). Public-private-people partnerships (4P) for improving the response to COVID-19 in Iran. *Disas-*

- ter Medicine and Public Health Preparedness*, 15(1), E44-E49. <https://doi.org/10.1017/dmp.2020.202> ↑Ver página 195
- [Shahzad *et al.*, 2020] Shahzad, A., Hassan, R., Abdullah, N. I., Hussain, A. y Fareed, M. (2020). COVID-19 impact on e-commerce usage: An empirical evidence from Malaysian healthcare industry. *Humanities and Social Sciences Reviews*, 8(3), 599-609. <https://doi.org/10.18510/hssr.2020.8364> ↑Ver página 194
- [Silvestre, 2015] Silvestre, B. S. (2015). Sustainable supply chain management in emerging economies: Environmental turbulence, institutional voids and sustainability trajectories. *International Journal of Production Economics*, 167, 156-169. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.05.025> ↑Ver página 192
- [Sönmez *et al.*, 2020] Sönmez, S., Apostolopoulos, Y., Lemke, M. K. y Hsieh, Y. C. (Jerrie). (2020). Understanding the effects of COVID-19 on the health and safety of immigrant hospitality workers in the United States. *Tourism Management Perspectives*, 35, 100717. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2020.100717> ↑Ver página 196
- [Thompson *et al.*, 2020] Thompson, H. A., Mousa, A., Dighe, A., Fu, H., Arnedo-Pena, A., Barrett, P., Bellido-Blasco, J., Bi, Q., Caputi, A., Chaw, L., De Maria, L., Hoffmann, M., Mahapure, K., Ng, K., Raghuram, J., Singh, G., Soman, B., Soriano, V., Valent, F., ... Tungku Link, J. (2020). *Report 38: SARS-CoV-2 setting-specific transmission rates: a systematic review and meta-analysis*. Imperial College London. <https://doi.org/10.25561/84270> ↑Ver página 187
- [United States Department of Labor, 2021] United States Department of Labor. (2021). *Workers ages 25 to 54 more likely to telework due to COVID-19 in February 2021* [En línea]. <https://www.bls.gov/opub/ted/2021/workers-ages-25-to-54-more-likely-to-telework-due-to-covid-19-in-february-2021.htm> ↑Ver página 190
- [Vu *et al.*, 2020] Vu, C. T., Hoang, A. D., Than, V. Q., Nguyen, M. T., Dinh, V. H., Le, Q. A. T., Le, T. T. T., Pham, H. H. y Nguyen, Y. C. (2020). Dataset of Vietnamese teachers' perspectives and perceived support during the COVID-19 pandemic. *Data in Brief*, 31, 105788. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105788> ↑Ver página 193
- [Wang *et al.*, 2020] Wang, Y., Hong, A., Li, X. y Gao, J. (2020). Marketing innovations during a global crisis: A study of China firms' response to COVID-19. *Journal of Business Research*, 116, 214-220. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.05.029> ↑Ver página 194, 195
- [Ward, 2020] Ward, M. (2020). South Africa's COVID-19 lockdown dilemma. *Emerald Emerging Markets Case Studies*, 10(3), 1-10. <https://doi.org/10.1108/EEMCS-05-2020-0146> ↑Ver página 193



- [Winarsih *et al.*, 2021] Winarsih, Indriastuti, M. y Fuad, K. (2021). Impact of covid-19 on digital transformation and sustainability in small and medium enterprises (smes): a conceptual framework. En L. Barolli, A. Poniszewska-Maranda y T. Enokido (eds.), *Complex, intelligent and software intensive systems. CISIS 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 1194). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-50454-0\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-030-50454-0_48) ↑Ver página 194
- [Yemelyanov *et al.*, 2020] Yemelyanov, O., Petrushka, T., Symak, A., Trevoho, O., Turylo, A., Kurylo, O., Danchak, L., Symak, D. y Lesyk, L. (2020). Microcredits for sustainable development of small ukrainian enterprises: Efficiency, accessibility, and government contribution [En línea]. *Sustainability*, 12(15). <https://doi.org/10.3390/su12156184> ↑Ver página 192, 194
- [Yoshino y Taghizadeh-hesary, 2018] Yoshino, N. y Taghizadeh-hesary, F. (2018). *The roles of SMEs in Asia and their difficulty in assessing finance*. ADBI Working Paper No. 911. Asian Development Bank Institute. <https://www.adb.org/publications/role-smes-asia-and-theirdifficulties-accessing-finance>. ↑Ver página 189
- [Zenker y Kock, 2020] Zenker, S. y Kock, F. (2020). The coronavirus pandemic – A critical discussion of a tourism research agenda. *Tourism Management*, 81, 104164. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2020.104164> ↑Ver página 196
- [Zimon *et al.*, 2020] Zimon, G., Sobolewski, M. y Lew, G. (2020). An influence of group purchasing organizations on financial security of SMEs operating in the renewable energy sector-case for Poland. *Energies*, 13(11), 2926. <https://doi.org/10.3390/en13112926> ↑Ver página 189, 193, 194



## CONTENT

- Scope and editorial policy of the journal
- Type of accepted articles
- Article format
- Article submission
- Publication procedure
- Article arbitration
- Contact

Tecnura journal is an institutional publication of the Faculty of Technology from University Francisco José de Caldas. It is a scientific and technological publication with quarterly periodicity, which is published in January, April, July and October. The first issue appeared in the second semester of 1997 and up to now it has maintained its regularity.

The areas of interest of Tecnura journal are focused on all engineering fields such as electronics, telecommunications, electricity, systems, industrial, mechanics, cadastral, civil, environmental, among others. However, it is not restricted to those; it also has room for education and health issues, as long as they are related to engineering. The journal will only publish concerning scientific and technological research, reflection and revision. In consequence, during the initial editorial evaluation, short articles and case reports will be rejected.

Tecnura Journal is addressed for professors, researchers, students and professionals interested in permanent update of their knowledge and follow-up of scientific-technologic processes in the field of engineering. Tecnura Journal has as mission to disseminate results of research projects in the areas of engineering, through the publication of original and unpublished articles, conducted by academics and professionals accredited by public or private national or foreign institutions. Articles submitted to Tecnura journal must be unpublished works written in Spanish or English; nevertheless, preference will be given to articles that show innovative concepts of great interest, related to the objective and scope of the journal.

Tecnura is an academic publication indexed in the Regional Index Scielo Colombia (Colombia) and Redalyc (México); as well as of the following bibliographic databases: INSPEC of the Institution of Engineering and Technology (England), Fuente Académica Premier of EBSCO (United States), CABI (England), Index Copernicus (Poland), Informe Académico of Gale Cengage Learning (México), Periódica from the Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (Spain) and Dialnet from the Universidad de la Rioja (Spain). It is also part of the following directories: Online

Regional Information System for Scientific journals from Latin America, Caribbean, Spain and Portugal Latindex (México), Bibliographic Index Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (Spain), DOAJ (Sweden) and Ulrich of Proquest (United States).

Tecnura is a journal arbitrated by a revision process among double blind peers. The schedule of the conformation of its scientific and editorial committee is subject to the publication of articles in internationally indexed journals by their members.

District University Francisco José de Caldas, its directors, the editor, the editorial and scientific committee are not responsible for the opinions and the criteria expressed in the content of the articles and they are published under the exclusive responsibility of the authors and do not necessarily reflect the ideas of the editorial committee.

In addition to the printed version, Tecnura journal also has a digital version available in its web page: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index>

## TYPE OF ARTICLES ACCEPTED

According to the classification of the Scientific and Technological Publications National Index (Publindex-Colciencias), Tecnura journal receives nominations of unpublished articles on the following topics:

- **Scientific and technological research articles:** document that presents, in a detailed manner, the original results of research projects. The generally used structure contains four main parts: introduction, methodology, results and conclusions.
- **Reflection articles:** document that presents research results from an analytic, interpretative or critic perspective from the author, dealing with a specific topic and adopting original sources.
- **Review article:** document that results from a research where the results of published or unpublished research on a science or technology field are analyzed, systematized and integrated, in order to state the advances and tendencies in development. It is characterized for presenting a careful bibliographical review of at least 50 references.

## ARTICLE FORMAT

### About the appropriate language and style for articles writing

- Authors must use simple sentence structures, avoiding those too long or complex.
- The vocabulary used must be basic and common. Technical language must be briefly explained; also, the meaning of the acronyms must be given the first time they appear in the text.
- The authors are responsible for their work to be conducted in a professional and ethic manner.

## About the length of articles

The articles should not exceed 25 pages in letter size and double space, with symmetric margins of 3 cm. Only in the case of review articles, these 25 pages do not include references.

## About the presentation format

Submitted articles must be unpublished works written in Spanish or English, and must be typed in Microsoft Word (2003 and beyond), complying with the following indications:

- *Times New Roman* letter, 12 point (except it is required for some sections).
- One column, double-spaced.
- All the margins 3 cm.
- Paragraphs should be justified without spaces between consecutives and without cutting words.
- Do not include page breaks or section finals.
- If you want to emphasize words or phrases from the text, do not use bold letters but italic.
- Decimals should be pointed with comma (,) and not with period (.).
- Thousands and millions should be pointed with a fine space.
- Avoid footnotes.
- Arabic nomenclature must be used only until the third level.

## About the article structure

The papers must have the following structure and comply with the following requirements:

### Composition of an article

All the articles submitted for evaluation and possible publication by the Tecnura Journal must have at least the following components:

- Title in Spanish and English.
- Information about the authors.
- Abstract in Spanish and English.
- Key words in Spanish and English.
- Introduction.
- Conclusions.

- Future work (optional).
- Acknowledgements (optional).
- Bibliographical references.

If the article is related to scientific and technological research must have, in addition to the above, the following components:

- Methodology.
- Results.
- Financing.

### *Title*

The title of the article must be short or divided in title and subtitle, attractive for the potential reader and written in capital letters. It should appear centered between the margins, written in *Times New Roman* letter, in bold, font size 18. The title of the article has to be in Spanish and English separated by double space. Maximum 20 words.

### *Authors*

After the title the complete name(s) of the author(s) must be written, with their basic biographical data: undergraduate degree, graduate degree, occupation or position, institutional affiliation (institution where they work), dependency, city, country and e-mail. The above information must be immediately below the author's name.

### *Abstract*

The scope and purpose of the work must be established giving a clear and concise description of the methodology, results presented and the conclusions obtained. Maximum of 250 words.

### *Keywords*

Between three and ten keywords must be chosen, written in English with *Times New Roman* letter in bold and italic.

Key words must be written in alphabetic order and must be as standard as possible, for which it is suggested the use of international databases according to the area of knowledge. For example, in the area of Electrics and Electronics it is suggested to use the IEEE thesaurus and World Bank thesaurus that can be accessed at the following web pages respectively:

[http://www.ieee.org/documents/2009Taxonomy\\_v101.pdf](http://www.ieee.org/documents/2009Taxonomy_v101.pdf)

<http://multites.net/mtsql/wb/site/default.asp>

## *Abstract in Spanish*

Translation to the Spanish language of the text that appears in the abstract, it must be correct and precise.

## *Keywords in Spanish*

Translation to the English language of the keywords in Spanish, they must be correct and precise.

Keywords must be written in the order of the English version and must be as standard as possible, for which it is suggested the use of international databases according to the area of knowledge. For example, in the area of Electrics and Electronics it is suggested to use the UNESCO thesaurus that can be found at the following web pages:

<http://databases.unesco.org/thessp>

## *Introduction*

The general idea of the work must be described, its context, backgrounds, state of the art of the topic, objectives and possible scope of the work.

## *Methodology*

The writing of this part must allow any specialized professional in the topic to replicate the research.

## *Results*

Explanation and interpretation of the findings. If necessary, a brief discussion focused on the interpretation of the results can be presented.

## *Conclusions*

Implication of the results and their relation to the proposed objective.

## *Financing*

Mention the associated research from which the article was derived and the entity that endorsed and financed the research.

## *Acknowledgments*

They should preferably be brief and include the essential contributions for the development of the paper.

## *Equations*

Equations must appear centered with respect to the main text. They must be referenced with consecutive numbers (written in parenthesis close to the right margin). Equations are cited in the main text employing the word equation, and followed by the number in parenthesis. Equations must be made in an appropriate equation editor and compatible with "InDesign" software, as for example the equation editor of Windows.

### *Tables*

In the case of implementation of tables, it is recommended that these are not inserted as images, considering that in that format they cannot be modified. The title of each table must include the word table (in italic) followed by the corresponding consecutive number and a brief name of the table. The heading must be written in TNR letter, italic and font size 9.

Charts are not presented but tables and they should be automatically raised from the text processor. Tables should be named and referenced in the article, in strict order. Every table must have at the bottom the source from which it was taken, or to mention self-authorship if it is the case.

### *Figures*

All the figures or pictures have to be sent in JPG or PNG format with a minimum resolution of 300 DPI, adapted to gray scale.

The footnote or name of each figure must include the word figure (in italic) followed by the corresponding consecutive number and a brief description of the content of the figure. The footnote of the figure must be written in Times New Roman letter, italic and font size 9. Figures must be named and referenced in the article, in strict order. Every figure must have at the bottom the source from which it was taken, or to mention self-authorship if it is the case.

### *Symbols*

The symbols of the constants, variables and functions in Latin or Greek letters –included in the equations- must be in italic; the mathematical symbols and the numbers do not go in italic. The symbols must be identified immediately after the equation. Units, dimensions and symbols of the international system must be used.

When using acronyms or abbreviations, the complete equivalence should be written first, followed by the corresponding acronym or abbreviation in parenthesis and from there it is only written the respective acronym or abbreviation.

### *Bibliographic references*

The adopted reference citation style by Tecnura journal is APA sixth edition. The cites, bibliographic references and infography are included in the last part of the article. The bibliographic references must be alphabetically ordered according to the author's first surname, without numbering.

There should only appear the cited references in the main body of the work, in tables or in figures.

It means, in the list there should not appear other references although they have been consulted by the authors for the work preparation. We suggest using tools such as: Cites and bibliography from Microsoft Word (for APA sixth edition version 2013 or superior), Zotero, Mendeley, among others.

The call for a bibliographic reference is inserted in the text, at the pertinent point, under certain characteristics:

- If the sentence includes the author's surname, it should only be written the date into a parenthesis, for instance:  
Cuando Vasco (2012), analizó el problema de presentado en . . .
- When the author is not included in the sentence, surname and date must be into a parenthesis.  
La investigación de materiales dio una visión en el área (Martínez, 2012).
- If the document or work has more than two authors, the first cite must include all the surnames.  
1990. (Fernández Morales, Villa Krieg & Caro de Villa, 2008) . . .
- In the following mentions, it must only be written the author's first surname, followed by "et al.". En cuanto al estudio de las aguas, Fernández Morales et al. (2008) encontraron que . . .
- When the document or work has more than six authors, it must be used from the first mention "et al."

Next it is described a series of examples of the more used references, according to the reference style adopted by Tecnura journal:

## Periodical Publications:

### *Basic Form*

Surnames, A. A., Surnames, B. B. & Surnames, C. C. (Date). Article's title. Title of the publication, volume (number), pp. xx-xx. doi: xx.xxxxxxx

### *Basic article*

Guevara López, P., Valdez Martínez, J., Agudelo González, J., & Delgado Reyes, G. (2014). Aproximación numérica del modelo epidemiológico SI para la propagación de gusanos informáticos, simulación y análisis de su error. *Revista Tecnura*, 18(42), 12 -23. doi:<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.4.a01>

### *Web article*

Rodríguez Páez, S., Fajardo Jaimes, A., & Páez Rueda, C. (2014). Híbrido rat-race miniaturizado para la banda ISM 2,4 GHZ. *Revista Tecnura*, 18(42), 38-52. Recuperado de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/8059/9675>



## Books:

### *Basic Form*

Surnames, A. A. (Year). Title. City: Editorial.

Surnames, A. A. (Year). Title. Recovered from <http://www.xxxxxx.xxx>

Surnames, A. A. (Year). Title. doi: xx.xxxxxxxx

Surnames, A. A. (Ed.). (Year). Title. City: Editorial.

### *Book with author*

Goleman, D. (2000). La inteligencia emocional: Por qué es más importante que el cociente intelectual. México: Ediciones B.

### *Book with editor:*

Castillo Ortiz, A. M. (Ed.). (2000). Administración educativa: Técnicas, estrategias y prácticas gerenciales. San Juan: Publicaciones Puertorriqueñas.

### *Book electronic version:*

Montero, M. & Sonn, C. C. (Eds.). (2009). Psychology of Liberation: Theory and applications. [Versión de Springer]. doi: 10.1007/978-0-387-85784-8

## Technical report:

### *Basic Form*

Surnames, A. A. (Year). Title. (Report No. xxx). City: Editorial

### *Report with authors*

Weaver, P. L., & Schwagerl, J. J. (2009). U. S. *Fish and Wildlife Service refuges and other nearby reserves in Southwestern Puerto Rico*. (General Technical Report IITF-40). San Juan: International Institute of Tropical Forestry.

### *Report from a Government agency*

Federal Interagency Forum on Child and Family Statistics. America's Children: Key National Indicators of Well-Being, 2009. Washington, DC: U.S. Government Printing Office. Recuperado de <http://www.childstats.gov/pubs/index.asp>

## Thesis

### *Basic form*

Surnames, A. A. (Year). Title. (Unpublished master or doctorate thesis). Institution name, Location.

## *Unpublished thesis, printed*

Muñoz Castillo, L. (2004). *Determinación del conocimiento sobre inteligencia emocional que poseen los maestros y la importancia que le adscriben al concepto en el aprovechamiento de los estudiantes*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Metropolitana, San Juan, PR.

## *Commercial database thesis*

Santini Rivera, M. (1998). *The effects of various types of verbal feedback on the performance of selected motor development skills of adolescent males with Down syndrome*. (Tesis doctoral). Disponible en la base de datos ProQuest Dissertations and Theses. (AAT 9832765).

## *Web thesis*

Aquino Ríos, A. (2008). *Análisis en el desarrollo de los temas transversales en los currículos de español, matemáticas, ciencias y estudios sociales del Departamento de Educación*. (Tesis de maestría, Universidad Metropolitana). Recuperado de [http://suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis\\_Educacion/ARAquinoRios1512.pdf](http://suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis_Educacion/ARAquinoRios1512.pdf)

## **Standards or patents**

### *Basic form*

Surnames, A. A. Title of the patent. Country and number of the patente. Classification of the patent, date of official license. Number and date of patent request, pagination.

Hernández Suárez, C. A., Gómez Saavedra, V. A., & Peña Lote, R. A. Equipo medidor de indicadores de calidad del servicio de energía eléctrica para usuario residencial. Colombia., 655. G4F 10/0, 15 de Marzo 2013. 27 de Octubre 2011, 147

## **ARTICLE SUBMISSION**

Authors must submit their articles through the application Open Journal System in digital format, attaching the cover letter and the article-authors format.

### **Cover letter**

The article must be submitted with a cover letter addressed to the director and editor of the journal, Engineer Cesar Augusto Garcia Ubaque, including:

- Specific request to consider your article to be published in Tecnura journal.
- Full title of the article.
- Full names of all the authors of the paper.
- Certification of the originality and unpublished character of the paper.

- Exclusivity of submission to Tecnura journal.
- Authoring confirmation with signature of all the authors.

This letter must be signed by all the authors, scanned and sent with the remaining requested documents.

### **Article-authors information format**

The article has to be submitted with an information format about the article and its authors which can be downloaded from the web page of Tecnura journal <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index>, in the section "Forms and Documents". It is important to complete all the fields of information requested, some of them have comments to clarify better what is being requested. The format must not be scanned.

### **Article**

Article in digital format (Word 2003 and later editions) that complies with all the presentation rules described in chapter three, "Article structure", of this guide of instructions for authors.

### **PUBLICATION PROCEDURE**

The procedure to be followed by Tecnura journal for the evaluation and possible publication of the papers sent by the authors is the following in chronological order:

1. Delivery of the article with the cover letter and the information format by the authors.
2. Notification to the author about the reception of the article.
3. Verification of the presentation rules by the monitor of the journal.
4. Notification to the author about the evaluation of the presentation rules.
5. Submission of corrections made by the authors related to the evaluation of presentation rules.
6. Submission of the articles to the selected arbitrators.
7. Notification of the beginning of the arbitration process of the article.
8. Notification to the authors about the decision made by the editorial committee, and about the evaluations made by the arbitrators.
9. Delivery of the corrections made by the authors with respect to the evaluations made by the arbitrators.
10. Study of the final version of the article and the evaluations of the arbitrators by the editorial committee.

11. Delivery by the authors of the letter that surrenders right to the editor of the journal.
12. Submission of the version with style corrections and diagrammed to the authors.
13. Verification of errors and final approval of the version with style corrections and diagrammed by the authors.
14. Publication of the article in the corresponding number of Tecnura journal.
15. Notification to the authors of the number of interest.
16. Delivery of a copy of the journal to each one of the authors of the published article.

## ARTICLE ARBITARION PROCESS

Considering the quarterly periodicity of the journal, the Editorial Committee makes four calls every year for the submission of articles, approximately in the months of February, May, August and November. The articles will be received until the date established in the call.

Once received the articles, the monitor of the journal will make an initial form evaluation to verify the completion of the elements mentioned in this guide of instructions to authors. After receiving again the article with the requested corrections by the journal's monitor, the paper will be submitted to evaluation by three academic peers (through time it is expected to include more external peers to participate in the process).

Each article sent to Tecnura journal is checked by two expert academic peers external to the institution of the authors, by a process of "Peer-review" of double blind, guaranteeing the anonymity of authors and evaluators; every paper sent is considered confidential and so it is demanded to evaluators.

Possible conclusions of the result of the evaluation by the judges are only three: publish the article without modifications, publish the article with modifications and not publish the article.

Subsequently, the Editorial Committee takes the decision to publish or not the articles, based on the results of the evaluations made by the assigned arbitrators. In case of contradictions in the evaluations with respect to the publication of an article, the editorial committee will send the article to a third peer and will be inclined for the two evaluations that have the same concept with respect to the publication of the article.

In each call the main author must suggest at least four possible external arbitrators to his work institution evaluators, who must be specialists in the specific topic of the article sent and must have at least Masters level, and at least two must to be international. Potential evaluators can belong to a university or industry, public or private; their complete names must be provided, highest academic formation, institutional affiliation and e-mail. The editorial committee will analyze these four potential evaluators in order to enrich the database of arbitrators of Tecnura journal.

The Editorial Committee of Tecnura journal reserves the right to print, reproduce total or partially the article, as the right to accept or reject it. In the same way, it has the right to make any editorial modification that considers necessary; in this case the author will receive written recommendations from the evaluators. If accepted, authors must deliver the article with the suggested adjustments within the dates given by the journal to guarantee its publication in the programmed number.

## CONTACT

For any additional information request, please send an e-mail to Tecnura journal [tecnura@udistrital.edu.co](mailto:tecnura@udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com) or by mail to Cesar Augusto Garcia Ubaque, Director and Publisher of Tecnura Journal, to the following address:

Tecnura Journal  
Journals Room, Block 5, Office 305.  
Faculty of Technology  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Transversal 70 B N. 73 a 35 sur  
Phone: 571-3239300 Extension: 5003  
Mobile: 57-3153614852  
Bogotá D.C., Colombia  
Email:  
[tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co](mailto:tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com)  
Web page:  
<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/index>

## CONTENIDO

- Alcance y política editorial de la revista
- Tipos de artículos aceptados
- Formato del artículo
- Envío de artículos
- Procedimiento para la publicación
- Arbitraje de artículos
- Contacto

## ALCANCE Y POLÍTICA EDITORIAL DE LA REVISTA

La revista *Tecnura* es una publicación institucional de la Facultad Tecnológica de la Universidad Francisco José de Caldas, de carácter científico-tecnológico con periodicidad trimestral, que se publica los meses de enero, abril, julio y octubre. Su primer número apareció en el segundo semestre del año 1997 y hasta la fecha ha mantenido su regularidad.

Las áreas temáticas de interés de la revista *Tecnura* están enfocadas a todos los campos de la ingeniería, como la electrónica, telecomunicaciones, electricidad, sistemas, industrial, mecánica, catastral, civil, ambiental, entre otras. Sin embargo, no se restringe únicamente a estas, también tienen cabida los temas de educación y salud, siempre y cuando estén relacionados con la ingeniería. La revista publica únicamente artículos de investigación científica y tecnológica, de reflexión y de revisión. En consecuencia, durante la fase de evaluación editorial inicial se rechazarán los artículos cortos y reportes de caso.

La revista *Tecnura* está dirigida a docentes, investigadores, estudiantes y profesionales interesados en la actualización permanente de sus conocimientos y el seguimiento de los procesos de investigación científico-tecnológica, en el campo de las ingenierías. Tiene como misión divulgar resultados de proyectos de investigación realizados en el área de las ingenierías, a través de la publicación de artículos originales e inéditos, realizados por académicos y profesionales pertenecientes a instituciones nacionales o extranjeras del orden público o privado. Los artículos presentados deben ser trabajos inéditos escritos en español o inglés; sin embargo, tendrán preferencia los artículos que muestren conceptos innovadores de gran interés, que traten sobre asuntos relacionados con el objetivo y cobertura temática de la revista.

Tecnura es una publicación de carácter académico indexada en los Índices Regionales Scielo Colombia (Colombia) y Redalyc (México), además de las siguientes bases bibliográficas: INSPEC del Institution of Engineering and Technology (Inglaterra), Fuente Académica Premier de EBSCO (Estados Unidos), CABI (Inglaterra), Index Copernicus (Polonia), Informe Académico de Gale Cengage Learning (México), Periódica de la Universidad Nacional Autónoma de México (México), Oceanet (España) y Dialnet de la Universidad de la Rioja (España). También hace parte de los siguientes directorios: Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Latindex (México), Índice Bibliográfico Actualidad Iberoamericana (Chile), e-Revistas (España), DOAJ (Suecia), Ulrich de Proquest (Estados Unidos).

Tecnura es una revista arbitrada mediante un proceso de revisión entre pares de doble ciego. La periodicidad de la conformación de sus comités Científico y Editorial está sujeta a la publicación de artículos en revistas indexadas internacionalmente por parte de sus respectivos miembros.

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas, sus directivas, el Editor, el Comité Editorial y Científico no son responsables por la opinión y criterios expresados en el contenido de los artículos y estos se publican bajo la exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento del Comité Editorial.

Además de la versión impresa, la revista Tecnura tiene también una versión digital disponible en su página web: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

## TIPOS DE ARTÍCULOS ACEPTADOS

De acuerdo con la clasificación del Índice Nacional de Publicaciones Científicas y Tecnológicas

(Publindex-Colciencias), la revista Tecnura recibe postulaciones de artículos inéditos de los siguientes tipos:

**Artículos de investigación científica y tecnológica:** documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.

**Artículo de revisión:** documento resultado de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de las investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de al menos 50 referencias.

## FORMATO DEL ARTÍCULO

### Del lenguaje y estilo apropiado para la redacción de artículos

- Deben emplearse estructuras de oraciones simples, evitando las que sean demasiado largas o complejas.

- El vocabulario empleado debe ser básico y común. Los términos técnicos deben explicarse brevemente; asimismo, el significado de las siglas debe presentarse la primera vez que estas aparecen en el texto.
- Los autores son responsables de que su trabajo sea conducido de una manera profesional y ética.

## De la extensión de los documentos

Los artículos no deben tener una extensión de más de 25 páginas en tamaño carta y a doble espacio, con márgenes simétricas de 3 cm. Solo en el caso de los artículos de revisión las 25 páginas no incluyen las referencias bibliográficas.

## Del formato de presentación

Los artículos presentados deben ser trabajos inéditos escritos en español o inglés y deben digitalizarse en Microsoft Word (2003 en adelante), cumpliendo con las siguientes indicaciones:

Letra *Times New Roman* de 12 puntos (a excepción de que se requiera lo contrario para algunos apartados).

- Una columna a doble espacio.
- Todas las márgenes de 3 cm.
- Los párrafos se justifican, y no debe haber espacio entre los consecutivos.
- No incluir saltos de página o finales de sección.
- Si se desea resaltar palabras o frases del texto, no usar letra negrita sino letra cursiva.
- Los decimales se deben señalar con coma (,) y no con un punto.
- Los millares y millones se deben señalar con un espacio fino.
- Evitar las notas de pie de página.
- Se debe utilizar nomenclatura arábica hasta el tercer nivel únicamente.

## De la estructura del documento

Los trabajos deben tener la siguiente estructura y cumplir con los siguientes requisitos:



## *Composición de un artículo*

Todos los artículos remitidos para su evaluación y posible publicación por parte de la revista *Tecnura* deben tener por lo menos los siguientes componentes:

- Título en español e inglés.
- Información de los autores.
- Resumen en español e inglés.
- Palabras clave en español e inglés.
- Introducción.
- Conclusiones.
- Trabajo futuro (opcional).
- Agradecimientos (opcional).
- Referencias bibliográficas.

Si el artículo es de investigación científica y tecnológica deben tener, además de lo anterior, los siguientes componentes:

- Metodología.
- Resultados.
- Financiamiento.

## *Título*

El título del artículo deberá ser corto o dividido en título y subtítulo, atractivo para el lector potencial y escrito en mayúscula sostenida. Este debe aparecer centrado entre las márgenes, escrito con letra *Times New Roman*, en negrita, tamaño de fuente 18. El título del artículo debe ir en español e inglés separado por un espacio doble. Máximo 20 palabras.

## *Autores*

Después del título debe escribirse el (los) nombre(s) completo(s) del (los) autor(es), acompañado de los datos biográficos básicos: título de pregrado, título de posgrado, ocupación o cargo, afiliación institucional (institución donde labora), dependencia, ciudad, país y correo electrónico. La información anterior debe ir inmediatamente debajo del nombre del autor.

## *Resumen*

Debe establecer el objetivo y alcance del trabajo, una descripción clara y concisa de la metodología, los resultados y las conclusiones obtenidas. Máximo 250 palabras.

## *Palabras clave*

Debe escogerse entre tres y diez palabras clave, escritas en español con letra *Times New Roman*, en negrita y cursiva.

Las palabras clave deben estar escritas en orden alfabético y ser de uso estandarizado, para lo cual se sugiere utilizar bases de datos internacionales según el área del conocimiento. Por ejemplo, en el área de Eléctrica y Electrónica se sugiere utilizar el tesoro de la UNESCO que se pueden encontrar en la página: <http://databases.unesco.org/thessp>.

## *Abstract*

Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés del texto que aparece en el resumen en español.

## *Keywords*

Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés de la lista de palabras clave en español.

Las *keywords* deben estar escritas en el orden de las palabras clave y ser de uso estandarizado, para lo cual se sugiere utilizar bases de datos internacionales según el área del conocimiento. Por ejemplo, en el área de Eléctrica y Electrónica se sugiere utilizar los Tesoros de la IEEE y/o World Bank que se pueden encontrar en las siguientes páginas respectivamente: [http://www.ieee.org/documents/2009Taxonomy\\_v101.pdf](http://www.ieee.org/documents/2009Taxonomy_v101.pdf), <http://multites.net/mtsql/wb/site/default.asp>

## *Introducción*

Debe describir el planteamiento general del trabajo, así como contexto, antecedentes, estado de arte de la temática abordada, objetivo y posible alcance del trabajo.

## *Metodología*

La redacción de este apartado debe permitir a cualquier profesional especializado en el tema replicar la investigación.

## *Resultados*

Explicación e interpretación de los hallazgos. Si es necesario, se puede presentar una discusión breve y enfocada a la interpretación de los resultados.

## *Conclusiones*

Implicación de los resultados y su relación con el objetivo propuesto.

## *Financiamiento*

Mencionar la investigación asociada de la cual se derivó el artículo y la entidad que avaló y financió dicha investigación.

## *Agradecimientos*

Preferiblemente deben ser breves y deben incluir los aportes esenciales para el desarrollo del trabajo.

## *Ecuaciones*

Deben aparecer centradas con respecto al texto principal. Las ecuaciones deben ser referenciadas con números consecutivos (escritos entre paréntesis cerca al margen derecho). Las ecuaciones se citan en el texto principal empleando la palabra ecuación y seguida del número entre paréntesis. Las ecuaciones deben ser elaboradas en un editor de ecuaciones apropiado y compatible con el paquete de software InDesign, por ejemplo, el editor de ecuaciones de Windows.

## *Tablas*

Para el caso de realización de tablas se recomienda que estas no sean insertadas como imágenes, considerando que en este formato no pueden ser modificadas. El encabezado de cada tabla debe incluir la palabra Tabla (en negrita) seguida del número consecutivo correspondiente y de un breve nombre de la tabla. El encabezado debe estar escrito con letra Times New Roman, en cursiva y tamaño de fuente 9.

No se presentan cuadros sino tablas y estas se deben levantar automáticamente desde el procesador de textos. Las tablas deben ir nombradas y referenciadas en el artículo, en estricto orden. Toda tabla debe tener en su parte inferior la fuente de la que fue tomada, o mencionar que es autoría de los autores si es el caso.

## *Figuras*

Todas las figuras o fotografías deben enviarse en formato PNG o TIFF con una resolución mínima de 300 DPI, adaptadas a escala de grises.

El pie o rótulo de cada figura debe incluir la palabra Figura (en negrita) seguida del número consecutivo correspondiente y de una breve descripción del contenido de la figura. El pie de figura debe estar escrito con letra Times New Roman, en cursiva y tamaño de fuente 9. Las figuras deben ir nombradas y referenciadas en el artículo, en estricto orden. Toda figura debe tener también la fuente de la que fue tomada, o mencionar que es autoría de los autores si es el caso.

## *Símbolos*

Los símbolos de las constantes, variables y funciones en letras latinas o griegas –incluidos en las ecuaciones– deben ir en cursiva; los símbolos matemáticos y los números no van en cursiva. Se deben identificar los símbolos inmediatamente después de la ecuación. Se deben utilizar las unidades, dimensiones y símbolos del sistema internacional.

Cuando se empleen siglas o abreviaturas, se debe anotar primero la equivalencia completa, seguida de la sigla o abreviatura correspondiente entre paréntesis y en lo subsecuente se escribe solo la sigla o abreviatura respectiva.

## *Referencias bibliográficas*

El estilo de citación de referencias adoptado por la revista *Tecnura* es APA sexta edición. Las citas, referencias bibliográficas e infografía se incluyen al final del artículo. Las referencias bibliográficas deben ordenarse alfabéticamente de acuerdo con el primer apellido del primer autor, sin numeración.

Solo deben aparecer las referencias que fueron citadas en el texto principal del trabajo, en las tablas o en las figuras. Es decir, en la lista no deben aparecer otras referencias aunque hayan sido consultadas por los autores para la preparación del trabajo. Sugerimos utilizar herramientas como: *Citas y bibliografía de Microsoft Word* (para APA sexta edición versión 2013 o superior), *Zotero*, *Mendeley*, entre otras.

El llamado de una referencia bibliográfica se inserta en el texto, en el punto pertinente, bajo ciertas características:

- Si la oración incluye el apellido del autor, solo se debe escribir la fecha dentro de un paréntesis, ejemplo:  
Cuando Vasco (2012), analizó el problema de presentado en . . . .
- Cuando no se incluye el autor en la oración, debe ir entre el paréntesis el apellido y la fecha. La investigación de materiales dio una visión en el área (Martínez, 2012).
- Si el documento u obra tiene más de dos autores, se debe citar la primera vez con todos los apellidos. 1990. (Fernández Morales, Villa Krieg & Caro de Villa, 2008) . . . .
- En las menciones siguientes, solo se debe escribir el primer apellido del autor, seguido de un “et al”. En cuanto al estudio de las aguas, Fernández Morales et al. (2008) encontraron que . . .
- Cuando el documento u obra tiene más de seis autores, se debe utilizar desde la primera mención el “et al”.

A continuación se describen una serie de ejemplos de las referencias más utilizadas, según el estilo de referencias adoptado por la revista *Tecnura*:

## Publicaciones Periódicas:

### *Forma Básica*

Apellidos, A. A., Apellidos, B. B. & Apellidos, C. C. (Fecha). Título del artículo. Título de la publicación, volumen (número), pp. xx-xx. doi: xx.xxxxxxx

### *Artículo básico*

Guevara López, P., Valdez Martínez, J., Agudelo González, J., & Delgado Reyes, G. (2014). Aproximación numérica del modelo epidemiológico SI para la propagación de gusanos informáticos, simulación y análisis de su error. Revista Tecnura, 18(42), 12-23. doi: <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.4.a01>

### *Artículo web*

Rodríguez Páez, S., Fajardo Jaimes, A., & Páez Rueda, C. (2014). Híbrido rat-race miniaturizado para la banda ISM 2,4 GHZ. Revista Tecnura, 18(42), 38-52. Recuperado de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/8059/9675>

## Libros:

### *Forma Básica*

Apellidos, A. A. (Año). Título. Ciudad: Editorial.

Apellidos, A. A. (Año). Título. Recuperado de <http://www.xxxxxx.xxx>

Apellidos, A. A. (Año). Título. doi: xx.xxxxxxx

Apellidos, A. A. (Ed.). (Año). Título. Ciudad: Editorial.

### *Libro con autor*

Goleman, D. (2000). La inteligencia emocional: Por qué es más importante que el cociente intelectual. México: Ediciones B.

### *Libro con editor*

Castillo Ortiz, A. M. (Ed.). (2000). Administración educativa: Técnicas, estrategias y prácticas gerenciales. San Juan: Publicaciones Puertorriqueñas

### *Libro versión electrónica:*

Montero, M. & Sonn, C. C. (Eds.). (2009). Psychology of Liberation: Theory and applications. [Versión de Springer]. doi: 10.1007/978-0-387-85784-8

## Informe técnico

### *Forma Básica*

Apellidos, A. A. (Año). Título. (Informe Núm. xxx). Ciudad: Editorial

*Informe con autores*

Weaver, P. L., & Schwagerl, J. J. (2009). U. S. Fish and Wildlife Service refuges and other nearby reserves in Southwestern Puerto Rico. (General Technical Report IITF-40). San Juan: International Institute of Tropical Forestry.

*Informe de una agencia del gobierno*

Federal Interagency Forum on Child and Family Statistics. America's Children: Key National Indicators of Well-Being, 2009. Washington, DC: U.S. Government Printing Office. Recuperado de <http://www.childstats.gov/pubs/index.asp>

## Tesis

*Forma Básica*

Apellidos, A. A. (Año). Título. (Tesis inédita de maestría o doctorado). Nombre de la institución, Localización.

*Tesis inédita, impresa*

Muñoz Castillo, L. (2004). *Determinación del conocimiento sobre inteligencia emocional que poseen los maestros y la importancia que le adscriben al concepto en el aprovechamiento de los estudiantes*. (Tesis inédita de maestría). Universidad Metropolitana, San Juan, PR.

*Tesis de base de datos comercial*

Santini Rivera, M. (1998). *The effects of various types of verbal feedback on the performance of selected motor development skills of adolescent males with Down syndrome*. (Tesis doctoral). Disponible en la base de datos ProQuest Dissertations and Theses. (AAT 9832765).

*Tesis web*

Aquino Ríos, A. (2008). *Análisis en el desarrollo de los temas transversales en los currículos de español, matemáticas, ciencias y estudios sociales del Departamento de Educación*. (Tesis de maestría, Universidad Metropolitana). Recuperado de [http://suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis\\_Educacion/ARAquinoRios1512.pdf](http://suagm.edu/umet/biblioteca/UMTESIS/Tesis_Educacion/ARAquinoRios1512.pdf)

## Estándares o patentes

*Forma Básica*

Apellidos, A. A. Título de la patente. País y número de la patente. Clasificación de la patente, fecha de concesión oficial. Número y fecha de solicitud de la patente, paginación.

Hernández Suárez, C. A., Gómez Saavedra, V. A., & Peña Lote, R. A. Equipo medidor de indica-

dores de calidad del servicio de energía eléctrica para usuario residencial. Colombia., 655. G4F 10/0, 15 de Marzo 2013. 27 de Octubre 2011, 147

## ENVÍO DE ARTÍCULOS

Los autores deben enviar sus artículos a través de la aplicación para tal fin del Open Journal System en formato digital, adjuntando la carta de presentación y el formato de información artículo-autores.

### Carta de presentación

El artículo debe ir acompañado de una carta de presentación dirigida al director y editor de la revista, Ing. Cesar Augusto García Ubaque, donde incluya:

- Solicitud expresa de considerar su artículo para publicarlo en la revista Tecnura.
- Título completo del trabajo.
- Nombres completos de todos los autores del trabajo.
- Certificación de la originalidad y el carácter inédito del trabajo.
- Exclusividad de su remisión a la revista Tecnura.
- Confirmación de la autoría con la firma de todos los autores.

Esta carta deberá estar firmada por todos los autores, escanearse y enviarse junto con los demás documentos solicitados.

### Formato de información artículo-autores

El artículo además debe ir acompañado de un formato de información sobre el artículo y sus autores, el cual se puede descargar de la página web de la revista Tecnura: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>, en la sección "Formatos y Documentos". Es importante completar todos los campos de información solicitados, algunos de ellos tienen comentarios para aclarar mejor lo que se está solicitando. El formato no debe escanearse.

### Artículo

Artículo en formato digital (Word 2003 en adelante) que cumpla con todas las normas de presentación descritas en el capítulo 3, "Formato del artículo", de la presente en las instrucciones a los autores.

## PROCEDIMIENTO PARA LA PUBLICACIÓN

El procedimiento que sigue la revista Tecnura para la evaluación y posible publicación de los trabajos enviados por los autores es el siguiente en orden cronológico:

1. Envío del artículo acompañado de la carta de presentación y el formato de información por parte de los autores.
2. Notificación al autor de correspondencia de la recepción del artículo.
3. Verificación del tema del artículo con respecto a las áreas de interés de la revista.
4. Verificación de las normas de presentación por parte del monitor de la revista.
5. Notificación al autor de correspondencia de la evaluación de las normas de presentación.
6. Envío de las correcciones realizadas por los autores con respecto a la evaluación de las normas de presentación
7. Envío del artículo a los árbitros seleccionados.
8. Notificación del inicio del proceso de arbitraje del artículo.
9. Notificación a los autores de la decisión tomada por el Comité Editorial y de las evaluaciones hechas por los árbitros.
10. Envío de las correcciones realizadas por los autores con respecto a las evaluaciones de los árbitros.
11. Estudio de la versión final del artículo y de las evaluaciones de los árbitros por parte del Comité Editorial.
12. Envío por parte de los autores de la carta de cesión de derechos al editor de la revista.
13. Envío de la versión con corrección de estilo y diagramada a los autores.
14. Verificación de errores y aprobación final de la versión con corrección de estilo y diagramada por parte de los autores.
15. Publicación del artículo en el número correspondiente de la revista *Tecnura*.
16. Notificación a los autores de la publicación del número de interés.
17. Envío de un ejemplar de la revista a cada autor del artículo publicado.

## PROCESO DE ARBITRAJE DE ARTÍCULOS

Considerando la periodicidad trimestral de la revista, el Comité Editorial realiza cuatro convocatorias anuales para la recepción de artículos, aproximadamente en los meses de febrero, mayo, agosto y noviembre. Los artículos serán recibidos hasta la fecha máxima establecida en cada convocatoria.

Una vez recibidos los artículos el monitor de la revista realizará una primera evaluación de forma para verificar que cumplan con todos los elementos mencionados en esta guía de instrucciones a



los autores. Luego de recibir nuevamente el artículo con las correcciones de forma solicitadas por el monitor de la revista, este será sometido a evaluación por tres pares académicos (paulatinamente se espera incorporar un mayor número de pares externos que participen en el proceso).

Cada artículo remitido a la revista Tecnura es revisado por dos pares académicos externos a la institución de los autores, mediante un proceso de "revisión entre pares" (*Peer-review*) de doble-ciego, garantizando el anonimato de los autores y evaluadores; se considera confidencial todo trabajo recibido y así se le exige a sus evaluadores.

Las posibles conclusiones de los resultados de la evaluación por parte de los árbitros son únicamente tres: publicar el artículo sin modificaciones, publicar el artículo con modificaciones o no publicar el artículo.

Posteriormente, el Comité Editorial toma la decisión de publicar o no los artículos, con base en los resultados de las evaluaciones realizadas por los árbitros asignados. En caso de existir contradicciones en las evaluaciones con respecto a la publicación de un artículo, el Comité Editorial enviará el artículo a un tercer árbitro y se inclinará por las dos evaluaciones que tengan el mismo concepto respecto a la publicación del artículo.

En cada convocatoria el autor de correspondencia debe sugerir al menos cuatro posibles evaluadores externos a su institución laboral, los cuales deben ser especialistas en el tema específico del artículo remitido, tener al menos maestría y por lo menos dos deben ser internacionales. Los posibles evaluadores pueden pertenecer a una universidad o industria, pública o privada; de estos se debe proporcionar el nombre completo, su formación académica más alta, su afiliación institucional y su correo electrónico. Estos cuatro potenciales evaluadores serán analizados por el Comité Editorial a fin de ampliar la base de datos de los árbitros de la revista Tecnura.

El Comité Editorial de la revista Tecnura se reserva los derechos de impresión, reproducción total o parcial del artículo, así como el de aceptarlo o rechazarlo. Igualmente, se reserva el derecho de hacer cualquier modificación editorial que estime conveniente; en tal caso el autor recibirá por escrito recomendaciones de los evaluadores. Si las acepta, deberá entregar el artículo con los ajustes sugeridos dentro de las fechas fijadas por la revista para garantizar su publicación dentro del número programado.

## CONTACTO

Para cualquier solicitud de información adicional puede comunicarse a través del correo electrónico de la revista Tecnura: [tecnura@udistrital.edu.co](mailto:tecnura@udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com), o por mensajería con el Ing. Cesar Augusto García Ubaque, Director y Editor de la revista Tecnura, a la dirección:

Revista Tecnura

Sala de Revistas, Bloque 5, Oficina 305.

Facultad Tecnológica



UNIVERSIDAD DISTRITAL  
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

## Instrucciones para los autores

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/about/submissions>

---

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Transversal 70 B N. 73 a 35 sur

Teléfono: 571 – 3239300 Extensión: 5003

Celular: 57–3153614852

Bogotá D.C., Colombia

Email:

[tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co](mailto:tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co), [tecnura@gmail.com](mailto:tecnura@gmail.com)

Página web:

<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>