
12 Editorial

Investigación

- 15 Regional intellectual wealth and sustainable development in Colombia
Carlos Hildebrando Fonseca-Zárate, Juan Carlos García-Ubaque, Paula Fernanda García-Benitez
- 28 Electrocoagulation as an Alternative for the Removal of Chromium (VI) in Solution
Ángel Villabona Ortíz, Candelaria Tejada Tovar, Rafael Contreras Amaya
- 43 Impacto ambiental del vertimiento de aguas servidas en aglomerados urbanos ilegales del municipio de Villavicencio, Colombia
Álvaro Javier Moyano Salcedo, Fabián Darío Cuadros Segura, Adrián Mateo Pabón Laverde, Jassbleydi Valentina Trujillo Arias
- 63 Detección de descargas parciales a través de radiación ultravioleta en redes de media y alta tensión en Colombia
Edwin Fernando Sepúlveda Durán, Fernando Martínez Santa
- 79 Corporate Celebrations in Colombia: Spaces of Diversity, Inclusion, and Productivity
Nevis Balanta Castilla, Luisa Stella Paz Montes, David Navarro Mejía
- 84 Reconocimiento y evaluación de posibles geositios asociados a dolinas en el departamento de Malargüe Provincia de Mendoza, Argentina
Valeria Sofía Cortez Taillant, Agustín Arroqui Langer
- 105 Methodology for the Selection of Trenchless Sewer Rehabilitation Technologies in Bogotá, Colombia
Edward Leonardo Tovar Romero, Jorge Alberto Valero Fandiño, Leonardo Cepeda Ariza
-

Estudio de caso

- 125 Saberes y acciones de jóvenes del medio rural frente a problemas ambientales
Gabrielle Fascinetto Bárcena, María Esther Méndez Cadena, Ignacio Ocampo Fletes
Higinio López Sánchez
-

Revisión

- 140 Revisión literaria y modelación de la desaturación de un suelo arenoso por medio del método de inyección de aire
Sebastián Sepúlveda Cano, Carlos Alberto Vega Posada, Edwin Fabián García Aristizábal
-
- 165 Instrucciones para autores
- 178 Instructions for authors
-

Vol. 25 Núm. 68 • Abril - Junio de 2021 • Bogotá, Colombia • Publicación trimestral - ISSN: 0123-921X • e-ISSN-e 2248-7638

Tecnura

V.25
N.68



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Facultad Tecnológica

Revista Tecnura • Volumen 25 – Número 68 • Abril - Junio de 2021
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 25 - Número 68
Abril - Junio de 2021

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. Claudia Marcela Durán Chinchilla
Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

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

PhD. David Guillermo Zapata Medina
Universidad Nacional de Colombia

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

PhD. Fred Gustavo Manrique Abril
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

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

PhD. Rocio Robledo Martinez
Universidad Nacional de Colombia

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

PhD. Tom Iseley
Dist. M. ASCE, PWAM

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

PhD. Waldo Quiroz Venegas
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

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

PhD. Walter Manuel Medina
Instituto Superior de Correlación Geológica
(INSUGEO/CÓNICET)

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

MEng. Carlos Alberto Wilches Bonilla
Universidad Pontificia Bolivariana

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

MSc. Gema Eunice Acosta Niño
Universidad Militar Nueva Granada

COMITÉ CIENTÍFICO

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

MSc. Jose Luis Palacio Prieto
Universidad nacional Autonoma de Mexico

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

MSc. Laura Ximena Giral
Universidad Autónoma de Manizales

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

ASISTENTES DE LA REVISTA

Lizeth Viviana Urrea

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

COORDINACIÓN EDITORIAL

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

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

Tecnura

Abril - Junio de 2021

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
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^AT_EX*

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

PhD. Claudia Marcela Durán chinchilla
Universidad Francisco de Paula Santander

PhD. David Guillermo Zapata Medina
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

PhD. Fred Gustavo Manrique Abril
Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia,
Colombia

PhD. Rocio Robledo Martinez
Universidad Nacional de Colombia, Colombia

PhD. Tom Iseley
Dist. M. ASCE, PWAM

PhD. Waldo Quiroz Venegas
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

PhD. Walter Manuel Medina
Instituto Superior de Correlación Geológica
(INSUGEO/CONICET), Argentina

MEng. Carlos Alberto Wilches Bonilla
Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

MSc. Gema Eunice Acosta Niño
Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

MSc. Jose Luis Palacio Prieto
Universidad nacional Autonoma de Mexico, México

Msc. Laura Ximena Giral
Universidad Autónoma de Manizales, 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

Enero - Marzo de 2021

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

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^AT_EX* 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

Regional Intellectual Wealth and Sustainable Development in Colombia

15

Riqueza intelectual territorial y desarrollo sustentable en Colombia

Fonseca-Zárate., C.H. García-Ubaque., J.C. y García-Benitez., P.F.

Table 1. Human wealth in municipalities and departments of Colombia (2008-2010)

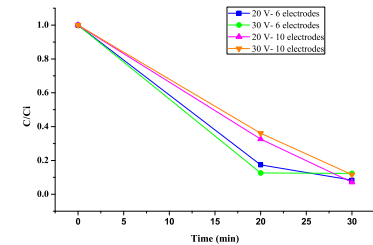
Factor	Index	Mun.	Departm.	Source
Solution multidimensional poverty	32,97	23,1		Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)
Receptivity of displaced people	18,57	14,97		DANE
Attraction by Opportunity	10,42	2,68		DANE
Gender equality	97			Departamento Nacional de Planeación (DNP)
Education coverage	27,23			Educación Ministry
Climate preference	24,0	22,85		Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)
Nutrition	21,44	24,3		DANE
General life		3,22		Health Ministry
Child vitality		37,26		Health Ministry
Life expectancy at birth		38,22		Health Ministry

Electrocoagulation as an Alternative for the Removal of Chromium (VI) in Solution

28

Electrocoagulación como alternativa para eliminación de cromo (VI) en solución

Villabona-Ortíz., A. Tejada-Tovar., C. y Contreras-Amaya., R.



Environmental impact of sewage discharge into illegal urban agglomerates in Villavicencio, Colombia

43

Impacto ambiental del vertimiento de aguas servidas en aglomerados urbanos ilegales del municipio de Villavicencio, Colombia

Moyano-Salcedo., A.J. Cuadros-Segura., F.D. Pabón-Laverde., A.M. y Trujillo-Arias., J.V.



Partial discharges detection through ultraviolet radiation in medium and high voltage networks in Colombia

63

Detección de descargas parciales a través de radiación ultravioleta en redes de media y alta tensión en Colombia

Sepúlveda-Durán., E.F. y López-Sánchez Martínez-Santa., F.



Corporate Celebrations in Colombia: Spaces of Diversity, Inclusion, and Productivity

79

Celebraciones corporativas en Colombia: espacios de diversidad, inclusión y productividad

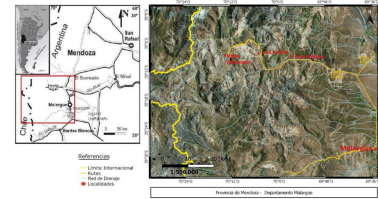
Balanta-Castilla., N. Paz-Montes., L.S. y Navarro-Mejía., D.

Recognition and evaluation of posibles geosites associated to dolinas in Malargüe department Mendoza Province, Argentina

84

Reconocimiento y evaluación de posibles geositos asociados a dolinas en el departamento de Malargüe Provincia de Mendoza, Argentina

Cortez-Taillant., V.S. y Arroqui-Langer., A.

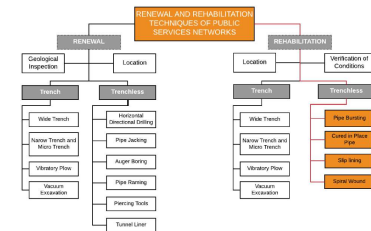


Methodology for the Selection of Trenchless Sewer Rehabilitation Technologies in Bogotá, Colombia

105

Metodología para selección de tecnologías de rehabilitación de alcantarillados sin zanja en Bogotá, Colombia

Tovar-Romero., E.L. Valero-Fandiño., J.A. y Cepeda-Ariza., L.

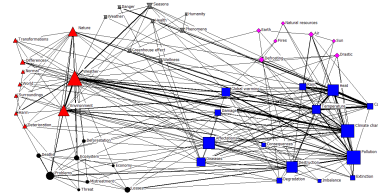


Knowledge and Actions of Young People Living in Rural Territories and Facing Environmental Problems

125

Saberes y acciones de jóvenes del medio rural frente a problemas ambientales

Fascinetto-Bárcena., G. Méndez-Cadena., M.E. Ocampo-Fletes., I. y López-Sánchez., H.

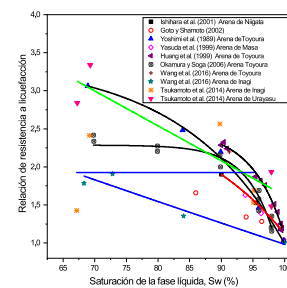


Literature review and modelling of the desaturation of a sandy soil by means of the air injection method

140

Revisión literaria y modelación de la desaturación de un suelo arenoso por medio del método de inyección de aire

Sepúlveda-Cano., S. Vega-Posada., C.A. y García-Aristizábal., E.F.



Instrucciones para los autores

165

Instructions for authors

178

Existen varios modelos que son referentes teóricos para comprender el papel que tiene el conocimiento para el crecimiento económico y el bienestar social, y en última instancia éstos confluyen en lo que hoy se conoce como la Teoría de Nuevo Crecimiento. Paul Romer, el principal proponente de esta teoría afirma que el conocimiento aplicado en el proceso de innovación es un bien que puede ser usado simultáneamente por un número ilimitado de individuos y no está restringido por las leyes de la escasez; por tanto, la inversión en conocimiento genera un retorno cada vez mayor gracias a la creación de mercados nuevos.

El principio básico de esta teoría es el siguiente: aunque el conocimiento es un bien que puede ser costoso en su generación, una vez producido puede ser usado casi infinitamente a costos marginales mínimos y no sólo por aquellos que lo producen. En consecuencia, las ideas se convierten en la raíz de la transformación social y en el principal motor del crecimiento económico. Sin embargo, si se quiere que exista un proceso racional e intencional para la generación de nuevas ideas y que éstas logren su inserción exitosa en el sistema económico, es necesaria una educación que además de promover la creatividad permita su reconocimiento social y político como elementos básicos para un aprendizaje significativo y autónomo. Es decir, un sistema educativo que ponga el énfasis en la formación de ciudadanos integrales que además de la capacidad de innovar, también tengan la capacidad de adaptarse de forma rápida y eficaz a los cambios. En palabras de Romer: *“Si un país pobre invierte en educación y no destruye los incentivos para que sus ciudadanos adquieran ideas del resto del mundo, rápidamente puede sacar ventaja del conocimiento acumulado mundialmente y que está públicamente disponible”*.

Dicho proceso depende de la creación de unas condiciones tales que la generación de conocimiento sea un proceso connatural a la sociedad misma, lo cual significa que la actividad científica y creativa se debe realizar no sólo en universidades e institutos de investigación, sino también en el sector productivo, de modo que exista una estrecha relación entre la investigación básica, la investigación aplicada y el desarrollo. Además, es fundamental que la capacidad de emprendimiento, que permite convertir esos conocimientos en innovaciones exitosas, sea parte de la formación de profesionales, investigadores y empresarios.

Una reflexión aparte merece lo que ha significado para el crecimiento económico las industrias creativas en países como Estados Unidos, Australia, Alemania, entre otros, y su aporte al conocimiento desde las artes, el diseño y la arquitectura. De acuerdo con John Hartley, *“la idea de industrias creativas trata de describir la convergencia conceptual y práctica de las artes creativas (talento individual) con industrias culturales (escala masiva) en el contexto de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TICs) en una nueva economía del conocimiento, para el uso de los nuevos consumidores-ciudadanos interactivos.”* Esto quiere decir que la generación de valor agregado para este tipo de industrias depende no solamente del desarrollo tecnológico, sino especialmente del contenido creativo que se

relaciona directamente con el tipo de conocimiento que se genera en las artes, la arquitectura y el diseño. Este enfoque puede dar lugar a un redireccionamiento social desde la academia misma, a partir de la reflexión de nuestro propio quehacer como Universidad en Colombia.

Cesar Augusto García Ubaque 

DIRECTOR

cagarciau@udistrital.edu.co

There are several models that are theoretical references to understand the role knowledge plays in economic growth and social welfare, and they ultimately converge in what is now known as the New Growth Theory. Paul Romer, the main proponent of this theory, states that knowledge applied to the innovation process is an asset that can be used simultaneously by an unlimited number of individuals and is not restricted by the laws of scarcity. Therefore, investment in knowledge generates an increasing return thanks to the creation of new markets.

The basic principle of this theory is the following: although knowledge as an asset can be costly in its generation, once produced it can be used almost infinitely at minimal marginal costs and not only by those who produce it. Consequently, ideas become the root of social transformation and the main engine of economic growth. However, to obtain an intentional process for the generation of new ideas that achieve their successful insertion in the economic system, there needs to be an education system that promotes creativity and allows its social and political recognition; this means an educational system that emphasizes the training of comprehensive citizens with the ability to both innovate and adapt quickly and effectively to changes. In Romer's words: *"If a poor country invests in education and does not destroy the incentives for its citizens to acquire ideas from the rest of the world, it can quickly take advantage of the knowledge accumulated worldwide and that is publicly available."*

This process depends on the creation of conditions such that the generation of knowledge is a process inherent to society itself. This implies that scientific and creative activity must not only occur in universities and research institutes, but also in the productive sector so that there is a close relationship between basic and applied research and development. In addition, it is essential that the entrepreneurial capacity, which allows converting this knowledge into successful innovations, is part of the training of professionals, researchers, and entrepreneurs.

On the other hand, what the creative industries in countries such as the United States, Australia, and Germany, among others have meant for economic growth, as well as their contribution to knowledge from the arts, design, and architecture deserve separate reflection. According to John Hartley, "The idea of creative industries describes the conceptual and practical convergence between the creative arts (individual talent) and the cultural industries (massive scale) in the context of new information and communication technologies (ICTs) in a new knowledge economy for new consumer-citizens to interact." This means that the generation of added value for these types of industries depends on technological development and on creative content that is directly related to the type of knowledge fashioned in the arts, architecture, and design. This approach can lead to a social redirection from the academy itself, from the reflection of our own work as universities in Colombia.

Cesar Augusto García-Ubaque 

DIRECTOR

cagarciau@udistrital.edu.co

Regional Intellectual Wealth and Sustainable Development in Colombia

Riqueza intelectual territorial y desarrollo sustentable en Colombia

Carlos Hildebrando Fonseca Zárate ¹, Juan Carlos García Ubaque ², Paula Fernanda García-Benitez ³

Fecha de Recepción: 23 de septiembre de 2020

Fecha de Aceptación: 24 de febrero de 2020

Cómo citar: Fonseca-Zárate., C.H. García-Ubaque., J.C. y García-Benitez., P.F. (2021). Saberes y acciones de jóvenes del medio rural frente a problemas ambientales. *Tecnura*, 25(68), 15-27. <https://doi.org/10.14483/22487638.17389>

Abstract

Context: There is a growing concern with the economic consumption and unlimited accumulation model because improvement in some parameters implies that others are negatively affected. There is a need for more intellectual wealth, not only oriented towards the market, but also towards engineering and technology.

Methodology: To measure natural/environmental, human, intellectual, public/institutional, and private wealth, the basic results of the *Índice de desarrollo territorial sustentable* (IDTS, Spanish acronyms) are used, which is formed by 60 variables. With data from the 2000-2010 period, the relationship between the 5 types of wealth and sustainability is analyzed using principal component analysis.

Results: At the municipal and departmental levels, the direction of the natural and environmental wealth was found to be opposite direction to the other four. The distance between the different types of wealth ended up being important, and it increases with the IDTS.

Conclusions: The development model followed by Colombia is negatively affecting the natural and environmental wealth and as so is unsustainable. Neither research nor innovation are making adequate use of the natural resources at municipal level, and autonomous regional corporations may be ineffective against the inadequate use of this wealth. It is imperative to modify this exploitation model and reduce the distance between the five types of wealth. Although it is necessary to adopt and develop engineering and technology adequate to biodiversity and tropical geography, this is not enough; substantial social and institutional innovation are also needed in the face of a complex, uncertain, and dizzying technological reality, which is also inequitable at the social and interregional scale.

Financing: This project was self-funded.

Keywords: preservation of natural resources, sustainable development, ecodesvelopment, sustainable development indicators, environmental policy.

¹Civil Engineer, PhD in Geography. Head of the Simbiosis Corporation. Bogotá, Colombia. Email: carlosfonsecaz@gmail.com

²Master's Degree and PhD in Public Health. Titular professor Universidad Nacional de Colombia, Public Health department. Bogotá, Colombia. Email: jcgarciau@unal.edu.co

³Business Administration, Universidad Nacional de Colombia; Economist, Universidad de los Andes. MSc in Public Health, Universidad de los Andes (C). Bogotá, Colombia. Email: pf.garcia10@uniandes.edu.co

Resumen

Contexto: Hay preocupación creciente con el modelo económico de consumo y acumulación ilimitados, pues la mejoría de algunos parámetros implica afectar otros negativamente. Se requiere mayor riqueza intelectual, que no esté solo orientada al mercado, especialmente en las ingenierías y tecnologías.

Metodología: Para medir las riquezas: natural/ambiental, humana, intelectual, pública/institucional y privada, se utilizan los resultados básicos del índice de desarrollo territorial sustentable (IDTS), conformado por 60 variables. Con información del periodo 2000-2010, se analiza la relación entre las cinco riquezas y la sustentabilidad utilizando análisis de componentes principales.

Resultados: tras el análisis, se encontró que, a nivel municipal y departamental, la riqueza natural y ambiental va en dirección contraria a las otras cuatro. La distancia entre los diferentes tipos de riqueza resultó importante y crece con el IDTS.

Conclusiones: El modelo de desarrollo que Colombia está siguiendo está afectando negativamente la riqueza natural y ambiental y resulta insostenible. La investigación e innovación no están haciendo uso adecuado de los recursos y atributos naturales a nivel municipal y las corporaciones autónomas regionales pueden ser ineficaces frente al uso inadecuado de esta riqueza. Es imperativo modificar este modelo de aprovechamiento y disminuir la distancia entre los cinco tipos de riqueza. Aunque es necesario adoptar y desarrollar ingeniería y tecnologías adecuadas a la biodiversidad y geografía tropical, esto no es suficiente; se requiere innovación social e institucional sustantivas, de cara a una realidad tecnológica compleja, incierta y vertiginosa, al tiempo que inequitativa a escala social e interregional.

Financiamiento: Este proyecto contó con recursos propios.

Palabras clave: conservación de los recursos naturales, desarrollo sostenible, ecodesarrollo, indicadores de desarrollo sostenible, política ambiental.

Table of Contents

	Page
INTRODUCTION	16
METHODS AND MATERIALS	17
RESULTS	19
CONCLUSIONS	22
FUNDING	24
REFERENCES	24

INTRODUCTION

The paradigm of consumption and unlimited accumulation without restrictions goes against ethics and human dignity (Sen, 2001, Castells & Himanen, 2016). It also compromises the survival of

natural ecosystems, whose value in terms of their multiple goods and services surpasses the global GDP (Costanza *et al.*, 2014). Additionally, responses to this issue have focused on the idea of sustainable development and mechanisms such as retributive rates. However, this vision tends to be focused on one sector only and is fragmented, which emphasizes the concept of unlimited economic growth (Dasgupta, 2013, Shindell, 2015, Spaiser *et al.*, 2017, Selomane *et al.*, 2019). Nevertheless, it has been demonstrated that classical economic paradigms such as perfect competition, rational consumption, perfect information, and diminishing returns have no theoretical support (Romer, 1986, Lucas, 1989, Stiglitz, 2002, Krugman, 2011).

(Ocampo, 2021) states that intragenerational and intergenerational equity aspects are at play, as poorer people are the most affected by environmental degradation, with stronger consequences to the rural poor. He defines development as the ability of the countries or regions to diversify their production matrix, which agrees with (Hausmann, 2006) on the fact that the sophistication of exports is the main indicator of development. This limited scope, about the concept of development, which overemphasizes economic aspects, has generated a strong “post-development” school of thought (Escobar, 2008) and has replaced the term with the alternative “good living”.

That is why the idea of development as a complex, multilevel, and multidimensional process has resurfaced, and it considers how it is built by both people and communities, as well as territories and nations, that are seek a solidary and collective future, a “better life” shared with nature. In other words, it is a continuous process of transitioning from an anthropocentric civilization with a high social and ecological debt to an ecocentric culture (Raworth, 2014).

Taking all of this into account, in this research, we used the Sustainable Territorial Development Index (*Índice de desarrollo territorial sustentable*, IDTS), which balances five types of wealth that should harmonically coexist and grow within a territory (Fonseca, 2018). These types of wealth are human, intellectual, environmental-natural, public-institutional, and private. It is important to note that, if these types of wealth have a similar growth, it is possible to achieve virtuous cycles; whereas if the growth is different between them or inexistant for any, we arrive at a vicious cycle (Fonseca *et al.*, 2016).

METHODS AND MATERIALS

We analyzed the result of using the IDTS in all of the municipalities and departments in Colombia by applying the principal component analysis. The instrument was applied after redefining the key concepts mentioned below:

- *Human wealth* differs from the Human Development Index (health, education, and purchasing power) in that the first one combines the index factor with the social environment in which people dwell and develop physically, mentally, and socially. In other words, it considers that both happiness and welfare happen within the community, be it in the household, at work, or

in public spaces (Carmona & Díaz, 2018). Moreover, it is necessary to consider factors related with social and cultural diversity (Delgado & García, 2019), in addition to what is already being done by other sectors, such as reducing mortality (healthcare sector), teaching and training the citizens (education sector), and providing opportunities that guarantee access to goods and services.

- *Intellectual wealth* refers to the ways in which knowledge is built, be it as critical and creative thinking and a generator of added value to the production of goods and services that guarantee welfare and quality of life (Rojas, 2019). The first way corresponds to conventional generation of academic/scientific knowledge that comes from science and research; the second one is related to the social ability to apply such knowledge; and the third one is open, popular, and ancestral knowledge, which emphasizes on a collaborative, participative, caring, and supportive coexistence.
- *Environmental and natural wealth* includes aspects such as forest coverage, body of water, soil characteristics, and biodiversity. This also includes the risk of avalanches, floods, and earthquakes, all of them regarded as the expression of the relationship between society and the ecosystems (Naranjo, 2017).
- *Public/institutional wealth* can be divided in two types: tangible and intangible. Tangible public wealth includes investment in public services, road infrastructure, mobility, public works, among others. On the other hand, intangible public wealth refers to institutional performance, efficiency, transparency, etc., which facilitate participation and collaboration from the citizenship and ensure justice and security or conversely facilitate illegal activities (Calle-García et al., 2017).
- *Private wealth* is related to the people's capability to generate income and be employed, either for internal or external consumption. It includes aspects such as corporate diversity and density, GDP, qualified human capital, market, and product diversity (Carroll, 1991).

The Moran index was applied to the principal component analysis (PCA) to determine the existence or inexistence of clusters. Regressions were also used to establish the model's sensitivity to geographical control variables such as average distance to capital departments, or average distance to ports like Buenaventura or Cartagena.

Programming in R was used to perform the statistical testing, while information tables were built in Excel. The raw data were processed for each variable so that their value was positive and tending to 1.

The final estimation for the IDTS considered the explicative weight each variable had in each type of wealth and their theoretical and philosophical significance for each department and municipality. Each of these weights represent their variance contribution (VC).

RESULTS

60 variables were selected and grouped into the five types of wealth by applying statistical and spatial methods such as the Moran index and clustering. Regression analysis with geographical control variables was also used.

The results for each of the types of wealth are shown below. They are presented as a consolidation for departments and municipalities.

Table I. Human wealth in municipalities and departments of Colombia (2000-2010)

Factor	Index	Mun.	Departm.	Source
Context	Solution multidimensional poverty	32,97	23,1	Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)
	Receptivity of displaced people	10,57	14,97	DANE
	Attraction by Opportunities	10,42	2,65	DANE
	Gender equality		9,7	Departamento Nacional de Planeación (DNP)
	Education coverage		27,23	Education Ministry
	Climate preference	24,6	22,35	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)
Individual	Nutrition	21,44	24,3	DANE
	Gained life		3,22	Health Ministry
	Child vitality		37,26	Health Ministry
	Life expectancy at birth		35,22	Health Ministry.

Source: (Fonseca *et al.*, 2016).

Table II. Intellectual wealth in municipalities and departments of Colombia (2000-2010)

Type	Index	Mun.	Depart.	Source
Academic / scientific	Scientific knowledge of biodiversity	8,79	0,12	Von Humboldt
	Professional intensity	49,24		Education Ministry
	“Saber 11”	41,95		Education Ministry
	Researcher density		18,58	Colciencias
	Research groups density		18,53	Colciencias
	Professional density		3,84	Education Ministry
	Enrollment higher educ. institutions		17,23	Education Ministry
	Postgraduate density		18,75	Education Ministry
	Invest. in STI activities (intensity)		3,27	Colciencias
	Intellectual production		18,48	Colciencias
Entrepreneurial Industrial	Exports sophistication		0,74	Commerce, Industry and Tourism Ministry
	Agricultural diversity	21,81		Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA)
	Agricultural productivity	40,87		UPRA
	Agricultural profitability	37,32		UPRA
	Business diversity		15,67	Commerce Chamber
	Business density		22,28	Commerce Chamber
	Technical and technological density		21,81	DANE
	Exports intensity		18,23	T.I.T.Min
	“Saber 11”		22,01	Education Ministry
	Ancestral/ rural	Ethnic diversity	50	30,69
Territorial complexity		50	29,99	Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)
Ancestral wisdom			39,32	Interior Ministry

Source: (Fonseca *et al.*, 2016).

Table III. Natural/environmental wealth in municipalities and departments of Colombia (2000-2010)

Factor	Index	Mun.	Dept.	Source
	Proper land use	29,5	23,38	IGAC
	Economic intensity	33,16	34,02	DANE
Attribute	Forest cover	37,34		IDEAM
	Natural protected areas		32,9	Environmental Ministry
	Non-renewable resources (intensity)		9,7	DANE
	Seismic sustainability	9,41	19,88	Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD)
Risk	Flooding, landslide, avalanches sust.	46,16	22,27	UNDGRD
	Mining sustainability	32,23		Energy Ministry
	Forest and water cover		22,78	IDEAM
	Forest sustainability	12,1	35,07	IDEAM

Source: (Fonseca *et al.*, 2016).

Table IV. Public wealth in municipalities and departments of Colombia (2000-2010)

Factor	Index	Mun.	Dept.	Source
	Road density	29,34	12	Transport Ministry
	Internet broadband	29,26	19,36	ICT Ministry
	Rural property equity	7,79	11,37	IGAC
Tangible	Electric energy coverage		21,28	Energy Ministry
	Water supply reliability	16,66	19,93	Housing Ministry
	Solid waste integral management	16,94	4,77	Housing Ministry
	Passengers by air		1,29	Civil Aviation Authority of Colombia
	Municipal performance	15,84		DNP
	Open government	16,23	16,98	Comptrollers
	Conviviality	16,38	7,42	Defence Ministry
	Absence of illegal armed groups	16,21	1,95	Defence Ministry
Intangible	Electoral transparency	15,98	7,01	Consultoría para los derechos humanos y el desplazamiento
	Electoral participation	15,89		CODHES
	Voluntary work participation	3,48	10,33	DANE
	Risk management		19,39	DNP
	Institutional performance		14,31	DNP
	Formal justice		17,4	Justice Ministry
	Alternative justice mechanisms		5,2	Justice Ministry

Source: (Fonseca *et al.*, 2016).

Table V. Private wealth in municipalities and department of Colombia (2000-2010)

Factor	Index	Mun.	Dept.	Source
	GDP intensity	58,11	9,38	DANE
	Cadastral value	27,75	13,68	IGAC
	Cadastral productivity	14,15		IGAC
Internal Markets	Business density		25,41	Commerce Chamber
	Productive diversity		10,72	UPRA
	Intradepartmental flow		20,77	DANE
	Financial services		20,04	Consejo Privado de Competitividad (CPC)
Exports	Int. Market diversification		43,05	CPC
	Commodities Diversification		39,81	CPC
	Cadastral productivity		17,14	IGAC

Source: (Fonseca *et al.*, 2016).

During the PCA analysis, we found that almost all the variables both at the municipal and departmental levels are sensitive to the selected control variables.

In the same way, even when some indexes show encouraging numbers, particularly those related to public or private healthcare and education, others are insufficient, like those related to environmental protection, or investment in science, technology, and innovation, as well as to institutional healthcare.

On the other hand, with PCA we determined that four out of the five types of wealth are growing (human, intellectual, public, and private). However, this growth is at the expense of the natural and environmental wealth, which poses a problem in terms of sustainability.

In other words, Colombian development is happening with considerably high natural and environmental costs, which increases risks for people, particularly if one considers risks related to seismic activity, avalanches, and floods. This shows that this development is environmentally unsustainable.

CONCLUSIONS

Classic works in the field of economics have considered multiple factors and perspectives in the study of development and welfare (Smith, 1776, Singer, 1952, Lucas, 1989, Azariadis & Drazen, 1990, Meier & Rauch, 1995, Schumpeter *et al.*, 2003). However, the environmental perspective has only

recently started to be considered (Gómez-Contreras, 2014), particularly considering the differentiated and sometimes contradictory effect of human groups (Foladori, 1999, Granato *et al.*, 1996).

This study works with the hypothesis that development is a complex process, which occurs in different dimensions and heterogeneous scales. Because of that, one must consider a dynamic perspective to achieve both individual and collective welfare, which brings a responsible use of wealth into consideration. It is also necessary to strengthen people's capabilities and skills in the use of available wealth, especially because the Anthropocene, as both a socio-ecological and social decision-making system, helps to comprehend the needs and expectations of the people (Fonseca-Zárate *et al.*, 2020).

The importance of knowledge, innovation, the environmental and socio-ecological perspective has only recently been considered (80's) to be fundamental for the right to a "good" development of countries and regions. (Fonseca, 2018) recalls that development is a complex, multidimensional, multi-spatial process that involves identifying, agreeing, and achieving society's goals and expectations. He proposes IDTS as a different approach to assess "sustainability" by observing the coincidence or opposition of the five wealth vectors using the PCA statistical tool and the observation of the distance between their individual values.

Consequently, the processed information showed that:

1. Colombia is indeed growing, but at the expense of its natural resources and ecosystems, thus increasing the risk for its population. This is a common pattern in Latin America (Galindo *et al.*, 2014).
2. As the IDTS value increases for the municipalities, the variance, namely the distance between the five types of wealth increases, as does their unbalance. These unbalances can become negative and generate a vicious cycle, as is the case of water access, poverty, and other global economic indexes (Correa, 2017).
3. The directions of natural and intellectual wealth are opposite, that is, science and technology are uncoordinated and irresponsive to biodiversity and the country's climate variety. This constitutes evidence of what the literature has stated in relation to the need to stimulate, as a priority, the articulation and development of scientific and technological investigation capabilities (Duarte & Velho, 2009).
4. Some municipalities are far away from the country's capital and this fact appears to create a vicious cycle in terms that it does not allow the wealth to homogeneous increase and as so, the welfare levels that are achieved are not stable; it is worst in remote territories.

Therefore, it is really important to modify the existing exploitation model (García-Ubaque, 2016) and contribute to decreasing the distance between the five types of wealth. This will require much more science and technology, particularly in fields related to engineering and social and institutional innovation, which must be closely related to understanding our mega- biodiversity and socioecological complexity.

FUNDING

This study was funded with the researchers' own resources.

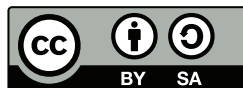
REFERENCES

- [Azariadis & Drazen, 1990] Azariadis, C. & Drazen, A. (1990). Threshold Externalities in Economic Development. *The Quarterly Journal of Economics*, 105(2), 501-526. <https://doi.org/10.2307/2937797> ↑Ver página 22
- [Calle-García *et al.*, 2017] Calle-García, A. J., Calle-García, J. S., & Yoza-Rodríguez, N. R., (2017). Modelo de articulación universidad y actores territoriales para el desarrollo local de la provincia de Manabí-Ecuador. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, 10(29), 2. <https://doi.org/10.37117/s.v1i10.101> ↑Ver página 18
- [Carmona & Díaz, 2018] Carmona, N. & Díaz, M. (2018). El desarrollo socioeconómico en Latinoamérica. Un análisis a la luz de los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas. *Atlantic Review of Economics: Revista Atlántica de Economía*, 1(1), 1-19. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6525199> ↑Ver página 18
- [Carroll, 1991] Carroll, A. (1991). The pyramid of corporate social responsibility: Toward the moral management of organizational stakeholders. *Business Horizons*, 34(4), 39-48. [https://doi.org/10.1016/0007-6813\(91\)90005-G](https://doi.org/10.1016/0007-6813(91)90005-G) ↑Ver página 18
- [Castells & Himanen, 2016] Castells, M. & Himanen, P. (2016). *Reconceptualización del Desarrollo en la Era Global de la Información*. Fondo de Cultura Económica Chile. ↑Ver página 16
- [Correa, 2017] Correa, G. (2017). Acceso al agua, pobreza y desarrollo en Colombia. *Revista de la Universidad de la Salle*, 72, 27-46. <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1516&context=ruls> ↑Ver página 23
- [Costanza *et al.*, 2014] Costanza, R., De Groot, R., Sutton, P., Van der Ploeg, S., Anderson, S., Kubiszewski, I., Farber, S., & Turner, K. (2014). Changes in the Global Value of Ecosystem Services. *Global Environmental Change*, 26, 152-158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002> ↑Ver página 17
- [Dasgupta, 2013] Dasgupta, P. (2013). *The nature of economic development and the economic development of nature*. University of Cambridge <https://doi.org/10.2139/ssrn.2352914> ↑Ver página 17

- [Delgado & García, 2019] Delgado, J. & García, J. (2019). La Innovación social como herramienta del desarrollo local. Una aproximación para América Latina. *Propuestas para el Desarrollo*, III(1), 77-94. <https://www.propuestasparaeldesarrollo.com/index.php/ppd/article/view/67> ↑Ver página 18
- [Duarte & Velho, 2009] Duarte, O. & Velho, L. (2009). Capacidades científicas y tecnológicas de Colombia para adelantar prácticas de bioprospección. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad-CTS*, 4(12), 55-68. <http://www.revistacts.net/contenido/numero-12/capacidades-cientificas-y-tecnologicas-de-colombia-para-adelantar-practicas-de-bioprospeccion/> ↑Ver página 23
- [Escobar, 2008] Escobar, A. (2008). *La Invención del Tercer Mundo*. Fundación Editorial el Perro y la Rana. ↑Ver página 17
- [Foladori, 1999] Foladori, G. (1999). Sustentabilidad ambiental y contradicciones sociales. *Ambiente & Sociedade*, 2(5), 19-34. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X1999000200003> ↑Ver página 23
- [Fonseca et al., 2016] Fonseca, C., Castellanos, F., & Castillo, S. (2016). IDTS (Índice de Desarrollo Territorial Sustentable): Instrumentos para la Gestión eficaz de la Paz completa y el Desarrollo verdadero. *Administración y Desarrollo*. ↑Ver página 17, 19, 20, 21, 22
- [Fonseca, 2018] Fonseca-Zárate, C. H. (2018). *Lineamientos y métodos de construcción y evaluación de políticas y estrategias de ciencia, tecnología e innovación diferenciadas regionalmente para el desarrollo territorial sustentable de Colombia*. UPTC-IGAC. ↑Ver página 17, 23
- [Fonseca-Zárate et al., 2020] Fonseca-Zárate, C. H., García-Ubaque, J. C., & García-Benitez, P. F. (2020). Collective Intuition and Alternative Statistics to Hit. *Tecnura*, 24(63), 57-67. <https://doi.org/10.14483/22487638.16197> ↑Ver página 23
- [Galindo et al., 2014] Galindo, L., Samaniego, J., Alatorre, J., Ferrer, J., & Reyes, O. (2014). *Paradojas y riesgos del crecimiento económico en América Latina y el Caribe: Una visión ambiental de largo plazo* (vol. 156, Serie Medio Ambiente y Desarrollo). CEPAL. ↑Ver página 23
- [García-Ubaque, 2016] García-Ubaque, C. (2016). Editorial. *Tecnura*, 20(48), 11-12. <https://doi.org/10.14483/22487638.10567> ↑Ver página
- [Gómez-Contreras, 2014] Gómez-Contreras, J. (2014). Del desarrollo sostenible a la sustentabilidad ambiental. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 22(1), 115-136. <https://doi.org/10.18359/rfce.643> ↑Ver página 23

- [Granato *et al.*, 1996] Granato, J., Inglehart, R., & Leblang, D. (1996). The Effect of Cultural Values on Economic Development: Theory, Hypotheses, and Some Empirical Tests. *American Journal of Political Science*, 40(3), 607-631. <https://doi.org/10.2307/2111786> ↑Ver página 23
- [Hausmann, 2006] Hausmann, R. (2006). *Development Revisited*. Harvard. ↑Ver página 17
- [Krugman, 2011] Krugman, P. (2011). The New Economic Geography, Now Middle Aged. *Regional Studies*, 45(1), 1-7. <https://doi.org/10.1080/00343404.2011.537127> ↑Ver página 17
- [Lucas, 1989] Lucas, R. E. (1989). On the mechanics of economic development. *NBER Working Paper*, R1176. <https://ssrn.com/abstract=227120> ↑Ver página 17, 22
- [Meier & Rauch, 1995] Meier, G. M. & Rauch, J. E. (1995). *Leading issues in economic development* (vol. 6). Oxford University Press. ↑Ver página 22
- [Naranjo, 2017] Naranjo, L. (2017). Ecosistemas del Antropoceno en Colombia. En D. Pérez, & S. Restrepo, *En diálogo con la tierra. Por una Colombia sostenible*. Bogotá: Editorial Universidad del Rosario. ↑Ver página 18
- [Ocampo, 2021] Ocampo, J. (2021). *Políticas Económicas para la gestión ambiental*. Bogotá: FESCOL.
- [Raworth, K. (2014). *The Doughnut Economics*. ↑Ver página 17
- [Raworth, 2014] Raworth, K. (2014). *The Doughnut Economics*. ↑Ver página 17
- [Rojas, 2019] Rojas, J. (2019). El Capital Intelectual y el Conocimiento: Generando Ventajas Competitivas en las Empresas. *Revista Sinergia*, 1(5), 160-168. ↑Ver página 18
- [Romer, 1986] Romer, P. (1986). Increasing returns and long-run growth. *The Journal of Political Economy*, 94(5), 261-420. <https://doi.org/10.1086/261420> ↑Ver página 17
- [Selomane *et al.*, 2019] Selomane, O., Reyers, B., Biggs, R., & Hamann, M. (2019). Harnessing Insights from Social- Ecological Systems Research for Monitoring Sustainable Development. *Sustainability*, 11(4), 1190. <https://doi.org/10.3390/su11041190> ↑Ver página 17
- [Sen, 2001] Sen, A. (2001). *Desarrollo como libertad*. Fondo Cultura Económica. ↑Ver página 16
- [Shindell, 2015] Shindell, D. T. (2015). The social cost of atmospheric release. *Economics Discussion Papers*, 56, 85245. <http://hdl.handle.net/10419/85245> ↑Ver página 17
- [Schumpeter *et al.*, 2003] Schumpeter J. & Backhaus U. (2003). The Theory of Economic Development. In Backhaus, J. & Schumpeter, J. (Eds.) *The European Heritage in Economics and the Social Sciences* (vol 1). Springer. ↑Ver página 22

- [Singer, 1952] Singer, H. W. (1952). The Mechanics of Economic Development: A Quantitative Model Approach. *Indian Economic Review*, 1(2), 1-18. <https://www.jstor.org/stable/45149613> ↑Ver página 22
- [Smith, 1776] Smith, A. (1776). *An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations*. W. Strahan and T. Cadell. <https://doi.org/10.1093/oseo/instance.00043218> ↑Ver página 22
- [Spaiser *et al.*, 2017] Spaiser, V., Ranganathan, S., Bali Swain, R., & Sumpter, D. (2017). The sustainable development oxymoron: quantifying and modelling the incompatibility of sustainable development goals. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 24(6), 457-470. <https://doi.org/10.1080/13504509.2016.1235624> ↑Ver página 17
- [Stiglitz, 2002] Stiglitz, J. H. (2002). *Globalization and its Discontents* (H. Rodríguez-Braun, Trans.). Taurus. ↑Ver página 17
- [Villegas *et al.*, 2017] Villegas, E., Hernández, M., & Salazar, B. (2017). La medición del capital intelectual y su impacto en el rendimiento financiero en empresas del sector industrial en México. *Contaduría y administración*, 62(1), 184-206. <https://doi.org/10.1016/j.cya.2016.10.002> ↑Ver página



Electrocoagulation as an Alternative for the Removal of Chromium (VI) in Solution

Electrocoagulación como alternativa para eliminación de cromo (VI) en solución

Angel Villabona-Ortíz ¹, Candelaria Tejada-Tovar ², Rafael Contreras-Amaya³

Fecha de Recepción: 28 de Septiembre de 2020

Fecha de Aceptación: 24 de Febrero de 2021

Cómo citar: Villabona-Ortíz, A. Tejada-Tovar, C. y Contreras-Amaya, R. (2021). Electrocoagulation as an Alternative for the Removal of Chromium (VI) in Solution. *Tecnura*, 25(68), 28-42. <https://doi.org/10.14483/22487638.17088>

Abstract

Objective: The pollution of water bodies, a product of effluent discharges contaminated with Chromium (VI), is a widely studied environmental problem due to the toxic effects of this pollutant on human health and the environment. The aim of this work is to study the elimination of hexavalent chromium by means of the electrocoagulation method with iron and aluminum electrodes in a monopolar configuration. The effect of residence time, voltage, and the number of electrodes over removal efficiency was evaluated.

Methodology: The experiments were conducted in a 3 L batch electrocoagulation cell, using 10 and 6 aluminum and stainless-steel plates, respectively, as electrodes connected at a distance of 1,5 cm in a monopolar configuration and parallel to the power source. A contaminated solution with Cr(VI) was treated at a concentration of 50 mg/L, evaluating two levels of residence time (20 and 30 min), voltage (20 and 30 V), and number of electrodes (6 and 10).

Results: Removal percentages between 60,15 and 92,9% were obtained. It was found that the most positively influential variable in the process is the increase in residence time. It can be inferred that electrocoagulation performs better at lower voltages and longer residence times, and the joint effect of the increase in the number of electrodes and the contact time increases the performance of the process, thus achieving greater removal.

Conclusions: The Cr(IV) reduction process by electrocoagulation has the potential to be used for the removal of heavy metals from water in a cost-effective way.

Keywords: Cr(VI), aluminum electrodes, iron electrodes

¹Master in Environmental Engineering; chemical engineer. Professor at Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia. Email: avillabonao@unicartagena-edu.co

²Magister in Environmental Engineering; chemical engineer. Professor at Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia. Email: ctejudat@unicartagena-edu.co

³Chemical engineer, graduated from Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia. Email: rcontrerasa01@gmail.com

Resumen

Contexto: La contaminación de los cuerpos de agua, producto de los vertimientos de efluentes contaminados con Cromo (VI), es una problemática ambiental ampliamente estudiada, debido a los efectos tóxicos de este contaminante sobre la salud humana y el ambiente. El objetivo del presente trabajo es estudiar la eliminación de cromo hexavalente usando el método de electrocoagulación con electrodos de hierro y aluminio en configuración monopolar. Se evaluó el efecto del tiempo de residencia, del voltaje y del número de electrodos sobre la eficiencia de remoción.

Metodología: Los experimentos se realizaron en una celda de electrocoagulación por lotes de 3 L, utilizando 10 y 6 placas de aluminio y acero inoxidable, respectivamente, como electrodos conectados a una distancia de 1,5 cm en configuración monopolar, en paralelo a la fuente de energía. Se trató una solución contaminada con Cr(VI) a una concentración de 50 mg/L, evaluando dos niveles de tiempo de residencia (20 y 30 min), voltaje (20 y 30 V) y número de electrodos (6 y 10 electrodos).

Resultados: Se obtuvieron porcentajes de remoción entre 60,15 y 92,9 %. Se encontró que la variable con mayor incidencia positiva sobre el proceso es el aumento del tiempo de residencia. Se puede inferir que la electrocoagulación se desempeña mejor a voltajes inferiores y tiempos de residencia mayores, y que el efecto conjunto del aumento de la cantidad de electrodos y el tiempo de contacto incrementa el rendimiento del proceso, logrando así mayor remoción.

Conclusiones: El proceso de reducción de cromo (VI) mediante electrocoagulación tiene el potencial de utilizarse para la eliminación de metales pesados del agua de manera rentable.

Palabras clave: Cr(VI), electrodos de aluminio, electrodos de hierro

Table of Contents

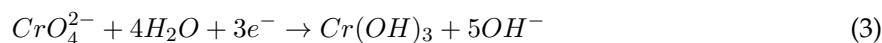
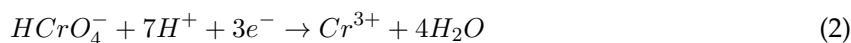
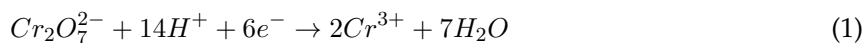
	Página
INTRODUCTION	30
METHODOLOGY	31
Experimental design	32
Preparation of the solution	32
Electrochemical cell design	32
Electrocoagulation experiments	33
RESULTS	34
CONCLUSIONS	38
FINANCING	38
ACKNOWLEDGEMENTS	38
REFERENCES	38

INTRODUCTION

Chromium is a metal highly used in industrial processes such as printed circuit board manufacturing, tanning, metal processing, electroplating, and metal finishing. It usually exists in trivalent and hexavalent forms in aqueous solutions (Thirugnanasambandham & Shine, 2018). Hexavalent chromium (Cr(VI)), a carcinogen, is toxic to all forms of life and highly soluble in water (Mahmad *et al.*, 2016). On the other hand, trivalent chromium (Cr(III)) has a low solubility in aqueous media, and it easily precipitates at $\text{pH} > 4$ as $\text{Cr}(\text{OH})_3$ (Genawi *et al.*, 2020).

In the case of wastewaters, Cr(VI) can be removed with several techniques, such as ion exchange, chemical reduction followed by precipitation, reverse osmosis, photocatalytic processes, and adsorption (Nwabanne *et al.*, 2018). The mainstream treatment application currently used to eliminate Cr(VI) is its reduction to Cr(III) (Aoudj *et al.*, 2017).

Electro coagulation (EC) is based on the creation of the coagulant while the sacrificial anode is degraded due to the applied current. At the same time, hydrogen is formed at the cathode, thus enabling the removal of contaminants by precipitation and flotation (Elabbas *et al.*, 2016). This technology combines three interdependent processes, which operate jointly to eliminate contaminants: electrochemistry, coagulation, and hydrodynamics. Equations (1) to (4) show the reactions that occur during the removal of Cr(VI) with an Al(III) electrode (Sadeghi *et al.*, 2017).

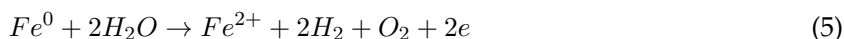


After the reduction reactions presented above, precipitation of Cr^{3+} in the form of hydroxide occurs:

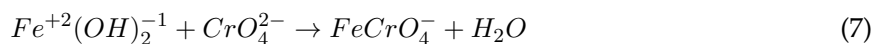
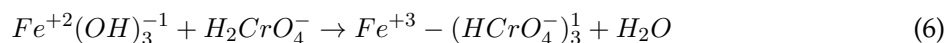


It can be added that $\text{Al}(\text{OH})_3$, if generated from the reaction between Al^{3+} and OH^- ions, is produced on the surface of electrodes. Secondary reactions can occur at the anode if it is powerful enough, such as the reduction of organic compounds by oxidation and Cl^- present in the effluents. The $\text{Al}(\text{OH})_3$ flocs act as adsorbents or traps for the metal ions and thus remove them from the aqueous media. Additionally, a direct electrochemical reduction of Cr(VI) to Cr(III) can occur on the cathode's surface (Singh *et al.*, 2018). At the same time, hydroxyl groups formed at the cathode increase the electrolyte's pH and can induce co-precipitation of Cr(III) as hydroxides (Ziati *et al.*, 2018). This happens coordinately to eliminate contaminants present in the water.

Initially, when using stainless steel as an electrode, there is a process of electrogenerated species of Fe(II), as described in Equation (5):



This leads to Cr(VI) reduction to Cr(III) at pH between 2 and 6,5, and the precipitation of Cr(III), produced at pH > 7,0 (Elabbas *et al.*, 2020). This process can occur with Al(III) electrodes, and its reaction mechanism is summarized in Equations (1) and (2) (Ali Maitlo *et al.*, 2019). The aforementioned reduction is evidenced by the fact that it takes an acidic medium and a source of Al(III) to break the balance to the right side (Elabbas *et al.*, 2020). The interaction of $HCrO_4^-$ and CrO_4^{2-} ions with iron oxides results in the formation of mono- and bidentate complexes on the surface of the internal sphere. This mechanism is described in Equations (6) and (7) (Ali Maitlo *et al.*, 2019):



EC is a technique with an advantage over conventional coagulation due to lower investment costs, maintenance, energy expenditure, efficiency at low concentrations, lower sludge generation, and improved mud quality (Peng & Guo, 2020). Therefore, it has been widely implemented in the removal of Cr(VI) using electrodes of different nature. (Prasetyaningrum *et al.*, 2018) reported a 26 % Cr(VI) removal efficiency using Al(II) electrodes for 2 h. (Heffron, *et al.*, 2016) found an efficiency of 85 % using Fe(II) electrodes. Similarly, (Ali Maitlo *et al.*, 2019) achieved a 100 % removal rate after 4 h of operation. Thus, the objective of this study was to evaluate chromium elimination from synthetic solutions through the electrocoagulation method, using aluminum and stainless steel electrodes simultaneously. The effect of voltage variation, number of electrodes, and residence time was determined in this study.

METHODOLOGY

Potassium chromate (K_2CrO_4) (PanReac) was used at 98 % purity as a reagent in the preparation of the synthetic solution, as well as 1,5-Diphenylcarbazine as a color indicator in the detection of Cr(VI) in solutions. The following equipment was also used: an HM Digital Conductivity Meter Aqua Pro 2 (0-9999 μS 0-80°C \pm 2 %); a Hanna Instruments portable pH- meter, model HI 9126 with a range of 2-16 pH \pm 0,01 pH; a regulated PHYWE DC- Constanter power supply (0-30 V, 0-20 A); and a Meihua Biobase UV-Vis spectrophotometer, model UV-BK1900 with a 1 cm quartz cell.

Experimental design

A factorial design of experiments was used. The effect of voltage (20 and 30 V), the number of electrodes (6 and 10 electrodes), and the time of residence (20 and 30 min) were considered as independent variables. The tests were carried out in duplicate, for a total of 16 experiments.

Preparation of the solution

The synthetic solution of Cr(VI) at 50 mg/L was prepared by dissolving 0,1414 mg of K_2CrO_4 per liter of water (Tejada-Tovar *et al.*, 2020).

Electrochemical cell design

The design of the cell was made according to (Al-Qodah & Al-Shannag, 2017). Considering these criteria, a glass cell was built with a thickness of 4 mm and dimensions of 16 cm high, 16 cm wide, and 20 cm long, with a 3 L treatment volume of the cell. This design has the possibility of coupling 10 equidistant electrodes at 1,5 cm. The shape of the electrodes was a square plate of 15 x 15 cm. There were 5 stainless steel electrodes (AISI 316L, caliber 20, 0,91 mm thickness), which acted as inert material in the cathode; and 5 aluminum electrodes (caliber 16, 1,67 mm of thickness) as a sacrificial anode. The electrical connection to the PHYWE DC-Constanter power supply was made in a parallel monopolar configuration. The diagram of the electrocoagulation cell is shown in Figure 1.

The current density (I) was determined according to Equation (8):

$$I \left(\frac{A}{cm^2} \right) = \frac{\text{Applied current}}{\text{Anode - area}} \quad (8)$$

The effective area (EA) of the anode is the sum of the exposed (immersed) areas of each electrode of the electrocoagulation cell. Out of each 15 cm of high plate, 9 cm are in contact with the water to be treated. Thus, for 6 electrodes, we have an effective area and applied current, as shown in Equations (9) and (10):

$$EA = 3 \text{ electrodes} * 2 \text{ faces} * 9 \text{ cm} * 15 \text{ cm} = 810 \text{ cm}^2 \quad (9)$$

$$I_{6-plates} = \frac{5 \text{ A}}{810 \text{ cm}^2} = 0,0062 \text{ A/cm}^2 \quad (10)$$

For 10 electrodes, we have the effective area and applied current, as shown in Equations (11) and (12):

$$EA = 5 \text{ electrodes} * 2 \text{ faces} * 9 \text{ cm} * 15 \text{ cm} = 1350 \text{ cm}^2 \quad (11)$$

$$I_{6-plates} = \frac{5 \text{ A}}{1350 \text{ cm}^2} = 0,0037 \text{ A/cm}^2 \quad (12)$$

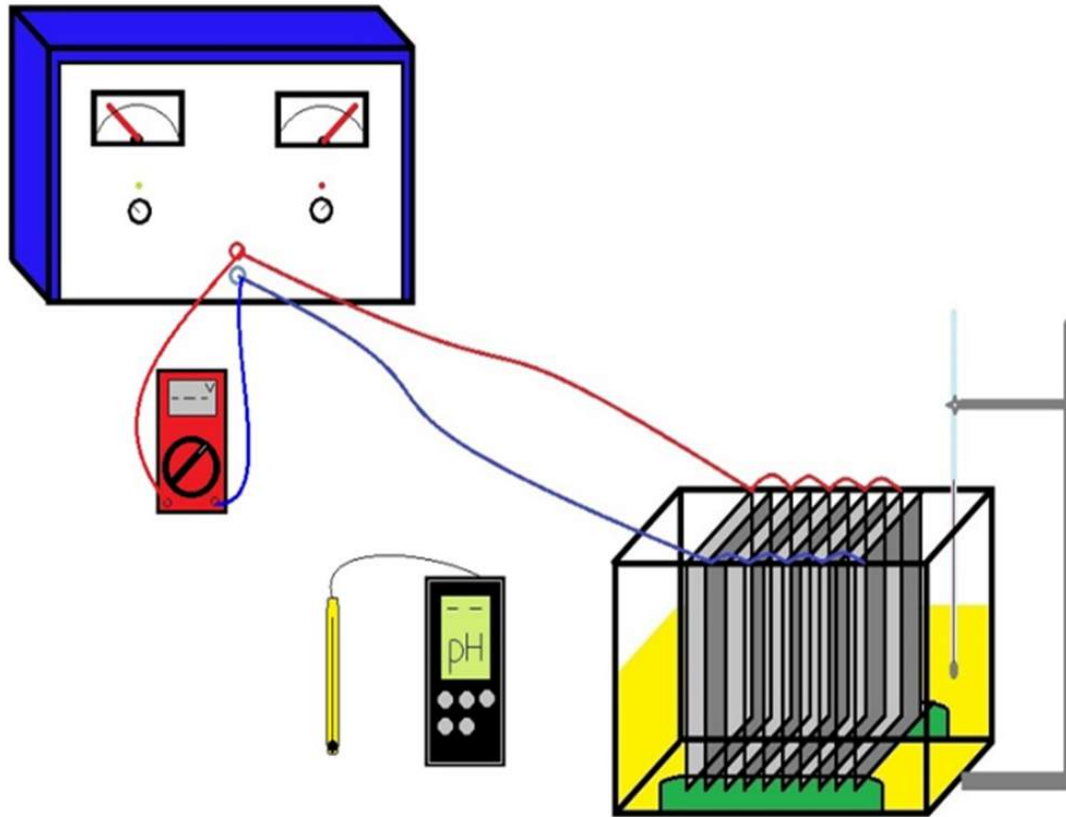


Figure 1. Electrocoagulation equipment

Source: Authors.

Electrocoagulation experiments

Once the equipment was prepared, 3 L of Cr(VI) solution at 50 ppm were added, evaluating the effect of the variables according to the proposed experimental design. After the treatment time had elapsed, the plates were removed from the reactor and left to decant for 30 minutes. The final concentration of Cr(VI) in the solution was determined by UV-Vis spectrophotometry at 540 nm, following the standard method for the determination of hexavalent chromium in water, by means of the colorimetric complex formed between 1,5- Diphenylcarbazide and the ion (ASTM, 2017). The percentage of removal (RY) was obtained with Equation (13):

$$RY(\%) = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} * 100 \quad (13)$$

where $C_{Cr(in)}$ is the initial chromium concentration, and $C_{Cr(fin)}$ is the post-treatment contaminant concentration in mg/L.

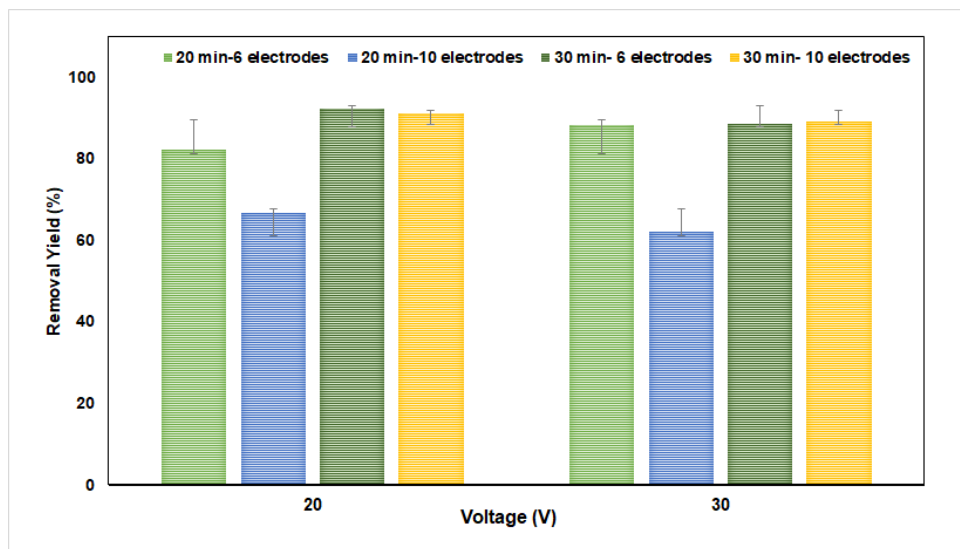


Figure 2. Effect of the number of electrodes, contact time, and voltage variation on the efficiency of Cr(VI) removal

Source: Authors.

RESULTS

According to Figure 2, the experimental treatments had a variation in the percentage of removal from 60,15 to 92,9 %, with the lowest performance using 10 electrodes, 30 V, and 20 min, while the best experimental condition was at 10 electrodes, 30 min, and 20 V. This removal is due to the fact that the hydrolysis products of aluminum and iron in steel destabilize the Cr(VI) in the solution, which allows agglomeration and a greater separation of the solution by sedimentation or flotation (Prasetyaningrum *et al.*, 2018).

It has been reported that chromium removal using aluminum electrodes reaches approximately 72,65 %, whereas, with stainless steel electrodes, a maximum removal efficiency of 88,35 % is obtained, with the EC process being dependent on the pH, thus obtaining the best performance at acidic pH (3) (Mahmad *et al.*, 2016). Aluminum, steel, and a combination of aluminum-steel electrodes have also been used, finding the best performance with aluminum electrodes. However, they reached only 26 % performance during 2 h of operation, which is far below the results obtained in this research (Prasetyaningrum *et al.*, 2018). The good performance in the removal process of Cr(VI) obtained in this research could be due to the connection between the electrodes (aluminum to the anode and steel to the cathode) because connecting both metals to the cell increases the presence of iron ions, aluminum, and its hydroxides produced by the hydrolyzation of the metallic plates (Khan *et al.*). Previous studies have shown that the efficiency of Cr(VI) removal using electrochemical met-

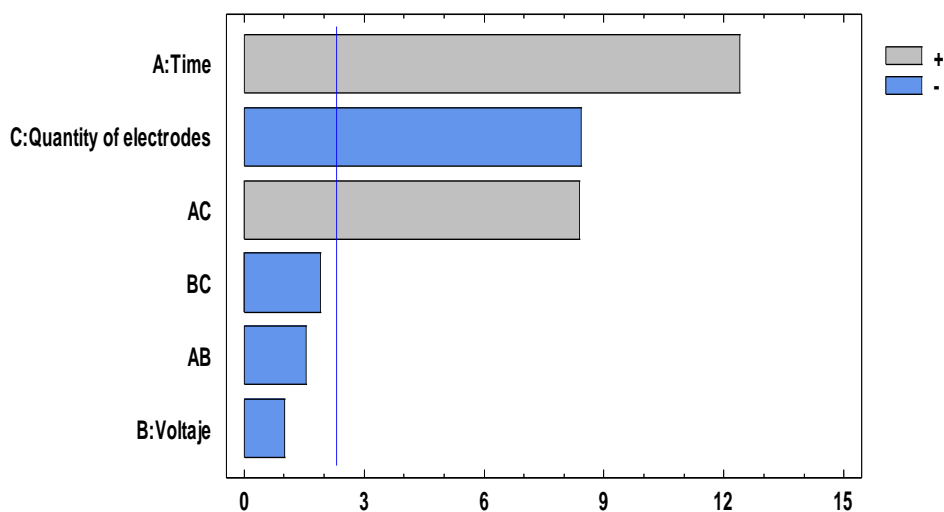


Figure 3. Standardized Pareto chart for Cr(VI) removal efficiency

Source: Authors.

hods is 100 times better than using precipitation (He *et al.*, 2020). It has been reported, by varying the voltage in 3, 6, and 9 V, that the removal efficiency increased to 34,95, 67,357, and 67,99 %, respectively, thus demonstrating the influence of this variable on the efficiency of the process (Pavithra *et al.*, 2020).

The standardized Pareto chart is shown in Figure 3, where it is evident that the residence time has a positive and significantly influential effect on the efficiency of Cr(VI) removal through EC.

From Figure 3, it can be stated that the increase in the number of electrodes has a negative effect, which is reflected in a lower efficiency when using 10 electrodes, 30 V, and 20 min. On the other hand, voltage variation does not significantly influence the process. It was observed that the simultaneous increase in contact time and the number of electrodes benefits removal efficiency. This could be due to the presence of Fe(II) and Al(III) hydroxides, which increases with the number of electrodes. These compounds act as flocculants and trap contaminant molecules, perhaps by means of the proportional increase in Fe(II) and Al(III) hydroxides with the number of electrodes. Likewise, the joint effect of the increase in the number of electrodes and the contact time increases the performance of the process, thus achieving a higher removal of Cr(VI) due to the electrical activity between the electrodes and the voltage supplied to the system. The contact time in the present study varied up to 30 min, because it has been reported in diverse studies that, after this time, there is a decrease in efficiency, which could be due to the effect of the EC reaching the saturation point. Therefore, unlimited growth is not achieved by increasing the reaction time (Liu, 2018). Moreover, as the time increases, the metal plates tend to form a loose protective film passivation layer, which influences the amount of dissolved

Table I. ANOVA for Cr(VI) removal efficiency

Source	Sum of Squares	G1	F-Ratio	P-Value
A: residence time	953.266	1	157,24	0,0000
B: voltage	6,25	1	1,03	0,3397
C: number of electrodes	441,0	1	72,74	0,0000
AB	15,0156	1	2,48	0,1542
AC	435.766	1	71,88	0,0000
BC	22,5625	1	3,72	0,0898
Blocks	1,89063	1	0,31	0,5918
Total error	48,5	8		
Total (corr.)	1 924.25	15		

Source: Authors.

Al(III) and Fe(II) electrode and free radicals, resulting in ions and the reduction of the number of flocculants, as well as a decrease in the oxidation effect (Das & Nandi, 2020). Another important criterion to consider in the implementation of EC is energy consumption, which is affected by the increasing time, thus implying higher processing costs (Chouhan *et al.*, 2018).

The analysis of variance (ANOVA) is shown in Table I, which indicates the significance of the variables in the ranges evaluated in the process of Cr(VI) removal by EC, with a p-value of less than 0,05, thus corroborating what is found in the Pareto chart in Figure 3.

Based on the ANOVA of the experimentally obtained data, the statistical significance of the adjusted equation was estimated by using the established variance ratio and the determination coefficients (R^2). It can be inferred from the quadratic model that it was statistically significant for the efficiency of Cr(VI) removal by EC ($p \geq 0,0001$). The results showed that only 3 of the 7 model terms were significant for removal efficiency: residence time (A), the number of electrodes (C), and AC interaction term (Emamjomeh *et al.*, 2017). The R^2 was higher than 90%; it showed that the variability in the adsorption could be explained by the model, with the coherence between the experimental and predicted values being significant within the process.

$$RY(\%) = 124,462 + 1,6625 * A + 1,49375 * B + 1207031 * C - 0,03875 * AB + 0,5219 * AC - 0,1188 * BC \quad (14)$$

where RY is the percentage of removal efficiency, A is the residence time in min, B is the voltage in V , and C is the number of electrodes.

Figure 4 shows the effect of time on the C/C_i ratio of Cr(VI) for different applied voltages and the number of electrodes used at an initial concentration of 50 mg/L.

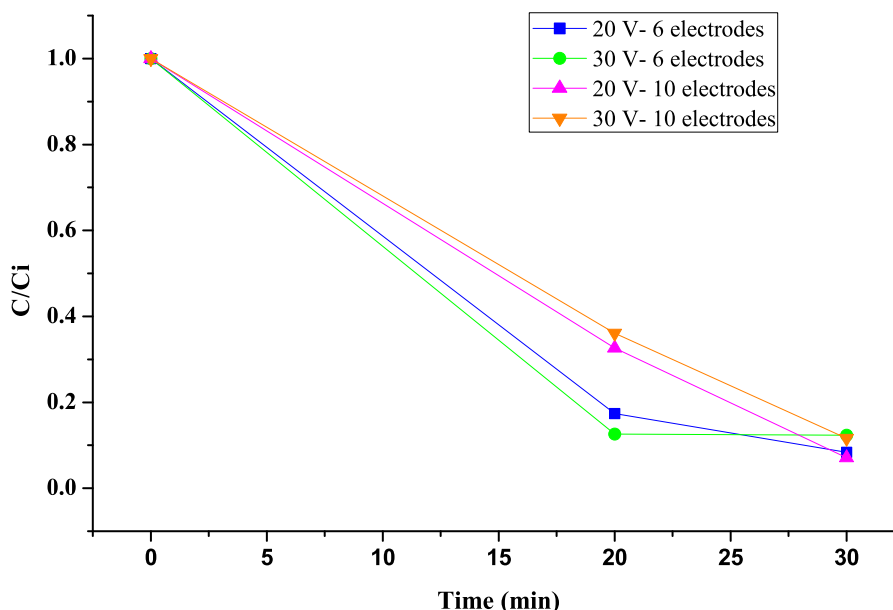


Figure 4. Effect of time in the Cr(VI) removal

Source: Authors.

It is observed that the pH varied from an alkaline medium (10,5) to a basic medium (6,8-7). This is due to the precipitation and flotation of the chromium present in the solution, leaving water with small traces of chromium in the center of the reactor, as reported by (?). In this regard, the speciation of chromium in aqueous solutions depends on different physical parameters such as temperature, pH, the presence of another compounds, and concentration. Nevertheless, it has been discovered that Cr(VI) can be found as HCrO_4^- , CrO_4^{2-} , or $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (Martín-Domínguez *et al.*, 2018). Thus, complex formation at the electrodes is expected because of the high state of oxidation of Chromium (Babakhouya *et al.*, 2019). In this sense, it was demonstrated that the Cr(VI) reduction process depends on the acidity of the medium, and a greater efficiency was obtained in acidic mediums, which could be attributed to the fact that existing Cr(VI) species such as $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ are more easily reduced under acidic conditions than under neutral/alkaline conditions, according to (Peng *et al.*, 2019).

From Figure 4, it can be inferred that the variation in voltage does not significantly affect removal because, regardless of the voltage used, most experiments yielded removal percentages very close to and even higher than 90 % (Aboulhassan *et al.*, 2018). The best removal efficiency is given by using the configuration of 10 electrodes at 20 V for 30 min, which was due to the interaction of the number of sacrificial electrodes and the residence time, the most influential parameters in the process. This was made evident in the 30 min experiments; they obtained higher removal percentages than the 20 min

treatments, which is very close to and higher than 90 %. By increasing the number of electrodes and keeping the current density constant, the rate of all the reactions increases as a consequence of the increase of the anode's effective surface (Mamelkina *et al.*, 2019). That is, by increasing the number of electrodes in the treatment, a higher concentration of aluminum in dissolution is achieved in a shorter time (Petrie *et al.*, 2015). It is evident that, when there is a greater number of electrodes, the same removal percentage can be achieved in less time than with a smaller number of electrodes, which is why the fraction of precipitated chromium is directly proportional to the number of electrodes (Kim *et al.*, 2020).

CONCLUSIONS

The results obtained showed efficiency in the removal of hexavalent chromium up to 92,9 % using 10 electrodes and 20 V for 30 min. Thus, electrocoagulation performs better at lower voltages and longer residence times. The Cr(VI) reduction process was significantly affected by the residence time and the number of electrodes, due to the increased anode area. Electrocoagulation technology can be considered a viable alternative for the treatment of wastewater with hexavalent chromium because it allows the removal of a large amount of the contaminant in a single operation. Furthermore, chemical coagulants are not used as in conventional methods, thus making it an environmentally friendly treatment option.

FINANCING

The University of Cartagena provided the materials, reagents, equipment, and human resources (research professors) required to carry out the project entitled "Removal of chromium (VI) using electrocoagulation as an alternative treatment of contaminated water from the electroplating industry".

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to the University of Cartagena for the support in developing this research.

REFERENCES

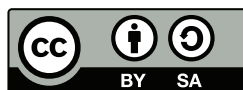
[Aboulhassan *et al.*, 2018] Aboulhassan, M. A., El Ouarghi, H., Ait Benichou, S., Ait Boughrou, A., & Khalil, F. (2018). Influence of experimental parameters in the treatment of tannery wastewater by electrocoagulation. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 53(17), 2717– 2726. <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1470642> ↑Ver página 37

- [Al-Qodah & Al-Shannag, 2017] Al-Qodah, Z. & Al-Shannag, M. (2017). Heavy metal ions removal from wastewater using electrocoagulation processes: A comprehensive review. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 52(17), 2649–2676. <https://doi.org/10.1080/01496395.2017.1373677> ↑Ver página 32
- [Ali Maitlo *et al.*, 2019] Ali Maitlo, H., Kim, K. H., Yang Park, J., & Hwan Kim, J. (2019). Removal mechanism for chromium (VI) in groundwater with cost-effective iron-air fuel cell electrocoagulation. *Separation and Purification Technology*, 213, 378–388. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.12.058> ↑Ver página 31
- [ASTM, 2017] (ASTM, 2017) *D1687- 17. Standard Test Methods for Chromium in Water*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D1687-17> ↑Ver página
- [Aoudj *et al.*, 2017] Aoudj, S., Cheknane, B., Zemmouri, H., Zermane, F., Khelifa, A., Hecini, M., & Drouiche, N. (2017). Kinetics and adsorption isotherm for the removal of fluoride and chromium (VI) from wastewater by electrocoagulation. *Desalination and Water Treatment*, 82, 262–270. <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.21017> ↑Ver página 30
- [Babakhouya *etal.*, 2019] Babakhouya, N., Abdouni, M., & Louhab, K. (2019). Electrochemical chromium(VI) recovery process by conducting composite, Olive Pomace/Pani. *Revue Roumaine de Chimie*, 64(9), 747–753. <https://doi.org/10.33224/rrch.2019.64.9.01> ↑Ver página 37
- [Chouhan *et al.*, 2018] Chouhan, A., Thakur, L. S., Patidar, K., & Varma, A. K. (2018). A Review on Removal of Heavy Metals from Water / Wastewater by Electrocoagulation Process. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5(12), 934–944. <https://www.irjet.net/archives/V5/i12/IRJET-V5I12179.pdf> ↑Ver página 36
- [Das & Nandi, 2020] Das, D. & Nandi, B. K. (2020). Removal of Hexavalent Chromium from Wastewater by Electrocoagulation (EC): Parametric Evaluation, Kinetic Study and Operating Cost. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 73, 2053–2060. <https://doi.org/10.1007/s12666-020-01962-4> ↑Ver página 36
- [Elabbas *et al.*, 2016] Elabbas, S., Ouazzani, N., Mandi, L., Berrekhis, F., Perdicakis, M., Pontvianne, S., Pons, M. N., Lapicque, F., & Leclerc, J. P. (2016). Treatment of highly concentrated tannery wastewater using electrocoagulation: Influence of the quality of aluminium used for the electrode. *Journal of Hazardous Materials*, 319, 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.12.067> ↑Ver página 30
- [Elabbas *et al.*, 2020] Elabbas, S., Adjerroud, N., Mandi, L., Berrekhis, F., Pons, M. N., Leclerc, J. P., & Ouazzani, N. (2020). Eggshell adsorption process coupled with electrocoagulation for improvement of chromium removal from tanning wastewater. *International Journal of Environmental Analy-*

- tical Chemistry*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1761963> ↑Ver página 31
- [Emamjomeh *et al.*, 2017] Emamjomeh, M. M., Jamali, H. A., & Moradnia, M. (2017). Optimization of nitrate removal efficiency and energy consumption using a batch monopolar electrocoagulation: Prediction by RSM method. *Journal of Environmental Engineering*, 143(7), 04017022. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001210](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001210) ↑Ver página 36
- [Genawi *et al.*, 2020] Genawi, N. M., Ibrahim, M. H., El-Naas, M. H., & Alshaik, A. E. (2020). Chromium removal from tannery wastewater electrocoagulation: Optimization and sludge characterization. *Water*, 12(5), 1374. <https://doi.org/10.3390/w12051374> ↑Ver página 30
- [He *et al.*, 2020] He, C., Gu, L., Xu, Z., He, H., Fu, G., Han, F., Huang, B., & Pan, X. (2020). Cleaning chromium pollution in aquatic environments by bioremediation, photocatalytic remediation, electrochemical remediation and coupled remediation systems. *Environmental Chemistry Letters*, 18(3), 561–576. <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00960-3> ↑Ver página 35
- [Heffron, *et al.*, 2016] Heffron, J., Marhefke, M., & Mayer, B. K. (2016). Removal of trace metal contaminants from potable water by electrocoagulation. *Scientific Reports*, 6, 28478. <https://doi.org/10.1038/srep28478> ↑Ver página 31
- [Khan *et al.*] Khan, S. U., Islam, D. T., Farooqi, I. H., Ayub, S., & Basheer, F. (2019). Hexavalent chromium removal in an electrocoagulation column reactor: Process optimization using CCD, adsorption kinetics and pH modulated sludge formation. *Process Safety and Environmental Protection*, 122, 118–130. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.11.024> ↑Ver página 34
- [Kim *et al.*, 2020] Kim, T., Kim, T. K., & Zoh, K. D. (2020). Removal mechanism of heavy metal (Cu, Ni, Zn, and Cr) in the presence of cyanide during electrocoagulation using Fe and Al electrodes. *Journal of Water Process Engineering*, 33, 101109. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101109> ↑Ver página 38
- [Liu, 2018] Liu, T., He, F., An, C., Kang, X., Huang, Z., Li, W., & Zhang, Y. (2018). Experimental study on the treatment of chromium containing wastewater by electric flocculation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 170(5). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/170/5/052012> ↑Ver página 35
- [Mahmad *et al.*, 2016] Mahmad, M. K. N., Rozainy, M. A. Z. M. R., Abustan, I., & Baharun, N. (2016). Electrocoagulation Process by Using Aluminium and Stainless Steel Electrodes to Treat Total Chromium, Colour and Turbidity. *Procedia Chemistry*, 19, 681–686. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2016.03.070> ↑Ver página 30, 34

- [Mamelkina *et al.*, 2019] Mamelkina, M. A., Vasilyev, F., Tuunila, R., Sillanpää, M., & Häkkinen, A. (2019). Investigation of the parameters affecting the treatment of mining waters by electrocoagulation. *Journal of Water Process Engineering*, 32, 100929. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100929> ↑Ver página 38
- [Martín-Domínguez *et al.*, 2018] Martín-Domínguez, A., Rivera-Huerta, M. L., Pérez-Castrejón, S., Garrido-Hoyos, S. E., Villegas-Mendoza, I. E., Gelover-Santiago, S. L., Drogui, P., & Buelna, G. (2018). Chromium removal from drinking water by redox-assisted coagulation: Chemical versus electrocoagulation. *Separation and Purification Technology*, 200, 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.02.014> ↑Ver página 37
- [Naghdali *et al.*, 2019] Naghdali, Z., Sahebi, S., Ghanbari, R., Mousazadeh, M., & Jamali, H. A. (2019). Chromium removal and water recycling from electroplating wastewater through direct osmosis: Modeling and optimization by response surface methodology. *Environmental Health Engineering and Management*, 6(2), 113–120. <https://doi.org/10.15171/ehem.2019.13> ↑Ver página
- [Nwabanne *et al.*, 2018] Nwabanne, J. T., Igwegbe, C. A., & Okpo, S. O. (2018). Removal of Copper, Nickel, and Chromium from Simulated Wastewater using Electrocoagulation Technique. 2018 *International Conference Proceedings: Faculty of Engineering, Unizik, August*, 448– 458. <https://www.researchgate.net/publication/327043937> <https://doi.org/10.1155/2018/4349639> ↑Ver página 30
- [Pavithra *et al.*, 2020] Pavithra, K. G., Jaikumar, V., Kumar, P. S., & Sundarajan, P. (2020). Cleaner strategies on the effective elimination of toxic chromium from wastewater using coupled electrochemical/biological systems. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 39(4), e13399. <https://doi.org/10.1002/ep.13399> ↑Ver página 35
- [Peng & Guo, 2020] Peng, H. & Guo, J. (2020). Removal of chromium from wastewater by membrane filtration, chemical precipitation, ion exchange, adsorption electrocoagulation, electrochemical reduction, electrodialysis, electrodeionization, photocatalysis and nanotechnology: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18, 2088-2068. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01058-x> ↑Ver página 31
- [Peng *et al.*, 2019] Peng, H., Leng, Y., & Guo, J. (2019). Electrochemical removal of chromium (VI) from wastewater. *Applied Sciences*, 9(6), 1156. <https://doi.org/10.3390/app9061156> ↑Ver página 37
- [Petrie *et al.*, 2015] Petrie, B., Barden, R., & Kasprzyk-Hordern, B. (2015). A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: Current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring. *Water Research*, 72, 3–27. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2014.08.053> <https://doi.org/10.3390/app9061156> ↑Ver página 38

- [Prasetyaningrum *et al.*, 2018] Prasetyaningrum, A., Jos, B., Dharmawan, Y., Prabowo, B. T., Fathurrazan, M., & Fyrouzabadi. (2018). The influence of electrode type on electrocoagulation process for removal of chromium (VI) metal in plating industrial wastewater. *Journal of Physics: Conference Series*, 1025, 012126. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1025/1/012126> ↑Ver página 31, 34
- [Sadeghi *et al.*, 2017] Sadeghi, S., Alavi Moghaddam, M. R., & Arami, M. (2017). Techno-economical evaluation of hexavalent chromium removal by electrocoagulation process with the aid of polyaluminum chloride as coagulant: Optimization through response surface methodology. *Environmental Engineering and Management Journal*, 16(1), 93–104. <https://doi.org/10.30638/eemj.2017.011> ↑Ver página 30
- [Singh *et al.*, 2018] Singh, H., Sonal, S., & Mishra, B. K. (2018). Hexavalent chromium removal by monopolar electrodes based electrocoagulation system: Optimization through Box-Behnken design. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 67(2), 147–161. <https://doi.org/10.2166/aqua.2017.135> ↑Ver página 30
- [Tejada-Tovar *et al.*, 2020] Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, A., & Ortega-Toro, R. (2020). Determination of Kinetic Parameters in the Biosorption of Chromium (VI) in Aqueous Solution. *Ingeniería y Ciencia*, 16(31), 129–143. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.16.31.6> <https://doi.org/10.2166/aqua.2017.135> ↑Ver página 32
- [Thirugnanasambandham & Shine, 2018] Thirugnanasambandham, K. & Shine, K. (2018). Investigation on the Removal of Chromium from Wastewater using Electrocoagulation. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 16(5), 1–10. <https://doi.org/10.1515/ijcre-2017-0155> <https://doi.org/10.2166/aqua.2017.135> ↑Ver página 30
- [Ziati *et al.*, 2018] Ziati, M., Khemmari, F., Aitbara, A., & Hazourli, S. (2018). Reduction of Turbidity and Chromium Content of Tannery Wastewater by Electrocoagulation Process. *Water Environment Research*, 90(7), 598–603. <https://doi.org/10.2175/106143017x15131012152906> ↑Ver página 30



Impacto ambiental del vertimiento de aguas servidas en aglomerados urbanos ilegales del municipio de Villavicencio, Colombia

Environmental Impact of Sewage Discharge Into Illegal Urban Agglomerates in Villavicencio, Colombia

Álvaro Javier Moyano Salcedo ¹, Fabián Dario Cuadros Segura ², Adrián Mateo Pabón Laverde ³, Jassbleydi Valentina Trujillo Arias ⁴

Fecha de Recepción: 05 de Septiembre de 2020

Fecha de Aceptación: 24 de Febrero de 2021

Cómo citar: Moyano-Salcedo., A.J. Cuadros-Segura., F.D. Pabón-Laverde., A.M. y Trujillo-Arias., J.V. (2021). Impacto ambiental del vertimiento de aguas servidas en aglomerados urbanos ilegales del municipio de Villavicencio, Colombia. *Tecnura*, 25(68), 43-62. <https://doi.org/10.14483/22487638.16273>

Resumen

Contexto: La conformación de conglomerados habitacionales ilegales, en la mayoría de los casos, sin saneamiento básico adecuado, puede generar deterioro de los recursos naturales. El presente estudio evaluó el impacto ambiental asociado al vertimiento de aguas servidas urbanas (ASU) sobre suelos y cuerpos de agua, en un aglomerado urbano ilegal del municipio de Villavicencio.

Metodología: A partir de 15 puntos de muestreo se determinaron parámetros fisicoquímicos de agua: serie de sólidos, turbiedad, color, demanda química de oxígeno (DQO), pH, conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD); y de suelo: pH, CE, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y concentración de C, N y elementos traza, para identificar impactos sobre los recursos en el área de estudio.

Resultados: Las muestras de ASU presentaron valores elevados en parámetros como turbiedad (326 NTU), color (744 UPC) y DQO bruta (600 a 1500 mg l⁻¹). En los análisis de cuerpos de agua aledaños al sector, la DQO varió entre 368 y 429 mg l⁻¹. Asimismo, el OD osciló entre 5,7 y 7,1 mg l⁻¹, valores que resultaron favorables para los cauces; sin embargo, fueron bajos para el ASU (0,9 mg l⁻¹). Por su parte, se determinó una alteración significativa en propiedades fisicoquímicas del suelo como pH (5,8-8,2), CIC (8,2-16,78 mEq-g 100 g⁻¹), CE (57,6-517,3 μS cm⁻¹) y N (0,03-0,84 mg kg⁻¹) asociadas principalmente a los vertimientos.

¹Ingeniero ambiental, especialista en Gestión Ambiental, magíster en Gestión del Agua, magíster en Ciencia y Tecnología Ambiental. Coordinador grupo de investigación Geoamenazas e Ingeniería Civil. Docente tiempo completo, Universidad Santo Tomás Villavicencio, sede Aguas Claras, Colombia. Contacto: alvaromoyano@usantotomas.edu.co

²Biólogo, magíster en Ciencias Microbiológicas y candidato a doctor en Biotecnología. Profesor agregado, Laboratorio de Microbiología, Instituto de Biología, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile. Contacto: fabian.cuadros.s@mail.pucv.cl

³Ingeniero civil, Universidad Santo Tomás, Villavicencio, sede Aguas Claras, Colombia. Contacto: adrianpabon@usantotomas.edu.co

⁴Ingeniera civil, Universidad Santo Tomás, Villavicencio, sede Águas Claras, Colombia. Contacto: jassbleyditrujillo@usantotomas.edu.co

Conclusiones: Fue posible identificar un efecto negativo en los recursos agua y suelo, generado por descargas descontroladas de ASU en el lugar, lo cual se encuentra relacionado una pérdida de servicios ambientales y baja calidad de vida.

Palabras clave: agua servida urbana, aglomerados urbanos ilegales, calidad del agua, calidad del suelo, impacto ambiental.

Abstract

Context: The formation of illegal housing conglomerates, in most cases, without adequate basic sanitation, can lead to deterioration of natural resources. The aim of this study was to evaluate the environmental impact associated with the urban sewage discharge (USD) on ground and water bodies in an illegal urban agglomeration in the Villavicencio municipality.

Methodology: From 15 sampling points, physicochemical parameters of water were determined: solids series, turbidity, color, chemical oxygen demand (COD), pH, electrical conductivity (EC), dissolved oxygen (DO), and soil: pH, EC, cation exchange capacity (CEC) and C, N and trace elements concentration, to relate and identify the impacts on resources in the study area.

Results: The USD samples presented high values in parameters such as turbidity (326 NTU), color (744 UPC) and crude COD that ranged from 600 to 1500 mg L⁻¹. In the water bodies surrounding the sector, the COD varied between 368 and 429 mg L⁻¹. Likewise, DO ranged from 5,7 to 7,1 mg L⁻¹, values that were favorable for the channels, however, they were low for the USD (0,9 mg L⁻¹). On the other hand, a significant alteration was determined in soil physicochemical properties such as pH (5,8-8,2), CEC (8,2-16,8 mEq-g 100 g⁻¹), EC (57,6- 517,3 μS cm⁻¹) and N (0,03-0,84 mg Kg⁻¹) mainly associated with discharges.

Conclusions: It was possible to identify a negative effect on water and soil resources, generated by uncontrolled discharges of USD in the place, which is related to a loss of environmental services and low life quality.

Keywords: urban sewage illegal urban agglomerates, water quality, soil quality, environmental impact.

Tabla de Contenidos

	Página
INTRODUCCIÓN	45
METODOLOGÍA	46
Características ambientales y puntos de muestro seleccionados	46
Toma de muestras y análisis de la calidad de agua residual	46
Toma y análisis de muestra de suelo	47
Determinación de carbono orgánico, total y nitrógeno	48
Capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo	48
Análisis estadístico	49
RESULTADOS	49
Calidad del agua	49
Calidad del suelo	51

CONCLUSIONES	55
FINANCIAMIENTO	56
REFERENCIAS	56

INTRODUCCIÓN

El aumento continuo de la población y actividades productivas llevan a la expansión de los municipios. En Colombia, este crecimiento en algunos casos se da de forma desordenada, sin acompañamiento de entes de planeación; por esto, los nuevos aglomerados urbanos carecen, en su mayoría, de sistemas de saneamiento básico. Además, como base económica, gran parte de estas comunidades desarrollan actividades mayormente pecuarias (porcicultura y avicultura) para su subsistencia (Hernández-Gómez, Rojas-Robles y Sánchez-Calderón, 2013). Como consecuencia, existe un aumento en la demanda de agua que origina una presión en áreas donde hay escasez o dificultad para su obtención; además, el desarrollo de estas actividades genera aguas servidas que son vertidas sin tratamiento y pueden ocasionar impactos ambientales y a la salud humana.

Dependiendo del origen, las aguas servidas poseen diferentes tipos y cantidades de contaminantes, entre los cuales se destacan la concentración de materia orgánica (MO), nutrientes, sólidos y químicos; por lo que su estudio, tratamiento y remoción es un gran desafío en la actualidad (Subtil, Moyano y Bez, 2018). Las aguas servidas domiciliarias (ASD) son aquellas procedentes de las descargas de los retretes, servicios sanitarios, sistemas de aseo personal, áreas de cocinas y lavado de elementos de aseo (Subtil, Moyano y Bez, 2018) y las de origen pecuario son generadas de la limpieza de corrales, establos, cocheras, etc., lo cual involucra mayormente el arrastre de las heces fecales de los animales y los sobrantes alimenticios. Debido a esto, y a los impactos que dichas aguas pueden causar, las autoridades ambientales tienen establecidos parámetros de vertimiento (Resolución 0631 del 2015 en Colombia) (Rodríguez-Miranda, García-Ubaque y Pardo-Pinzón, 2015) que deben ser cumplidos para evitar sanciones y multas, lo que pertinente estudiar y proponer sistemas de tratamiento eficientes para la depuración de las aguas servidas.

La remoción convencional de contaminantes del agua se puede ejecutar por medio de sistemas físicos, químicos y biológicos. En el caso de viviendas rurales o unifamiliares, una solución útil ha sido la implementación de pozos sépticos como sistema biológico anaerobio de tratamiento, que pueden definirse como un depósito que propicia la sedimentación de sólidos y los retiene durante un tiempo para facilitar el crecimiento de microorganismos que degradan la MO (Londoño *et al.*, 2002, Lampoglia, Agüero y Barrios, 2008).

El presente estudio se desarrolló en el aglomerado urbano ilegal El Brillante, ubicado en la comuna 5 del municipio de Villavicencio, Meta (Colombia). Su conformación partió en el año 2013, promovido por invasión de predios rurales por pobladores locales de una zona denominada Fondo

Ganadero. Este lugar no cuenta con red de alcantarillado y como solución para el almacenamiento temporal de las aguas servidas urbanas (ASU), se han construido pozos sépticos. Sin embargo, el inadecuado diseño, operación y mantenimiento, así como su vertimiento directo a sectores aledaños y al río Ocoa (utilizado con fines recreativos), hacen necesario el estudio del impacto ambiental en las fuentes hídricas y suelo asociado.

METODOLOGÍA

Características ambientales y puntos de muestro seleccionados

El sector El Brillante, del municipio de Villavicencio, se encuentra a 423 m s.n.m. en el piedemonte llanero del departamento del Meta (Colombia). Presenta una humedad relativa promedio anual de 76 %, evapotranspiración potencial hasta de 1,305 mm, con temperatura promedio de 25,5 °C con épocas templadas (abril a octubre) y calurosas (diciembre a marzo); su precipitación media anual es de 321,3 mm, siendo mínima en el mes de enero (51 mm) y máxima en mayo (529 mm) (Ideam, 2015). En temporada de invierno, los cuerpos de agua pueden presentar caudales máximos y mayor poder de dilución de contaminantes, es decir, probablemente el impacto ambiental asociado al vertimiento de aguas servidas domésticas en esta época sea menor, y en periodos de invierno pueden existir quebradas intermitentes, lo que promueve el transporte de contaminantes.

En la figura 1 se presentan los puntos de muestreo (agua y suelo) seleccionados y las fuentes hídricas aledañas en donde se realizan los vertimientos puntuales. El principal afluente cercano al aglomerado urbano el brillante es el río Ocoa y en invierno hace presencia una quebrada intermitente que atraviesa la zona por el costado oeste. El suelo característico de la zona de estudio está determinado por depósitos y llanuras aluviales de edad cuaternaria (Ideam, 2015), constituidos por acumulación del río Ocoa y del caño Campo Alegre presente en el área de estudio.

En cuanto a biodiversidad e importancia ambiental, el piedemonte llanero colombiano es una franja con abundancia de biomasa y de ecosistemas estratégicos (Briceño, 2015). Su valor estratégico radica en que comprende una zona de transición ecológica entre bosques de montaña y sabanas de altillanura, abastecida por cauces hídricos de drenaje de la vertiente oriental de la cordillera que generan suelos sedimentarios de mayor fertilidad a la de aquellos que se encuentran Orinoquía adentro (Stevenson, Ramírez, Casas y Henao-Díaz, 2017, IGAC, 2006). Así, en el área de estudio confluyen especies típicas de estos dos ecosistemas en mención, las cuales son susceptibles al impacto generado por el inadecuado manejo y gestión de las aguas urbanas vertidas sin tratamiento previo.

Toma de muestras y análisis de la calidad de agua residual

Fueron seleccionados 15 puntos de muestreo según el método estadístico de estratificación óptima (Cantanhede, Monge, Sandoval y Caycho, 2005), tomando un nivel de confianza del 95 %. Los



Figura 1. Cuerpos hídricos aledaños al área de investigación

Fuente: elaboración propia, adaptado de Google Maps.

puntos correspondieron a la salida directa de ASU de tuberías usadas para su conducción, retiro directo de los pozos sépticos a 5 y 10 m del vertimiento puntual a las fuentes hídricas (quebrada intermitente y río Ocoa) (figura 1).

La toma de muestra en los cauces de agua se realizó con el fin de estimar la contaminación asociada. Para el análisis de la calidad del agua servida, las muestras se recogieron de los puntos de vertimiento final de forma semanal durante tres meses y se determinaron por duplicado los principales parámetros de calidad del agua, serie de sólidos y DQO (Kit COD USEPA, Hatch) (tabla I). La metodología de análisis usada fue la descrita por (Rice, Baird e Eaton, 2017).

Toma y análisis de muestra de suelo

Se tomaron muestras compuestas de la capa superficial del suelo (20 cm) en nueve puntos influenciados por ASU (figura 1), utilizando el método de barreno bajo los parámetros descritos por la (USDA, 2014). Las muestras fueron secadas a 40 °C por 48 h, maceradas y tamizadas a 500 µm, debido a que estas presentan visualmente material inorgánico constituido principalmente por partículas finas inferiores a esta medida (Sadzawka *et al.*, 2006). La humedad del suelo fue calculada por triplicado a partir de la diferencia de pesos. A cada muestra se le determinó por triplicado el pH y la conductividad eléctrica por métodos de rutina (USDA, 2014). Se seleccionó el punto 2, por ser de mayor interés al mantenerse afectado por la constante irrigación de ASU, a la cual se le determinó fós-

Tabla I. Programa de monitoreo sector El Brillante

Análisis	Unidad	Frecuencia de muestreo	Método
Temperatura	°C	5 muestras/semana	-
OD	mgO ₂ l ⁻¹	-	-
pH	-	-	2320-B
Conductividad	Bar	-	-
Color	UPC	-	-
Turbiedad	UNT	5 muestras/semana	2130
DQO	mg l ⁻¹	3 muestra/semana	8000
Serie de sólidos (ST, SSV)	mg l ⁻¹	4 muestras/semana	2540

ST: sólidos totales, SSV: sólidos suspendidos volátiles.

Fuente: elaboración propia.

foro disponible por método de flujo continuo con extracción de Bray II y concentración de elementos traza (Al, As, Ba, B, Cu, Cr, Sr, Li, Mn, Ni, Pb, V y Zn), mediante digestión ácida asistida con microondas (US EPA, 2007) y determinada con espectroscopia de plasma acoplado inductivamente (US EPA, 1994).

Determinación de carbono orgánico, total y nitrógeno

La concentración de carbono total se calculó por método gravimétrico a partir de 1 g de suelo seco por triplicado, el cual fue sometido a calcinación a 350 °C por 6 h y 505 °C por 6 h (Miyazawa *et al.*, 2000). El porcentaje de MO se calculó por método de Walkley Black (Enang, Yerima, Kome y Van Ranst, 2018), utilizando Fe(NH₄)₂(SO₄)₂ 1 N en medio ácido como agente titulante. Para la concentración de nitrógeno orgánico se utilizó destilación Kjeldhal (Bradstreet, 1954) con algunas modificaciones (Amin y Flowers, 2004). Para esto, se tomó 1 g de muestra tratada, que fue digerida con H₂SO₄ concentrado y tableta Kjeldahl de digestión para nitrógeno Missouri (4,98 g K₂SO₄ y 0,02 g CuSO₄ 7H₂O) a 350 °C por 6 h. Pasado este tiempo, se ajustó el pH con H₂Odd y NaOH 32 %. La muestra fue tratada en destilador Kjendhal (BÜCHI Distillation Unit K-355) por 5 min y el producto rescatado fue diluido en H₃BO₃ 2 %. Se realizó titulación utilizando H₂SO₄ 0,02 N e indicador mixto (Rojo de metilo-Azul de metileno).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo

Para determinar la CIC se elaboró una solución de suelo seco y NH₄CH₃CO₂ 1 M 1:5 p/v por 24 h en agitación fuerte. Pasado este tiempo, se centrifugó a 5000 g por 5 min, se descartó el sobrenadante y

el precipitado fue lavado en agitación con 10 ml de etanol absoluto por 5 min. Se realizó nuevamente centrifugado y al *pellet* final se le agregaron 10 ml de NaCl 10 % y se agitó fuertemente por 5 min; se rescató el sobrenadante y se repitió este proceso dos veces para un volumen final de 30 ml. A la solución se le añadieron 10 ml de formaldehído 38 %, se agitó y tituló con NaOH 0,1 M utilizando fenolftaleína como indicador.

Análisis estadístico

Con el fin de determinar la relación y el comportamiento entre las diferentes variables halladas en este estudio, se adelantó un análisis de regresión lineal y regresión múltiple para observar los comportamientos de las variables. De igual forma, para describir en conjunto la relación y relevancia de estas, se aplicó un modelo de análisis de componentes principales utilizando el *software Minitab 19*®.

RESULTADOS

Calidad del agua

Todos los parámetros presentan valores elevados en ASU bruta y valores más bajos en las fuentes hídricas, dependiendo su potencial de dilución. En el caso del río Ocoa, fue posible observar los valores más elevados (tabla II), debido a que se encuentran directamente influenciados por aportes de aguas contaminadas; sin embargo, los resultados muestran una elevada contaminación en los puntos de muestreo de ambas fuentes (5 a 10 m de un punto de vertimiento de ASU), lo que puede generar un impacto ambiental, afectando a la salud de los habitantes. Asimismo, es importante resaltar que las características del agua servida bruta están por encima de los valores típicos reportados (DQO: 400-800 mg l⁻¹) para clasificarla como ASD (Subtil, Moyano y Bez, 2018, Ayaz, Aktaş Akça y Findik, 2015). Este aumento puede deberse a aportes de actividades pecuarias a pequeña escala evidenciadas en el sector.

Las elevadas temperaturas medidas y las variaciones de pH muestran que existen condiciones ambientales desfavorables para la subsistencia de la diversidad. Por otra parte, la turbiedad (326 NTU) y el color (744 UPC) encontrados en el ASU bruta fueron propios de aguas muy contaminadas; esto indica la existencia de aportes por procesos extractivos o erosivos, y en este caso, la posibilidad de estar fuertemente relacionado a la contaminación orgánica (elevado aporte de DQO, DBO, amonio, etc.) (Samboni, Aldemar y Yesid, 2011, Torres *et al.*, 2010, Madsen, Lévêque, Omiste y Miyagi, 2018). La conductividad, ST y SSV tuvieron valores ligeramente por encima de los rangos normales de ASU, los cuales son limitantes para algunos usos y, desde el punto de vista limnológico, presentan condiciones desfavorables para el establecimiento del ecosistema hídrico.

Tabla II. Parámetros de calidad del ASU bruta del río Ocoa y la quebrada intermitente (QI) del sector El Brillante

Parámetros	Unidades	ASD bruta	Río Ocoa	QI	Valores máximos de vertimiento ASD*
pH	-	7,5	6,6	6,7	6-9
Turbiedad	NTU	326±166	48±26	26±7	2
Color	UPC	744±356	31±13	21±10	15
CE	$\mu\text{s cm}^{-1}$	524±282	128±75	111±58	1000
ST	mg l^{-1}	873±224	-	-	720
SSV	mg l^{-1}	488±202	-	-	300

CE: conductividad eléctrica, ST: sólidos totales, SSV: sólidos suspendidos volátiles, OD: oxígeno disuelto, DQO: demanda química de oxígeno.

Fuente: elaboración propia. (*) Basado en Resolución 2115/2007 y (Madsen, Lévêque, Omiste y Miyagi, 2018).

La DQO medida en el agua presenta una elevada contaminación orgánica, típica de industrias agroalimentarias, como lácteos o explotaciones pecuarias (Sarkar, Chakrabarti, Vijaykumary Kale, 2006, Makara y Kowalski, 2015, Ceconet, Molognoni, Callegari y Capodaglio, 2018), pues es posible observar estudios para aguas asociadas a actividades de sacrificio porcino y bovino en donde se han reportado valores elevados de DQO (1200 mg l^{-1}), DBO (5000 mg l^{-1}) y SST (1500 y 3500 mg l^{-1}) (Hernández y Sánchez, 2015, Pérez, 2001). En Colombia, la Resolución 0631 de 2015 determina los rangos de vertimientos máximos permisibles de DQO (150 a 1500 mg l^{-1}), dependiendo del sector que realiza el vertimiento, siendo los rangos más bajos los de uso doméstico y descarga en el alcantarillado público, y los más altos para la industria alimenticia y productores agropecuarios. La DQO del ASU bruta resultó en valores que varían de 600 a 1500 mg l^{-1} , lo que indica una variabilidad significativa en la cantidad de MO presente en el agua servida bruta (figura 2); estos valores pueden variar por efecto de la contaminación asociada favorecida por actividades agropecuarias a pequeña escala y por el incremento en el caudal, pues en días de lluvia la carga contaminante puede bajar considerablemente.

Para el caso de la concentración de DQO en el río Ocoa ($429\pm 183 \text{ mg l}^{-1}$) y la quebrada intermitente ($368\pm 124 \text{ mg l}^{-1}$), los datos fueron más cercanos y se observaron procesos de contaminación asociados a los vertimientos puntuales, en los cuales su dinámica se relaciona directamente al caudal, pues en la quebrada intermitente, debido a su bajo nivel, se genera un flujo intermitente del agua; para el caso del río Ocoa, el ASU fluyó de forma más acelerada facilitando su transporte.

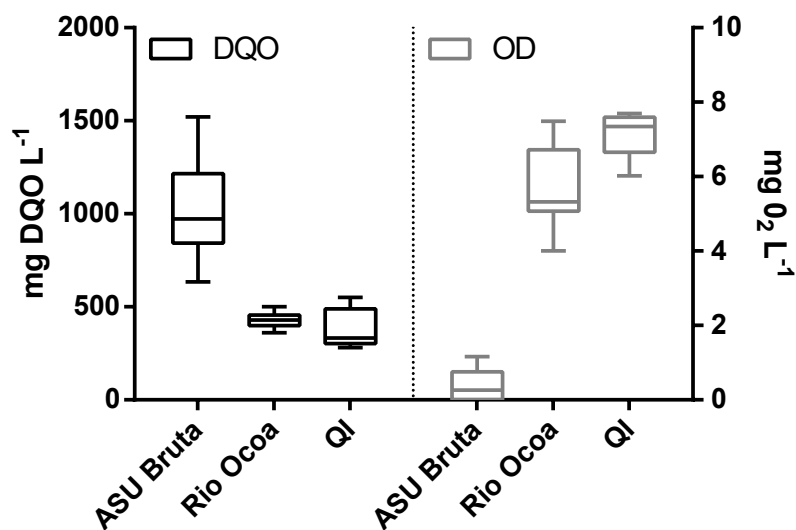


Figura 2. Box Plot para DQO y OD en el aglomerado urbano El Brillante

Fuente: elaboración propia.

Los valores de DQO presentados en ambas fuentes hídricas resultan muy elevados; sin embargo, no representan el contenido total de MO, ya que se presentan aportes en otros puntos del cauce. A pesar de esto, se evidencian procesos de contaminación del agua en lugares de fácil acceso con fines recreativos, por lo que es necesario implementar sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento del ASU, así como, desarrollar actividades de gestión que permitan reducir la contaminación en el sector y capacitar a la comunidad en el uso de fuentes hídricas como estrategia de promoción de salud.

En el caso de la concentración de OD, la quebrada ($7,1 \pm 0,7 \text{ mg l}^{-1}$) y el río Ocoa ($5,7 \pm 1,8 \text{ mg l}^{-1}$) se encuentran oxigenados. Según (Arango *et al.*, 2008), concentraciones de OD superiores a 4 mg l^{-1} para aguas naturales, pueden asegurar el correcto establecimiento de la biota acuática, por lo cual se observa que los procesos de aireación de las fuentes hídricas son favorables, y a estos niveles, se puede encontrar diversidad de especies ribereñas, lo que favorece la oxidación y eliminación de algunos de los contaminantes presentes en el agua. Por su parte, el ASU presentó valores bajos de OD ($0,9 \pm 0,6 \text{ mg l}^{-1}$), lo que era de esperarse debido a la elevada contaminación encontrada (Ayaz, Aktaş Akça y Findik, 2015, Oñate-Barraza y Cortez-Henao, 2020).

Calidad del suelo

Los suelos del piedemonte llanero colombiano se caracterizan por pertenecer al orden oxisol. Los parámetros fisicoquímicos se encuentran directamente relacionados con la salud del suelo y desem-

peñan un rol esencial en el desarrollo de la microbiota y mesofauna edáfica, y con esto, la cobertura vegetal que regula el sistema (Agegnehu y Amede, 2017, Gómez-Sagasti *et al.*, 2012, Muñoz-Rojas, 2018). Estudios muestran que los suelos del lugar presentan de forma natural parámetros relevantes en el funcionamiento, entre los cuales se destacan el pH (4,2-5,5), CE ($50 \mu\text{S cm}^{-1}$), concentración de MO (1,2-1,7%) y nitrógeno (1600 mg kg^{-1}) y CIC ($124 \text{ meq-g } 100 \text{ g}^{-1}$) (Eurípides, Peñuela, Yacomeloy Orduz-Rodríguez, 2018, Fernandes *et al.*, 2018, Jamioy, Menjivar y Rubiano, 2015, Nunes *et al.*, 2017, Shibata *et al.*, 2017). Estos parámetros pueden verse afectados fuertemente ante actividades antrópicas, como agricultura, ganadería, pastoreo, contaminación y malas prácticas, que pueden llegar a inestabilizar los procesos de regulación, generando pérdida de servicios ecosistémicos y problemáticas ambientales, lo cual afecta finalmente a la sociedad (Gómez-Sagasti *et al.*, 2012, Castro-Garzón, Torres-Flórez y Gallardo-Lichaa, 2020).

También, se observó que las variables fisicoquímicas de los suelos se encontraban significativamente alteradas debido, tal vez, a las condiciones ambientales y decontaminación antropogénica. Se evidenció un incremento significativo del pH y la CE en comparación con los patrones normales de un oxisol de la región; en este estudio se hallaron valores hasta de 8,2 para pH y $517,3 \mu\text{S cm}^{-1}$ para CE, así como una disminución en la concentración de nitrógeno ($0,03$ y $0,84 \text{ mg kg}^{-1}$) y la CIC ($8,2$ y $16,8 \text{ mEq-g } 100 \text{ g}^{-1}$) (tabla III). Estas variaciones pueden deberse directamente a la irrigación de ASU, pues, al poseer cargas de diversos contaminantes, generan aportes exógenos a los sistemas, afectando las propiedades esenciales de los suelos y su buen funcionamiento (Ababsa *et al.*, 2019, Abedi-Koupai, Mostafazadeh-Fard, Afyuni y Bagheri, 2006, Al-Othman, 2009, Becerra-Castro *et al.*, 2015, De Oliveira *et al.*, 2016, Zhang *et al.*, 2018).

Algunas de las variaciones más relevantes encontradas fueron los cambios fuertes de pH y las altas concentraciones de CE y salinidad, lo cual puede estar afectando, en gran medida, tanto la regulación de los diferentes parámetros fisicoquímicos, como la composición edáfica y microbiana del mismo; esto ocasiona una selección de la fauna y flora por las condiciones ambientales hostiles (alta salinidad y pH básicos), y disminuye su diversidad y fertilidad considerablemente, lo cual explicaría la baja concentración de nitrógeno, puesto que su presencia en estados orgánicos y amoniacales disponibles para la vida está regulada por condiciones bióticas (Chen *et al.*, 2014, Li *et al.*, 2019, Zhao, Xu y Belnap, 2010).

Por otra parte, al evaluar la relación entre las variables fisicoquímicas del ASU y el suelo, se encontró un comportamiento directamente proporcional entre la CE y la concentración de nitrógeno con un R^2 de 70,6% ($p \leq 0,01$) así como el pH del suelo y la CIC con R^2 de 44,6% ($p \leq 0,05$), debido probablemente a que variables como el pH y la CE son factores que regulan de manera estricta diferentes propiedades físicas, químicas y biológicas (Kim *et al.*, 2016, Oliver *et al.*, 2019, Sauze *et al.*, 2018, Tripathi *et al.*, 2018, Zhang *et al.*, 2020).

Por otra parte, se evidenció una relación directa entre diferentes variables fisicoquímicas del suelo en el ACP (figura 3a), el cual explica el 73% de los datos, donde se observa que el pH del suelo cumple un rol regulatorio sobre las diferentes variables calculadas en este estudio. Asimismo, se identificó

Tabla III. Parámetros de muestras de suelos influenciados por irrigación de ASU

Muestra	pH	CE	CT	MO	N	CIC
		μScm^{-1}	%	%	mgkb^{-1}	$\text{mEq-g } 100 \text{ g}^{-1}$
2	8,01±0,01	196±2,1	5,23	1,79	0,06	14,7
4	8,22±0,01	249±0,01	1,74	0,51	0,37	11,8
5	8,18±0,01	207±1,5	3,51	1,38	0,28	16,8
7	5,82±0,2	78±1,5	1,47	0,77	0,03	8,2
9	8,12±0,02	235±6,1	3,76	0,76	0,03	11,2
11	7,94±0,01	226±0,6	3,18	1,28	0,25	14,8
12	7,69±0,01	165±0,6	4,14	2,06	0,28	10
14	7,93±0,01	517±3,1	3,12	1,54	0,84	10,7
15	6,63±0,02	58±0,6	3,52	1,61	0,17	9,9

Fuente: elaboración propia.

una relación estrecha entre las concentraciones de CT y MO con comportamientos directamente proporcionales y coherentes con las demás variables calculadas en el suelo. Además, se observa que el ACP para las variables del ASU (figura 3b) representa el 61,4 % de los datos, donde existe una relación relevante entre variables como CE, OD, DQO y pH, siendo el OD y el pH los que influyen de manera más significativa el comportamiento del sistema.

Finalmente, con el fin de evaluar la relación y determinar el posible efecto que generan la constante irrigación por ASU en suelos del sector, se diseñó un ACP de todas las variables (figura 3c), el cual representó el 55,6 % de los datos, de lo cual se determinó que las variables más relevantes fueron el OD y la turbiedad del agua.

Se identificó una relación entre dos grupos diferentes de variables: un comportamiento directo entre el pH del agua y la DQO con variables del suelo como la CIC y las concentraciones de CT y MO, y propiedades de turbiedad y color del agua (influenciadas a su vez por la concentración del lodo, SSV y ST) sobre el pH, la CE y la concentración de nitrógeno del suelo. Así, resulta notoria la importancia del pH como regulador de los procesos 0,50 químicos (oxidorreducción) en el agua y el suelo, y determinante en la conversión de contaminantes y el ciclo del nitrógeno. Por su parte, la DQO representa el aporte de MO que puede existir debido a los vertimientos de ASU, lo que representa uno de los principales parámetros a controlar para asegurar condiciones ambientales favorables para el sostenimiento de las especies de fauna, flora y el desarrollo de cultivos.

Por último, al evaluar la concentración de fósforo disponible y elementos traza presentes en el suelo, se encontró que los valores (tabla IV) están en los rangos establecidos por investigaciones

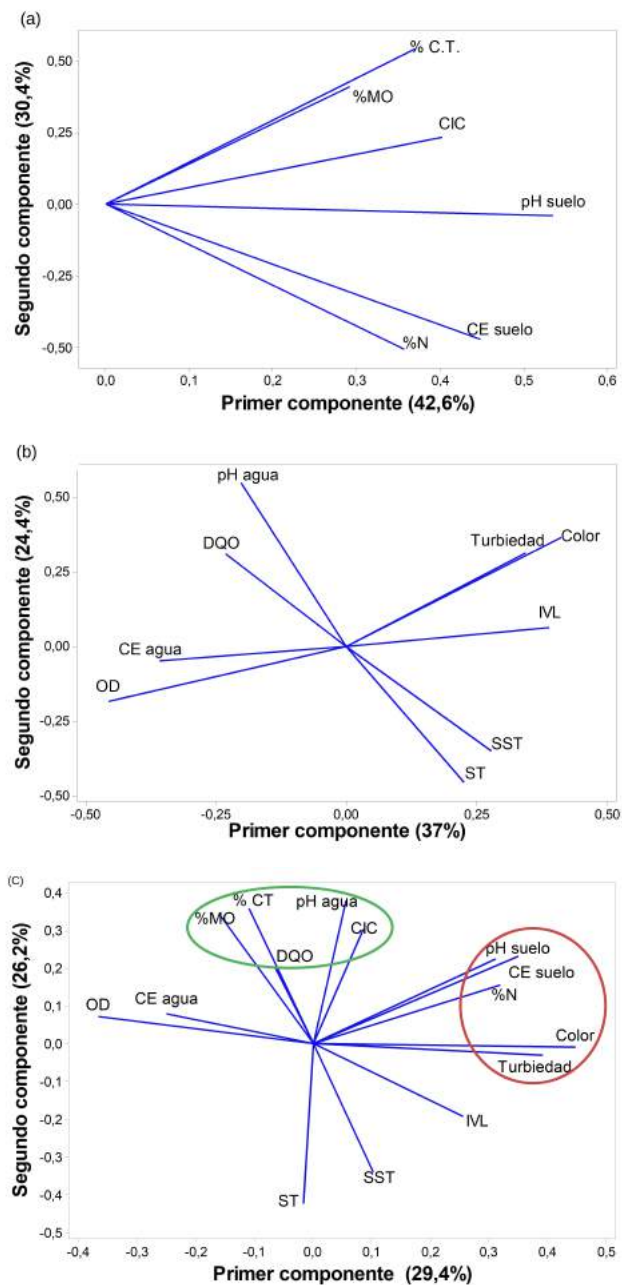


Figura 3. Análisis de componentes principales (ACP) de los diferentes parámetros fisicoquímicos
(a) ACP de parámetros fisicoquímicos de suelo. (b) ACP de parámetros fisicoquímicos de ASU. (c)
ACP del conjunto de parámetros fisicoquímicos.

Fuente: elaboración propia

realizadas en suelos oxisólicos del lugar (Eurípides, Peñuela, Yacomeloy Orduz-Rodríguez, 2018, Fernandes *et al.*, 2018). Sin embargo, hubo un incremento en la concentración de fósforo disponible (56 mg kg^{-1}), así como elementos traza como el As (4 mg kg^{-1}), los cuales no representan ningún daño ni perjuicio para el normal funcionamiento del suelo (Fernandes *et al.*, 2018, Rueda, Rodríguez y Madriñán, 2011, Mahecha-Pulido, Trujillo-González y Torres-Mora, 2015, Nunes *et al.*, 2017).

Tabla IV. Concentración de fósforo disponible y perfil de elementos traza en la muestra de suelo 2 (0-20 cm) en unidades de mg kg^{-1}

Traza	Concentración	Traza	Concentración	Traza	Concentración
Fósforo disponible	56	Cu	8	Ni	5
Al	3440	Cr	12	Pb	10
As	3	Sr	5	V	8
Ba	20	Li	7	Zn	23
B	4	Mn	122		

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

La alta contaminación por MO hacia el río Ocoa y la DQO media en el ASD presentan valores significativamente elevados, típicos de aguas vertidas por explotaciones agropecuarias o industrias alimenticias; por tanto, es probable que los vertimientos en este estudio tengan aportes de este tipo de actividades, lo cual, supone una alteración negativa de la calidad a la fuente receptora y pérdida de la biota acuática. Esto puede estar modelado también por la hidrodinámica de la corriente o aspectos fisográficos del sector que generan variaciones en propiedades como el OD del agua, el cual puede favorecer, en algún momento, los procesos de depuración del sistema.

Se observó un efecto directo de los vertimientos de ASD en los suelos, lo que afecta los parámetros fisicoquímicos y los factores biológicos como la cobertura vegetal, meso- y microfauna, por lo cual se evidencian procesos de pérdidas de fertilidad y acumulación de MO no degradada, generando problemas de salud pública.

Por esta razón es importante la gestión del agua en el lugar, mediante la implementación de sistemas de saneamiento básico adecuados (alcantarillado o recolección periódica de residuos sólidos); el tratamiento del agua residual de forma unifamiliar (sistema alternativo: pretratamiento, pozo séptico y filtración terciaria) o colectiva (planta de tratamiento convencional –PTAR–), y el control y asistencia técnica sostenible de los potenciales emprendimientos agropecuarios en el sector (por ejemplo, manuales de buenas prácticas agropecuarias, uso eficiente del agua, sistemas de tratamiento, etc.).

Por último, el conjunto de esas medidas de gestión, que deben ser impulsadas por el gobierno municipal e implementadas con la participación de la comunidad local, permitiría reducir la generación y propagación de enfermedades, y promover la calidad ambiental y de vida.

FINANCIAMIENTO

El presente estudio fue financiado y avalado por la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio.

REFERENCIAS

- [Ababsa *et al.*, 2019] Ababsa, N., Kribaa, M., Tamrabet, L., Addad, D., Hallaire, V. y Ouldjaoui, A. (2019). Long- term effects of wastewater reuse on hydro physicals characteristics of grass-land grown soil in semi-arid Algeria. *Journal of King Saud University – Science*, 32(1). <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.09.007> ↑Ver página 52
- [Abedi-Koupai, Mostafazadeh-Fard, Afyuni y Bagheri, 2006] Abedi-Koupai, J., Mostafazadeh-Fard, B., Afyuni, M. y Bagheri, M. R. (2006). Effect of treated wastewater on soil chemical and physical. *Plant and Soil Environment Soil Environment*, 52(8), 335-344. <https://doi.org/10.17221/3450-PSE> ↑Ver página 52
- [Agegnehu y Amede, 2017] Agegnehu, G. y Amede, T. (agosto de 2017). Integrated soil fertility and plant nutrient management in tropical agro-ecosystems: a review. *Pedosphere*, 27, 662-680. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60382-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60382-5) ↑Ver página 52
- [Al-Othman, 2009] Al-Othman, A. A. (2009). Effect of treated domestic wastewater on physical and chemical characteristics of soils. *Journal of Applied Sciences*, 9, 901-908. DOI: <https://doi.org/10.3923/jas.2009.901.908> ↑Ver página 52
- [Amin y Flowers, 2004] Amin, M. y Flowers, T. (2004). Evaluation of Kjedahl digestion method. *Journal of Research*, 15(2), 159-179. ↑Ver página 48
- [Arango *et al.*, 2008] Arango M., Álvarez L., Arango G., Torres O. y Monsalve A. (2008). Calidad del agua de las quebradas la cristalina y la risaralda San Luis, Antioquia. *Revista EIA*, 9, 121-141. ↑Ver página 51
- [Ayaz, Aktaş Akça y Findik, 2015] Ayaz, S. T., Aktaş, Ö., Akça, L. y Findik, N. (2015). Effluent quality and reuse potential of domestic wastewater treated in a pilot-scale hybrid constructed wetland system. *Journal of Environmental Management*, 156, 115-120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.03.042> ↑Ver página 49, 51

- [Becerra-Castro *et al.*, 2015] Becerra-Castro, C., Lopes, A. R., Vaz-Moreira, I., Silva, E. F., Manaia, C. M. y Nunes, O. C. (2015). Wastewater reuse in irrigation: a microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Environment International*, 75, 117-135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.001> ↑Ver página 52
- [Bradstreet, 1954] Bradstreet, R. B. (1954). Kjeldahl method for organic nitrogen. *Analytical Chemistry*, 26(1), 185-187. DOI: <https://doi.org/10.1021/ac60085a028> ↑Ver página 48
- [Briceño, 2015] Briceño, G. (2015). Evolución de la integridad estructural de ecosistemas lóticos del piedemonte llanero frente a la intervención antrópica. *Acta Biologica Colombiana*, 20(2), 133-144. DOI: <https://doi.org/10.15446/abc.v20n2.42307> ↑Ver página 46
- [Cantanhede, Monge, Sandoval y Caycho, 2005] Cantanhede, A., Monge, G., Sandoval, L. y Caycho, C. (2005). Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos. *AIDS, Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*, 1, 1-14. ↑Ver página 46
- [Castro-Garzón, Torres-Flórez y Gallardo-Lichaa, 2020] Castro-Garzón, H., Torres-Flórez, D. y 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 52
- [Ceconet, Molognoni, Callegari y Capodaglio, 2018] Ceconet, D., Molognoni, D., Callegari, A. y Capodaglio, A. G. (2018). Agro-food industry wastewater treatment with microbial fuel cells: energetic recovery issues. *International Journal of Hydrogen Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.07.231> ↑Ver página 50
- [Chen *et al.*, 2014] Chen, X., Song, B., Yao, Y., Wu, H., Hu, J. y Zhao, L. (2014). Aromatic plants play an important role in promoting soil biological activity related to nitrogen cycling in an orchard ecosystem. *Science of the Total Environment*, 472, 939-946. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.117> ↑Ver página 52
- [De Oliveira *et al.*, 2016] De Oliveira, P. C. P., Gloaguen, T. V., Gonçalves, R. A. B., Santos, D. L. y Couto, C. F. (2016). Soil chemistry after irrigation with treated wastewater in semiarid climate. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 40, 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20140664> ↑Ver página 52
- [Enang, Yerima, Kome y Van Ranst, 2018] Enang, R. K., Yerima, B. P. K., Kome, G. K. y Van Ranst, E. (2018). Assessing the effectiveness of the Walkley-Black method for soil organic carbon determination in tephra soils of cameroon. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(19), 2379-2386. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1510948> ↑Ver página 48

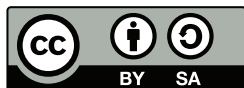
- [Eurípides, Peñuela, Yacomeloy Orduz-Rodríguez, 2018] Eurípides, J., Peñuela, B., Yacomelo, M. y Orduz-Rodríguez, J. (2018). Efecto del yeso sobre las características químicas de un Oxisol de la Orinoquia colombiana cultivado con lima ácida. *Temas Agrarios*, 23(2), 154-163. <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1299> ↑Ver página 52, 55
- [Fernandes *et al.*, 2018] Fernandes, J., Chaves, L., Mendes, J., Chaves, I. de B. y Tito, G. (2018). Soil chemical amendments and the macronutrients mobility evaluation in oxisol treated with biochar. *Journal of Agricultural Science*, 10(10), 238. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v10n10p238> ↑Ver página 52, 55
- [Gómez-Sagasti *et al.*, 2012] Gómez-Sagasti, M., Alkorta, I., Becerril, J., Epelde, L., Anza, M. y Garbisu, C. (2012). Microbial monitoring of the recovery of soil quality during heavy metal phytoremediation. *Water, Air, and Soil Pollution*, 223(6), 3249-3262. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1106-8> ↑Ver página 52
- [Hernández-Gómez, Rojas-Robles y Sánchez-Calderón, 2013] Hernández-Gómez, A., Rojas-Robles, R. y Sánchez-Calderón, F. (2013). Cambios en el uso del suelo asociados a la expansión urbana y la planeación en el corregimiento de Pasquilla, zona rural de Bogotá (Colombia). *Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía.*, 22, 257-271. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2818/281826970012.pdf> ↑Ver página 45
- [Hernández y Sánchez, 2015] Hernández, D. y Sánchez, S. (2015). *Diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Marcos, departamento de Sucre*. [Trabajo de grado]. Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2395/3/Articulo.pdf> ↑Ver página 50
- [Ideam, 2015] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá. ↑Ver página 46
- [IGAC, 2006] Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2006). *Métodos analíticos del laboratorio de suelos*. Bogotá, Colombia. ↑Ver página 46
- [Jamioy, Menjivar y Rubiano, 2015] Jamioy, D., Menjivar, J. y Rubiano, Y. (2015). Indicadores químicos de calidad de suelos en sistemas productivos del piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. *Acta Agronómica*, 64(4), 302-307. DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.38731> ↑Ver página 52
- [Kim *et al.*, 2016] Kim, J., Roh, A., Choi, S., Kim, E., Choi, M., Ahn, B., ... Weon, H. Y. (2016). Soil pH and electrical conductivity are key edaphic factors shaping bacterial communities of greenhouse soils in Korea. *Journal of Microbiology*, 54(12), 838-845. DOI <https://doi.org/10.1007/s12275-016-6526-5> ↑Ver página 52

- [Lampoglia, Agüero y Barrios, 2008] Lampoglia, T., Agüero, R. y Barrios, C. (2008). *Orientaciones para agua y saneamiento en zonas rurales*. Organización Panamericana de la Salud. Recuperado de <https://n9.cl/ersos> ↑Ver página 45
- [Li *et al.*, 2019] Li, S., Peng, C., Cheng, T., Wang, C., Guo, L. y Li, D. (2019). Nitrogen-cycling microbial community functional potential and enzyme activities in cultured biofilms with response to inorganic nitrogen availability. *Journal of Environmental Sciences*, 76, 89-99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.03.029> ↑Ver página 52
- [Londoño *et al.*, 2002] Londoño, M., Osorno, M., Vélez, J., García, F., Montoya, M. y Olaya, U. (2002). Banatura: programa de gestión social y ambiental del sector bananero colombiano. En *Memorias XV Reunión de la Asociación de Bananeros de Colombia* (pp. 343-348). AUGURA, Medellín. ↑Ver página 45
- [Madsen, Lévêque, Omiste y Miyagi, 2018] Madsen, L., Lévêque, C., Omiste, J. y Miyagi, H. (2018). Chapter 11: Time-dependent restricted-active-space self-consistent-field theory for electron dynamics on the attosecond timescale. En M. J. J. Vrakking y F. Lepine (eds.), *Attosecond Molecular Dynamics* (pp. 386-423). Cambridge, Reino Unido: Royal Society of Chemistry. DOI: <https://doi.org/10.1039/9781788012669-00386> ↑Ver página 49, 50
- [Mahecha-Pulido, Trujillo-González y Torres-Mora, 2015] Mahecha-Pulido, J., Trujillo-González, J. M. y Torres-Mora, M. A. (2015). Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari, departamento del Meta. *Orinoquia*, 19(1), 118-122. <https://doi.org/10.22579/20112629.345> ↑Ver página 55
- [Makara y Kowalski, 2015] Makara, A. y Kowalski, Z. (2015). Pig manure treatment and purification by filtration. *Journal of Environmental Management*, 161, 317-324. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.022> ↑Ver página 50
- [Miyazawa *et al.*, 2000] Miyazawa, M., Pavan, M., De Oliveira, E., Ionashiro, M. y Silva, A. (2000). Gravimetric determination of soil organic matter. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 43(5), 475-478. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1516-89132000000500005> ↑Ver página 48
- [Muñoz-Rojas, 2018] Muñoz-Rojas, M. (2018). Soil quality indicators: critical tools in ecosystem restoration. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 47-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.007> ↑Ver página 52
- [Nunes *et al.*, 2017] Nunes, M., Vaz, C., Denardin, J., Van Es, H., Libardi, P. y da Silva, A. (2017). Physicochemical and structural properties of an oxisol under the addition of straw and lime. *Soil Science Society of America Journal*, 81(6), 1328-1339. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.07.0218> ↑Ver página 52, 55

- [Oliver *et al.*, 2019] Oliver, D., Li, Y., Orr, R., Nelson, P., Barnes, M., McLaughlin, M. y Kookana, R. (2019). The role of surface charge and pH changes in tropical soils on sorption behaviour of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). *Science of the Total Environment*, 673, 197-206. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.055> ↑Ver página 52
- [Oñate-Barraza y Cortez-Henao, 2020] Oñate-Barraza., H. C. y Cortez-Henao, G. Y.(2020). Estado del agua del río Cesar por vertimientos residuales de la ciudad de Valledupar. Bioindicación por índice BMWP/Col. *Tecnura*, 24(65), 39-48. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.15766> ↑Ver página 51
- [Pérez, 2001] Pérez R. (2001). Porcicultura y contaminación del agua en La Piedad, Michoacán, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 17(1), 5-13. Recuperado de <https://n9.cl/skd49> ↑Ver página 50
- [Rice, Baird e Eaton, 2017] Rice, E. W., Baird, R. B. e Eaton, A. D. (eds.). (2017). *Standard methods for examination of water and wastewater*. Denver, EE. UU.: American Water Works Association (AWWA). ↑Ver página 47
- [Rodríguez-Miranda, García-Ubaque y Pardo-Pinzón, 2015] Rodríguez-Miranda, J. P., García-Ubaque, C. A. y Pardo-Pinzón, J. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Tecnura*, 19(46), 149-164. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a12> ↑Ver página 45
- [Rueda, Rodríguez y Madriñán, 2011] Rueda, G., Rodríguez, J. y Madriñán, R. (2011). Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas perspectivas para Colombia. *Acta Agronómica*, 60(3), 203-217. ↑Ver página 55
- [Sadzawka *et al.*, 2006] Sadzawka, A., Carrasco, M., Grez, R., Mora, M., Flores, H. y Neaman A. (2006). *Metodos de análisis recomendados para los suelos de Chile, revisión 2006*. Santiago de Chile, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. ↑Ver página 47
- [Samboni, Aldemar y Yesid, 2011] Samboni, N., Aldemar, R. y Yesid, C. (2011). Aplicación de los indicadores de calidad y contaminación del agua en la determinación de la oferta hídrica neta. *Environmental Engineering*, 60(2), 49-60. ↑Ver página 49
- [Sarkar, Chakrabarti, Vijaykumary Kale, 2006] Sarkar, B., Chakrabarti, P., Vijaykumar, A. y Kale, V. (2006). Wastewater treatment in dairy industries - possibility of reuse. *Desalination*, 195(1-3), 141-152. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.11.015> ↑Ver página 50
- [Sauze *et al.*, 2018] Sauze, J., Jones, S., Wingate, L., Wohl, S. y Ogée, J. (2018). The role of soil pH on soil carbonic anhydrase activity. *Biogeosciences*, 15(2), 597-612. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-15-597-2018> ↑Ver página 52

- [Shibata *et al.*, 2017] Shibata, M., Sugihara, S., Mvondo-Ze, A., Araki, S. y Funakawa, S. (2017). Nitrogen flux patterns through oxisols and ultisols in tropical forests of Cameroon, Central Africa. *Soil Science and Plant Nutrition*, 63(3), 306-317. DOI: <https://doi.org/10.1080/00380768.2017.1341285> ↑Ver página 52
- [Stevenson, Ramírez, Casas y Henao-Díaz, 2017] Stevenson, P., Ramírez, M., Casas, L. y Henao-Díaz, F. (2017). Forestación de bosques en sabanas de la altillanura colombiana: relevancia de las condiciones ambientales para el establecimiento de plántulas. *Biota Colombiana*, 18(1), 99-118. <https://doi.org/10.21068/c2017v18s01a06> ↑Ver página 46
- [Subtil, Moyano y Bez, 2018] Subtil, E., Moyano, A. y Bez, T. (2018). *Remoção de nitrogênio e matéria orgânica em diferente concentração de oxigênio dissolvido em um biorreator de membrana submersa com biofilme*. Conferencia en XIV Simposio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 18-20 de junio. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Foz do Iguaçu. ↑Ver página 45, 49
- [Torres *et al.*, 2010] Torres, P., Cruz, C., Patiño, P., Escobar, J. y Pérez, A. (2010). Applying water quality indexes (WQI) to the use of water sources for human consumption. *Ingeniería e Investigación*, 30(3), 86-95. ↑Ver página 49
- [Tripathi *et al.*, 2018] Tripathi, B., Stegen, J., Kim, M., Dong, K., Adams, J. y Lee, Y. (2018). Soil pH mediates the balance between stochastic and deterministic assembly of bacteria. *ISME Journal*, 12(4), 1072-1083. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41396-018-0082-4> ↑Ver página 52
- [USDA, 2014] United States Department of Agriculture (USDA) (2014). *Soil survey field and laboratory methods manual*. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3803.8889> ↑Ver página 47
- [US EPA, 1994] United States Environmental Protection Agency (US EPA) (1994). *Method 200.7: Determination of metals and trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry*. Revision 4.4. Cincinnati, EE. UU. ↑Ver página 48
- [US EPA, 2007] United States Environmental Protection Agency (US EPA) (2007). *Method 3015A (SW-846): Microwave assisted acid digestion of aqueous samples and extracts*. Revision 1. Washington, D. C., EE. UU. ↑Ver página 48
- [Zhang *et al.*, 2018] Zhang, Y., Fu, C., Liu, X., Li, X., Jing, Q., Wei, X., ... Yan, P. (2018). Effect of poultry wastewater irrigation on nitrogen, phosphorus and carbon contents in farmland soil. *Open Chemistry*, 16(1), 968-977. DOI: <https://doi.org/10.1515/chem-2018-0111> ↑Ver página 52
- [Zhang *et al.*, 2020] Zhang, Y., Dai, S., Huang, X., Zhao, Y., Zhao, J., Cheng, Y., ... Zhang, J. (2020). pH-induced changes in fungal abundance and composition affects soil heterotrophic nitrification after 30 days of artificial pH manipulation. *Geoderma*, 366, 114255. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114255> ↑Ver página 52

[Zhao, Xu y Belnap, 2010] Zhao, Y., Xu, M. y Belnap, J. (2010). Potential nitrogen fixation activity of different aged biological soil crusts from rehabilitated grasslands of the hilly Loess Plateau, China. *Journal of Arid Environments*, <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.04.006> ↑[Ver página 52](#)



Detección de descargas parciales a través de radiación ultravioleta en redes de media y alta tensión en Colombia

Partial Discharges Detection Through Ultraviolet Radiation in Medium and High Voltage Networks in Colombia

Edwin Fernando Sepúlveda Durán ¹, Fernando Martínez Santa ²

Fecha de Recepción: 27 de Agosto de 2020

Fecha de Aceptación: 24 de Febrero de 2021

Cómo citar: Sepúlveda - Durán ., E.F. y López - Sánche Martínez - Santa ., F. (2021). Detección de descargas parciales a través de radiación ultravioleta en redes de media y alta tensión en Colombia. *Tecnura*, 25(68), 63-78. <https://doi.org/10.14483/22487638.17991>

Resumen

Objetivo: Mostrar el alcance del uso de la técnica de medición de descargas parciales mediante radiación ultravioleta, aplicado en la infraestructura eléctrica colombiana de acuerdo con referentes internacionales; así como también definir las características de los fenómenos físicos involucrados.

Metodología: Partiendo de la bibliografía disponible, se definen las características de las descargas parciales, suministrando información de los equipos de medida y las técnicas de medición, para finalmente determinar el grado de incursión de esta técnica en la industria colombiana.

Resultados: Colombia es un consumidor de tecnología desarrollada por otros países (Gallego y Gutiérrez, 2016), específicamente las inspecciones coronográficas son realizadas por grandes industrias del sector energético; este tipo de medición es poco frecuente en la industria nacional, habiendo muy pocas empresas que ofrecen el servicio.

Conclusiones: La técnica de coronografía es muy costosa para ser usada en pequeñas empresas, sin embargo, en grandes industrias se justifica su aplicación al prevenir grandes paradas en procesos industriales.

Palabras clave: descarga parcial, efecto corona, espectro electromagnético, radiación ultravioleta, coronografía.

Abstract

Objective: To show the scope of using the partial discharge measurement technique through ultraviolet radiation, applied on the Colombian electrical infrastructure according to international references, as well as define the characteristics of the physical phenomena involved.

Methodology: Starting from the available bibliography, the characteristics of partial discharges are defined, providing information on measuring equipment and measurement techniques, and finally to establish the degree of incursion of this technique in the Colombian industry.

¹Ingeniero eléctrico, ingeniero residente Disico S. A., Bogotá, Colombia. Contacto: residentemto@disico.com.co

²Ingeniero en Control Electrónico e Instrumentación, magíster en Ingeniería Electrónica y de Computadores. Docente asistente Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Contacto: fmartinezs@udistrital.edu.co

Results: Colombia is a consumer of technology developed by other countries (Gallego y Gutiérrez, 2016), specifically the coronographic inspections are carried out by large industries in the energy sector, this kind of measurement is rare in the national industry, where there are very few companies that offer the service.

Conclusions: The coronagraphy technique is expensive to be used in small enterprises, however, in large industries, its application is justified due to it prevents large stops in industrial processes.

Keywords: partial discharge, corona effect, electromagnetic spectrum, ultraviolet radiation, coronagraphy.

Tabla de Contenidos

	Página
INTRODUCCIÓN	64
Descripción del fenómeno de descargas parciales	65
Efecto eléctrico	65
Efecto óptico	66
Otros efectos físicos	68
Efecto en instalaciones eléctricas	69
Métodos de medición y equipos	69
Desarrollo en Colombia	71
CONCLUSIONES	72
REFERENCIAS	73

INTRODUCCIÓN

Las descargas parciales son fenómenos presentados entre dos puntos a diferente potencial eléctrico (Campuzano-Martínez, 2016, Gómez-Ramírez, 2018, Sánchez-Torres y Rocha-Millan, 2016); sucede cuando el campo electromagnético hace que se rompa la rigidez dieléctrica del medio aislante (Christina *et al.*, 2017, Ooi, Yashima y Okamoto, 2017, Wu, Jin, Mor y Smit, 2017, Forero, Rojas y Cortés, 2015). Están presentes en la infraestructura eléctrica, principalmente en aisladores, conductores, estructuras de soporte y bujes de transformadores. Producto de estas descargas resultan: compuestos residuales (Janda, Martišovits, Hensel y Machala, 2016; Zeng *et al.*, 2015) por efecto de ionización del medio circundante; emisión de fotones en el rango ultravioleta del espectro electromagnético, y descomposición de materiales aislantes.

Las técnicas de detección han venido evolucionando y algunos recursos tecnológicos mejoran la precisión de la detección y categorización de las fallas en elementos eléctricos, logrando de manera

efectiva anticiparse a estas ([Lughofer y Sayed-Mouchaweh, 2019](#), [Wang, 2016](#)).

Un nuevo método de detección de fallas en cuanto a descargas parciales es la coronografía ([Monrolin, Praud y Plouraboué, 2018](#)). En este artículo se hizo una revisión de dicha técnica, así como también del uso que se le ha dado en la industria eléctrica colombiana.

Descripción del fenómeno de descargas parciales

Durante la aparición del fenómeno de descargas parciales están involucrados varios aspectos físicos, que se describirán durante el desarrollo de este artículo.

Efecto eléctrico

El efecto corona es la acumulación de campo eléctrico en las puntas de los conductores ([Newport, 2018](#)); es proporcional al nivel de tensión ([Riebel, Radtkey Loos, 2002](#)), y causa la ionización del aire circundante a este material ([Florkowska et al., 2012](#), [Nagi y Kunicki, 2017](#)).



Figura 1. Anillo anticorona en una línea de 500 kV

Fuente: Andrés Granero (2016).

El arco eléctrico ocurre cuando el material aislante (cerámica, plástico o aire) se fractura ([Liebowitz, 2018](#), [Castaño, Gómez y Durango, 2016](#)) a causa principalmente del aumento del campo eléc-

trico (Raizer, 2017) a niveles críticos, generando conducción de corriente a través del medio y dando origen a descargas parciales entre dos puntos a diferente potencial.



Figura 2. Arco eléctrico en cadena de aisladores

Fuente: Guido Copa (2013).

Inicialmente en los materiales aislantes se presentan imperfecciones, poros o fisuras. Para el caso del aire se presenta una ionización:

$$Vd = md \cdot \delta \cdot \epsilon ra \cdot \ln Dr \quad (1)$$

En donde Vd corresponde a la tensión crítica disruptiva, md es una constante asignada para el conductor objeto de estudio, ϵra es la rigidez dieléctrica del aire, por su parte r es el radio del conductor en cm y D es la distancia equivalente entre conductores en cm (Sánchez-Torres y Rocha-Millan, 2016).

Efecto óptico

Mientras la detección de descargas parciales por medición de ultrasonido tiene un concepto conocido y ampliamente desarrollado (Zhong, Yuan, Yao y Pan, 2019), la inspección visual de estos fenómenos está en pleno desarrollo (Ren, Song, Zhuang y Yang, 2018). Una de las ventajas más importantes de la inspección coronográfica de descargas parciales frente a una medición por ultrasonido es la precisión para identificar el elemento, o parte de este, que se encuentra con problemas. Las descargas parciales en su etapa inicial son casi imperceptibles en el día y apenas evidenciables en la noche (Newport, 2018). De manera similar a como la termografía aprovecha la radiación infrarroja (Vollmer y Möllmann, 2017) para detectar anomalías en el funcionamiento de equipos, la coronografía usa la energía en el rango ultravioleta (Frącz, Zmarzły y Boczar, 2015) del espectro electromagnético.

Las descargas de corona se generan en el espectro en el espacio de los 200 nm a los 400 nm, fuera completamente del espectro visible para el ojo humano (Kozioł, Wotzka, Boczar y Frącz, 2016,

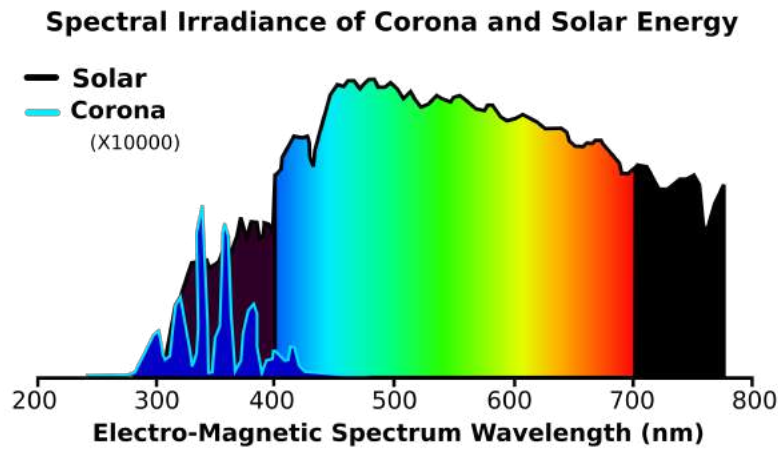


Figura 3. Ubicación de efecto corona en el espectro electromagnético
Fuente: Wallis (2015).

Newport, 2018). El sol es una fuente permanente de luz ultravioleta, lo que dificulta las inspecciones en días muy soleados; sin embargo, se han desarrollado filtros en cámaras que permiten captar el espectro en el umbral generado por las descargas parciales (Uvirco, 2015, Zhang y Wu, 2015). En estas cámaras la luz atraviesa una ventana de cuarzo; el cristal normal no permite el paso de luz ultravioleta (Chen *et al.*, 2015) luego la luz es separada y procesada de manera independiente; la luz visible recibe un tratamiento como una imagen decolor normal para que la luz UV sea superpuesta en la imagen como pixeles de luz monocromática, visibles para que se pueda detectar el origen de la falla (Sonel, 2019, Ulirvision, 2019).

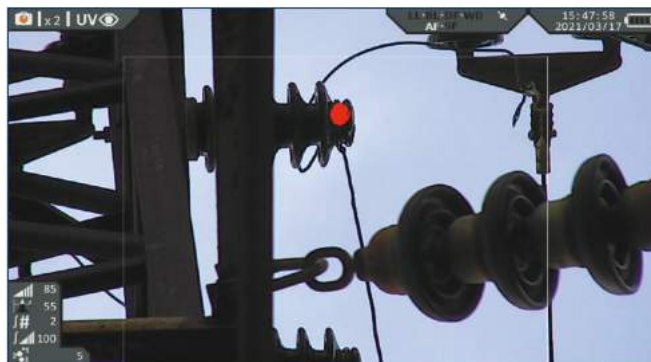


Figura 4. Imagen resultante en cámaras de coronografía
Fuente: Uvirco Technologies (2015).

Otros efectos físicos

Para que suceda el proceso de descarga parcial se ven involucrados varios factores en la infraestructura eléctrica entre los cuales está la diferencia de potencial o nivel de tensión, el tipo de material aislante, las condiciones ambientales en las que se encuentre, entre otras (Raymond, Illias y Mokhlis, 2015). Por efecto del campo eléctrico resultante, los átomos circundantes a la zona energizada tienden a ionizarse, liberando o recibiendo electrones; estos iones pasan a atraerse o liberarse (Charry, 2018) por acción del campo electromagnético; producto de las interacciones entre iones son liberados fotones los cuales hacen visible el efecto corona en la noche, este efecto visual viene acompañado de un ruido silbante y un olor a ozono producto de la interacción de los átomos de oxígeno presentes en la atmosfera (Donini *et al.*, 2016).

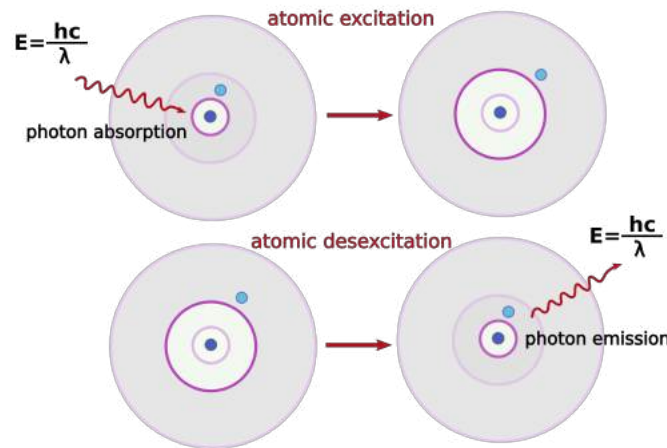


Figura 5. Emisión y absorción de fotones

Fuente: Astronoo (2013).

Como resultado de las interacciones entre los iones del aire circundante y de los materiales de la estructura eléctrica energizada, se generan materiales corrosivos (Charry, 2018), entre ellos el gas ozono, que es formado y puede ser detectado por su olor característico (este es tóxico). Para su generación, durante la emisión de fotones algunos tienen los requisitos energéticos necesarios para romper el doble enlace de los átomos de oxígeno (Lukes *et al.*, 2005).



Donde hv es la energía del fotón. Otro material resultante es el óxido de nitrógeno, compuesto tóxico e irritante, producido por las interacciones entre átomos de oxígeno y nitrógeno. La generación de estos compuestos y otros ácidos depende de los materiales de los componentes aislantes.

Efecto en instalaciones eléctricas

Los efectos en las instalaciones eléctricas pueden ser muy perjudiciales, entre ellos se encuentran: pérdidas de potencial eléctrico durante la liberación de energía en una descarga parcial (Liao, 2016), deterioro de conductores y componentes metálicos por erosión (Shahsavarian y Shahrtash, 2015) y en el caso de aisladores *cracking* (fisuras en aisladores) y *tracking* (creación de caminos conductores en el aislador) (Espitia, 2017).



Figura 6. Degradación de aislador por efecto de descargas parciales

Fuente: Espitia (2017).

Respecto al funcionamiento de las redes se puede presentar interrupción del fluido eléctrico por falla en componentes seccionadores y radiointerferencia en un amplio espectro desde los 0,5 MHz hasta los 30 MHz (Au, Agba y Gagnon, 2015).

Métodos de medición y equipos

El estudio de descargas parciales ha tenido un gran avance con equipos de medición por ultrasonido; los patrones de amplitud y frecuencia permiten al inspector caracterizar el tipo de anomalía presentada en la red eléctrica; sin embargo, lograr determinar con precisión el elemento en falla es complejo (Xie *et al.*, 2016). La técnica de inspección por ultrasonido cuenta con niveles de certificación para personal avalados por la American Society for Nondestructive Testing (ASNT); adicionalmente, varias instituciones en Colombia dan capacitaciones y certificaciones (Dayal, Benedict, Bhatnagar y Harper, 2018).

La inspección a través de equipos de adquisición de imágenes aún está en desarrollo, con buenos avances en detección de descargas parciales en escenarios de luz de día y con una amplia gama de herramientas que facilitan al inspector las condiciones necesarias para una mejor localización y caracterización de la falla (Ofil, 2019, Uvirco, 2019). Entre las características de las cámaras desarrolladas actualmente se encuentran (Sonel, 2019, Uvirco, 2019): equipos más livianos y portátiles, resultados en tiempo real, operación diurna, software de análisis de información, sensibilidad aun a grandes distancias (desde 15 m), detección de zonas de descarga cada vez más pequeñas. Un aspecto importante en desarrollo es la certificación de los procedimientos, protocolos y niveles de inspección, papel

que han liderado las empresas desarrolladoras de esta tecnología, las cuales a través de capacitaciones y conferencias han mostrado a la industria las ventajas de cámaras de inspección de descargas parciales (Newport, 2018, Wallis, 2015).

Sin embargo, las cámaras coronográficas aún deben enfrentar las condiciones que dificultan una buena adquisición de imágenes; entres estos factores están: condiciones superficiales del material (Ai *et al.*, 2015), polen, insectos, gotas de agua o cristales de nieve, humedad, velocidad del viento, temperatura ambiente, densidad del aire, presión atmosférica y distancia de detección.



Figura 7. Detección de descargas parciales por ultrasonido

Fuente: Sedisa (2018).



Figura 8. Detección de descargas parciales con cámaras sensibles a radiación UV

Fuente: elaboración propia.

Desarrollo en Colombia

Como muestra del desarrollo del mantenimiento predictivo en la industria colombiana se encuentra la aplicación de la termografía, análisis de vibraciones y calidad de energía, por medio de las cuales se puede predecir fallas y anticiparse al correctivo (Pilco, Pechortinta y Cañarí, 2018). Así es como la detección de descargas parciales con cámaras sensibles a radiaciones UV entra a desempeñar un papel importante en la confiabilidad de equipos y redes en la industria, iniciando su aplicación en grandes empresas del sector de hidrocarburos y distribución de energía (Sánchez-Torres y Rocha-Millan, 2016). Precisamente, estos sectores de la industria están en capacidad de costear un servicio de coronografía, alquilar o comprar un equipo y capacitar personal para adelantar una inspección. La tabla I muestra los costos de aplicación de la técnica de acuerdo con tarifas de dos empresas colombianas (Erasmus, 2019, Transequipos, 2019).

Tabla I. Costos de la coronografía en inspecciones

Empresa	Cámara	Precio equipo	Precio alquiler/día	Precio servicio/día	Capacitación
Erasmus	Corocam 6D Uvirco	€50.600,00	€320,00	€550,00	€7.800,00
Transequipos	Uvollé VC Ofil	€37.800,00	No disponible	€455,00	No disponible

Fuente: elaboración propia.

Otro gran papel cumplen los principales distribuidores de equipos de medición en alianza con los certificadores e instructores de técnicas de mantenimiento predictivo, están a cargo de actualizar los protocolos de medición, caracterizar los tipos de falla y validar su criticidad en componentes de instalaciones eléctricas de alta y media tensión (Wallis, 2015, Pérez, Rojas, León y Cantor, 2015). Dentro de los elementos objeto de inspección están (Uvirco, 2013) las líneas de transmisión (aisladores y conductores), las estructuras de soporte, los transformadores de corriente y voltaje, los bujes de transformadores.

Por último, es importante reiterar el hecho de que el avance tanto nacional como internacional de la coronografía aún esta en desarrollo; no se puede contar, como en el caso de los demás métodos de inspección predictivos, con escalafones o niveles de certificación y protocolos avalados por instituciones como la ASNT. Sin embargo, como ya se ha mencionado, la coronografía tendrá un alto impacto en la predicción de fallas en componentes eléctricos de alta y media tensión.

CONCLUSIONES

La medición de descargas parciales mediante el uso de cámaras de detección de emisión ultravioleta permite de manera precisa identificar el componente que está averiado, situando con pixeles de luz monocromática las manifestaciones de emisión de fotones, microdescargas y efectos corona en la imagen digital de equipo objeto de inspección. Este resultado no era posible con una inspección por ultrasonido, aunque se podía caracterizar el tipo de fenómeno presentado y determinar su magnitud; se requería de la desenergización del circuito para hacer una evaluación en sitio para una posterior corrección, en caso de que la anomalía en el material aislante fuera evidente.

En Colombia los costos de equipos e inspecciones hacen que los principales clientes de estas mediciones sean grandes industrias del sector de hidrocarburos y energía; estas empresas pueden adquirir los equipos que oscilan entre €37 000 y €50 000; su personal encargado de la administración del mantenimiento cuenta con capacitaciones avanzadas para el análisis de fallas asociadas a descargas parciales, y adicionalmente tienen una o varias personas con la capacidad de realizar la operación del equipo y detectar en sitio una posible falla en sus sistemas eléctricos.

Por su parte, las medianas empresas tienen la opción de implementar en su plan de mantenimiento la inspección de descargas parciales por coronografía, adquiriendo servicios de inspección con empresas especializadas en mantenimiento predictivo, este servicio está disponible por valores entre los €450 y €550; la empresa presta el servicio y entrega al cliente un informe completo donde recomienda los correctivos pertinentes.

Los principales impulsores de la expansión de esta tecnología son las empresas extranjeras desarrolladoras de equipos de medición; estas cuentan con laboratorios dedicados a pruebas con distintos materiales para aumentar las prestaciones de sus equipos, también son las encargadas de dar a conocer las características de nuevas tecnologías y, como son eficaces en la implementación en programas de mantenimiento, tienen conocimiento y experiencia para capacitar a las organizaciones importadoras de tecnología. Este es el caso de Colombia, donde las empresas que venden y alquilan los equipos ya están en capacidad de orientar en la primera etapa a la industria colombiana en el uso de la técnica de coronografía.

La coronografía, o detección de descargas parciales por emisión de radiación ultravioleta, entra a formar parte de las herramientas que tiene la industria colombiana para proteger sus activos. Directores de mantenimiento y personal técnico tienen en sus manos la tecnología para detectar fallas en componentes eléctricos de manera temprana, generando rutinas de inspección, y decidiendo es el momento oportuno para ejecutar una reparación. El país tiene la oportunidad de hacer propia esta técnica de inspección; la invitación es para que los desarrolladores de iniciativas con aplicaciones industriales pasen de las manos de distribuidores de tecnología a laboratorios de universidades y grupos de investigación.

REFERENCIAS

- [Ai *et al.*, 2015] Ai, J., Jin, L., Zhang, Y., Tian, Z., Peng, C. y Duan, W. (2015). Detecting partial discharge of polluted insulators based on ultraviolet imaging. En *2015 IEEE 11th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM)* (pp. 456-459). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICPADM.2015.7295307> ↑Ver página 70
- [Astronoo.com, 2013] Astronoo.com (2013). *Principio de absorción y de emisión atómica*. Recuperado de <http://www.astronoo.com/es/articulos/principio-absorcion-emision-atmica.html> ↑Ver página
- [Au, Agba y Gagnon, 2015] Au, M., Agba, B. L. y Gagnon, F. (2015). A model of electromagnetic interferences induced by corona discharges for wireless channels in substation environments. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 57(3), 522-531. <https://doi.org/10.1109/TEMC.2015.2402638> ↑Ver página 69
- [Campuzano-Martínez, 2016] Campuzano-Martínez, I. R. (2016). Diagnóstico de generadores eléctricos de potencia con técnicas de monitoreo en línea y fuera de línea. *Información Tecnológica*, 27(2), 11-20. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000200003> ↑Ver página 64
- [Castaño, Gómez y Durango, 2016] Castaño, C. G., Gómez, A. A. y Durango, J. J. M. (2016). Modelos de horno de arco eléctrico para estudios del efecto flicker. *Tecnura*, 20(48), 15-28. ↑Ver página 65
- [Charry, 2018] Charry, J. M. (2018). *Air ions: physical and biological aspects*. Londres: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351069571> ↑Ver página 68
- [Chen *et al.*, 2015] Chen, H., Liu, K., Hu, L., Al-Ghamdi, A. A. y Fang, X. (2015). New concept ultraviolet photodetectors. *Materials Today*, 18(9), 493-502. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2015.06.001> ↑Ver página 67
- [Christina *et al.*, 2017] Christina, A. J., Salam, M. A., Rahman, Q. M., Arifin, M. S., Wen, F., Ang, S. P. y Hasan, S. (2017). Partial discharge modeling with increasing applied voltages across different void sizes. En *2017 4th International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE)* (pp. 22-25). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICAEE.2017.8255320> ↑Ver página 64
- [Copa, 2013] Copa, G. (2013). *Cicloconvertidores*. Recuperado de <http://ingcopa.blogspot.com/> ↑Ver página
- [Dayal, Benedict, Bhatnagar y Harper, 2018] Dayal, V., Benedict, Z. G., Bhatnagar, N. y Harper, A. G. (2018). Development of composite calibration standard for quantitative NDE by ultrasound and thermography. *AIP Conference Proceedings*, 1949(1), 60006. Melville: AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/1.5031552> ↑Ver página 69

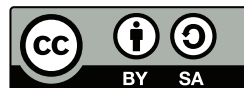
- [Donini *et al.*, 2016] Donini, A., Spezie, R., Cortina, R., Piana, E. A. y Turri, R. (2016). Accurate prediction of the corona noise produced by overhead transmission lines. En *2016 AEIT International Annual Conference (AEIT)*, 1-6. IEEE. <https://doi.org/10.23919/AEIT.2016.7892760> ↑Ver página 68
- [Erasmus, 2019] Erasmus (2019). *UViRCO Technologies, portafolio*. Marcas representadas. Recuperado de <https://www.erasmus.com.co/index.php/es/marcas-representadas/uvirco> ↑Ver página 71
- [Espitia, 2017] Espitia, C. (2017). Inspección de líneas de transmisión y distribución mediante coronografía. *La Nota Energética. Transequipos.com*. Recuperado de <https://transequipos.com/la-nota-energetica/> ↑Ver página 69
- [Florkowska *et al.*, 2012] Florkowska, B., Roehrich, J., Zydrón, P., Florkowski, M. y Rybak, A. (2012). Interaction of conductor with polymeric materials (XLPE/EPR) at partial discharges. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 19(6), 2119-2127. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2012.6396972> ↑Ver página
- [Forero, Rojas y Cortés, 2015] Forero, M. C., Rojas, H. E. y Cortés, C. A. (2015). Aplicación de la transformación local polinomial de Fourier en el análisis de descargas parciales. *Tecnura*, 19, 15-23. ↑Ver página 64
- [Frącz, Zmarzły y Boczar, 2015] Frącz, P., Zmarzły, D. y Boczar, T. (2015). Characteristic of surface partial discharges measured with ultraviolet camera. *Acta Physica Polonica Series a*, 127(3), 715-718. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.127.715> ↑Ver página 66
- [Gallego y Gutiérrez, 2016] Gallego, J. M. y Gutiérrez, L. H. (2016). *El Sistema Nacional de Calidad en Colombia: un análisis cualitativo del desarrollo del sistema*. Washington: Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0000419> ↑Ver página 63, 64
- [Granero, 2016] Granero, A. (2016). *Efecto corona en líneas de alta tensión*. Recuperado de <http://imseingenieria.blogspot.com/2016/08/efecto-corona-en-lineas-de-alta-tension.html> ↑Ver página
- [Gómez-Ramírez, 2018] Gómez-Ramírez, G. A. (2018). Measurement of partial discharge in power transformers under international standards IEC and IEEE. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1), 70-80. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3498> ↑Ver página 64
- [Janda *et al.*, 2016] Janda, M., Martišovits, V., Hensel, K. y Machala, Z. (2016). Generation of antimicrobial NO X by atmospheric air transient spark discharge. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 36(3), 767-781. <https://doi.org/10.1007/s11090-016-9694-5> ↑Ver página

- [Kozioł, Wotzka, Boczar y Frańcz, 2016] Kozioł, M., Wotzka, D., Boczar, T. y Frańcz, P. (2016). Application of optical spectrophotometry for analysis of radiation spectrum emitted by electric arc in the air. *Journal of Spectroscopy*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/1814754> ↑Ver página 66
- [Liao, 2016] Liao, Y., Feng, B., Gu, X., Sun, T., Xu, Y. y Zhang, Z. (2016). Application of the online partial discharge monitoring for the EHV XLPE cable system. En *2016 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis (CMD)* (pp. 896-899). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CMD.2016.7757966> ↑Ver página 69
- [Liebowitz, 2018] Liebowitz, H. (2018). *Fracture of metals: an advanced treatise*. Ámsterdam: Elsevier. ↑Ver página 65
- [Lughofer y Sayed-Mouchaweh, 2019] Lughofer, E. y Sayed-Mouchaweh, M. (2019). *Predictive maintenance in dynamic systems: advanced methods, decision support tools and real-world applications*. Suiza: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-05645-2> ↑Ver página 65
- [Lukes et al., 2005] Lukes, P., Clupek, M., Babicky, V., Janda, V. y Sunka, P. (2005). Generation of ozone by pulsed corona discharge over water surface in hybrid gas-liquid electrical discharge reactor. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 38(3), 409. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/38/3/010> ↑Ver página 68
- [Monrolin, Praud y Plouraboué, 2018] Monrolin, N., Praud, O. y Plouraboué, F. (2018). Revisiting the positive DC corona discharge theory: Beyond Peek's and Townsend's law. *Physics of Plasmas*, 25(6), 63503. <https://doi.org/10.1063/1.5031780> ↑Ver página 65
- [Nagi y Kunicki, 2017] Nagi, Ł. y Kunicki, M. (2017). Ionizing radiation generated by the electrical discharges from medium and high voltage in the air. En *2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)* (pp. 1-5). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2017.7977449> ↑Ver página 65
- [Newport, 2018] Newport, R. (2018). *Coronagraphy and termography*. En Jornada de capacitación en equipos para detección de fallas - Erasmus, 17 de agosto de 2018. Bogotá, Colombia. ↑Ver página 65, 66, 70
- [Ofil, 2019] Ofil (2019). *Handheld high-definition Corona Camera DayCor® Uvöllé*. Ofil Systems Products – Handheld. Recuperado de <https://ofilsystems.com/pro/daycor-uvolle-compact-daytime-corona-camera/> ↑Ver página 69
- [Ooi, Yashima y Okamoto, 2017] Ooi, K., Yashima, M. y Okamoto, T. (2017). Investigation of partial discharge life characteristics of twisted pair of enamelled wires. En *2017 International Symposium on Electrical Insulating Materials (ISEIM)*, 1, 243-246. IEEE. <https://doi.org/10.23919/ISEIM.2017.8088732> ↑Ver página 64

- [Pérez, Rojas, León y Cantor, 2015] Pérez, C. D., Rojas, H. E., León, A. F. y Cantor, L. F. (2015). Crecimiento de algas sobre aisladores de media tensión y su impacto sobre el desempeño eléctrico. *Tecnura*, 19, 24-32. ↑Ver página 71
- [Pilco, Pechortinta y Cañarí, 2018] Pilco, E., Pechortinta, Y. y Cañarí, J. (2018). *Características de la gestión del mantenimiento industrial: revisión de la literatura*. [Trabajo de grado]. Universidad Privada del Norte. Trujillo, Perú. ↑Ver página 71
- [Raizer, 2017] Raizer, Y. (2017). *Spark discharge*. Londres: Routledge. ↑Ver página 66
- [Raymond, Illias y Mokhlis, 2015] Raymond, W. J. K., Illias, H. A. y Mokhlis, H. (2015). Partial discharge classifications: Review of recent progress. *Measurement*, 68, 164-181. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.02.032> ↑Ver página 68
- [Ren, Song, Zhuang y Yang, 2018] Ren, M., Song, B., Zhuang, T. y Yang, S. (2018). Optical partial discharge diagnostic in SF6 gas insulated system via multi-spectral detection. *ISA Transactions*, 75, 247-257. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2018.02.008> ↑Ver página 66
- [Riebel, Radtkey Loos, 2002] Riebel, U., Radtke, R. y Loos, R. (2002). An experimental investigation on corona quenching. *Journal of Electrostatics*, 54(2), 159-165. [https://doi.org/10.1016/S0304-3886\(01\)00175-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3886(01)00175-9) ↑Ver página 65
- [Sánchez-Torres y Rocha-Millan, 2016] Sánchez-Torres, A. y Rocha-Millan, G. M. (2016). *Diseño de un protocolo de medición de efecto corona en sistemas eléctricos de media y alta tensión utilizando cámara coronográfica para la empresa Lyansa Electrica LTDA*. [Trabajo de grado]. Universidad de los Llanos. Villavicencio, Colombia. ↑Ver página 64, 66, 71
- [Sedisa, 2018] Sedisa (2018). *Inspecciones eléctricas con ultrasonido acústico*. Recuperado de <http://www.sedisa.com.pe/servicios/sin-categoria/inspecciones-electricas-con-ultrasonido-acustico> ↑Ver página
- [Shahsavarian y Shahrtash, 2015] Shahsavarian, T. y Shahrtash, S. M. (2015). Modelling of aged cavities for partial discharge in power cable insulation. *IET Science, Measurement & Technology*, 9(6), 661-670. <https://doi.org/10.1049/iet-smt.2014.0222> ↑Ver página 69
- [Sonel, 2019] Sonel (2019). Cámara de descargas en Corona UV-260. Sonel Dispositivos - Medidas de descargas parciales. Recuperado de https://www.sonel.pl/es/producto/corona-camera-uv260_7Bp1/ ↑Ver página 67, 69
- [Transequipos, 2019] Transequipos (2019). Inspección coronográfica ultravioleta. Confiabilidad en Equipos Eléctricos. *Transequipos.com*. Recuperado de <https://transequipos.com/inspeccion-coronografica/> ↑Ver página 71


- [Ulirvision, 2019] Ulirvision (2019). *TD100 Corona Camera*. Recuperado de <http://www.ulirvision.co.uk/corona-camera-uvsee-td100.html> ↑Ver página 67
- [Uvirco, 2019] Uvirco Technologies (2019). *CoroCAM® 6D Economical Daylight Corona Imaging Camera Brochure*. Recuperado de https://www.uvirco.com/wp-content/uploads/2019/06/CoroCAM-6D-Brochure-2019.2_compressed.pdf ↑Ver página 69
- [Uvirco, 2013] Uvirco Technologies (2013). *CoroCAM advanced site inspection guide*. Recuperado de <https://slideplayer.com/slide/14580534/> ↑Ver página 71
- [Uvirco, 2015] Uvirco Technologies (2015). *CoroCAM® Non Solar Blind Cameras*. Recuperado de <https://www.uvirco.com/products/corocam-non-solar-blind-cameras/> ↑Ver página 67
- [Vollmer y Möllmann, 2017] Vollmer, M. y Möllmann, K. P. (2017). *Infrared thermal imaging: fundamentals, research and applications*. Hoboken: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1049/iet-smt.2014.0222> ↑Ver página 66
- [Wallis, 2015] Wallis, J. (2015). Making the invisible visible: UViRCO, an innovation success story: industry. *CSIR Science Scope*, 8(2), 80-81. ↑Ver página 70, 71
- [Wang, 2016] Wang, K. (2016). Intelligent predictive maintenance (IPdM) system-Industry 4.0 scenario. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 113, 259-268. ↑Ver página 65
- [Wu, Jin, Mor y Smit, 2017] Wu, J., Jin, H., Mor, A. R. y Smit, J. (2017). The effect of frequency on the dielectric breakdown of insulation materials in HV cable systems. En *2017 International Symposium on Electrical Insulating Materials (ISEIM)*, 1, 251-254. IEEE. <https://doi.org/10.23919/ISEIM.2017.8088734> ↑Ver página 64
- [Xie *et al.*, 2016] Xie, X., Mu, J., Liu, R., Meng, Q., Wu, S., Lv, P., ... , Zhu, B. (2016). Research on partial discharge detection methods for electrical equipment diagnosis. En *2016 4th International Conference on Machinery, Materials and Computing Technology*. Dordrecht: Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/icmmct-16.2016.278> ↑Ver página 69
- [Zeng *et al.*, 2015] Zeng, F., Tang, J., Xie, Y., Zhou, Q. y Zhang, C. (2015). Experimente study of trace water and oxygen impact on SF 6 decomposition characteristics under partial discharge. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 10(4), 1786-1795. <https://doi.org/10.5370/JEET.2015.10.4.1786> ↑Ver página
- [Zhang y Wu, 2015] Zhang, Y. y Wu, T. (2015). Optical system design of solar blind ultraviolet imaging detector. En *2015 4th National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering*. Dordrecht: Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/nceece-15.2016.218> ↑Ver página 67

[Zhong, Yuan, Yao y Pan, 2019] Zhong, D., Yuan, F., Yao, J. y Pan, J. (2019). Application analysis of ultrasonic technology in insulator contamination discharge detection. En *2019 International Conference on Computer, Network, Communication and Information Systems (CNCI 2019)*. Dordrecht: Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/cnci-19.2019.20> ↑Ver página 66



Corporate Celebrations in Colombia: Spaces of Diversity, Inclusion, and Productivity

Celebraciones corporativas en Colombia: espacios de diversidad, inclusión y productividad

Nevis Balanta Castilla ¹, Luisa Stella Paz Montes ², David Navarro Mejía ³

Fecha de Recepción: 28 de julio de 2020

Fecha de Aceptación: 24 de febrero de 2021

Cómo citar: Balanta-Castilla, N. Paz-Montes, L.S. y Navarro-Mejía, D. (2021). Corporate Celebrations in Colombia: Spaces of Diversity, Inclusion, and Productivity. *Tecnura*, 25(68), 79-83. <https://doi.org/10.14483/22487638.16712>

Abstract

Objective: To study corporate celebrations are spaces of inclusion that allow the cultural, personal, and behavioral encounter of the people who make up an organization, which has positive consequences on the productivity of human teams in companies in the short, medium, and long term.

Methodology: This research is descriptive, that is, the importance of corporate celebrations in organizations and its relationship to productivity in Colombia is disclosed. The population under study corresponds to workers in medium and large companies, regardless of type and sector. The sample was random; for the selected companies, all or most of the employees were surveyed. Some of the characterization variables considered were age, gender, seniority, role, position, religious orientation, ethnic group, regional origin, symbols, business culture, and productivity. Data collection was carried out through digital surveys.

Results and conclusions: This research revealed that workers in Colombian companies not only need economic remuneration to have better productivity, but also motivation and the strengthening of social interactions arising from corporate celebrations, which strengthen the identity, stability, and positioning of organizations.

Keywords: corporate celebrations, productivity, diversity, inclusion.

Resumen

Objetivo: Estudiar las celebraciones corporativas son espacios de inclusión que permiten el encuentro cultural, personal y conductual de las personas que integran una organización, lo que tiene consecuencias positivas sobre la productividad de

¹Bachelor's degree in Linguistics and Literature; master in Interdisciplinary Social Research; director of the LENTE research group and the Étymos research seedbed; professor at Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Email: nbalantac@udistrital.edu.co

²Business administrator, specialized in Education Management; master in Company Management; PhD in Education; professor at Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia. Email: luisastellapm@ufps.edu.co

³PhD in Information Sciences; master in Interdisciplinary Social Research; bachelor's degree in Linguistics and Literature; professor at Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Email: davidrnm@hotmail.com

los equipos humanos en las empresas en el corto, mediano y largo plazo.

Metodología: Esta investigación es descriptiva, es decir, se divulga la importancia de las celebraciones corporativas en las organizaciones y su relación con la productividad en Colombia. La población objeto de estudio corresponde a trabajadores de medianas y grandes empresas, independientemente del tipo y sector. La muestra fue aleatoria; para las empresas seleccionadas, todos o la mayoría de los empleados fueron encuestados. Algunas de las variables de caracterización consideradas fueron edad, género, antigüedad, rol, cargo, orientación religiosa, etnia, origen regional, símbolos, cultura empresarial y productividad. La recolección de datos se realizó a través de encuestas digitales.

Resultados y conclusiones: Esta investigación reveló que los trabajadores de las empresas colombianas no solo necesitan una remuneración económica para tener una mejor productividad, sino también la motivación y el fortalecimiento de las interacciones sociales derivadas de las celebraciones corporativas, que fortalecen la identidad, estabilidad y posicionamiento de las organizaciones.

Palabras clave: celebraciones corporativas, productividad, diversidad, inclusión.

Table of Contents

	Página
INTRODUCTION	80
METHODOLOGY	81
RESULTS	81
CONCLUSIONS	82
FINANCING	82
ACKNOWLEDGEMENTS	82
REFERENCES	82

INTRODUCTION

This work focuses on celebrations from a human perspective in companies, since parties are a space of freedom that fosters the construction of diversity, regardless of the characteristics of each individual. During festivities, Colombian businesses celebrate community, thus strengthening corporate identity, and they are seen as an element of motivation and strength that will later be reflected in collective actions that generate benefits in terms of productivity and become competitive advantages while always improving the organizational climate.

METHODOLOGY

This research is descriptive, that is, the relationship of celebrations with productivity in companies is disclosed.

This research is qualitative, so context and process are important. Therefore, different methods and techniques such as interviews and surveys were used, which allowed solving the proposed research problem (Fernández, 2012). For this, a mixed method was used, which was initially based on qualitative, descriptive, and analytical methods. This allowed working on the reality of the research objective (Balanta-Castilla, N. 2020, Vergel *et al.*, 2019) to collect as much information as possible.

As for the qualitative method, its object of study, according to Murillo (2010), lies in the understanding of the human being, which is seen and analyzed as a process with a holistic conception (Spradley, 2008) in which the different cultural components can be studied (Hevia, 2002). In this case, this study focuses on corporate celebrations in various companies in Colombia, compared to their different actions, through their organizational culture. Regarding the quantitative approach, the statistical techniques of information analysis were used.

This contrast allowed us to describe the celebrations and their relationship with productivity in companies.

The population under study corresponds to workers from medium and large companies in Bogotá, since it was considered that this city is one of the most diverse in the country, due to its central nature.

RESULTS

The age of 78 % of the respondents ranges from 25 to 50 years old. 40 % are men and 60 % are women. 96 % said they give importance to parties and 98 % reported their liking for corporate celebrations. 2 % externalized self-recognition as belonging to an ethnic group, and 10 % did not practice any religion while 90 % were assumed to be Catholic. Regarding gender, 58 % identified themselves as the female and 39 % as male. A minimum percentage left this answer blank. 99 % stated that they attend corporate celebrations, and only 1 % revealed that they do not like such events. Most believe that, when the company celebrates achievements or organizes celebrations, they feel more motivated at work, and productivity indicators increase. The figures show that the organizations under study are already diverse, especially in terms of origin, gender, and age. During the celebrations, diversity and inclusion of all are put to the test without being influenced by any particular characteristic. Furthermore, when celebrations take into account achievements and encourage the staff to achieve goals, they are more engaged and happier.

CONCLUSIONS

Not only do workers in Colombian companies need financial remuneration to have better productivity, but also motivation and the strengthening of social interactions arising from corporate celebrations, since these strengthen the identity, stability, and positioning of organizations.

According to workers, the human effects derived from corporate holiday practices have a positive impact on productivity, health, and happiness indicators in their companies.

Colombia is a sum of regions, festivals, rituals, and ceremonies that are mixed in companies in an interesting network of cultural diversity, which, instead of being an obstacle, has become an opportunity to create symbolic ties and encourage joint actions for the sake of growth, both from human and productive perspectives within organizations.

FINANCING

This study was financed by Universidad Distrital Francisco José de Caldas. It is part of the project "Approach to the social representation of the celebrations of life in environments of peace: Latin American realities".

ACKNOWLEDGEMENTS

This article is part of a subproject emerging from the macro-project: "Approximation to the social representation of the celebrations of life and that covered five countries: Cuba, Paraguay, Mexico, Peru and Brazil".

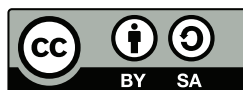
REFERENCES

- [Balanta-Castilla, N. 2020] Balanta-Castilla, N. (2020) Los apodos en la educación superior Colombiana. *Revista Boletín Redipe*, 9(4), 967. <https://doi.org/10.36260/rbr.v9i4.967> ↑Ver página 81
- [Fernández, 2012] Fernández, D. (2012) *Festividades corporativas: La mejor inversión*. <https://mba.americaeconomia.com/articulos/reportajes/festividades-corporativas-la-mejor-inversion> ↑Ver página 81
- [Hevia, 2002] Hevia, J. (2002). *Lenguas y devenires en pugna: En torno a la posmodernidad*. University of Lima. ↑Ver página 81

[Murillo, 2010] Murillo, J. (2010). *Investigación etnográfica*. Trillas. https://fundacionmerced.org/bibliotecadigital/wp-content/uploads/2017/12/I_Etnografica.pdf ↑Ver página

[Spradley, 2008] Spradley, J. (2008). *The Ethnographic Interview*. University of Michigan. https://books.google.com.co/books/about/The_Ethnographic_Interview.html?id=XP5_AAAAMAAJ&redir_esc=y ↑Ver página 81

[Vergel *et al.*, 2019] Vergel, M., Paz, L., & Rojas, J. (2019) *Comportamiento del consumidor de productos en la oferta de tribu inga*. CLIO América, 13(25), 311-321. <https://doi.org/10.21676/23897848.3408> ↑Ver página 81



Reconocimiento y evaluación de posibles geositos asociados a dolinas en el departamento de Malargüe Provincia de Mendoza, Argentina

Recognition and Evaluation of Possibles Geosites Associated to Dolinas in Malargüe Department Mendoza Province, Argentina

Valeria Sofía Cortez Taillant ¹, Agustín Arroqui Langer ²

Fecha de Recepción: 26 de Mayo de 2020

Fecha de Aceptación: 24 de Febrero de 2021

Cómo citar: Cortez-Taillant., V.S. y Arroqui-Langer., A. (2021). Reconocimiento y evaluación de posibles geositos asociados a dolinas en el departamento de Malargüe Provincia de Mendoza. *Tecnura*, 25(68), 84-104. <https://doi.org/10.14483/22487638.17134>

Resumen

Objetivo: Evaluar y valorar sitios de interés geológico mediante el planteamiento de georrutas turísticas asociadas a geoformas kársticas (dolinas) para luego proponerlas en el proyecto Global Geosites de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS, por su sigla en inglés). Recomendar futuros estudios en la temática exokárstica, ya que la información es muy escasa, lo cual contribuiría a un mejor desarrollo turístico del departamento de Malargüe.

Metodología: La metodología aquí aplicada se abordó a partir del estudio de las geoformas kársticas mediante un exhaustivo trabajo de interpretación de imágenes satelitales y posterior control de campaña. Además, se desarrolló una valoración sobre la base de trabajos previos (Panizza y Piacente, 1993, Reynard, Fontana, Kozlik y Scapozza, 2007, Zouros, 2007, Coratza et al., 2012) y se basó en tres conjuntos de valores: valor científico, valor adicional y valor de uso.

Resultados: La dolina N.º 6 (laguna de La Niña Encantada) fue la que obtuvo mayor puntuación total, siendo casi perfecta; con valoraciones máximas en casi todos los criterios.

Conclusiones: Los datos obtenidos a partir de la valoración sugiere que la primer georruta propuesta, ubicada al norte del área de estudio, comprendida por las dolinas N.º 1 a N.º 7, es la más propicia para la determinación de geositos. La valoración más alta de esta georruta fue de 9 puntos, laguna de La Niña Encantada, un registro casi perfecto en todos los criterios de clasificación.

Financiamiento: Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Juan.

Palabras clave: cañón kárstico, dolinas, geositos, yeso.

¹Licenciada en Ciencias Geológicas, perteneciente a Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas-Centro de Investigaciones de la Geósfera y Biósfera (Conicet-Cigeobio) e Instituto de Geología "Dr. Emiliano P. Aparicio" Ingeo. Gabinete de Geología Ambiental. Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales FCEfyN. Universidad Nacional de San Juan, Argentina. Contacto: valeriasofia1292@gmail.com

²Doctor en Ciencias Geológicas, licenciado en Ciencias Geológicas. Docente e investigador del Instituto de Investigaciones Mineras y Departamento de Ingeniería en Minas pertenecientes a Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan. San Juan, Argentina. Contacto: arroqui@unsj.edu.ar

Abstract

Objective: Evaluate and assess sites of geological interest by proposing tourist georoutes associated with karst geofoms (sinkholes) and then propose them in the Global Geosites project of the International Union of Geological Sciences (IUGS). Recommend future studies on the exokarst theme since it is very scarce and this would contribute to a better tourist development in the Malargüe department.

Methodology: The methodology applied here was approached from the study of the karst geofoms through an exhaustive work of interpretation of satellite images and subsequent campaign control. In addition, an assessment is developed based on previous work (Panizza y Piacente, 1993, Reynard, Fontana, Kozlik y Scapozza, 2007, Pereira, Pereira y Caetano-Alves, 2007, Zouros, 2007, Coratza *et al.*, 2012) and is based on three sets of values: Scientific Value, Additional Value and Use Value.

Results: The sinkhole N°6 (Laguna de la Niña Encantada) is the one that obtained the highest total score, being almost perfect; with maximum ratings on almost all criteria.

Conclusions: The data obtained from the assessment suggests that the first proposed georoute, located to the north of the study area, comprised of sinkholes 1 to 7, is the most favorable for the determination of geosites. The highest evaluation of this georoute was 9 points, Laguna de la Niña Encantada, being almost perfect in all the classification criteria.

Financing: Department of Geology, National University of San Juan.

Keywords: canyon karst, geosites, gypsum, sinkhole.

Tabla de Contenidos

	Página
INTRODUCCIÓN	86
METODOLOGÍA	87
Área de estudio	87
Métodos	88
RESULTADOS	89
Reconocimiento general de georrutas propuestas con dolinas	89
Georruta N.º 1: zona norte 42 kilómetros de longitud	90
Georruta N.º 2: zona sur 38 kilómetros de longitud	92
Evaluación preliminar de geositios propuestos	92
Georruta N.º 1: zona norte (tabla II)	92
Georruta N.º 2: zona sur (tabla II)	99
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
FINANCIAMIENTO	102
REFERENCIAS	102

INTRODUCCIÓN

Las dolinas son depresiones cerradas, de forma circular o elipsoidal en planta, de metros a un kilómetro de diámetro, y su profundidad puede ser de pocos metros a más de un centenar. Pueden presentarse aisladas, formando uvalas (producto de la unión de dos o más dolinas) o agrupadas formando campos de dolinas. Otras geoformas particulares vinculadas con dolinas son los *canyons karst*, o cañones kársticos. Se generan por la coalescencia de varias dolinas conectadas ya sea en profundidad o en superficie por el mismo drenaje. Esta geoforma evoluciona con la pérdida paulatina de la forma circular que caracteriza a las dolinas tendiente a la morfología clásica de un curso fluvial. Por lo general, las dolinas no presentan una sola génesis por lo que se las denomina *poligenéticas*. Los procesos que generan dolinas son la disolución, flexión, sofusión y colapso (Cramer, 1941).

Las dolinas siempre han sido consideradas geoformas llamativas y distintivas por diversas culturas del mundo. Normalmente, los términos específicos o locales para nombrar estas geoformas kársticas son sumidero y dolina. En áreas donde las dolinas son abundantes y/o de tamaños considerables, los habitantes suelen crear historias o leyendas sobre su aparición o formación. Su valor mitológico o místico, su importante historia en un sentido amplio y su valor escénico han favorecido a la designación como áreas protegidas (p. ej., (Lewis, 2008, Kiernan, 2010, Fassoulas, Mouriki, Dimitriou-Nikolakis y Iliopoulos, 2012). El área protegida más importante del mundo que está vinculada con dolinas es el Bottomless Lakes State Park, de Nuevo México (Estados Unidos). Este parque incluye un área con dolinas formando lagos, generadas en un entorno hidrogeológico particular (Coratza *et al.*, 2012).

La protección de estas áreas está basada en el valor ecológico; las geoformas kársticas y su hidroquímica son esenciales en el ecosistema de estos lugares. Otro de los ejemplos es el área del León, en Florida (Estados Unidos), un parque regional centrado en dolinas, donde el paisaje regional tiene centenares de lagos circulares (dolinas) en la toda la península de Florida. Lagunas de Cañada del Hoyo es un parque regional en España dedicado exclusivamente a dolinas. En Croacia, una de las dolinas más grandes tiene 520 m de profundidad llamado Modro Jezero (Lago Rojo) que se ha convertido en una importante atracción turística. También los cenotes, que son dolinas de colapso con agua en su interior en la península de Yucatán (México), son intensamente visitados por turistas. En la región del Caribe, las dolinas llamadas agujeros azules (*blue holes*) se han convertido en lugares fantásticos para las prácticas de buceo y sus imágenes aéreas son conocidas en todo el mundo (Coratza *et al.*, 2012).

El objetivo de este trabajo es evaluar y valorar sitios de interés geológico a partir del trabajo realizado por Cortez Taillant (2017) planteando georrutas turísticas (Palacio-Prieto, De Castro-Martínez y González, 2019) asociadas a geoformas kársticas (dolinas) en el departamento de Malargüe, en la Provincia de Mendoza (Argentina) con el fin de proponerlas como posibles geositios en el proyecto Global Geosites de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS, por su sigla en inglés). Así

mismo, se pretende promover futuros estudios en la temática exokárstica –ya que la información es muy escasa en esta región– y ello contribuiría a un mejor desarrollo turístico en el área de interés.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en el sector noroeste del departamento de Malargüe en los distritos Río Grande y ciudad de Malargüe, suroeste de la Provincia de Mendoza, República Argentina (figura 1).

Se accede desde San Rafael hacia el suroeste por Ruta Nacional N.º 144, hasta el empalme con Ruta Nacional N.º 40. Luego se debe tomar hacia el sur hasta llegar a Ruta Provincial N.º 222. A través de esta vía, en dirección oeste, se accede al sector centro-norte del área de estudio; pasando por el paraje de Los Molles, el valle de Las Leñas y Valle Hermoso. El sector sur del área se puede recorrer partiendo desde la ciudad de Malargüe, hacia el oeste y transitando por el camino que conduce al atractivo turístico de los Castillos de Pincheira.

Las particularidades geológicas y climáticas de la región de Malargüe, han dado como resulta-

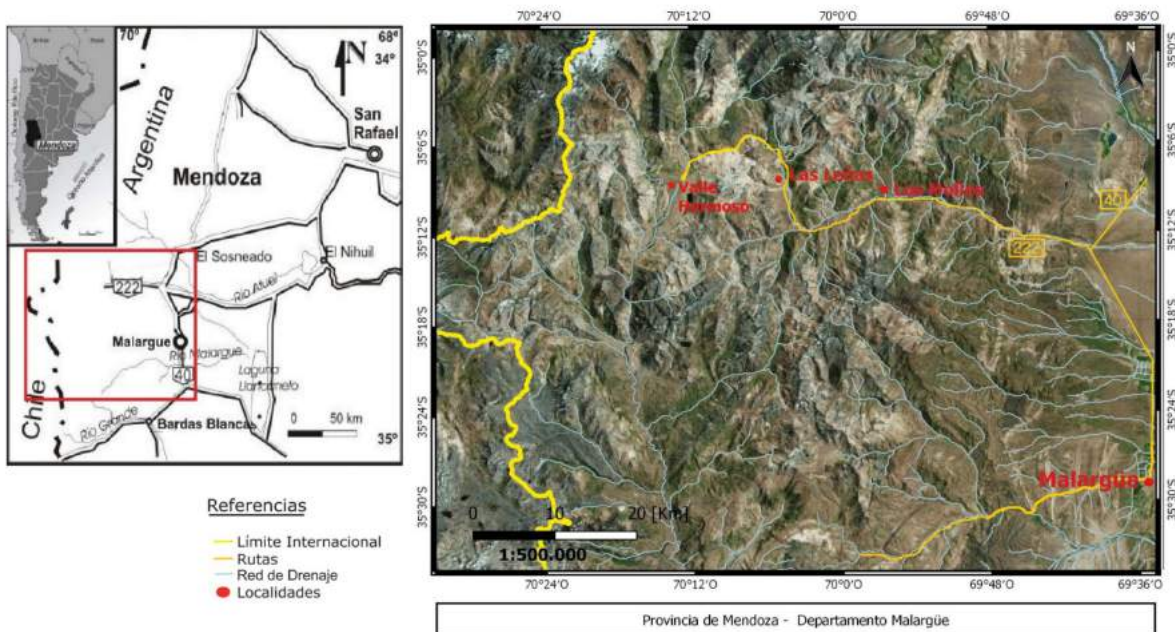


Figura 1. Mapa de ubicación del área de trabajo

Fuente: elaboración propia.

do un paisaje exokárstico sobre el yeso sedimentario de la formación Auquilco, de edad Jurásica superior-Cretácica; así como la acción hídrica a niveles superficial y subterráneo, ya que las rocas intervinientes tienen un alto potencial de disolución. Estos factores han generado en grandes cantidades de dolinas.

Métodos

Metodológicamente se abordó el estudio de las geoformas kársticas mediante un exhaustivo trabajo de interpretación de imágenes satelitales (con la identificación de 1999 geoformas) y posterior control de campaña. Se propone en este trabajo destacar y valorizar solo 15 dolinas que, por sus características relevantes, incitan ser propuestas como geositios.

Numerosos métodos, tanto cualitativos como cuantitativos, para evaluar a dolinas como geositios están disponibles en la literatura científica. La metodología aquí aplicada se desarrolla sobre la base de trabajos previos (Panizza y Piacente, 1993, Reynard, Fontana, Kozlik y Scapozza, 2007, Pereira, Pereira y Caetano-Alves, 2007, Zouros, 2007, Coratza *et al.*, 2012) y en tres conjuntos de valores (valor científico, valor adicional y valor de uso). Así mismo, cada valor posee distintos criterios de evaluación (tabla I).

Tabla I. Simbología aplicada a la clasificación de geositios

Valor	Criterios	Símbolo	Puntuación	
Científico	Modelo paleogeomorfológico	MP	0 - 1	
	Rareza o unicidad	R - U	0 - 1	
	Representatividad	R	0 - 1	
	Integridad	I	0 - 1	
Adicionales	Ecológico	Ecología	Ec	0 - 1
	Estético		Es	-
		Diversidad de color	D	0 - 1
		Naturalidad del sitio	N	0 - 1
	Cultural		C	-
		Importancia religiosa	IR	0 - 1
Uso	Importancia histórica	IH	0 - 1	
	Accesibilidad, visibilidad, servicios e importancia para la educación.	U	0 - 1	

Fuente: modificado de (Coratza *et al.*, 2012).

El *valor científico* está basado en cuatro criterios que son sugeridos por (Reynard, Fontana, Kozlik y Scapozza, 2007): a) modelo paleogeomorfológico, que se refiere a la importancia del sitio para el clima de la Tierra en la historia; b) rareza/unicidad, que alude a su particularidad con respecto a un espacio de referencia; c) representatividad, que trata sobre su ejemplaridad con respecto a un espacio de referencia; y finalmente d) integridad, que concierne a su estado de conservación que depende de factores naturales y antropogénicos.

Los valores adicionales toman en cuenta los aspectos ecológicos, estéticos y culturales (Panizza y Piacente, 1993). Este parámetro pone de relieve los posibles vínculos entre las características geomorfológicas y otros aspectos naturales y culturales.

- El *valor ecológico* toma la importancia del geomorfosito por sus implicancias ecológicas (exclusivamente si tienen una particular fauna o vegetación), con referencia a las normas de protección existentes por razones ecológicas.
- El *valor estético* tiene en cuenta la percepción de la belleza del paisaje y, en ese sentido, su evaluación es la más subjetiva (Regolini-Bissig, 2010). Por esta razón, con el fin de reducir la subjetividad involucrada –basada en (Reynard, Fontana, Kozlik y Scapozza, 2007, Pralong, 2005, Coratza et al., 2012)– se ha introducido una serie de parámetros objetivos en la evaluación. Estos consisten en: a) diversidad de color (p. ej., contraste debido a cambios litológicos); ii) naturalidad del sitio (p. ej., ambientes prístinos).
- El *valor cultural* incluye diferentes subcriterios (Panizza, 1996): a) importancia religiosa; b) importancia histórica en un sentido amplio incluyendo arqueología, prehistoria e historia.

El *valor de uso* de un sitio se define a partir de su accesibilidad, visibilidad, servicios (en cuanto a la presencia de equipos y servicios de apoyo en los alrededores) e importancia para la educación (escuela, universidades).

En el área de estudio solo se ponderaron las dolinas que forman parte de las dos georrutas propuestas. El valor total de una geoforma (dolina) puede resultar de la suma de las puntuaciones de todos los criterios, donde 10 es la puntuación más alta.

RESULTADOS

Reconocimiento general de georrutas propuestas con dolinas

En el área de estudio se proponen dos georrutas a partir de la cercanía de los puntos de interés: una en la zona norte y otra en la zona sur (figura 2). Ambas involucran una serie de dolinas y uvalas, donde se conjugan tanto geoformas kársticas conocidas como atractivos turísticos, así como otras desconocidas hasta el momento. A continuación, se muestran las georrutas con sus respectivos puntos de interés.

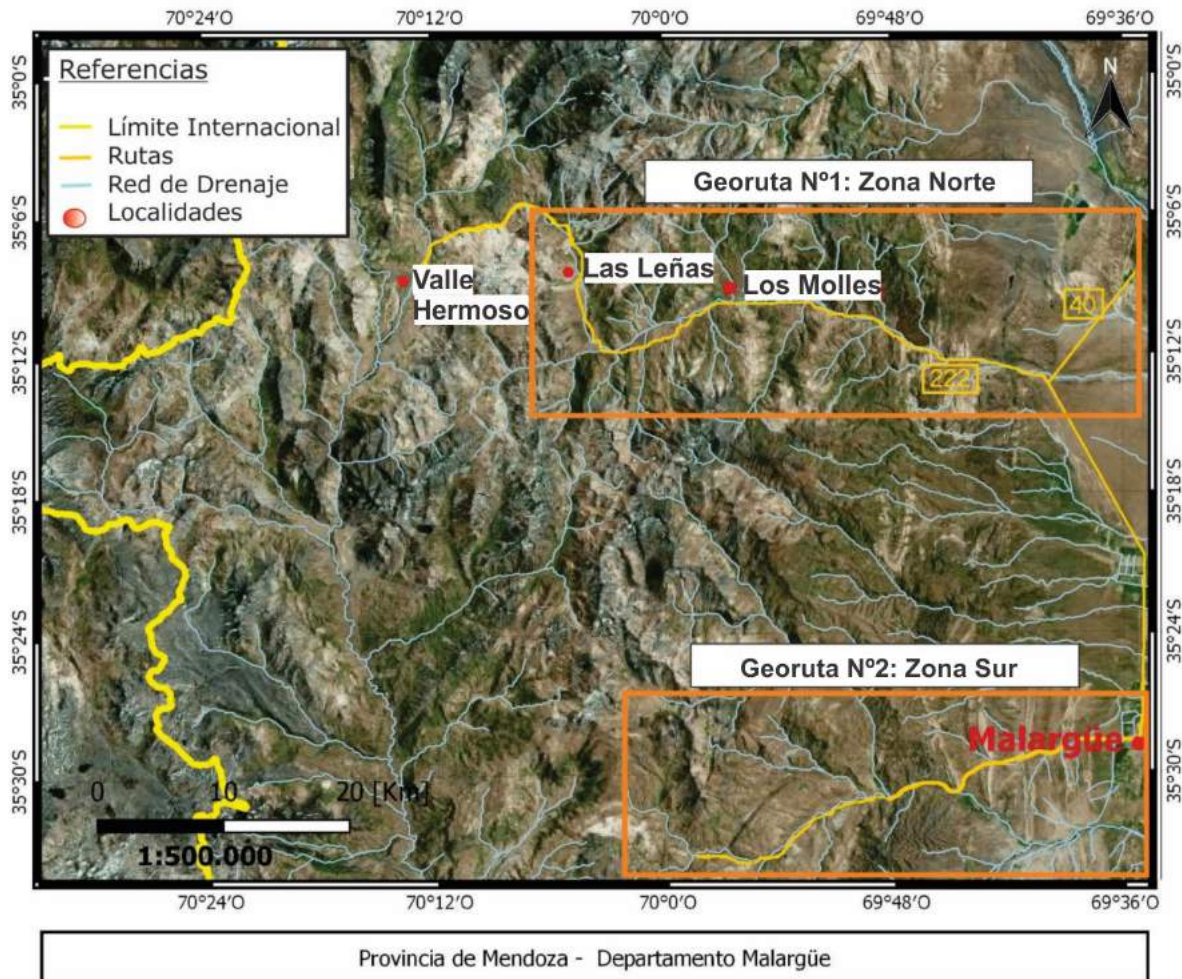


Figura 2. Mapa de ubicación del área de trabajo con las 2 georrutas propuestas enmarcadas en color naranja

Fuente: elaboración propia.

Georruta N.º1: zona norte 42 kilómetros de longitud

Se accede por Ruta Provincial 222 hacia el oeste y luego hacia el norte, camino al Complejo Las Leñas. Cada parada propuesta corresponde a un geosítio: la primera pertenece a la dolina aislada N.º 1 (canyon karst), ubicada sobre la misma Ruta 222, frente al valle de Las Leñas. La segunda es la más importante, ya que involucra al pozo de Las Ánimas, el cual ya es un sitio de interés geológico de Malargüe. Este corresponde al campo de dolinas N.º 1, dolinas N.º 2 y N.º 3. La tercera, situada en la localidad de Los Molles, concierne al pozo de Las Animitas, que pertenece al campo N.º 2, dolinas N.º 4 y N.º 5. Y, por último, también en la localidad de Los Molles, se ubica el sitio de interés

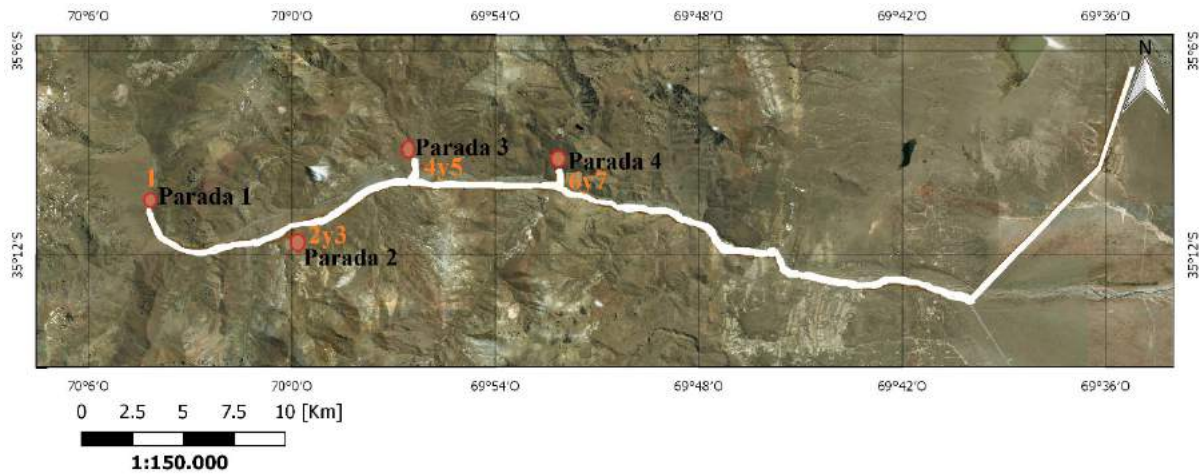


Figura 3. Georruta N.º 1 en zona norte, en blanco demarcada la Ruta 222 con paradas (geosítios) y dolinas enumeradas de 1 a 7.

Fuente: imagen satelital Bing, mapa elaboración propia.

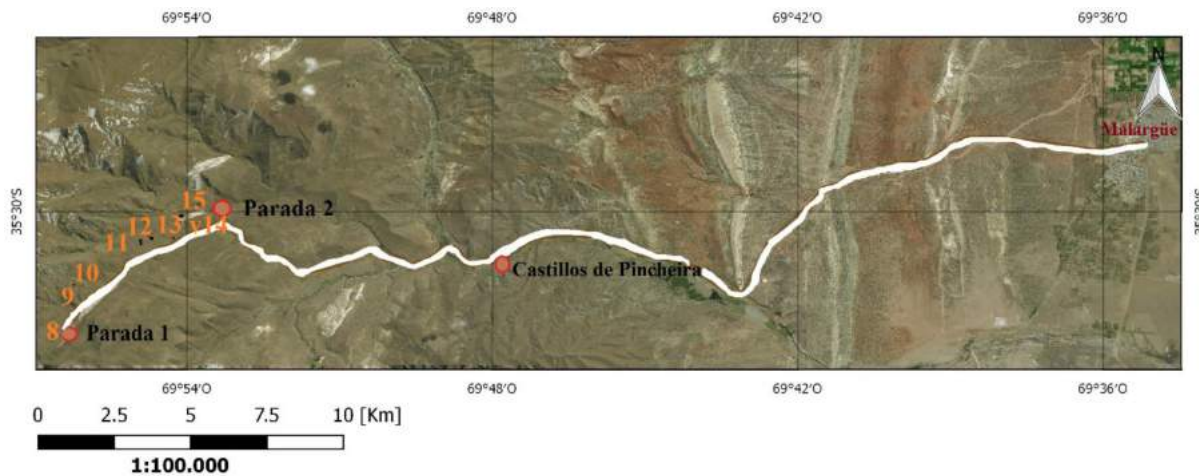


Figura 4. Georruta N.º 2 en camino a Castillos de Pincheira en zona sur, con paradas (geosítios) y dolinas enumeradas de 8 a 15.

Fuente: imagen satelital Bing, mapa elaboración propia.

más popular, que es la laguna de La Niña Encantada y Lagunita (propuesta en este trabajo). Ambas constituyen el campo N.º 3 y son las dolinas N.º 6 y N.º 7. En esta georruta además de las dolinas también se pueden apreciar atractivas coladas basálticas y basaltos columnares sobre las laderas de Los Molles, lo que convierte a esta georruta en un importante atractivo turístico (figura 3).

Georruta N.º 2: zona sur 38 kilómetros de longitud

Esta georruta se propone en la zona sur del área de estudio, se ubica en dirección oeste de la ciudad de Malargüe, por camino hacia Los Castillos de Pincheira. Este sitio de interés geológico (no kárstico) se trata de un área protegida de unas 650 ha, cuyas formaciones geológicas, conocidas como *castillos*, fueron declarados Monumentos Naturales por su gran belleza escénica y su valor geomorfológico. La unidad de conservación está comprendida dentro de la ecorregión patagónica (municipalidad de Malargüe-Turismo).

Desde la parada 1 hasta la 2, se podrán observar 8 dolinas aisladas, las cuales están enumeradas desde 8 a 15 respectivamente, y que corresponden a los geositos 5 a 11. Todas se ubican cerca del camino, algunas pueden apreciarse a simple vista desde un vehículo y a otras se accede caminando no más de 20 metros de distancia (figura 4).

Evaluación preliminar de geositos propuestos

Luego de haber aplicado la clasificación propuesta a las dolinas, se obtuvo la valoración total para cada una de estas. Se destaca que en los casos de valor cero (0) es por no poseer puntuación o por no haber datos de estas.

Georruta N.º 1: zona norte (tabla II)

De acuerdo con los geositos propuestos en esta georruta se valora a la dolina N.º 1 (*canyon karst*) (figura 5, geosito 1) con 4,5; con valor máximo en rareza (por ser la única en su morfología) y representatividad. El valor de uso es bajo debido a que solo se considera el acceso y su importancia para la educación por ser un ejemplar excelente de este tipo en el área; además posee poca visibilidad y no brinda ningún tipo de servicio a los turistas (figuras 6a y 6b).

En el campo N.º 1 (pozo de Las Ánimas) (figura 7, geosito 2), ambas dolinas fueron valoradas en rareza con 0,5 por ser común su ubicación en el área respecto a las otras dolinas, pero por poseer tamaños significativamente distintos a las demás (>200 metros de diámetro aproximadamente) (figuras 8a y 8b). En los valores estéticos se determinaron con puntuación máxima por su inigualable apariencia; y en cuanto al valor de uso, también se les proporcionó puntuación máxima por poseer accesibilidad, información educativa y carteles alusivos al cuidado del medio ambiente.

En cuanto al valor cultural son de relevada importancia debido a que abarca las temáticas *religión e historia de la zona*. Los mapuches (pueblo originario del sur argentino-chileno), llamaban a este lugar "Trolope-Co", o "agua del gritadero de las ánimas", de aquí que por siglos su nombre es protagonista de varias leyendas que han transcurrido en la historia de los pobladores rurales de generación en generación (comunicación verbal con habitante de Los Molles).

En el campo N.º 2 (pozo de Las Animitas) (figura 9, geosito 3) los valores de ambas dolinas (N.º 4 y N.º 5) son bajos; en el caso de la representatividad es 0,5 por no ser el mejor ejemplo de la zona de

acuerdo con su morfología; y el valor de uso también es bajo, debido a que solo se considera la huella cercana a su ubicación por la cual se puede acceder. Cabe destacar que, si bien este sitio de interés no presenta ningún tipo de servicio ni señalización, se ubica próximo al conocido Hostel Los Molles (figuras 10a y 10b).

Tabla II. Clasificación de geositios modificado de (Coratza *et al.*, 2012), aplicado a la georruta N.º 1

Georruta N.º1			Clasificación de geositios propuestos										Valoración total
Campo N.º	Dolina N.º	Dolina aislada N.º	Valor Científico				Valor adicional				Valor de uso		
							Ec		Es			C	
			MP	R-U	R	I	Ec	D	N	IR	IH	U	
-	-	1 (ck)	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0,5	4,5
1	2	-	0	0,5	1	1	0	1	1	1	1	1	7,5
	3	-	0	0,5	1	1	0	1	1	1	1	1	7,5
2	4	-	0	0	0,5	1	0	0	1	0	0	0,2	2,7
	5	-	0	0	0,5	1	0	0	1	0	0	0,2	2,7
3	6	-	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
	7	-	0	0	0	1	0	0,5	1	0	0	1	3,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. Clasificación de geositios modificado de (Coratza *et al.*, 2012), aplicado a la georruta N.º2

Georruta N.º2			Clasificación de geositios propuestos										Valoración total
Campo N.º	Dolina N.º	Dolina aislada N.º	Valor científico				Valor adicional				Valor de uso		
							Ec		Es			C	
			MP	R-U	R	I	Eco	D	N	IR	IH	U	
-	-	8	0	0,5	0	1	0	0,5	1	0	0	0,2	3,2
-	-	9	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0,2	2,2
-	-	10	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0,2	2,2
-	-	11	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0,2	2,2
-	-	12	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0,2	2,2
-	-	13	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0,2	2,2
-	-	14	0	0,5	0	1	0	0,5	1	0	0	0,2	3,2
-	-	15	0	0,5	0	1	0	0,5	1	0	0	0,2	3,2

Fuente: elaboración propia.

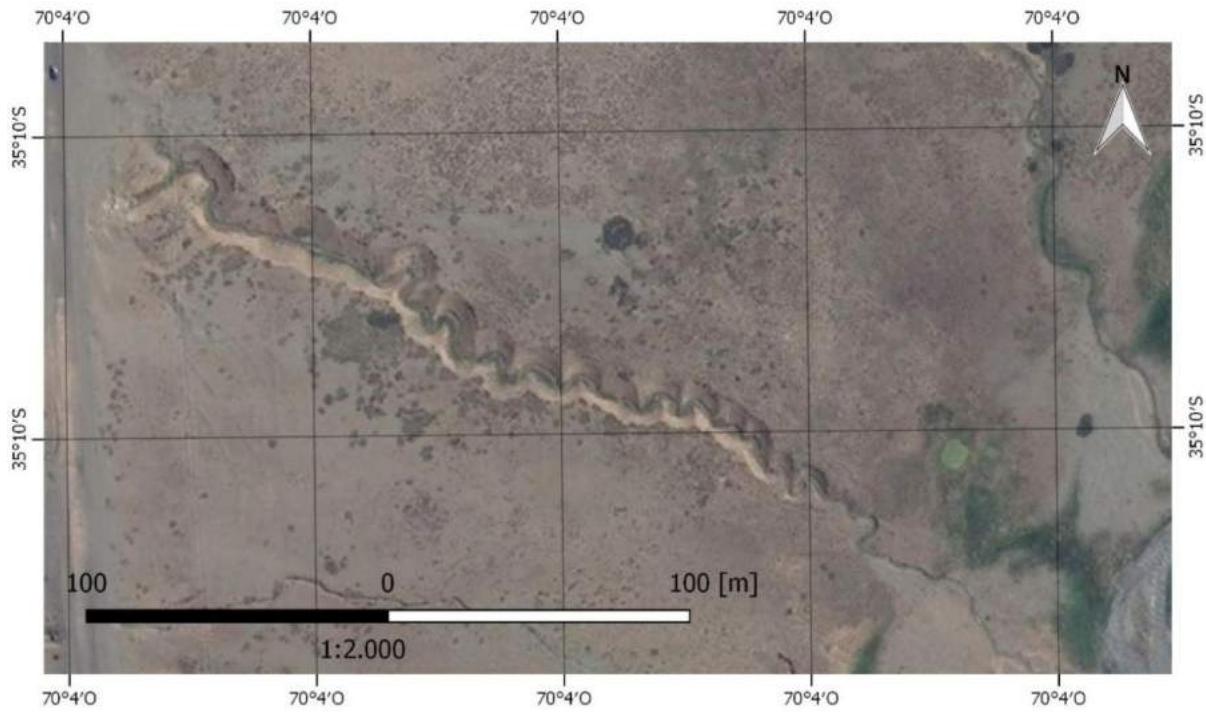


Figura 5. Canyon karst, al oeste Ruta Provincial 222. Geosítio 1

Fuente: imagen satelital Bing, mapa elaboración propia.

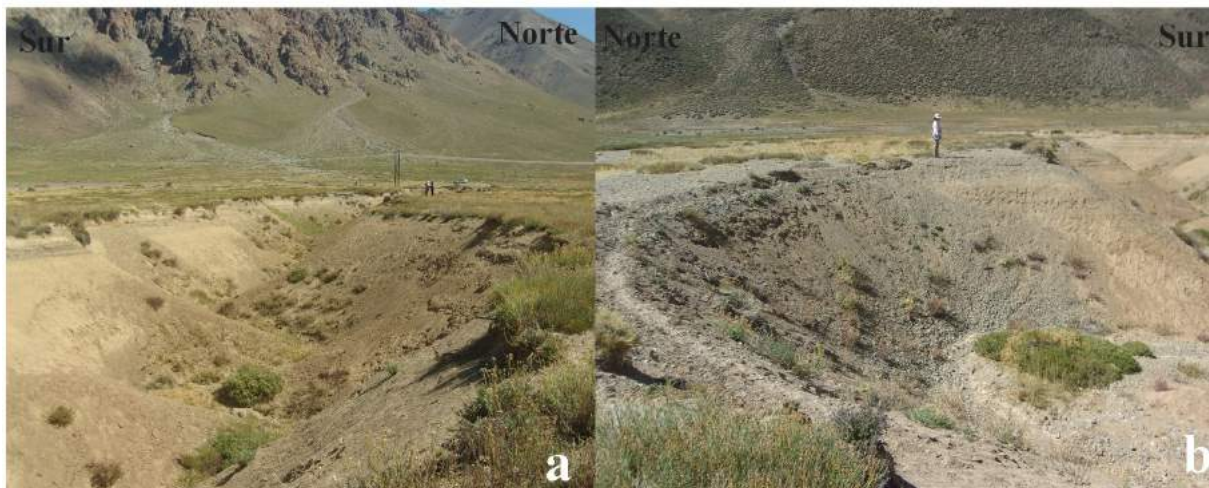


Figura 6. a) Vista frontal de Parada N.º 1, canyon karst. b) Acercamiento de una de las dolinas que lo conforman

Fuente: fotografía elaboración propia.

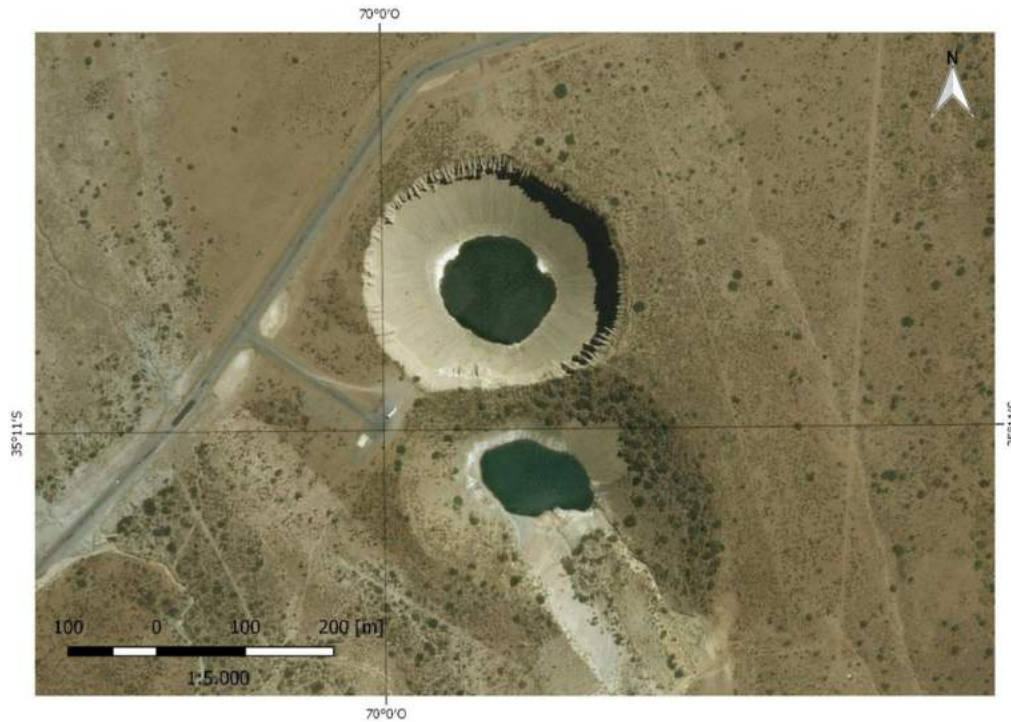


Figura 7. Pozo de Las Ánimas, en margen izquierdo Ruta Provincial 222. Geositio 2

Fuente: imagen satelital Bing, mapa elaboración propia.

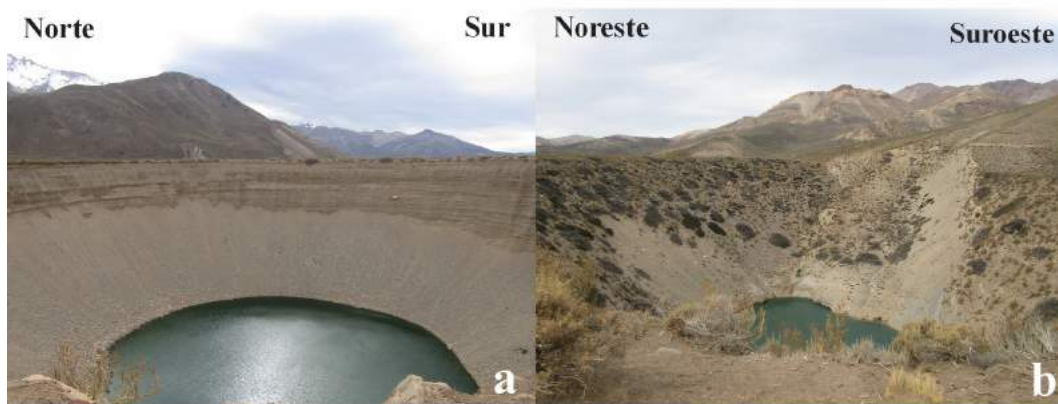


Figura 8. a) Vista frontal de dolina N.º 2, pozo de Las Ánimas. b) Vista frontal de dolina N.º 3, pozo de Las Ánimas

Fuente: fotografías, elaboración propia.

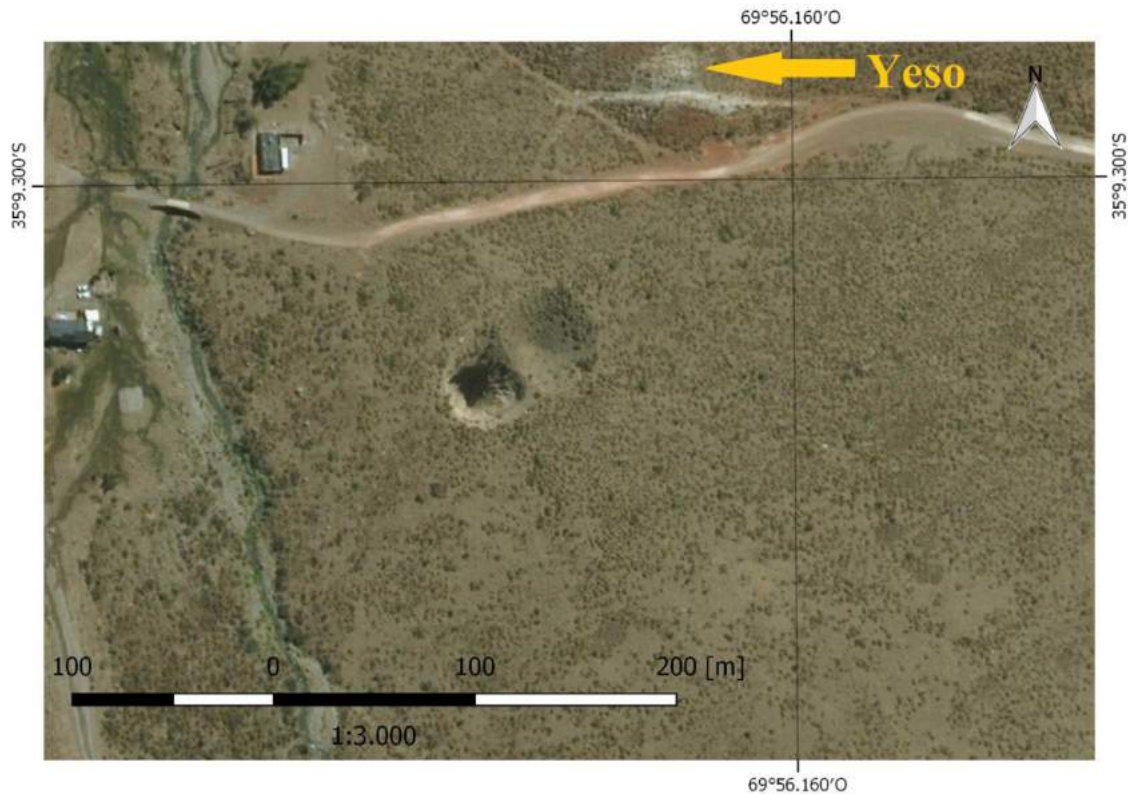


Figura 9. Dolinas del pozo de Las Animitas, en margen izquierdo Hostel Los Molles. Geosítio 3

Fuente: imagen satelital Bing, mapa elaboración propia.



Figura 10. a) Vista este de dolinas N.º 4 y 5. b) Vista oeste de dolinas N.º 4 y 5, pozo de Las Animitas

Fuente: elaboración propia.

Por último, la georruta finaliza también en Los Molles (figura 11), con la laguna de La Niña Encantada y la Lagunita (figura 13b). La dolina N.º 6 fue la que obtuvo mayor puntuación total (casi perfecta); con valoraciones máximas en la mayoría de los criterios; de acuerdo con sus características

que la identifican como única en toda la zona de estudio: en rareza posee valor máximo, al igual que en representatividad y parámetro estético máximo por su diversidad de colores y naturalidad del sitio (figuras 12a, 12b, 13a).

Sus valores adicionales también son máximos. Esta dolina en particular, con respecto a las demás, tiene importancia ecológica (valor ecológico); en ella hay un microclima que ha permitido el desarrollo de vida en su entorno tanto vegetal como animal, con peces en su interior y aves (figuras 13a, 13b, 13c, 13d, 14a, 13b). En cuanto a su importancia religiosa (valor cultural) se destaca por tener una gruta de la Virgen María; y en el aspecto histórico, al igual que el pozo de Las Ánimas, posee su propia historia local, la cual fue tomando distintas versiones al pasar los años; la más conocida es la leyenda de Elcha (en lengua aborigen significa *espejo*), que trata de la trágica vida de una hermosa princesa aborigen. Otra de las versiones involucra a sirenas que vivían en la laguna.



Figura 11. Dolinas Laguna y Lagunita de La Niña Encantada. En el centro de la imagen se puede ver una colada basáltica, y en el margen derecho, afloramientos de yeso. Geosítio 4

Fuente: imagen satelital Bing, mapa elaboración propia.



Figura 12. a) y b) Vistas lateral y frontal de dolina N.º 6 laguna de La Niña Encantada

Fuente: fotografías, elaboración propia.



Figura 13. a) Acercamiento a dolina N.º 6 donde se puede apreciar la coloración turquesa debida al yeso en su fondo y verde debido a la vegetación. b) Vista frontal de dolina N.º 7 lagunita de La Niña Encantada

Fuente: fotografías, elaboración propia.

Por último, se puntúa el valor de uso siendo su puntuación máxima, por constituir el sitio de interés geológico mejor dispuesto para los turistas, con buena accesibilidad, cartelería con información educativa y cultural, cuidado del ecosistema y medio ambiente a través de carteles y cestos de basura. Posee servicios como la atención de personal a la entrada del lugar, guía turístico, sanitarios, etc.



Figura 14. a) Aves observables en el geosito 4. Nombre científico: *Leistes loyca*. Nombre común: loica común. Individuo macho. b) Nombre científico: *Leistes loyca*. Nombre común: loica común. Individuo hembra. c) Nombre científico: *Pardirallus sanguinolentus*. Nombre común: gallineta común. d) Nombre científico: *Turdus chiguanco*. Nombre común: zorzal negro.

Fuente: elaboración propia.

Georruta N.º 2: zona sur (tabla II)

De acuerdo con los geositos propuestos en esta georruta, se valoró a estas dolinas aisladas con bajos valores. A diferencia de la georruta anterior, en esta no hay ningún sitio de interés geológico establecido por la Municipalidad de Malargüe; y es este uno de los principales motivos de la diferencia de valores de una georruta a otra.

Los Castillos de Pincheira, nombrados previamente, son un sitio de interés geológico de origen no kárstico, el cual desde la ciudad de Malargüe posee su propio camino. A través de este, se puede acceder a las 8 dolinas propuestas (geositos de 5 al 11). Si bien la zona es aún prístina, hay huellas en toda el área y es posible acceder a cada una de las dolinas sin dificultad.



Figura 15. a) Fauna observable en el Geosito 4. Nombre científico: *Fulica armillata*. Nombre común: gallareta ligas rojas. b) Nombre científico: *Oncorhynchus mykiss*. Nombre común: trucha arcoíris

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la rareza, en este caso se puntúa de forma media a las dolinas con agua (dolinas N.º 8, 14 y 15) (figura 16, geositos 5 y 17, geosito 11), ya que la mayoría de ellas, en esta zona, no tienen agua en su interior. Asimismo, al contener agua poseen estéticamente diversidad de colores respecto a las demás. Los otros criterios fueron valorados con puntuación cero (0), por no poseer valor o por no disponer de más datos.



Figura 16. Dolina aislada N.º 8, en margen derecho se pueden observar afloramientos de yeso. Geosito 5

Fuente: imagen satelital Bing, mapa elaboración propia.

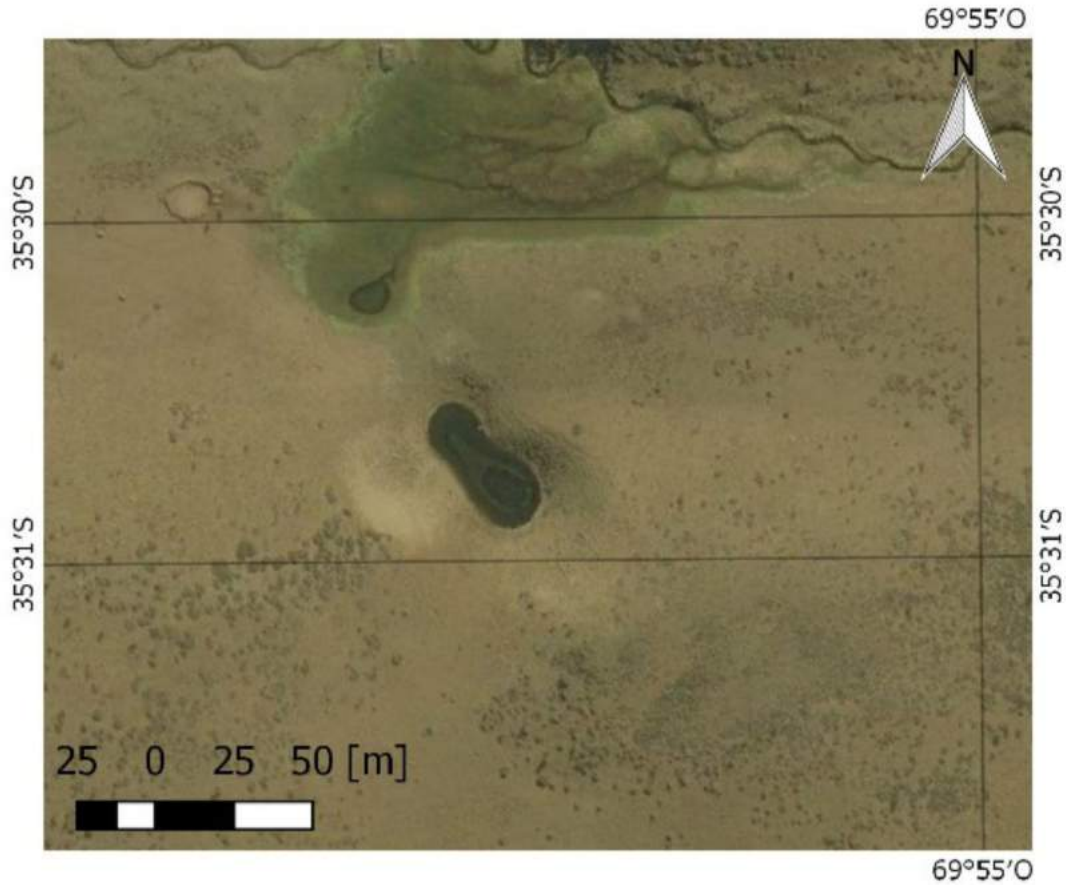


Figura 17. Dolinas aisladas (uvala) N.º 14 y 15, se puede observar que inmediatamente en su extremo izquierdo se está formando una nueva dolina. Zona norte presencia de vegas. Geositio 11

Fuente: imagen satelital Bing, mapa elaboración propia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los datos obtenidos a partir de la valoración propuesta (valor científico, adicionales y de uso) sugiere que la primera georruta propuesta, ubicada al norte del área de estudio, comprendida por las dolinas N.º 1 a N.º 7, es el más propicio para la determinación de geositos ante la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS, por su sigla en inglés). La valoración más alta de esta georruta fue de 9 puntos, laguna de La Niña Encantada (Geositio 4), registro casi perfecto en todos los criterios de clasificación.

En la georruta propuesta 2, ubicada al sur del área de estudio, comprendida por las dolinas N.º 8 a N.º 15, no hay ningún sitio de interés geológico establecido por la Municipalidad de Malargüe;

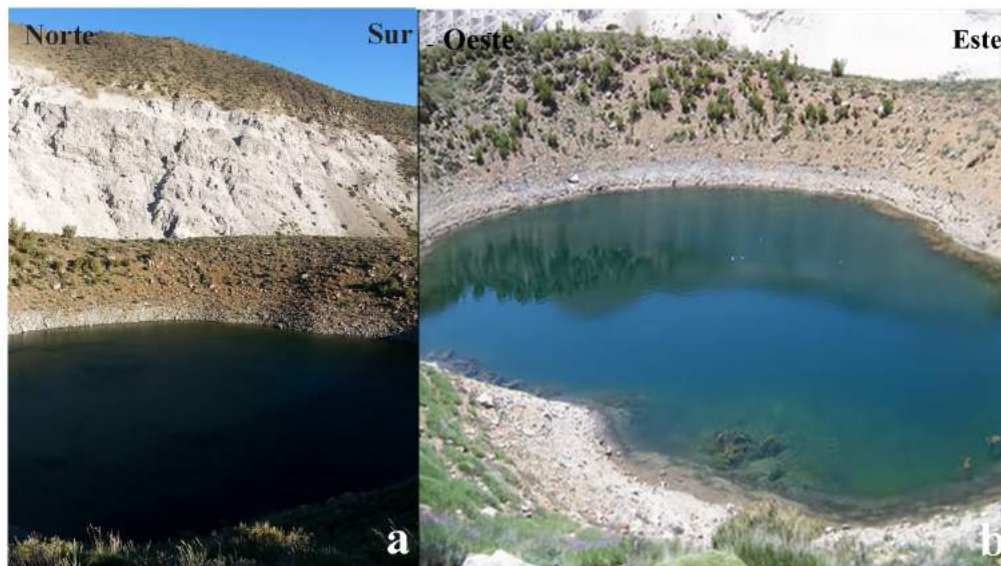


Figura 18. a) Vista frontal de dolina aislada N.º 8 con afloramientos de yeso en sus inmediaciones. b) Vista frontal de dolinas aisladas (uvala) N.º 14 y 15.

Fuente: elaboración propia.

este es uno de los motivos por los cuales posee puntuación baja con respecto a la otra georruta. La puntuación máxima alcanzada en la misma fue de 3,2; comparado con la primera este resultado es muy bajo por lo que no sería propicio, hasta el momento, considerarlos como geositos.

Si bien este trabajo es básico en cuanto a valoración, se recomienda que estos sitios de interés geológico sean evaluados por especialistas de diferentes disciplinas (método Delphi), como: geólogos, biólogos, antropólogos, licenciados en turismo, etc. (Linstone y Turrof, 1975), con el fin de caracterizarlos en detalle y proponerlos de manera formal ante la IUGS. A su vez, se sugiere continuar con estudios de las geoformas exokársticas (dolinas, uvalas y *canyon karst*) ya que estos son muy escasos en el área de Malargüe. Los mismos serán de gran utilidad ya que servirán para fomentar el turismo, la conservación y la difusión en el marco de un desarrollo sustentable para el departamento.

FINANCIAMIENTO

La institución que ayudó a financiar este informe fue el Departamento de Geología, perteneciente a la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan, y ahorros personales.

REFERENCIAS

- [Cramer, 1941] Cramer, H. (1941). Die Systematic der Karstdolinen: Neues Jahrb. Mineral. Geol. Paläontol, 85, 293-382. ↑Ver página 86
- [Coratza *et al.*, 2012] Coratza, P., Galve, J., Soldati, M. y Tonelli, T. (2012). Recognition and assessment of sinkholes as geosites: lessons from the Island of Gozo (Malta). *Quaestiones Geographicae*, 31(1), 25-35. <https://doi.org/10.2478/v10117-012-0006-8> ↑Ver página 84, 85, 86, 88, 89, 93
- [Cortez-Taillant, 2017] Cortez Taillant, V. (2017). *Fenómenos kársticos asociados a dolinas en el departamento Malargüe, Mendoza: su interpretación para la gestión territorial*. [Tesis inédita de licenciatura]. Universidad Nacional de San Juan, San Juan Argentina. ↑Ver página
- [Fassoulas, Mouriki, Dimitriou-Nikolakis y Iliopoulos, 2012] Fassoulas, C., Mouriki, D., Dimitriou-Nikolakis, P. y Iliopoulos, G. (2012). Quantitative assessment of geotopes as an effective tool for geoheritage management. *Geoheritage*, 4, 177-193. DOI: 10.1007/s12371-011-0046-9. <https://doi.org/10.1007/s12371-011-0046-9> ↑Ver página 86
- [Kiernan, 2010] Kiernan, K. (2010). Human impacts on geodiversity and associated natural values of Bedrock Hills in the Mekong Delta. *Geoheritage*, 2, 101-122. <https://doi.org/10.1007/s12371-010-0015-8> ↑Ver página 86
- [Lewis, 2008] Lewis, I. D. (2008). Australia's Kanawinka Geopark – volcanoes and lakes, limestone and sinkholes. En *Inaugural Global Geotourism Conference, 'Discover the Earth Beneath Our Feet'* (pp. 251-256). 17-20 de agosto. Fremantle, Western Australia. ↑Ver página 86
- [Linstone y Turrof, 1975] Linstone, H. A. y Turrof, M. (1975). *The Delphi method, techniques and applications*. Boston: Addison-Wesley Publishing. ↑Ver página 102
- [Palacio-Prieto, De Castro-Martínez y González, 2019] Palacio-Prieto, J. L. P., De Castro-Martínez, G. F. y González, E. M. R. (2019). Geosenderos en el Geoparque Mundial Unesco Mixteca Alta, Oaxaca, México. *Cuadernos Geográficos*, 58(2), 111-125. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v58i2.7055> ↑Ver página 86
- [Panizza, 1996] Panizza, M. (1996). *Environmental geomorphology*. Ámsterdam: Elsevier. ↑Ver página 89
- [Panizza y Piacente, 1993] Panizza, M. y Piacente, S. (1993). Geomorphological assets evaluation. *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F., 87, 13-18. ↑Ver página 84, 85, 88, 89
- [Pereira, Pereira y Caetano-Alves, 2007] Pereira, P., Pereira, D. y Caetano-Alves, M. I. (2007). Geomorphosite assessment in Montesinho Natural Park (Portugal). *Geographica Helvetica*, 62(3), 159-168. <https://doi.org/10.5194/gh-62-159-2007> ↑Ver página 85, 88

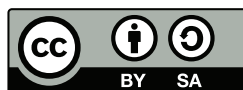
[Pralong, 2005] Pralong, J. P. (2005). A method for assessing tourist potential and use of geomorphological sites. *Géomorphologie: relief, processus, environment*, 3, 189-196. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.350> ↑Ver página 89

[Regolini-Bissig, 2010] Regolini-Bissig, G. (2010). Mapping geoheritage for interpretative purpose: definition and interdisciplinary approach. En G. Regolini-Bissig y E. Reynard (eds.), *Mapping geoheritage*. Géovisions 35 (pp. 1-13). Lausana: Institut de géographie. ↑Ver página 89

[Reynard, Fontana, Kozlik y Scapozza, 2007] Reynard, E., Fontana, G., Kozlik, L. y Scapozza, C. (2007). A method for assessing "scientific and additional values of geomorphosites. *Geographica Helvetica*, 62(3), 148-158. <https://doi.org/10.5194/gh-62-148-2007> ↑Ver página 84, 88, 89

[Vdovets, Silantiev y Mozzherin, 2010] Vdovets, M., Silantiev, V. y Mozzherin, V. (2010). A National Geopark in the Republic of Tatarstan (Russia): a feasibility study. *Geoheritage*, 2, 25-37. <https://doi.org/10.1007/s12371-010-0010-0> ↑Ver página

[Zouros, 2007] Zouros, N. C. (2007). Geomorphosite assessment and management in protected areas of Greece. Case study of the Lesvos island – coastal geomorphosites. *Geographica Helvetica*, 62(3), 169-180. <https://doi.org/10.5194/gh-62-169-2007> ↑Ver página 84, 85, 88



Methodology for the Selection of Trenchless Sewer Rehabilitation Technologies in Bogotá, Colombia

Metodología para selección de tecnologías de rehabilitación de alcantarillados sin zanja en Bogotá, Colombia

Edward Leonardo Tovar Romero ¹, Jorge Alberto Valero Fandiño ², Leonardo Cepeda Ariza ³

Fecha de Recepción: 17 de Septiembre de 2020

Fecha de Aceptación: 24 de Febrero de 2021

Cómo citar: Tovar-Romero., E.L. Valero-Fandiño., J.A. y Cepeda-Ariza., L. (2021). Methodology for the Selection of Trenchless Sewer Rehabilitation Technologies in Bogotá. *Tecnura*, 25(68), 105-124. <https://doi.org/10.14483/22487638.15570>

Abstract

Context: Operational and/or structural failures in sewer networks lead network operators to carry out rehabilitation tasks to maintain water transport conditions, which is why it is necessary to decide on the type of intervention to be performed, that is, i) a traditional open-ditch procedure, or ii) the use of trenchless rehabilitation technologies.

Objective: This article focuses on the methodology developed and implemented in the SELECTOR program, whose purpose is to provide public service companies responsible for sewer service, as well as related professionals, with a decision tool that answers, from a technical perspective, which of the analyzed trenchless rehabilitation technologies (pipe bursting, cured-in-place pipe, slip lining, and spiral wound) is the most suitable for the rehabilitation of sewer networks.

Method: To this effect, it is necessary to consider all the influence parameters at the time of sewer rehabilitation, define the application ranges of these trenchless technologies, extract the differential variables, use fuzzy logic verbalization, determine the priority and relationship between the variables using the data mining technique known as decision trees, and develop the SELECTOR program by means of the Visual Studio 2017® platform.

Results: The differential variables for decisions regarding the application of trenchless rehabilitation technologies in underground sewerage infrastructure projects were identified. A graphic summary of the decision model was made using the verbalization diagrams and the SELECTOR program, which allows processing the information of the sewerage networks individually and for a whole sewer rehabilitation project, detailing the intervention collector to collector.

Conclusions: There are eight differential variables when deciding on sewer rehabilitation. Verbalization diagrams allow to compress the decision model and facilitate its programming, and automated decision models increase effectiveness and transparency in construction processes.

Keywords: decision tree, cured-in-place pipe, pipe bursting, sewer networks, trenchless rehabilitation, slip lining, spiral wound.

¹Sanitary engineer. Consulting engineer. Bogotá, Colombia. Email: gerencia@hydratechsas.com

²Civil engineer, Master's degree in Hydrosystems. Associate professor of the Environment and Natural Resources Department of Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: javalero@udistrital.edu.co

³Topographic engineer, specialized in Environment and Local Development. Specialized professional of the Aqueduct and Sewerage Company of Bogotá (EAAB). Bogotá, Colombia. Email: lcepedaariza@gmail.com

Resumen

Contexto: Las fallas operacionales y/o estructurales en las redes de alcantarillado llevan a los operadores a realizar tareas de rehabilitación para mantener las condiciones de transporte del agua, por lo cual se requiere decidir sobre el tipo de intervención a realizar, es decir, i) procedimiento tradicional a zanja abierta o ii) uso de tecnologías de rehabilitación sin zanja.

Objetivo: Este artículo se centra en la metodología desarrollada e implementada en el programa SELECTOR, cuya finalidad es proveer a las empresas de servicios públicos responsables del servicio de alcantarillado, así como a los profesionales relacionados, una herramienta de decisión que responda desde la perspectiva técnica cuál de las tecnologías de rehabilitación sin zanja analizadas (*pipe bursting*, tubería curada en sitio, revestimiento deslizante continuo y revestimiento con tubería en espiral) es la más adecuada para realizar la rehabilitación de redes de alcantarillado.

Método: Para ello es necesario considerar todos los parámetros de influencia al momento de la rehabilitación de alcantarillados, definir los rangos de aplicación de estas tecnologías sin zanja, extraer las variables diferenciales, usar verbalización de lógica difusa, determinar la prioridad y relación entre las variables mediante la técnica de minería de datos conocida como árboles de decisión, y desarrollar el programa SELECTOR mediante la plataforma Visual Studio 2017®.

Resultados: Se identificaron las variables diferenciales para la decisión de aplicación de tecnologías de rehabilitación sin zanja en proyectos de infraestructura subterránea de alcantarillados. Se realizó un resumen gráfico del modelo de decisión mediante los diagramas de verbalización y el programa SELECTOR, que permite procesar la información de las redes de alcantarillado de manera individual y para todo un proyecto de rehabilitación de alcantarillado, detallando la intervención colector a colector.

Conclusiones: Existen ocho variables diferenciales al momento de decidir sobre la rehabilitación de alcantarillados. Los diagramas de verbalización permiten comprimir el modelo de decisión y facilitan su programación, y los modelos de decisión automatizados aumentan la efectividad y la transparencia en los procesos de construcción.

Palabras clave: árbol de decisión, tubería curada en sitio, pipe bursting, redes de alcantarillado, rehabilitación sin zanja, revestimiento deslizante continuo, revestimiento con tubería en espiral.

Table of Contents

	Página
INTRODUCTION	107
BACKGROUND CONCEPTS	107
Cured-in-place pipe (CIPP)	108
Pipe bursting (PB)	109
Spiral wound (SW)	109
Slip lining (SL)	109
Types of faults in sewage collectors	109
Decision trees	110
METHODOLOGY	110

RESULTS	110
CONCLUSIONS	121
ACKNOWLEDGMENTS	122
REFERENCES	122

INTRODUCTION

In Colombia, the Aqueduct and Sewerage Company of Bogotá (“Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá”, EAAB), a public services company, has implemented technified, minimally invasive, and very precise inspection systems for network monitoring and cadastre. However, it is still necessary to open a trench to access the pipe when there is a need to repair cracks or rectify misalignments or cross-section losses, among others (EAAB, 2001).

For this reason, trenchless renovation and rehabilitation technologies (TRTs) represent an optimal intervention alternative (Wavin, 2013) for the performance of punctual or general maintenance of simple or complex sewage networks. These can be implemented in large cities, thus generating a minor impact in terms of logistics, environmental issues (EPA, 2007, Vera, 2016), landscape (Wavin, 2013), operations (Sullivan, 2002), economics (Pyzoha, 2013), and security (Sullivan, 2002), both for workers and citizens.

This document initially answers the following question: what are the most important characteristics of a sewer network or section when defining the most appropriate trenchless sewer network rehabilitation technology? It is important to clarify that four TRTs were analyzed, namely cured-in-place pipe (CIPP) (Mínguez, 2015, Asociación Ibérica de Tecnología sin Zanja, 2018), Slip Lining (SL) (Wavin, 2013, Mínguez, 2015), pipe bursting (PB) (EAAB, 2010b, EAAB-Treltec, 2010, Chan, 2017), and Spiral Wound (SW) (Mongue, 2017, Asociación Ibérica de Tecnología sin Zanja, 2018) The next main question is how were the rules that allow the interaction of the previously identified variables determined? Finally, there is a description of the way in which the variables and the identified rules feed the SELECTOR program (developed under the Visual Studio environment), a software that makes it possible to answer, from a technical point of view, which of the four analyzed technologies should be used to rehabilitate a sewer network.

BACKGROUND CONCEPTS

Understanding the repair of sewerage networks requires the appropriation of two basic concepts: renovation and rehabilitation. On one hand, renovation refers to the change of an existing network when it is necessary to modify the design parameters, especially the flow to be transported. On the

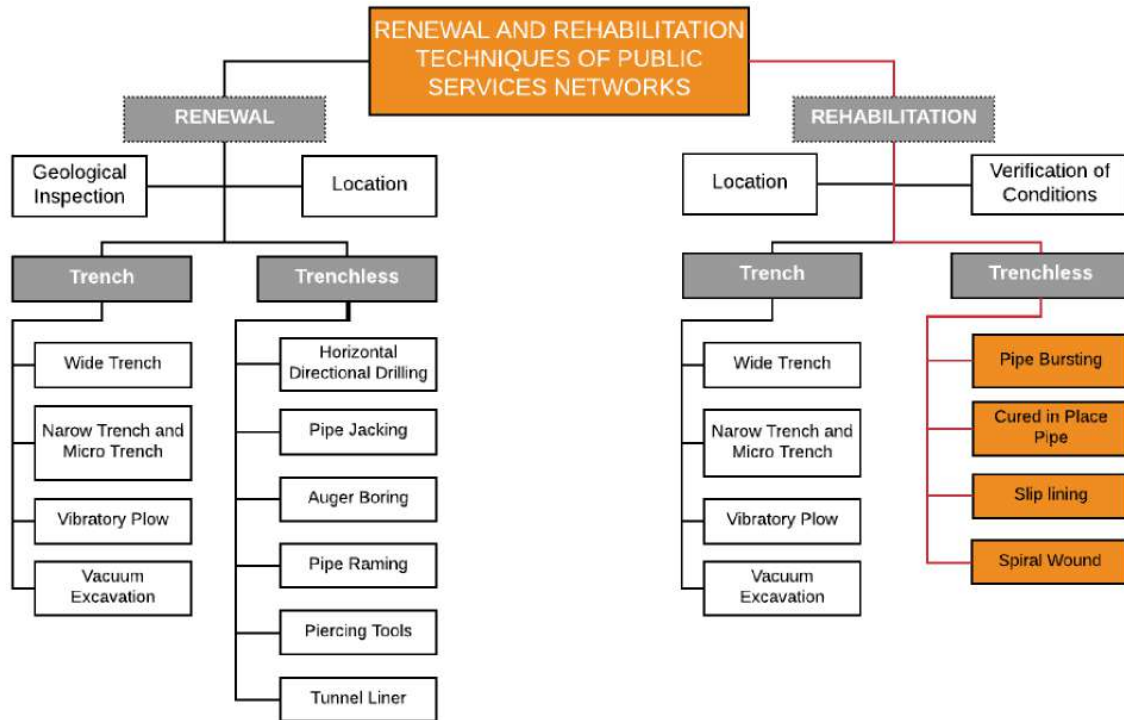


Figure 1. Techniques for renovation and rehabilitation of public service networks

Source: Adapted from Hashash and Finno (2008).

other hand, rehabilitation consists of changing the collectors, which have deteriorated due to age, fissures, faults, etc., while maintaining the original design parameters.

The general techniques of renovation and rehabilitation of public service networks can be seen in Figure 1. Following is a brief description of the four trenchless sewer rehabilitation technologies analyzed in this research.

Cured-in-place pipe (CIPP)

It is a technology in which a felt sleeve impregnated with resin is introduced into the pipe for its rehabilitation. Once positioned, this sleeve is inflated with compressed air and cured with water vapor or ultraviolet light. With this technology, tubes of different cross sections can be rehabilitated. The reopening of the connections is made manually and/or with unmanned vehicles equipped with a milling head (Asociación Ibérica de Tecnología sin Zanja, 2018, EAAB, 2015a, EAAB, 2015c)

Pipe bursting (PB)

It is a pipe replacement technology in which, after the rupture of the old pipe through the use of an expander head (pulled by a winch that simultaneously sends pipe fragments to the ground), a new line of plastic pipe is inserted (EAAB, 2010a, EAAB-Treltec, 2010, Chan, 2017). This technology, like CIPP, requires the installation of a bypass.

Spiral wound (SW)

It is a technology that involves the internal coating of the pipe for its rehabilitation. It consists of feeding a line of plastic material by means of a spiral winding head, with which a new pipe of any transversal section is formed (circular, elliptical, rectangular, or triangular) without requiring a bypass. Subsequently, a polymeric slurry is injected for the purpose of filling the space between the shelter pipe and the new pipe (Mongue, 2017, Asociación Ibérica de Tecnología sin Zanja, 2018)

Slip lining (SL)

This rehabilitation technology consists of a pre-made plastic U- or H-pipe, which is inserted into the pipe in question. After positioning the plastic pipe, it is inflated with steam until it fits the old pipe. (Wavin, 2013, Mínguez, 2015).

Types of faults in sewage collectors

Sewer network collectors may have different types of faults, and these can be classified into two major groups: structural failures and operational failures (EAAB, 2001). It is possible that a network has more than one type of failure, and also that these faults are correlated. On one hand, structural failures obey the serviceability limit state, above which the existing deformations or the structural capacity of the system is overcome. These failures are generally due to deficiencies in the design and/or construction of the sewerage, as well as the increase of loads on the network of collectors or the movement and displacement of the land that houses the network (EAAB, 2001). These failures usually result in deflection, rupture, or misalignments, which, in addition to affecting the transport of wastewater, generates significant damage both on the platform and in the stabilization layers of the roads, thus causing depressions in the terrain.

On the other hand, operational failures are related to the loss of the driving capacity established in the design. This type of failure occurs due to the loss of cross-section in the collectors, which is caused by the accumulation of sediments or a sudden increase in flow due to wrong connections, obstructions, population increase, change of land use, or an increase in infiltration (EAAB, 2001).

Decision trees

A decision tree (Rosado-Gómez & Verjel-Ibáñez, 2015) is a hierarchical structure, composed of nodes, branches, and leaves, that seeks to identify patterns or rules in a data set (Carvajal Montealegre, 2015). The nodes represent the characteristics or variables of study and are organized according to their relevance through the concepts of entropy and information gain (Jiawei *et al.*, 2012, Rokach & Maimon, 2007). The branches, which interconnect nodes, constitute the attributes of each of the characteristics. At the end of each branch are the leaves, which represent the final response for each rule obtained (Jiawei *et al.*, 2012, Rokach & Maimon, 2007).

METHODOLOGY

This work arises from the EAAB's need for a tool that allows responding to the specific conditions of a collector. What is the most appropriate trenchless rehabilitation methodology? This question is solved through the SELECTOR program, a product of the present research.

The area of study was the city of Bogotá, Colombia, where, once the need was recognized, it was decided to structure a decision model in which base information could be used to determine the starting parameters, with the purpose of making technically optimal decisions for the application of TRTs.

The first step was consulting the information contained in the following EAAB standards: NS-061-v.1.1. (EAAB, 2001), NP-110-v.0.0 (EAAB, 2015a), NS-150-v.0.0 (EAAB, 2015b), NS-152-v.0.0 (EAAB, 2015c), and NS-058-v-3.2 (EAAB, 2010a). The following design manuals were also consulted: *Applications without Pressure* (Wavin, 2013) and title D of the RAS (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017). Some information was also obtained through various bibliographical sources and references of international events, such as the NO-DIG®. Additionally, the collected and generated information was reviewed, processed, and exhaustively analyzed, thus establishing a parametric table, which was subjected to debugging by differential features until a product was obtained, by means of which, in the first instance, it was possible to extract the rules of the model using decision trees.

In a second instance, after the identification of the rules generated by the decision tree, the SELECTOR software was programmed.

RESULTS

According to the review of the four analyzed TRTs (PB, CIPP, SL, and SW), the application ranges of each technology were established as shown in Table 1, in which five categories or analysis variables were defined: design, material of the existing pipeline, type of fault, soil, and water to be transported.

Next, the description of each of the categories is presented.

In the design category, the following characteristics of the pipes were analyzed: minimum and maximum diameter, degree of deterioration, minimum and maximum length, minimum coverage, and cross section. Regarding the latter, it should be noted that the SW technique can be applied in two cases: for circular cross sections with diameters smaller than 0,56 m (22 in) or for cross sections of any shape with a hydraulic depth greater than 0,61 m (24 in). (circular \leq 22 in, for every section \geq 24). On the other hand, the degree of deterioration (symbolized by the expression \dot{x} op-est) is obtained by calculating the arithmetic mean of the operational and structural deterioration degrees previously obtained from network inspections.

In the second category, existing material, are the materials that commonly make up the pipes of the sewer network.

The category of failure includes the possible findings of the operational and/or structural status resulting from the preliminary inspection.

As for the type of soil, reference is made to the material surrounding the collector to be rehabilitated. In this category is the term "Not_relevant" which indicates that the characteristic is not important for the analyzed TRT.

Finally, the category regarding the liquid to be transported (symbolized by the acronym H₂O) refers to the characteristics of the wastewater that may affect the new interior coating of the rehabilitated pipeline. For PB and SW, the criterion called 'according to the new one' was established, which seeks to express that the range of resistance to acidic or alkaline water, as well as to high and low temperature water, depends on the new material to be installed.

Once the ranges and variables recorded in Table I were set, the first step was to identify the common characteristics for all four technologies, in order to reduce the number of characteristics to be processed. Thus, if a variable had the same application range for the four analyzed technologies, it meant that said variable was irrelevant when defining the most appropriate technology.

After a detailed analysis of the information in Table I, three categories were eliminated: soil type and H₂O, as well as the minimum coverage characteristic belonging to the design category. Additionally, since the characteristics of misalignment, deflection, and reduction of the transverse area, belonging to the failure category, had variable application ranges for each TRT, they were considered as individual categories.

With respect to the subtraction of the H₂O category, the application ranges are within the conditions that both the resins used in CIPP and the coextruded polymers used for the implementation of SL, PB, and SW can support. For this reason, none of the ranges contained in this category is relevant.

Regarding the minimum coverage of the pipes, by reviewing article 139 of the current Technical Regulation of the Sector of Drinking Water and Basic Sanitation RAS ([Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017](#)), it was found that, for pedestrian or green areas, the depth at the key level of the section must be at least 0,75 m (29,53 in), and, for vehicular roads, the depth at the key level of the section must be at least 1,20 m (47,24 in). Considering the above, the minimum coverage category

Table I. Application ranges of trenchless rehabilitation technologies (TRTs)

Category	Collector features	Pipe Bursting	CIPP	Slip lining	Spiral wound
Design	Minimum diameter (m)	0,10 m (4 in)	0,15 m (6 in)	0,15 m (6 in)	0,15 m (6 in)
	Maximum diameter (m)	0,91 m (36 in)	3,15 m (124 in)	0,51 m (20 in)	4,98 m (196 in)
	Degree of deterioration (x op-est,dimensionless)	3 ~ 5	0 ~ 3	0 ~ 2	0 ~ 2
	Maximum length (m)	137,16	304,80	600	Any
	Minimum length (m)	0	0	0	0
	Minimum coverage (m)	0,30 m / 0,03 m (1 ft / 1 in)	The existing	The existing	The existing
	Cross section	Circular	All	Circular	Circular (≤ 22 in, for every section ≥ 24)
Existing material	Steel	Non-applicable	Applicable	Applicable	Applicable
	Corrugated metal	Non-applicable	Applicable	Applicable	Applicable
	Galvanized	Non-applicable	Applicable	Applicable	Applicable
	Reinforced concrete	Non-applicable	Applicable	Applicable	Applicable
	Ductil iron	Non-applicable	Applicable	Applicable	Applicable
	PP	Non-applicable	Applicable	Applicable	Applicable
	PEAD	Non-applicable	Applicable	Applicable	Applicable
	PVC	Non-applicable	Applicable	Applicable	Applicable
	Concrete	Non-applicable	Applicable	Applicable	Applicable
	Asbestos cement	Non-applicable	Applicable	Applicable	Applicable
	Stoneware	Applicable	Applicable	Applicable	Applicable
Molten iron	Applicable	Applicable	Applicable	Applicable	
Fiberglass	Applicable	Applicable	Applicable	Applicable	
Type of failure	Misalignment (%)	Without restrictions	$\leq 10\%$	No	No
	Deflection (%)	Without restrictions	$\leq 60\%$	No	No
	Cross-sectional area reduction (%)	Without restrictions	$\leq 40\%$	No	No
	Fissure	Without restrictions	Si	Si	Si
	Fracture	Without restrictions	Si	Si	Si
Type of Floor	Original filling	Not relevant	Not relevant	Not relevant	Not relevant
	Expandable clay	Not relevant	Not relevant	Not relevant	Not relevant
	Loose pebble	Not relevant	Not relevant	Not relevant	Not relevant
	Sand	Unfavorable	Not relevant	Not relevant	Not relevant
	Compact clay	Unfavorable	Not relevant	Not relevant	Not relevant
	Sand rock	Unfavorable	Not relevant	Not relevant	Not relevant
H ₂ O	Acid	According to the new	0,5	2	According to the new
	Alkaline	According to the new	10,5	12	According to the new
	Temperature (° C)	According to the new	172	172	According to the new

Source: Primary author.

was eliminated, since, even in the most restrictive case (PB), the depths of the collectors at key level are higher than a foot for each inch of expansion required by this technology.

Once the initially identified variables were reduced, the resulting variables were analyzed by

means of the search for the differential features that correspond to those application values, for which it is feasible to use only one of the four analyzed TRTs. This analysis not only reduces the number of paths to be processed, but also facilitates the establishment of model rules.

A rule corresponds to the configuration of variables that lead to define which TRT can be used. It should be made clear that the response of a rule may also be the impossibility of using any TRT.

After debugging the characteristics reported in Table I, eight variables were obtained: pipe diameter, pipe length, degree of deterioration, cross section, material, misalignment, deflection, and reduction of the cross-sectional area. The variables, along with the ranges adopted for each verbalization, are shown in Figures 2-9. Verbalization consists in converting a numerical variable into text, that is, assigning qualifying adjectives (Real Academia Española, n.d.) to the ranges of the variables according to the perception of the data set.

The pipe diameter variable was verbalized in three categories, as shown in Figure 2. Thus, the existing 48 commercial diameters (which range from 4 in to 196 in) were reduced to three: small diameter (0-5,9 in), medium diameter (6-124 in), and large diameter (> 124 in).

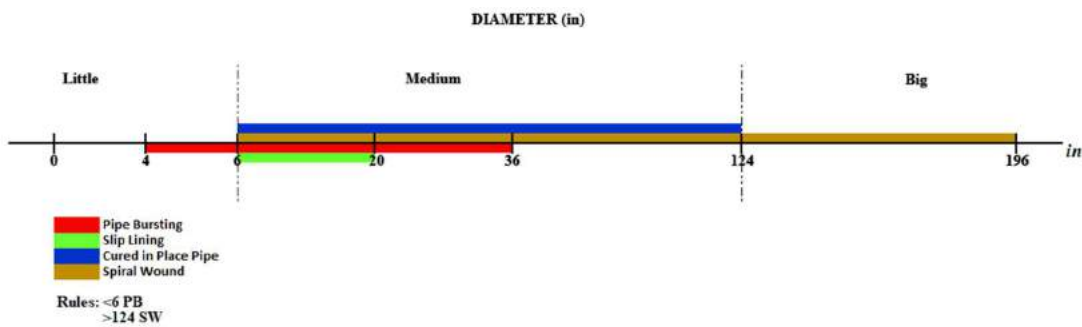


Figure 2. Verbalization of the pipe diameter variable

Source: Primary author.

The verbalization criterion for the variable length of the pipeline is supported by article 157 of the RAS 2017 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017), for which the length between inspection wells must have a maximum distance of 120 m for sections with flow contribution and can be increased to 300 m for interceptors and final emissaries without flow contribution. In agreement with the above, the variable was verbalized in conventional length (which includes diameters ≥ 137 m) and extraordinary length (for diameters < 137 m). In this particular variable, it is found that, for a length greater than 600 m, only SW applies. However, this scenario is not considered a rule since it is not possible to find wastewater collectors with such a length.

On the other hand, the degree of deterioration variable (\dot{x} op-est) was verbalized in three categories: small degree of deterioration (\dot{x} op-est ≤ 2), medium degree of deterioration ($2 < \dot{x}$ op-est ≤ 3), and high degree of deterioration (\dot{x} op-est > 3), as shown in Figure 4.

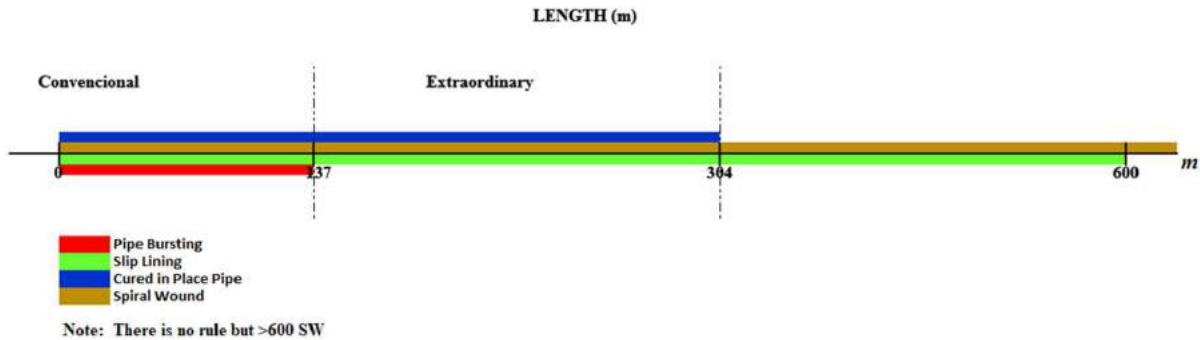


Figure 3. Verbalization of the collector length variable

Source: Primary author.

The cross section variable was verbalized in two possibilities: circular and non-circular, so that the non-circular category includes the following cross sections: elliptical, rectangular, square, triangular, etc. This is shown in Figure 5.

The 13 materials outlined in Figure 6 were grouped into rigid and non-rigid materials. This verbalization was defined considering that PB technology is the only one that has a restriction with respect to the material; since it is the only method that does not use the existing pipe as a shelter, it requires previous analysis regarding the material of the pipe to be replaced because the radial force exerted for the rupture of the existing pipe varies depending on its material. For this reason, if the material is rigid, it will be susceptible to fragmentation, which facilitates the passage of the breakage head through the pipe to be replaced, thus avoiding jamming. In the event that the material to be replaced is not rigid, it is possible for the breakage head to become jammed.

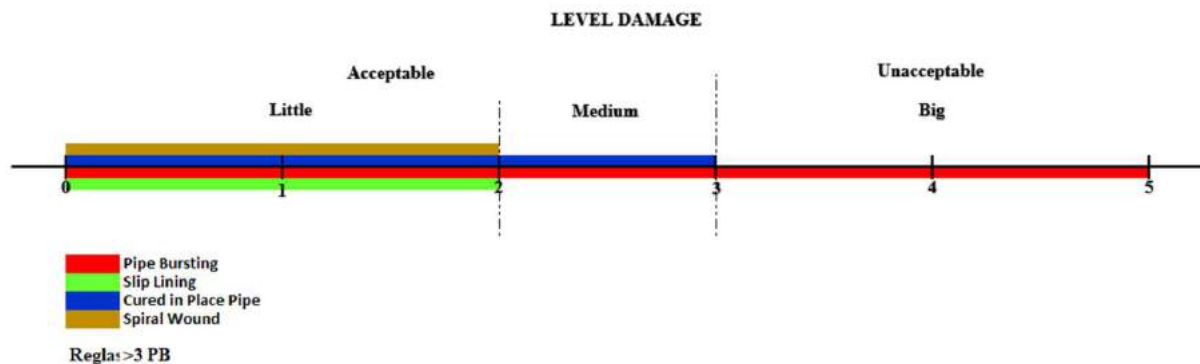


Figure 4. Verbalization of the degree of deterioration variable

Source: Primary author.

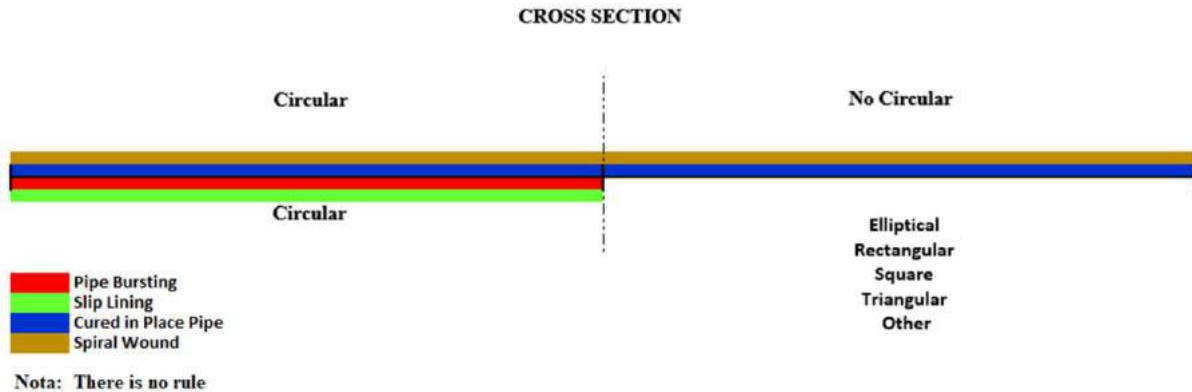


Figure 5. Verbalization of the cross section of the collector variable

Source: Primary author.

Given that CIPP, SL, and SW are technologies that use the existing pipe as a shelter, misalignment plays an important role, since it represents one of the variables that restricts the application of these three TRTs. As shown in Figure 7, SW and SL cannot be used in pipes with significant misalignments, i.e., higher than 1 %, while CIPP has an application range of up to 10 %. For this reason, the misalignment variable was verbalized into null, small, and large. It is important to keep in mind that PB does not require a shelter pipe, so this technology applies to any range of misalignment.

The variables deflection and reduction of the cross section of the collector were verbalized following the same criteria established for the misalignment variable (see Figures 8 and 9).

By comparing Figures 7 to 9, it is made clear that the verbalization range fluctuates according to

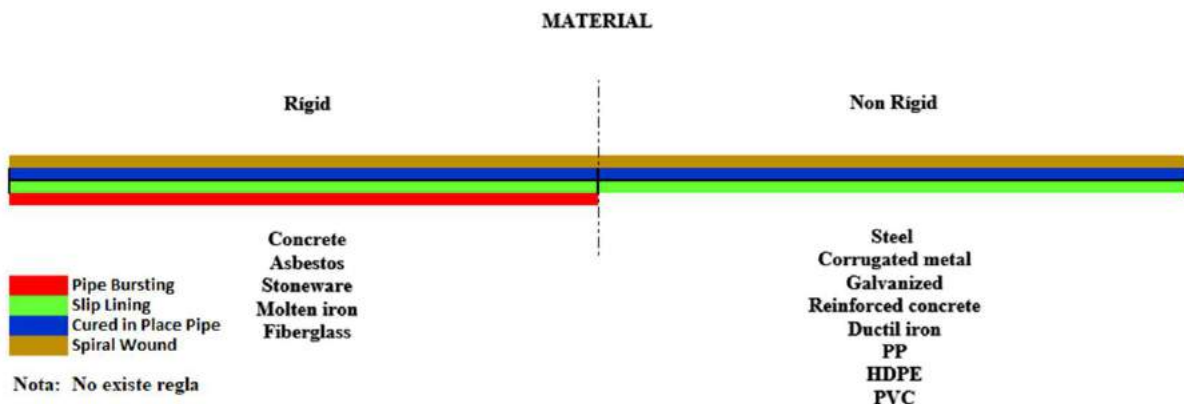


Figure 6. Verbalization of the material variable

Source: Primary author.

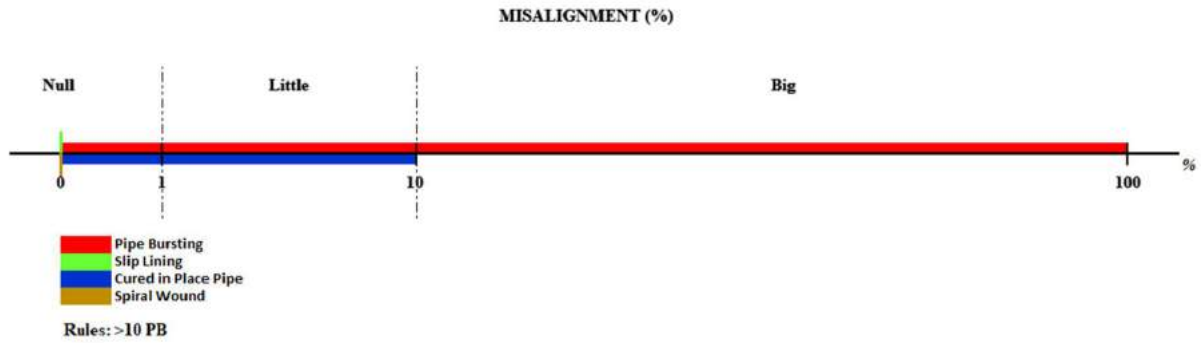


Figure 7. Verbalization of the misalignment variable

Source: Primary author.

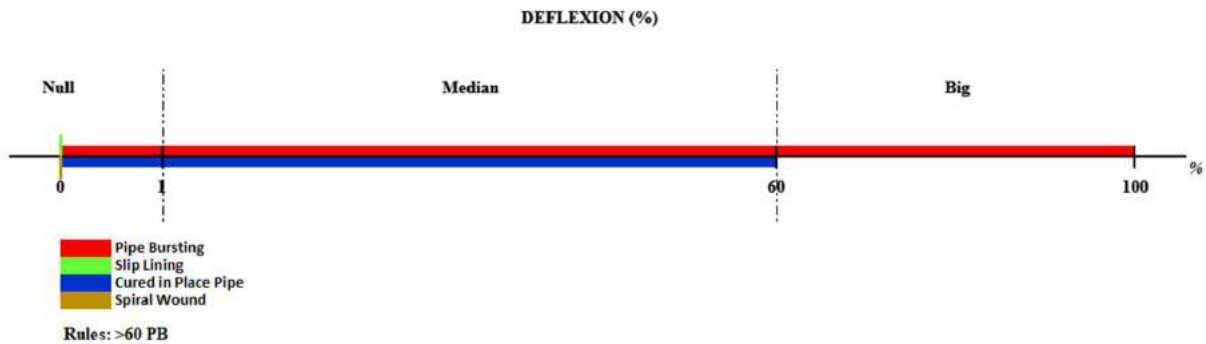


Figure 8. Verbalization of the collector deflection variable

Source: Primary author.

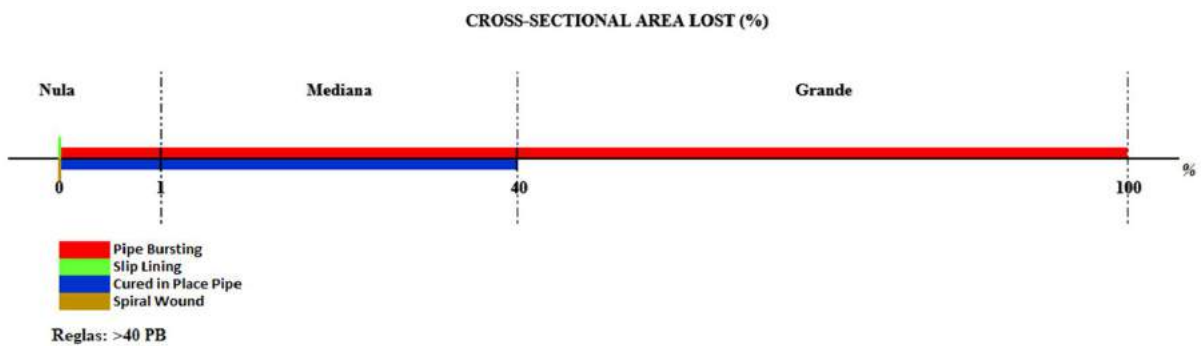


Figure 9. Verbalization of the cross-section reduction variable

Source: Primary author.

the application range of application CIPP, and it remains null for SL and SW. Thus, PB technology works for all ranges of the misalignment variable, as well as for deflection and reduction of the cross section of the collector, and its application becomes the rule for cases in which the variable is cataloged as large.

Once the variables were refined and verbalized, it was possible to go from more than 34 million rules (34 369 920) to less than two thousand rules (1 944). The summary of non- verbalized and verbalized variables can be seen in Table II.

Table II. Domains of the non-verbalized and verbalized variables

Variable	Domain of the non-verbalizedvariable	Domain of the verbalizedvariable
Diameter	48	3
Length	34	2
Degree of deterioration	10	3
Cross section	6	2
Material	13	2
Misalignment	3	3
Deflection	3	3
Reduction of the cross area	3	3
Total paths to be processed	34 369 920	1 944

Source: Primary autor.

As an example, it is shown in Table II that the diameter variable had 48 possible answers without verbalizing, and, once it was verbalized, its answers were reduced to three. Next, the input parameter table was created for the analysis using the data mining technique called ‘decision tree’. This table had nine columns, eight of them corresponding to each of the variables described above, and the ninth column called ‘Appropriate Technology’ (see Table III). In this table, it can be seen that the possible answers offered by SELECTOR are eight, out of which seven correspond to the application of one or several of the analyzed technologies, while the eighth option corresponds to ‘None of the Technologies Analyzed Applied’ (NTAA).

For example, in the first row of Table III, the particular situation in which the diameter is medium, the length conventional, the degree of deterioration average, the cross section circular, the material rigid, the misalignment small, and both the deflection and the cross- section loss are zero, it is possible to use two TRTs: PB and CIPP.

Table III. Example of a segment of the parametric table, input for the analysis through decision trees

Diameter	Length	Level Damage	Cross Section	Material	Misalignment	Deflection	Cross- Sectional area lost	Technology
Medium	Conventional	Medium	Circular	Rigid	Small	Null	Null	PB_CIPP
Medium	Conventional	High	Circular	Rigid	Small	Null	Large	PB
Medium	Extraordinary	Medium	Circular	Rigid	Small	Null	Medium	CIPP
Large	Conventional	Low	Circular	Rigid	Null	Null	Null	SW
Medium	Conventional	Low	Non-Circular	Rigid	Null	Null	Null	SW_CIPP
Medium	Conventional	Low	Circular	Non-Rigid	Null	Null	Null	CIPP_SW_SL
Medium	Conventional	Low	Circular	Rigid	Null	Null	Null	PB_SL_CIPP_SW
Medium	Conventional	Medium	Circular	Non-Rigid	Large	Null	Null	NTAA

Source: Primary autor.

For the completion of the first eight columns of the parametric table, the combination of all verbalized ranges was performed, thus obtaining 1 944 possible combinations. Subsequently, the most appropriate technology or technologies for each of the combinations was determined.

After defining the response for each of the 1 944 combinations, the analysis was carried out using decision trees, in order to further reduce the number of combinations and avoid ambiguities when preparing the SELECTOR program. The decision tree was elaborated using the J48 algorithm incorporated in the free distribution software called Weka® ([niversity of Waikato, 2016](#)). In this way, the 1 944 combinations were reduced to 100 rules, which were validated one by one to verify their veracity. These rules make up the decision-making engine of SELECTOR.

As an example of the reduced rules, it was found that, when the diameter is small, the length is conventional, the cross section is circular, the material is non-rigid, and none of the Technologies Analyzed Applies (NTAA). This simple rule summarizes 81 of the 1 944 possible rules.

In the final stage of the process, SELECTOR was programmed under the Visual Studio® platform. This program allows identifying the most appropriate TRT based on the eight variables cited in Table II and the 100 previously validated rules. Additionally, the program allows the incorporation of information from the collectors regarding the network's cadastre, such as service area, location, collector identifier, and initial and final well identifier. Figures 11 to show the interface of SELECTOR V 3.0.0.

Figure 11 shows the initial screen of the program. From left to right, the calculation options are presented: collector to collector or multiple collectors, respectively.

When opting for the 'collector to collector' option, the corresponding interface in Figure 11, is displayed, where the user can enter the information of the network, to then click on 'characteristics



Figure 10. Initial SELECTOR interface

Source: Primary author.

of the collector' located on the right. Clicking on this last button displays the window for completing the eight attributes of the collector (Figure 12). Once the data of the collector has been filled, the 'process' button can be pressed, through which SELECTOR determines the most appropriate TRT for the collector characteristics defined by the user. Finally, in this analysis option, SELECTOR allows exporting the results to a spreadsheet.

SELECTOR also offers the possibility of analyzing several collectors at the same time, for which the 'multiple manifolds' option in Figure 11 must be clicked. In this case, an Excel® file must be imported which has been previously filled with the information of the network and the eight characteristics of the collectors. After the import, SELECTOR generates a window where it shows the quantity and the information of the collectors. Finally, the 'process' button must be clicked to establish the best TRT for each case. As in the 'collector to collector' calculation option, the user can export the answers to an Excel® document. As an example of this, Figure 13 is presented.

Out of the 100 rules identified through data mining, it was found that, although SELECTOR defines the appropriate TRTs, there are four cases with some exceptions. For this reason, the exceptions were included and shown to the user through a pop-up window. Additionally, the button called 'query exceptions' was included, so that the user can consult them when they want. For example, according to SELECTOR, when the diameter is medium, the cross section is circular, the degree of deterioration is medium, the misalignment is small, the deformation of the cross section is medium,

Información de la Red

Zona de Servicio: 2

Localización: San Fernando

ID Colector: P5968

Pozo Inicial: 3484

Pozo Final: 3485

Limpiar Características del Colector

Figure 11. Interface for the filling of information of the network

Source: Primary author.

Datos del Colector

Diametro (pulgadas): 12

Sección Transversal: Circular

Grado de Deterioro: ≤ 2

Desalineamiento (%): 0

Deformación Sección Traversal (%): 0

Reducción Sección Transversal (%): 0

Longitud (m): 137.5

Material: Rigido

PROCESAR GRABAR

Tecnología Óptima: Slip Lining; Spiral Wound; Cured In Place Pipe.

Figure 12. Data collection interface of the collector

Source: Primary author.



Figure 13. Consolidated information import interface

Source: Primary author.

the reduction of the transversal area is average, the length is extraordinary, and the material is rigid, in 92,2 % of the cases, none of the technologies analyzed applies (NTAA). However, in 7,8 % of cases, CIPP applies. The specific cases in which CIPP applies are shown by SELECTOR as exceptions.

CONCLUSIONS

SELECTOR consolidates an efficient and accurate methodology for the appropriate selection of TRTs in relation to the characteristics of the collectors subject to rehabilitation. In this way, it can be stated that SELECTOR is a useful, versatile model that is easy to fill out and agile in the processing of information. The information requested by SELECTOR is easily obtained by sewer operators. Moreover, SELECTOR reduces analysis times by facilitating the study of multiple collectors with a single click.

According to all the possible scenarios contemplated on SELECTOR, the technology that has a greater range of individual application is PB, with 146 scenarios, followed by CIPP with 94 and SW with 8. SL does not present individual application scenarios, but it shares 4 application scenarios with the other technologies. Furthermore, there are 1 673 scenarios for which none of the analyzed TRTs applies.

The use of the data processing model developed for SELECTOR can be replicated to generate a rehabilitation model for all types of networks. In any case, it is recommended to include geotechnical and economic variables, as well as the type of traffic and access to the network to be rehabilitated.

ACKNOWLEDGMENTS

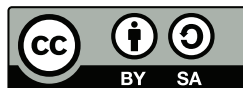
The authors of this article express their gratitude to the EAAB for the information provided to carry out this study.

REFERENCES

- [Asociación Ibérica de Tecnología sin Zanja, 2018] Asociación Ibérica de Tecnología sin Zanja. (2018). *Libro blanco de las Tecnologías sin zanja*. Asociación Ibérica de Tecnología sin zanja. ↑Ver página 107, 108, 109
- [Carvajal Montealegre, 2015] Carvajal Montealegre, C. J. (2015). Extracción de reglas de clasificación sobre repositorio de incidentes de seguridad informática mediante programación genética. *Tecnura*, 109-120. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.2.a08> ↑Ver página 110
- [Chan, 2017] Chan, W. S. (2017, September 25-27). *Pipe Bursting techniques and considerations for successful pipe replacement* [Conference presentation]. Trenchless World Congress No Dig MED 2017 Pipe Bursting Techniques and Considerations for Successful Pipe Replacement. Medellín, Colombia. ↑Ver página 107, 109
- [EAAB, 2001] Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) (2001). *Norma técnica de servicio: Aspectos técnicos para la rehabilitación de redes y estructuras de alcantarillado*. SISTEC. ↑Ver página 107, 109, 110
- [EAAB, 2010a] Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) (2010a). *Norma técnica de servicio: Aspectos técnicos para la inspección de redes y estructuras de alcantarillado*. SISTEC. ↑Ver página 109, 110
- [EAAB, 2010b] Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) (2010b). *Procedimiento para la renovación de redes PR-GO-04*. SISTEC. ↑Ver página 107
- [EAAB, 2015a] Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) (2015a). *Norma técnica de Producto: Materiales del tubo de revestimiento y de resinas en la tecnología tubería curada en sitio (CIPP)*. SISTEC. ↑Ver página 108, 110
- [EAAB, 2015b] Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) (2015b). *Norma técnica de servicio: Consideraciones de construcción en la técnica de tubería curada en sitio (CIPP)*. SISTEC. ↑Ver página 110





- [EAAB, 2015c] Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) (2015c). *Norma técnica de servicio: Consideraciones de diseño en la técnica de tubería curada en sitio (CIPP)*. SISTEC. ↑Ver página 108, 110
- [EAAB-Treltec, 2010] Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá-Treltec (EAAB-Treltec) (2010). *Procedimiento para la renovación de redes por el método del Pipe Bursting*. Treltec Ingeniería Ltda. ↑Ver página 107, 109
- [EPA, 2007] EPA (2007). *Innovation and Research for Water Infrastructure for the 21st Century: Research Plan EPA/600X-09/003*. Office of Research and Development National Risk Management Laboratory. ↑Ver página 107
- [Jiawei et al., 2012] Jiawei, H., Micheline, K., & Jian, P. (2012). *Data Mining Concepts and Techniques*. Elsevier - Morgan Kaufmann. ↑Ver página 110
- [Mínguez, 2015] Mínguez, F. (2015). *Métodos de excavación sin zanja*. Universidad Politécnica de Madrid. ↑Ver página 107, 109
- [Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2015). *Sistema de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias*. Viceministerio de agua y saneamiento básico. ↑Ver página
- [Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2017). *Resolución 0330*. MVCyT, República de Colombia. ↑Ver página 110, 111, 113
- [Mongue, 2017] Mongue, O. (2017, September 25-27). *Una solución de bajo costo y riesgo mínimo para la rehabilitación de tuberías*. [Conference presentation]. Trenchless World Congress No Dig MED 2017 Pipe Bursting Techniques and Considerations for Successful Pipe Replacement. Medellín, Colombia. ↑Ver página 107, 109
- [Hashash & Finno, 2008] Hashash, Y. M. A & Finno, R. J. (2008). Development of new integrated tools for predicting, monitoring, and controlling ground movements due to excavations. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 13(1), 4-10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0680\(2008\)13:1\(4\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0680(2008)13:1(4)) ↑Ver página
- [Peña-Abreu et al., 2017] Peña-Abreu, M., Rodríguez-Rodríguez, C. R., & Piñero-Pérez, P. Y. (2017). Computing with words to feasibility study of software projects. *Tecnura*, 20(50), 69-84. <https://doi.org/10.14483/22487638.11562> ↑Ver página
- [Pyzoha, 2013] Pyzoha, D. S. (2013). An economical and sustainable alternative to open-cut construction for small-diameter. *Journal (American Water Works Association)*, 105(7), 64-77. <https://doi.org/10.5942/jawwa.2013.105.0097> ↑Ver página 107

- [RAE] Real Academia Española. (n.d.). Adjetivo. In *Diccionario de la Real Academia Española*. <http://dle.rae.es/?id=0ldVsDG> ↑Ver página
- [Rokach & Maimon, 2007] Rokach, L. & Maimon, O. (2007). *Data Mining With Decision Trees Theory and Applications*. World Scientific. <https://doi.org/10.1142/6604> ↑Ver página 110
- [Rosado-Gómez & Verjel-Ibáñez, 2015] Rosado-Gómez, A. A. & Verjel-Ibáñez, A. (2015). Minería de datos aplicada a la demanda del transporte aéreo en Ocaña, Norte de Santander. *Tecnura*, 101-114. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.3.a08> ↑Ver página 110
- [Sullivan, 2002] Sullivan, E. (2002). "Social costs of open-cut trenching can be avoided. *Journal (American Water Works Association)*, 94(3), 49-51. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2002.tb09432.x> ↑Ver página 107
- [University of Waikato, 2016] University of Waikato. (2016). *Machine Learning Group at the University of Waikato*. <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/> ↑Ver página 118
- [Vera, 2016] Vera, G. (2016). Underground Engineering and Trenchless Technologies at the Defense of Environment. *Procedia Engineering*, 165, 1395-1401. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.870> ↑Ver página 107
- [Wavin, 2013] Wavin. (2013). *Design manual non-pressure pipe applications*. Wavin Overseas. ↑Ver página 107, 109, 110



Knowledge and Actions of Young People Living in Rural Territories and Facing Environmental Problems

Saberes y acciones de jóvenes del medio rural frente a problemas ambientales

Gabrielle Fascinetto Bárcena ¹, María Esther Méndez Cadena ², Ignacio Ocampo Fletes ³,
Higinio López Sánchez ⁴

Fecha de Recepción: 23 de Septiembre de 2020

Fecha de Aceptación: 24 de Febrero de 2021

Cómo citar: Fascinetto-Bárcena., G. Méndez-Cadena., M.E. 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>

Resumen

Contexto: La humanidad enfrenta una crisis ambiental causada por el antropocentrismo del hombre contra la naturaleza. Los esfuerzos desde la educación ambiental representan una opción alentadora para el cuidado al medio ambiente por ello se considera que la formación hacia el derecho humano a un ambiente sano resulta una opción positiva.

Objetivo: El objetivo del trabajo fue identificar la representación social sobre los saberes de jóvenes de un entorno rural y su posición frente a la problemática ambiental que afecta su medio ambiente.

Metodología: Se aplicó un cuestionario a 260 estudiantes, 143 mujeres y 117 hombres, de las carreras Técnico en agricultura sustentable y Técnico en informática del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario (CBTA) No. 254 "Águiles Serdán Alatríste" de Cuacnopalan, Palmar de Bravo (Puebla, México). La información se organizó por medio del Análisis de Redes (ARS) para conocer la representación social sobre la problemática ambiental, las afectaciones de ésta, las acciones para atender estas afectaciones, y sobre los derechos humanos.

Resultados: Los resultados mostraron que los estudiantes relacionan la problemática ambiental con la basura y no identifican de manera clara las afectaciones de esta problemática en sus vidas diarias; las actividades que realizan en consecuencia a la problemática ambiental se vinculan fuertemente a las 3 "R" (reciclar, reusar y reducir).

Conclusiones: Los estudiantes tienen una visión horizontal de los derechos humanos, en especial con relación al medio ambiente sano.

¹Graduated in Law, Master of Science in Strategies for regional agricultural development, PhD student of Science in Strategies for Regional Agricultural Development at the Colegio de Postgraduados Campus Puebla, México. Contact: fascinetto.gabrielle@colpos.mx

²Bachelor of Science in education, Master in Quality of education. PhD in Evaluation, Research and Educational Intervention. Researcher professor at Colegio de Postgraduados Campus Puebla, México. Contact: mesther@colpos.mx

³Agricultural Engineer, Master of Science in Strategies for regional agricultural development. PhD of Science in Agroecology, Sociology and Sustainable Rural Development. Researcher Professor at Colegio de Postgraduados Campus Puebla, México. Contact: ocampoif@colpos.mx

⁴Agronomist Engineer, Master of Science in the Interdisciplinary Seed Production Program. Ph.D. in Crop Production and Crop Physiology and Production. Researcher Professor at Colegio de Postgraduados Campus Puebla, México. Contact: higinios@colpos.mx

Financiamiento: Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-México).

Palabras clave: conocimientos ambientales, crisis ambiental, derechos humanos, jóvenes, medio ambiente.

Abstract

Context: Humanity is facing a big environmental crisis due to the effects anthropocentrism has against nature. Learning about environmental education has become one of the best alternatives in taking care of our planet; for that reason, living in a safe and clean environment has been considered a positive impact on human rights.

Objective: The purpose of this investigation was to identify the knowledge levels that young people living in rural landscapes have on the topic of environmental crisis, as well as and their opinions on how it affects their surroundings.

Methodology: 260 students (143 women and 117 men) were selected to answer a questionnaire to learn what knowledge they have about the environmental situation. These students belong to the careers Technician in Sustainable Agriculture and Technician in Computer Science of the Center for Bachelor in Agricultural Technology (CBTA, in Spanish) No. 254 "Aguiles Serdán Alatraste" of Cuacnopalan, Palmar de Bravo (Puebla, Mexico).

Results: The results or the responses were organized using Network Analysis (NA) to know the general opinion that this part of the population has on the environmental problem, its effects, the actions taken to address these effects, and about human rights. The results show that these students associate environmental problems mostly with trash and the only way they know to help is related to the three R's strategy (Recycle, Reuse, Reduce).

Conclusions: According to the results, students tend to associate environmental problem mostly with trash and seem to not know the effects this problem has on their everyday lives, thus having little knowledge on strategies taken to address the overall issue. Additionally, they seem to have a horizontal vision on the issue on human rights, specially related to a safe environment.

Financing: This work was funded by the National Council of Science and Technology (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología).

Keywords: Environmental knowledge, environmental crisis, human rights, youth, environment.

Table of Contents

	Página
INTRODUCTION	127
METHODOLOGY	129
RESULTS	130
CONCLUSIONS	134
FINANCING	135
REFERENCES	135

INTRODUCTION

For the last 50 years, the States belonging to the International Community have placed special emphasis on environmental care. In the 1970s, the environment was raised as a matter of global importance during the United Nations Conference on Human Environment, and different summits and actions have been held in favor of the environment since then, defining it as one of humanity's main challenges. (Fernández and García, 2017) state that the relationship between human beings and nature works out to the same extent that the link they maintain is understood.

Understanding environmental issues and caring for the environment lead to clarifying what the environment is, and in this regard, (Armesto and Angarita, 2017) point out that "it is a complex system composed of physical, biological and social parts where the use of these can have adverse or beneficial effects, it is important to consider that, when the biotic and abiotic components interact, any change in the abiotic environment will have repercussions on living beings" (p. 133-134). Despite recognizing the close relationship between beings, there is still an obsessive search for wellbeing based on the advantages of technology, scientific advancement, and consumerism (Cantú, 2012), which has led to the deterioration of the environment and caused an irreversible environmental crisis.

The loss of the quality of the environment at a global level is increasingly evident. (Rodríguez, Bustamante and Mirabal, 2011) affirm that the deterioration is due to "indiscriminate use of natural resources and insufficient attention directed to the negative effects that this produces on living beings" (p. 511). For example, there are the catastrophic natural phenomena that arise and become more intense due to the action of hurricanes, tsunamis, torrential rains, and floods, as well as droughts, excessive temperatures, melting of polar glaciers, among others. This scenario is alarming and is the reason why a transformation of environmental knowledge is necessary, which in addition to contemplating the rational use of natural resources, raises a new structured ethic that guides the human attitude towards environmental responsibility and sustainability.

In relation to caring for the environment, (Millán and Verástegui, 2017) indicate that "managing to take care of the environment and the land (geo) can be a source of inspiration to develop models that allow addressing complex problems" (p.68). (Navarro and Garrido, 2006) affirm that people must change and feel responsible for the natural environment in which they live. To achieve a healthy environment, it is necessary that most people develop values of caring for the environment that lead to a different way of living. In this sense, an adequate tool to influence environmental values and actions in a positive way is education. Actions in favor of environmental care developed from environmental education are valued as a positive alternative to the dimension of the problem, as pointed out by authors such as (Zabala and García, 2008, Castillo, 2010, Murga-Menoyo and Novo, 2017, Pérez and Vilches, 2017). All of them agree that one of the purposes of environmental education is to develop participatory processes that consider the different actions that teaching and learning entail, and thereby positively influence social and environmental aspects.

Also, (Muñoz-Cadena, Estrada-Izquierdo and Morales-Pérez, 2016) state that the objective of environmental education is to develop citizens with sustainability criteria. This kind of citizens will only be developed if it is possible to build in students the competencies on environmental care. For (Severiche-Sierra, Gómez-Bustamanre and Jaimes-Morales, 2016), environmental education is a management strategy that allows sharing issues on environmental care within educational training cycles. (Torres and Arias, 2019) define it as a “systematic process of translating learning principles into study plans for the creation of materials and activities that seek the instruction of an individual in specific topics” (p. 51); in this case, the “specific topics” are environmental matters.

The consensus is that young people in training can be encouraged through environmental education to care for the environment from an ethical point of view with attitudes of harmony and respect.

Influencing environmental education in every educational system is important, but the upper secondary level is essential, given that students at this level can choose to study at more advanced levels, or enter the labor market, partaking in important decisions, such as those related to the environment. (Isaac-Márquez *et al.*, 2011) argue that high school

“... constitutes the responsible training space in which young people of the age to begin to exercise their rights and obligations as citizens, acquire the knowledge and skills that allow them to make informed and responsible decisions; in addition, young people from high school are in the process of building their vision particular of the world and to make transcendental decisions for their life and their environment” (p. 86).

High school youth who grow up in rural settings have the knowledge and skills on local practices for the management of sustainable processes (Ruíz, Barraza and Ceja, 2009). This means they tend to be more sensitive to environmental problems when they are born and raised in a rural context; therefore, it represents a significant option in transforming the way they relate to the environment in their context. For this reason, the relationship between the school and the community is fundamental in rural communities (Paré and Lazos, 2003), hence the relevance of knowing the social perception this population has on environmental problems. It is also necessary to look at the set of actions for caring for the environment from different approaches. One of these approaches on human rights considered it to be “the set of faculties, institutions and prerogatives that, in each historical moment, specify the demands of the dignity, freedom and human equality, which must be positively recognized by legal systems” (Villabella, 2011)(p. 3). This means that “people have the opportunity to live harmoniously and free from misery” (Mejía, 2017) (p. 39). Human dignity is the essential quality of the human being, which distinguishes the human from the non-human (Castán, 2007)(p. 1). The concept of human dignity “besides being the source from which all human rights are born, is the vertex that sustains the indivisibility of the different generations of human rights” (Habermas, 2010)(p. 12). Human dignity, thus, upholds human rights and is the basis for judicial decisions.

The recognition and evolution of human rights throughout the 20th century have mostly taken place in world settings that undermine human dignity in their communities. From the recognition

of the achievement of certain human rights, they have been divided by generations. Thus, according to each guaranteed right, the first three generations are the result of the civil and political evolution of societies; the fourth generation is the product of the new conditions of society, technology, and globalization. According to (Bailón, 2018) this generation is directed to three areas: biomedicine (right to life), the rights of new communication and information technologies; and the rights of humanity related to the protection of the ecosystem (environmental law). According to (González, 2008) “the right to the environment is the present right of guarantee of future generations” (p.4).

Inquiring about the general social perception high school students have on environmental problems, their effects, consequent actions, as well as their knowledge about the human right to a healthy environment represents a valuable task to propose environmental education programs with a significant impact on students attending high school.

Social perceptions were considered by (Bello, Meira and González-Gaudio, 2017) as “sociocultural patterns with different functions, one of them is to pragmatically guide people’s actions” (p. 507). For (Calixto, 2018), social representations are networks where concepts and images interact, whose content constantly evolves in time and space, and shows an empirically acquired knowledge that shows the vision that one has about a reality.

Based on the above, the objective was to identify the social perception of young people from rural environments and their intervention in the face of environmental problems that affect their environment, as well as their perception in relation to human rights (particularly the human right to a healthy environment).

METHODOLOGY

To collect data, a questionnaire was applied to 260 students: 143 women and 117 men with an average age of 16 years old. Nine groups were selected: two from first semester, four from third semester, and three from fifth semester of their careers (Technician in Sustainable Agriculture and Technician in Computer Science). The instrument consisted of 10 questions: seven of these ten captured three ideas that relate to the environmental problem, effects of the environmental problem, actions in response to said effects, tasks to take care of the environment, knowledge about human rights, and ideas about the human right to a healthy environment. Three concepts were requested in order to obtain the strongest idea that emerged when responding.

The questionnaire was applied in November 2019 under the following procedure: each of the students was given a printed questionnaire along with answering instructions, and the objective was explained to them.

To organize the information, the Social Network Analysis (SNA) was used. This analysis focuses on ideas and the connections between them, which allows a global vision of the resulting data. The analysis was carried out through the measurements of the SNA through the UNICET 6.5 soft-

ware, where networks were obtained in differentiated groups and subgroups of nodes (Jiménez and Fernández, 2019); these nodes are identified according to their importance within the network and coinciding to the applied metrics: measures of centrality and degrees. The nodes represent the ideas and expressions of the students regarding the environmental problem: effects of the environmental problem, actions in response to the effects of the environmental problem, knowledge about human rights, and ideas about the human right to a healthy environment. Once the graphs were prepared, they were analyzed based on centrality and power metrics, this allowed classifying and identifying factions that represent points of convergence and where the larger or smaller size of the figure accounts for more or less signaling of the response.

RESULTS

Out of the 260 students participating, 98.8 % have heard about environmental problems, but there is high divergence in answers regarding which environmental problems they knew. Figure 1 shows 48 different responses (nodes) that indicate little precision on the environmental problem. The five different geometric figures that are observed in the graph represent points of convergence (factions), and size indicates how many times these responses were mentioned. There are two main factions identified: the first is the social perception of the environmental problem associated with climate change, pollution, alterations, destruction, heat, and extinction (identified with a blue square); and the second refers to climate, environment, and nature (identified with a red triangle). There are three peripheral factions: environmental problems to ecosystems, the greenhouse effect, and the thawing of ice from volcanoes (black circle, pink diamond, and gray triangle, respectively). These results show that, although there is an idea about environmental problems, it is not clearly identified.

The fact that the participants show scattered recognition of the environmental problems affecting them reveals that their interests through daily lives relate to different areas, such as technology or consumption, as (Cantú, 2012) points out; or it may be the result of their education not developing the competencies required to acquire an attitude of care for the environment. In this regard, (Vargas, Medellín, Vázquez and Gutiérrez, 2011) comment that education needs to be different and train students with a broad perspective that leads to true care for the environment.

In relation to, "how the lives of the participants are affected by environmental problems," Figure 2 shows 22 nodes with two central factions: the first refers to health, well-being, housing, and food (red diamond); and the second indicates a change in climate, air quality, and pollution (blue triangle). These central factions seem to be linked more to general environmental problems instead of a direct impact on them. On the other hand, the peripheral factions indicate temperature (gray squares) and the environment (black circles). This graph students are able to identify some direct effects on their lives, such as health-related, as well as other indirect effects related to their environment. In this regard, (Armesto and Angarita, 2017) comment that the relationship between human beings and na-

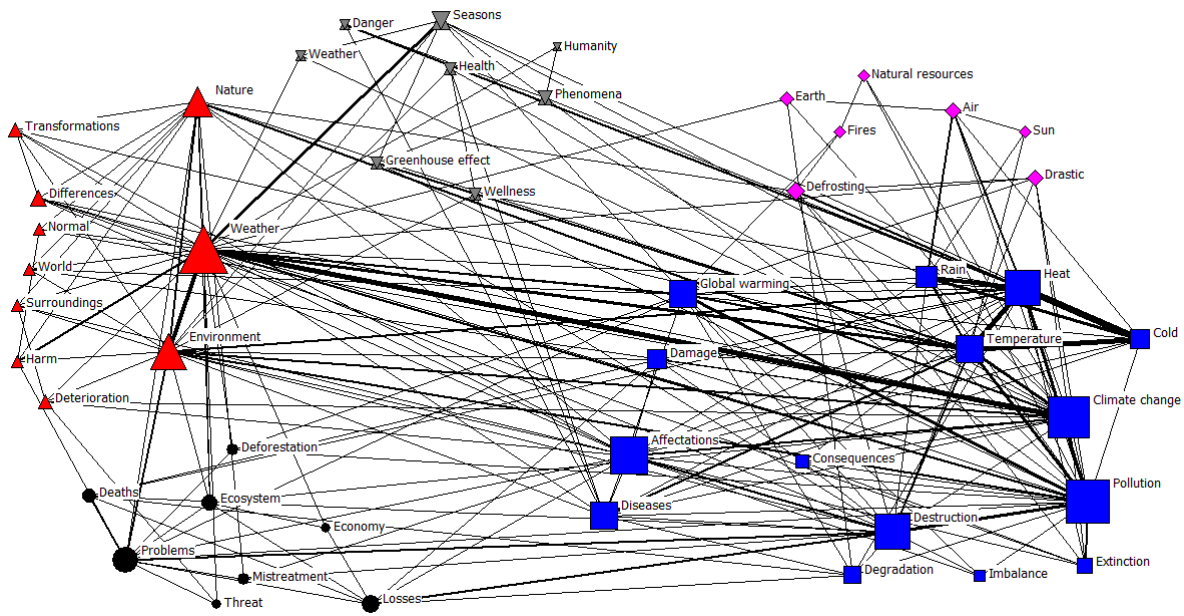


Figure 1. Known environmental problems

Source: own.

ture is such that they cannot be understood in isolation; this is why knowing the effects derived from climate change will shed some light when caring for the person and for the environment. Although some confusion is observed when understanding the effects of environmental problems, they are not ignored completely. In a study carried out by (Vargas, Medellín, Vázquez and Gutiérrez, 2011) with university students, it is highlighted that young people are promoters of environmental awareness, which encouraged them to continue researching the consequences and environmental knowledge of this population.

In relation to, “what do you do in your daily life as a result of the effects of environmental problems?” 80% agreed on actions that lead to environmental problems, such as burning grass or garbage, cutting down trees, wasting water, and littering, which shows that most of the participants did not understand the question. Those who understood the question pointed out that they practice the “3 Rs” (reducing, reusing, recycling) or protect themselves from the sun. This shows that the environmental training they have received is reduced to actions implemented as a trend that do not necessarily solved the heart of the problem (such as the need to provide better environmental education to high school students). As (Isaac-Márquez *et al.*, 2011) indicate, this population is shaping their vision on relevant issues such as caring for the environment, and they face the possibility of exercising their citizenship, so environmental education processes should offer quality coaching that trains them to make better decisions that respect and protect the environment.

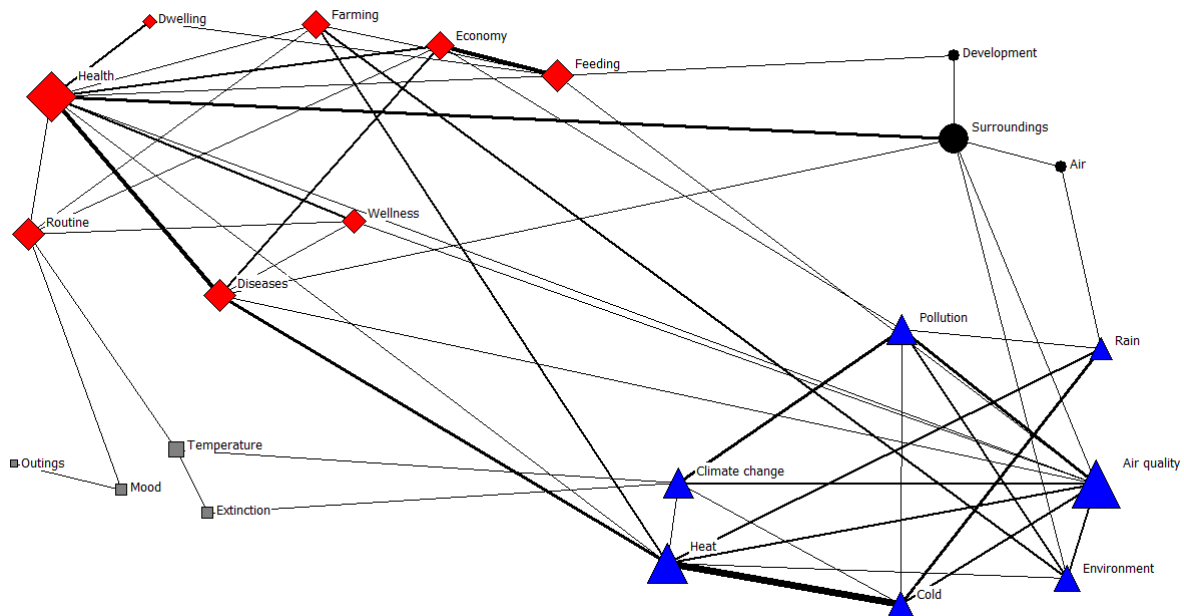


Figure 2. Effects on daily life

Fuente: own.

Regarding “what do you do to take care of the environment?” 90 % of the responses led to the aforementioned reducing, reusing, recycling, not burning garbage, avoiding fires linked to greenhouse gas emissions, and taking care of plants and trees since they feed on carbon dioxide and generate oxygen. The answers obtained do not show that measures are carried out to have an impact on reducing environmental problems in their surroundings.

The exercise of human rights is essential to achieve well-being, and it is necessary to research more to see if the human right to a healthy environment is acknowledged. In this regard, 85.8 % of the respondents indicated that they have heard about human rights, but only 34.6 % stated that they had heard about the right to a healthy environment; 49.6 % indicated that they had not heard about it, and 15.8 % did not answer that question.

Figure 3 shows 40 different responses (nodes) with an outstanding faction related to the legal aspects of human rights (the red square), which accentuates the nodes referring to freedom, respect, and equality and is the core of social perceptions on human rights. The two factions that follow in level of importance are: the protection granted by human rights regarding help, support, and care (blue triangle); and freedom of expression, to express opinions, to express oneself, to participate, and to vote (black circle). Therefore, the results show that students associate human rights with protection and participation. On the other hand, the two peripheral factions indicate the right to be different and to identity (pink triangle), and the institutional perspective with which human rights are understood

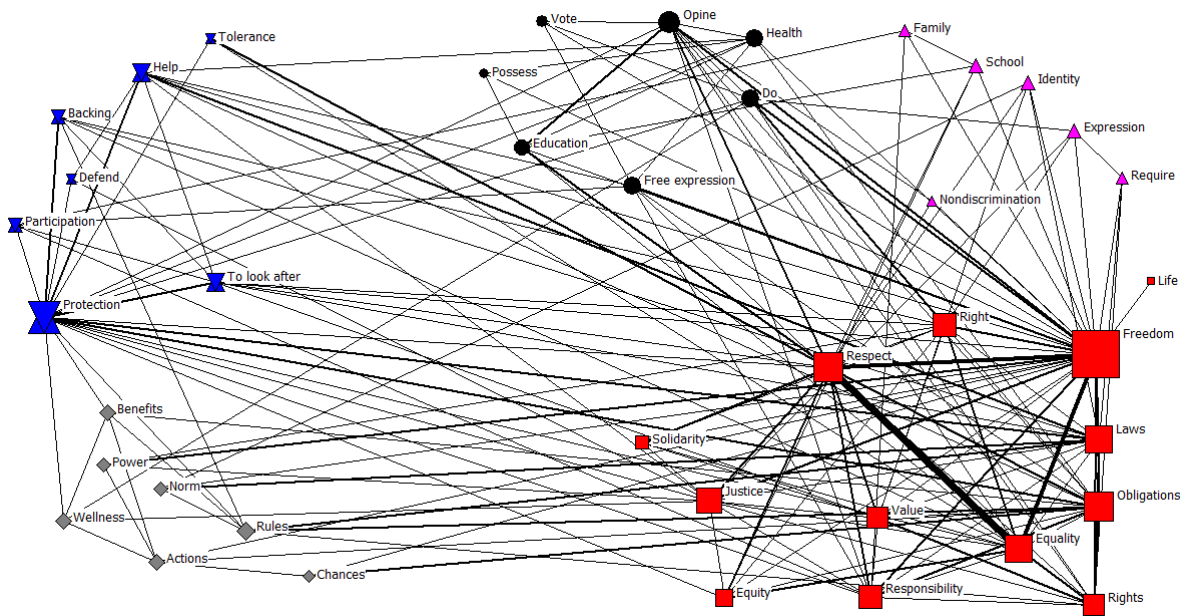


Figure 3. Knowledge about human rights

Source: own.

from their school vision (gray diamond). Now, in order to guarantee the protection of human dignity (Castán, 2007) and that human rights provide the opportunity to live harmoniously and free from misery, (Mejía, 2017) points out that the subjects who hold a set of rights need to actually know these rights in order to exercise or even demand them; and this assertion applies to human rights. The students report knowing human rights, but their answers are centered on a look at actions aimed at public participation and not on the nature of human rights, which is the protection of human dignity.

Regarding the human rights they know, there was a low response rate, and the most used word in this question was “education,” strongly linked to health and to another group of words that represent the gaze of participatory and representative democracy, i.e., voting. Also, some words with fewer connections alluded to non-discrimination, freedom of expression, and fairness. These results show that young people are not clear about what human rights are or what they consist of.

Social representation about the question “What is the human right to a healthy environment for you?” is shown in figure 4. There are 25 nodes with three factions: the first one (red triangle) indicates right, responsibility, equality, and honesty; the second one (black square) indicates reforestation and freedom; and the third faction (blue circle) includes concepts such as equity, commitment, and cleanliness. These results show that the social representation on what the human right to a healthy environment is imprecise.

The different generations of human rights (Bailón, 2018) have gone through scenarios that violate

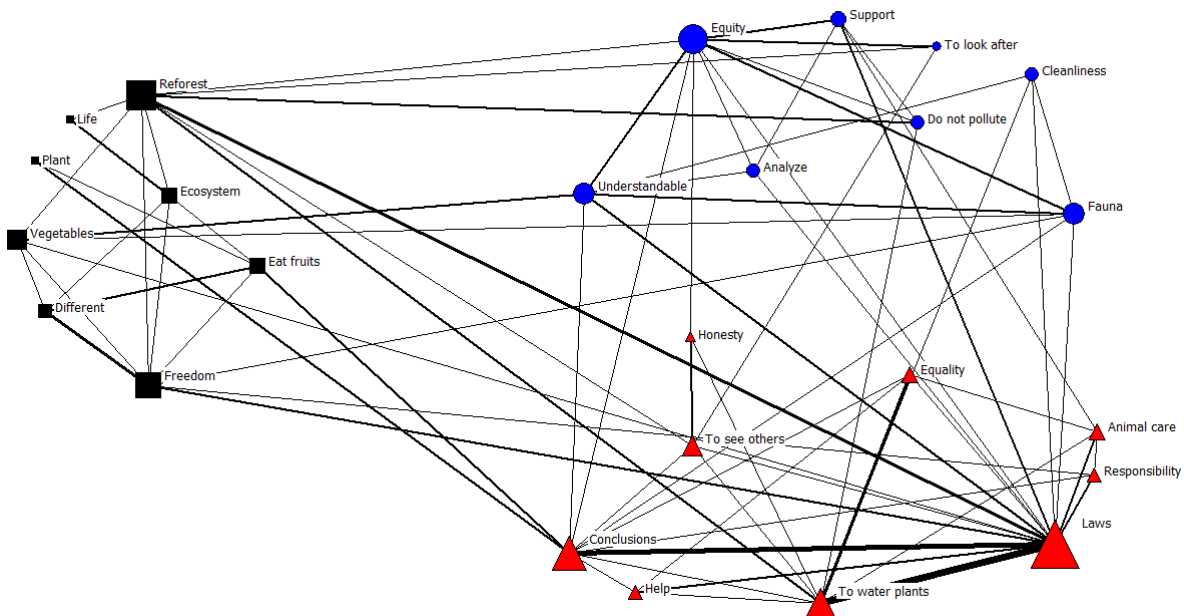


Figure 4. Knowledge about the human right to a healthy environment

Source: own.

human dignity; however, the recognition of prerogatives (the recognition to receiving better treatment) has given way to new rights. Some examples of this are biomedicine, the new technologies, or the rights to protect ecosystems (called environmental law). Environmental law in recent decades has gained relevance due to the recognition of climate change and is intended to guarantee the conservation of life as we know it and even more, as (González, 2008) points out, to guarantee the survival of future generations. This is significant because, if it is possible to guarantee the sustenance of life for future generations, well-being and life are being guaranteed in the present time.

CONCLUSIONS

The social perceptions of rural youth from Cuanopalan, Puebla, Mexico, in relation to environmental problems, their effects and actions, as well as its relation to human rights (particularly the human right to a healthy environment) are imprecise, superficial, confusing, and even contradictory. Although this is an exploratory study, it is necessary to continue investigating to know how these perceptions affect the environmental problems that affect them.

Young people lack precision on what the environmental problems and their effects are. They relate this phenomenon to stereotypes that lose meaning and only memorize by repetition. It is evident that, contrary to common belief, young people in rural areas are not more sensitive to the environmental

problems of climate change just because they belong to said territorial demarcation.

The young people who participated in this study do not know human rights, much less the human right to a healthy environment. Although they are capable of expressing some information such as the human right to access food or freedom of expression, they can only mention them without further explanations; therefore, they fail to understand what the human rights consist of, much less demand them.

As it is an exploratory study, it is necessary to recognize the need to continue investigating and confront results in similar settings, thereby ratifying whether the social construction that young people from rural areas have on environmental problems, their consequences, and the human rights is imprecise, superficial, and confusing. Thus going further to propose training actions aimed at influencing the reduction of any environmental problem.

It is recommended to think about training strategies applicable to the official plans and programs of the upper secondary level that, from the sociocultural reality of the rural environment, seek to reformulate the processes of construction of knowledge about the environment and climate change. This change will promote the development of environmental competencies linked not only to the identification of environmental problems, their causes and consequences, but also to principles and values that support the formation of knowledge around the right to a healthy environment. Only in this way will it be possible to influence the provision of environmental skills to young people that generate a real dynamic of environmental care.

With the help of educational processes, young people must re-dimension that their individual perception of themselves and the environment that surrounds them has repercussions on others. Only with this awareness will they become the eco-citizens the planet requires.

FINANCING

This work was funded by the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-México).

REFERENCES

- [Armesto and Angarita, 2017] Armesto A., A., y Angarita C., 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. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.1.a10> ↑Ver página 127, 130
- [Bailón, 2018] Bailón, C. M. (2008). Derechos humanos, generaciones de derechos, derechos de minorías y derechos de los pueblos indígenas; algunas consideraciones generales. *CNDH: Centro nacional de derechos humanos*, 103-128. Recuperado de <http://www.corteidh.or.cr/tablas/r28614.pdf> ↑Ver página 129, 133

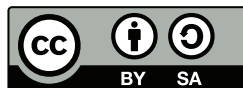
- [Bello, Meira and González-Gaudiano, 2017] Bello, B. L.; Meira, C. P. y González-Gaudiano, É. J. (2017). Representaciones sociales sobre cambio climático en dos grupos de estudiantes de educación secundaria de España y bachillerato de México. *Revista mexicana de investigación educativa*, 505-532. ISSN: 1405-6666 Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmie/v22n73/1405-6666-rmie-22-73-00505.pdf> ↑Ver página 129
- [Calixto, 2018] Calixto, R. (2018). El cambio climático en las representaciones sociales de los estudiantes universitarios. *Revista electrónica de investigación educativa*, 20(1), 122-132. DOI: <https://doi.org/10.24320/redie.2018.20.1.1443> ↑Ver página 129
- [Cantú, 2012] Cantú, Martínez P. C. (2012). Sustentabilidad ecológica; Crisis ambiental: desconocimiento del conocimiento. *Ciencia UANL*, 15(58), 20-27. DOI: <https://doi.org/10.24320/redie.2018.20.1.1443> ↑Ver página 127, 130
- [Castán, 2007] Castán, M. L. (2007). La dignidad humana, los Derechos Humanos y los Derechos Constitucionales. *Revista de bioética y derecho* (9), 1-8. DOI: 10.1344/rbd2007.9.7833 ↑Ver página 128, 133
- [Castillo, 2010] Castillo, R. M. (2010). La importancia de la educación ambiental ante la problemática actual. *Revista Electrónica Educare*, 14(1), 97-111. ISSN: 1409-4258 Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=194114419010> <https://doi.org/10.15359/ree.14-1.9> ↑Ver página 127
- [CBTA, 2012] Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario -CBTA- (2012). Plan Académico de Mejora Continua 2012. Secretaría de Educación Pública. Recuperado de http://www.sistemadeevaluacion.sems.gob.mx/eym2/tdocs/610_70008_2012plan_academico.16_11.pdf ↑Ver página
- [CONEVAL, 2015] Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social - CONEVAL- (2015). Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2015, Palmar de Bravo, Puebla. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/39243/Puebla_110.pdf ↑Ver página
- [DGETA, 2015] Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria -DGETA- (2015). *Plan de Mejora Continua 2015-2016*. Secretaría de Educación Pública. Recuperado de http://www.sistemadeevaluacion.sems.gob.mx/eym2/tdocs/610_70031_2015plan_mejora.08_12.pdf ↑Ver página
- [Fernández and García, 2017] Fernández, I. C. y García, S. F. J. (2017). Legislación para la educación ambiental en España. *In Iure*, 1(7), 12-24. ISSN: 1853-6239 Recuperado de <https://revistaelectronica.unlar.edu.ar/index.php/iniure/article/viewFile/336/311> ↑Ver página 127

- [González, 2008] González, R. (2008). Aproximaciones a los derechos humanos de cuarta generación. *Revista electrónica deficiencia, tecnología, sociedad y cultura*. Sociedad Peruana de Ciencias Jurídicas -SOPEJ-, 1-6. Recuperado <https://www.tendencias21.net/derecho/attachment/113651/> ↑Ver página 129, 134
- [Habermas, 2010] Habermas, J. (2010). El concepto de dignidad humana y la utopía realista de los derechos humanos. *Diánoia*, 55(64), 3-25. DOI: 10.21898/dia.v55i64.218 <https://doi.org/10.21898/dia.v55i64.218> ↑Ver página 128
- [Isaac-Márquez *et al.*, 2011] Isaac-Márquez, R. S.; Salavarría, G. O. O.; Eastmond, S. A.; Ayala, A. M. E.; Arteaga, A. M. A.; Isaac-Márquez, A. P.; Sandoval, V. J. L. y Manzanero A. L. A. (2011). Cultura ambiental en estudiantes de bachillerato. Estudio de caso de la educación ambiental en el nivel medio superior de Campeche. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 13(2), 83-98. ISSN: 1607-4041 Recuperado de <http://redie.uabc.mx/vol13no2/contenido-isaacmarquezetal.html> ↑Ver página 128, 131
- [Jiménez and Fernández, 2019] Jiménez, F. E. y Fernández, C. A. (2019). Representación social de la Educadora: aproximación desde el análisis de redes sociales. *Revista Educere*, 23(75), 465-476. Recuperado de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/356/35660262017/html/index.html> ↑Ver página 130
- [Mejía, 2017] Mejía, C. M. (2017). El derecho internacional de los derechos humanos, un nuevo concepto. *Justicia* (32), 38-63. DOI: 10.17081/just.23.32.2904 <https://doi.org/10.17081/just.23.32.2904> ↑Ver página 128, 133
- [Millán and Verástegui, 2017] Millán, R. E. E. y Verástegui, G. F. A. (2017). Geo-inspired model: Agents vectors naturales inspired by the environmental management (AVNG) of water tributaries [Modelo geo-inspirado: Agentes vectores naturales inspirados en la gestión ambiental(AVNG) de los afluentes hídricos] *Tecnura*, 21(54), 68-78. DOI:10.14483/22487638.12958 <https://doi.org/10.14483/22487638.12958> ↑Ver página 127
- [Muñoz-Cadena, Estrada-Izquierdo and Morales-Pérez, 2016] Muñoz-Cadena, C. E.; Estrada-Izquierdo, I. E. y Morales-Pérez, R. E. (2016). Logros de la educación ambiental y la sustentabilidad urbana en México. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 18(3), 37-50. ISSN: 16074041 Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/redie/v18n3/1607-4041-redie-18-03-00037.pdf> ↑Ver página 128
- [Murga-Menoyo and Novo, 2017] Murga-Menoyo, M. A. y Novo, M. (2017). Sostenibilidad, desarrollo «glocal» y ciudadanía planetaria. Referentes de una Pedagogía para el desarrollo sostenible. *Teoría de la Educación. Interuniversitaria*, 29(1), 55-78. DOI: <http://dx.doi.org/10.14201/teoredu20172915578> <https://doi.org/10.14201/teoredu2915579> ↑Ver página 127

- [Navarro and Garrido, 2006] Navarro, R. E., y Garrido, M. D. (2006). Construyendo el significado del cuidado ambiental: un estudio de caso en educación secundaria. REICE. *Revista iberoamericana sobre calidad, eficacia y cambio en educación*, 4(1), 52-70. ISSN: 1696-4713 Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/551/55140106.pdf> ↑Ver página 127
- [Paré and Lazos, 2003] Paré, L. y Lazos, E. (2003). *Escuela rural y organización comunitaria: instituciones locales para el desarrollo y el manejo ambiental*. México. Plaza y Valdés. ↑Ver página 128
- [Pérez and Vilches, 2017] Pérez, D. y Vilches, A. (2017). Educación para la sostenibilidad y educación en derechos humanos: dos campos que deben vincularse. *Teoría de la educación. Interuniversitaria*, 29(1), 79-100. DOI: <http://dx.doi.org/10.14201/teoredu201729179100> <https://doi.org/10.14201/teoredu29179100> ↑Ver página 127
- [Rodríguez, Bustamante and Mirabal, 2011] Rodríguez, M. V., Bustamante, A. L. y Mirabal, J. C. M. (2011). La protección del medio ambiente y la salud, un desafío social y ético actual. *Revista Cubana de Salud Pública*(37), 510-518. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0864-34662011000400015> <https://doi.org/10.1590/s0864-34662011000400015> ↑Ver página 127
- [Ruíz, Barraza and Ceja, 2009] Ruíz, M. I., Barraza, L. y Ceja, A. M. (2009). La educación para la sustentabilidad: análisis y perspectiva a partir de la experiencia de dos sistemas de bachillerato en comunidades rurales mexicanas. *El periplo sustentable*(16), 139-167. ISSN: 1870- 9036 Recuperado de <https://rperiplo.uaemex.mx/article/view/5042> ↑Ver página 128
- [Severiche-Sierra, Gómez-Bustamanre and Jaimes-Morales, 2016] Severiche-Sierra, C.; Gómez-Bustamanre, E. y Jaimes-Morales, J. (2016). La educación ambiental como base cultural y estrategia para el desarrollo sostenible. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 18(2), 266-281. ISSN: 1317- 0570 Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/993/99345727007.pdf> ↑Ver página 128
- [Torres and Arias, 2019] Torres, P. C. y Arias H. J. (2019). Identificación de malas prácticas constructivas en la vivienda informal. *Tecnura*, 23(59), 47-59. DOI:10.14483/22487638.14823 <https://doi.org/10.14483/22487638.14823> ↑Ver página 128
- [Vargas, Medellín, Vázquez and Gutiérrez, 2011] Vargas, R. C.; Medellín, M. J.; Vázquez, G. L. y Gutiérrez, S. G. (2011). Actitudes ambientales en los estudiantes de nivel superior en México. *Revista luna azul*, (33), 31-36. E-ISSN: 1909-2474 Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n33/n33a04.pdf> ↑Ver página 130, 131
- [Villabella, 2011] Villabella, A. C. (2011). Los derechos humanos y el medio ambiente su tratamiento en el Derecho Constitucional comparado. *Revista electrónica de estudios jurídicos CUBALEX*, 1-10.

ISSN: 1028-8988 Recuperado de <https://www.sociedad-estado.com.ar/wp-content/uploads/2013/06/cubalex.pdf> ↑Ver página 128

[Zabala and García, 2008] Zabala, G. I. y García, M. (2008). Historia de la Educación Ambiental desde su discusión y análisis en los congresos internacionales. *Revista de investigación*, 32(63), 201-218. ISSN: 0798-0329 Recuperado <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376140378009> ↑Ver página 127



Revisión literaria y modelación de la desaturación de un suelo arenoso por medio del método de inyección de aire

Literature Review and Modelling of the Desaturation of a Sandy Soil by Means of the Air Injection Method

Sebastián Sepúlveda-Cano ¹, Carlos Alberto Vega-Posada ², Edwin Fabián García-Aristizábal ³

Fecha de Recepción: 06 de Agosto de 2020

Fecha de Aceptación: 24 de Febrero de 2021

Cómo citar: Sepúlveda-Cano., S. Vega-Posada., C.A. y García-Aristizábal., E.F. (2021). Revisión literaria y modelación de la desaturación de un suelo arenoso por medio del método de inyección de aire. *Tecnura*, 25(68), 140-164. <https://doi.org/10.14483/22487638.16282>

Resumen

Contexto: En los últimos años, la comunidad científica ha discutido la posibilidad y la efectividad de disminuir el grado de saturación del suelo como una medida para mejorar la resistencia mecánica de las arenas saturadas licuables. Por esta razón, se han propuesto y probado varias metodologías para introducir burbujas de gas en el suelo. Además, es bien sabido que la disminución del grado de saturación del suelo, al inducir una pequeña cantidad de aire, restringe el desarrollo de exceso de presión de poros y aumenta significativamente su resistencia cíclica.

Método: Se proporciona una visión general de la tecnología de inyección de aire para inducir un grado de saturación parcial, mediante la selección de algunos artículos de alta calidad y la revisión literaria sistemática. Asimismo, se desarrolla un modelo de flujo multifásico y se lleva a cabo un análisis numérico para describir la evolución, en el tiempo y en el espacio, de la desaturación del suelo, para lo cual se investiga numéricamente la longitud del avance del frente de aire durante la inyección.

Resultados: Se reconoce hacia dónde se dirige la investigación futura relacionada con la inyección de aire, como medida de mejoramiento de suelos arenosos licuables. Además, se entrega un estudio paramétrico transitorio evaluando la permeabilidad del suelo, inyectabilidad de aire, presiones de inyección, y radio de desaturación de la región de interés.

Conclusiones: El trabajo destaca hallazgos e identifica enfoques de investigadores, mediante observaciones, para lo cual se reconocen limitaciones y lagunas de conocimiento. Finalmente, los resultados numéricos indican que la evolución de la desaturación está controlada activamente por la presión de inyección de aire y la permeabilidad del suelo.

Palabras clave: desaturación de suelo, licuefacción, mejoramiento de suelos.

¹Ingeniero Civil, magíster en Ingeniería (c), Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Contacto: sebastian.sepulveda@udea.edu.co

²Ingeniero civil, magíster en Ingeniería, PhD. Profesor asociado, Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Contacto: carlosa.vega@udea.edu.co

³Ingeniero civil, magíster en Ingeniería, PhD. Profesor titular, Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Contacto: edwin.garcia@udea.edu.co

Abstract

Context: In recent years, the scientific community has discussed the possibility and effectiveness of decreasing the degree of soil saturation as a measure to improve the mechanical resistance of liquefiable saturated sands. For this reason, several methodologies have been proposed and tested to introduce gas bubbles into the soil. Furthermore, it is well known that decreasing the degree of soil saturation by inducing a small amount of air restricts the development of excess pore pressure and significantly increases the cyclic resistance of the soil.

Methodology: An overview of air injection technology to induce a degree of partial saturation is provided by selecting high quality articles through a systematic literature review. In addition, a multiphase flow model is developed and a numerical analysis is carried out to describe the evolution, in time and space, of the desaturation of the soil, investigating numerically the length of the air front advance during injection.

Results: It is recognized where future research related to air injection as a measure of liquefiable sandy soil improvement is moving. In addition, a parametric transient study is provided evaluating soil permeability, air injectivity, injection pressures, and desaturation rate of the region of interest.

Conclusions: The study highlights findings and identifies researcher approaches, making observations, recognizing limitations and knowledge gaps. Finally, the numerical results obtained indicate that the evolution of desaturation is actively controlled by air injection pressure and soil permeability.

Keywords: liquefaction, soil improvement, soil desaturation.

Tabla de Contenidos

	Página
INTRODUCCIÓN	142
EFFECTO DEL GAS EN LA RESISTENCIA A LA LICUEFACCIÓN	142
INYECCIÓN DE AIRE PARA INDUCIR GRADO DE SATURACIÓN	143
Implementación <i>in situ</i>	143
Longevidad del efecto de inyección de aire	145
Evaluación de área desaturada y radio de influencia	146
Presión de inyección	146
Experimentación	147
Modelación numérica	148
MODELO MATEMÁTICO	149
ANÁLISIS Y MODELACIÓN DE INYECCIÓN DE GAS EN MATERIAL SATURADO	151
Validación del modelo propuesto	151

Análisis paramétrico de inyección de aire	153
CONCLUSIONES	156
REFERENCIAS	157

INTRODUCCIÓN

La mayoría de las técnicas de mejoramiento de suelos susceptibles a licuefacción requieren un gran gasto energético debido a los procesos de producción y de construcción *in situ*. Existe una clara necesidad de desarrollar técnicas de mitigación de licuefacción rentables y aplicables sobre estructuras nuevas y existentes (Gallagher, Pamuk y Abdoun, 2007), por lo que científicos plantean la inducción parcial del grado de saturación como una de ellas (Okamura, Ishihara y Tamura, 2003). Este proceso radica en la introducción de burbujas de gas en el suelo, que provocan una disminución del módulo volumétrico y un aumento de la compresibilidad de la mezcla aire y agua dentro de los poros, de modo que cuando el suelo está sujeto a cargas cíclicas, el gas absorbe el exceso de presión de poros reduciendo su volumen (Okamura y Soga, 2006), lo que resulta en un aumento de la resistencia a la licuefacción. Algunos métodos propuestos para generar burbujas son la inyección de aire (Ishihara, Okamura y Oshita, 2003), la electrólisis del agua (Yegian, Eseller-Bayat, Alshawabkeh y Ali, 2007), las reacciones químicas (Eseller-bayat, Yegian y Alshawabkeh, 2013) y los procesos microbiológicos (He, Chu e Ivanov, 2013), entre otros. Estos métodos son menos invasivos, rentables para áreas extensas y prácticos cuando el tratamiento puede afectar la capacidad admisible de los cimientos durante el procedimiento (Marasini y Okamura, 2015a).

En ese sentido, este documento tiene como propósito presentar una revisión bibliográfica sobre la desaturación de suelos licuables mediante el proceso de inyección de aire, enfatizando en los aspectos prácticos y consideraciones sobre la geotecnia de los suelos tratados. Además, se plantea una modelación numérica, considerando un flujo bifásico incompresible e isotérmico en medios porosos isotrópicos homogéneos con efectos capilares, para evaluar el efecto de la presión de inyección de aire y la permeabilidad del suelo sobre el radio de desaturación, mediante un análisis paramétrico a través del software FlexPDE, con su configuración gratuita (PDE Solutions Inc., 2005), que proporciona herramientas para la solución de ecuaciones diferenciales parciales.

EFFECTO DEL GAS EN LA RESISTENCIA A LA LICUEFACCIÓN

En los últimos años se ha estudiado la desaturación del suelo y su influencia en la susceptibilidad a la licuefacción (Tsukamoto, Kawabe, Matsumoto y Hagiwara, 2014). Algunos de los estudios más significativos que muestran el efecto de la desaturación del suelo en el incremento de su resistencia se describen a continuación: según pruebas cíclicas informadas por (Yang, Savidis y Roemer, 2004,

Tsukamoto *et al.*, 2002), y (Bouferra, Benseddiq y Shahrour, 2007), se define que la reducción en el grado de saturación puede resultar en un aumento significativo en la resistencia a la licuefacción. Por otro lado, (Ishihara, Huang y Tsuchiya, 1998) demuestran que la rigidez volumétrica de los fluidos varía con la inclusión de un pequeño volumen de gas, afectando la respuesta de la presión de poros, el valor del parámetro B de Skempton, la onda P y la resistencia cíclica. Sobre la respuesta en presión de poros, (Yang, Savidis, Sato y Li, 2003) muestran que una reducción de la saturación en un 1 %, implica una reducción en la proporción de exceso de presión de poros de 0,6 a 0,15 bajo excitación horizontal pura. Además, (Rad, Vianna y Berre, 1994) encontraron que la arena con gas no soluble es más resistente que la que contiene gas soluble; igualmente, el modelo definido por (Grozic, Nadim y Kvalstad, 2005) permite concluir que la resistencia al corte no drenado del suelo gaseoso aumenta con una reducción en el grado de saturación.

Asimismo, (Grozic, Robertson y Morgenstern, 1999) indican que, bajo compresión no drenada, la arena suelta muestra una transición del ablandamiento al endurecimiento por deformación para grados de saturación menores a 90 %. Por otra parte, sobre pruebas cíclicas con un grado de saturación del 75 % al 99 %, el gas aumenta la resistencia cíclica del 200 % al 300 %. La Figura 1 muestra una recopilación de datos experimentales tomados de varias fuentes literarias donde se muestra el aumento de la relación de resistencia a la licuefacción a medida que disminuye el grado de saturación (S_w), presentando diferentes variaciones de acuerdo con el tipo de suelo ensayado, lo que indica la incidencia de otros factores sobre la respuesta de las arenas ante cargas dinámicas.

En la Figura 1 se unificaron algunos tipos de suelo y se definieron las líneas de regresión para arena de Urayasu (línea verde / $R^2=0,87$), arena de Toyoura (líneas negras / $R^2=0,95-0,99$), arena de Niigata (línea roja / $R^2=1,00$) y arena Inagi (líneas azules / $R^2=0,55$ y $0,92$). Los resultados obtenidos indican que se explica alguna porción de la variabilidad de los datos en respuesta a sus valores medios. Se observa que los datos con mayor dispersión respecto de su media, ordenados de mayor a menor, son los asociados a la Arenas Inagi, Urayasu, Toyoura y Niigata, respectivamente. Además, se logra percibir que la saturación de la fase líquida se asocia fuertemente en un sentido inverso con la relación de resistencia a la licuefacción.

INYECCIÓN DE AIRE PARA INDUCIR GRADO DE SATURACIÓN

Implementación *in situ*

Algunos autores como (Okamura *et al.*, 2011, Okamura y Tomida, 2015), y (Tomida, 2014) han implementado esta técnica para mejorar la resistencia a la licuefacción de arenas. En las pruebas *in situ* presentadas por (Okamura *et al.*, 2011), el flujo de aire se aplica desde el inyector a un estrato licuable hasta alcanzar una extensión de desaturación parcial de 4 m medidos horizontalmente con respecto al inyector, de lo que se obtiene una variación del grado de saturación (S_w) entre 68 % y 98 %. Poste-

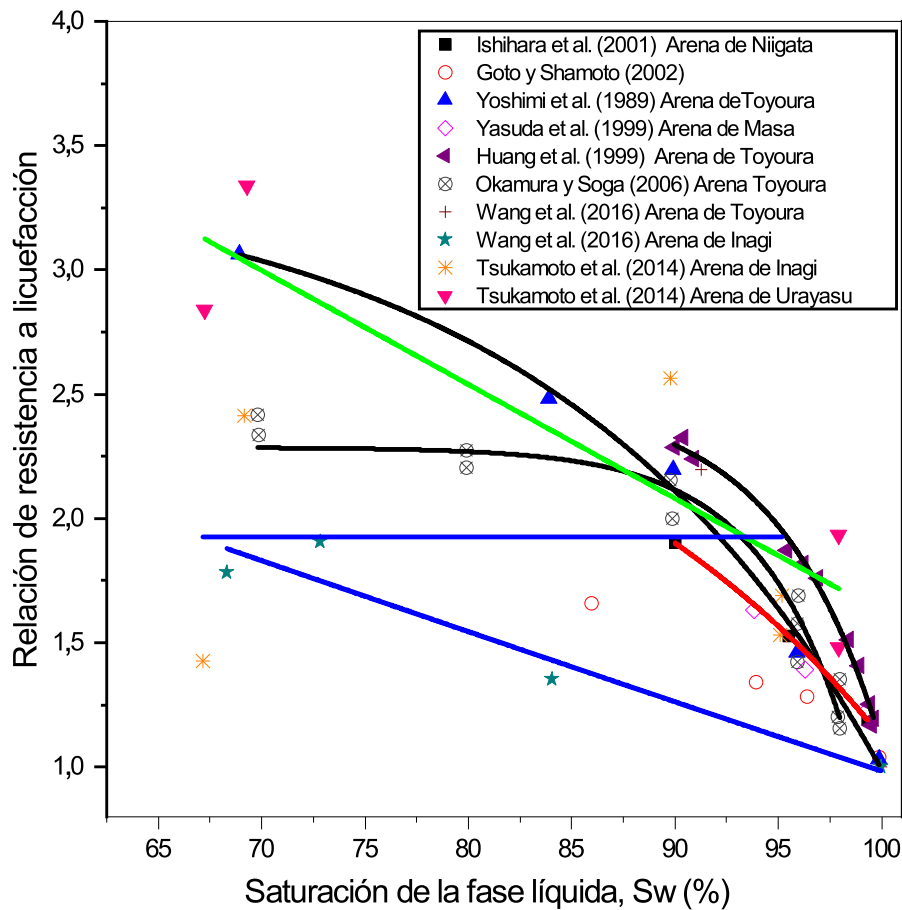


Figura 1. Relación entre S_w y la relación de resistencia a la licuefacción definida por el criterio de deformación axial de doble amplitud del 5% después de 20 ciclos de carga (DA = 5%)

Fuente: elaboración propia.

riormente, los autores realizaron las pruebas cíclicas cuyos resultados indicaron que la resistencia a la licuefacción se duplica. Los mismos autores mencionan que los materiales utilizados son de fácil adquisición, sin necesidad de ningún equipo especializado para su diseño e implementación.

La técnica de desaturación in situ consiste en la inserción de una tubería en los estratos de suelos licuables por donde es inyectado el aire a presión, como se muestra en la Figura 2. Entre las ventajas de este método se destaca la poca perturbación para las operaciones de superficie, la eficiencia, el corto tiempo de ejecución, el bajo costo, la aplicabilidad en zonas de difícil acceso y la posibilidad de integración con otras tecnologías para aumentar la eficiencia; igualmente, no implica la extracción, el tratamiento, el almacenamiento o la liberación de agua subterránea. Información extrapolable de

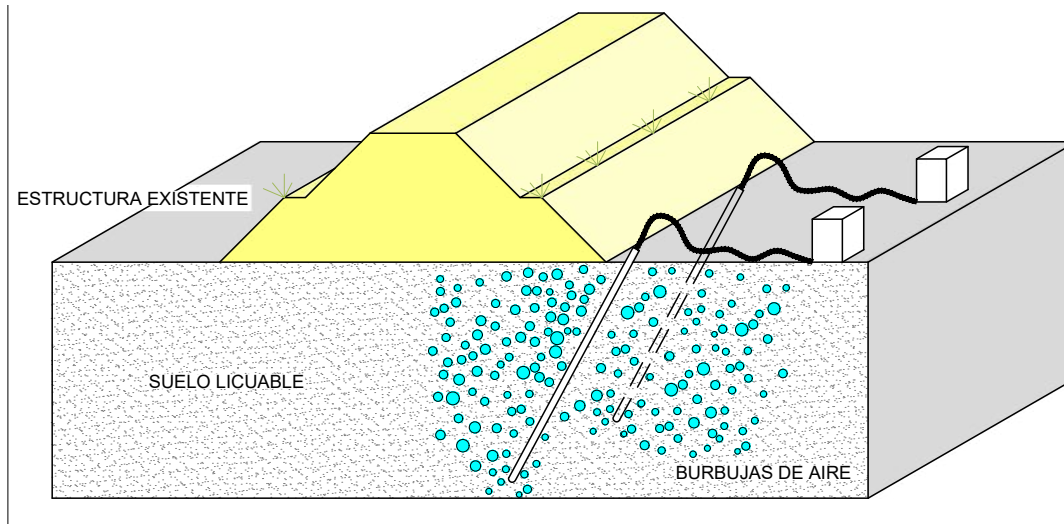


Figura 2. Desaturación por inyección de aire

Fuente: modificada de (Okamura y Teraoka, 2005b).

la técnica de volatilización in situ, sobre las especificaciones y operación que puede llegar a fortalecer los desarrollos de la inducción parcial del grado de saturación mediante inyección de aire, se encuentra en (US EPA, 1992, Wisconsin DNR, 1995, Holbrook *et al.*, 1998).

Longevidad del efecto de inyección de aire

El área desaturada y el radio de influencia se han estudiado mediante pruebas centrífugas: un ejemplo de esto es el trabajo de (Okamura y Tamura, 2004) donde investigan zonas que fueron desaturadas anteriormente (4, 8 y 26 años atrás). Las pruebas de laboratorio demostraron que para la zona mejorada hace 26 años todavía existían burbujas de aire; además, ninguna de las muestras de las zonas tenía más del 90 % de S_w . En un estudio similar, (Okamura y Teraoka, 2005a) observaron aumentos del 10 % para S_w , lo que indica longevidad de las burbujas inyectadas, por lo que generar grados de saturación por debajo del 90 % produce condiciones de desaturación duraderas. Estudios reconocen que la longevidad del aire dentro del suelo típicamente es mayor a los diez años (Okamura, Ishihara y Tamura, 2006, Okamura *et al.*, 2009, Vega, Ramos y García, 2017). (Zeybek y Madabhushi, 2017c) estudiaron la durabilidad de las burbujas en condiciones hidrostáticas, a baja y alta presión de poros, flujo vertical ascendente y descendente, presión de poros variable y agitación lateral. Su estudio revela que el volumen de burbujas ocluidas arrastradas por el flujo de agua a través de la matriz del suelo es mínimo y que la mayoría de las burbujas permanecen atrapadas en los poros del suelo. Los resultados incluso respaldan los mostrados por (Eseller-bayat, Yegian y Alshawabkeh, 2013).

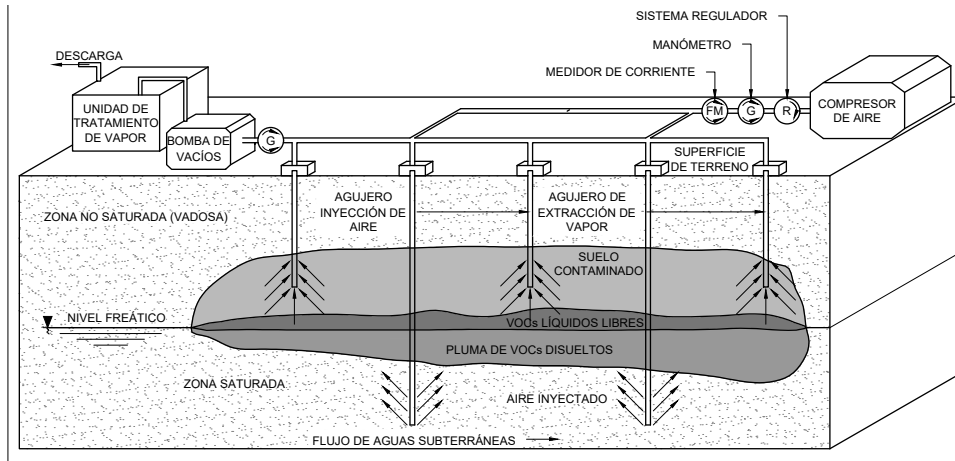


Figura 3. Esquema de sistema de volatilización de solventes

Fuente: modificado de (US EPA, 1992).

Evaluación de área desaturada y radio de influencia

Para medir el radio de influencia de la inyección de aire, (Ishihara, Okamura y Oshita, 2003) ejecutaron una prueba centrífuga en un ensamblaje donde el aire se inyecta verticalmente a un modelo de suelo saturado, y encontraron que el diámetro de la región desaturada es de 5,0 m para una inyección de 95 kPa. (Tomida, 2014) realizó pruebas similares a un terraplén con una presión de inyección de 80 kPa y descubre que el radio de desaturación aumenta con la presión y el tiempo de inyección, y se extiende a 9 m en 18 horas. Por otro lado, al comparar el método de desaturación con el método de pilas de arena compactada con distribución espacial típica menor a 2,5 m y presiones de inyección de 500 kPa, se reconoce que las pilas son conservadoras, ya que el suelo no solo se rigidiza sino que también es desaturado durante la inyección de compactación (Ishihara, Okamura y Oshita, 2003). Igualmente, el método de volatilización también se ha usado en suelos con presencia de contaminantes, y el trabajo de (Lundegard y LaBrecque, 1995) muestra métodos de medición del radio de influencia del suelo desaturado *in situ*. Se resalta que la medición precisa del radio de influencia permite un funcionamiento adecuado del sistema (Reddy y Adams, 2001). Un esquema típico del equipo de campo para volatilización de solventes se presenta en la Figura 3.

Presión de inyección

Según (Marulanda Culligan y Germaine, 2000), la presión de inyección debe ser mayor que la suma de la presión asociada a la cabeza de agua y las presiones capilares en el punto de inyección, y no debe exceder los esfuerzos efectivos en dicho punto para evitar fallas y agrietamiento del material. Experimentalmente, la presión de inyección a la que el suelo comienza a agrietarse equivale al 80 %

de los esfuerzos efectivos más la presión debida a la cabeza de agua en el punto de inyección (Okamura *et al.*, 2011). (Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008) encontraron que a mayor presión de inyección más amplia y uniforme es la desaturación del suelo, algo consistente con el trabajo de (Zeybek y Madabhushi, 2018). Por otro lado, (Zeybek y Madabhushi, 2017b) demostraron que la generación de un asentamiento excesivo de los suelos durante el proceso de inyección se da por presión de inyección excesiva que altera la estructura del suelo y causa grietas y fisuras, particularmente cerca del punto de inyección. Se reconoce que, aunque el aumento en la presión de inyección se considera una forma rápida y eficiente de desaturar y, en efecto, aumentar la resistencia a la licuefacción, esto debe abordarse en detalle, particularmente en el caso de la inyección bajo fundaciones superficiales.

(Ogata y Okamura, 2006) sugieren que la presión de inyección teórica máxima por encima de la cual el esqueleto del suelo se altera es $(P_{inj})_{max} = P_{hyd} + 0,5\sigma'_v$, donde $(P_{inj})_{max}$, P_{hyd} y σ'_v son la presión máxima de inyección, la presión hidrostática y el esfuerzo vertical efectivo en el punto de inyección, respectivamente. Además, (Zeybek y Madabhushi, 2017b) muestran que los asentamientos inducidos por la inyección son inevitables, independientemente de la presión de inyección. Sin embargo, según las observaciones, (Zeybek y Madabhushi, 2018) sugieren que la magnitud de los asentamientos puede reducirse significativamente si: a) se controla la respuesta de la fundación aumentando la presión gradualmente; b) la presión de inyección neta aplicada $(P_{inj})_{net}$, está dada por $(P_{inj})_{net} = (P_{inj})_{max} - (P_{inj})_{min}$ y es inferior al 10% de σ'_v . Sin embargo, una presión de aire baja se convierte en un desafío para alcanzar áreas de desaturación uniformemente distribuidas y las burbujas de aire podrían tomar rutas de flujo preferenciales (Reddy, Kosgi y Zhou, 1995).

Experimentación

De acuerdo con los resultados obtenidos de ensayos realizados en mesa vibratoria (Camp, Camp y Andrus, 2010, Kohno y Nishigaki, 1982), centrífuga (Zeybek y Madabhushi, 2017b) y en campo (Okamura *et al.*, 2011), es posible demostrar que el área de influencia y distribución del S_w se ve afectada por el tipo de suelo, la estratificación, la presión y la profundidad de inyección (Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008). Por otro lado, en el trabajo presentado por (Zeybek y Madabhushi, 2017a), se observa que el S_w también se ve influenciado por la ocurrencia de cargas cíclicas, presentando un aumento de 0,64 % y 0,41 % para aceleraciones altas y bajas, respectivamente; información complementaria se encuentra en (Marasini y Okamura, 2015b). (Ishihara, Okamura y Oshita, 2003) desarrollaron pruebas de cortante cíclico no drenado en muestras con S_w entre 68,8 % y 92,6 %, indicando que la relación de esfuerzos para el suelo desaturado dobla la condición saturada. Resultados similares se pueden observar en (Okamura *et al.*, 2009, Okamura, Ishihara y Tamura, 2006, Okamura, Ishihara y Tamura, 2003), y (Okamura *et al.*, 2011). Particularmente, Okamura, (Ishihara, Okamura y Oshita, 2003) dejan claro que la resistencia al cortante cíclico de arena suelta puede mejorarse, pero el comportamiento de la deformación no cambia ya que la fase sólida permanece en una condición suelta. En otro orden de

ideas, (Okamura *et al.*, 2009) muestran que la resistencia a la licuefacción es proporcional a la succión matricial, siendo una relación creciente mayor que la del esfuerzo neto, y (Zeybek y Madabhushi, 2018) observan que la desaturación es menos consistente a profundidades con esfuerzos de confinamiento bajos y que la presencia de burbujas de aire minimizan la profundidad de licuefacción.

(Zeybek y Madabhushi, 2017a, Zeybek y Madabhushi, 2017b) estudiaron la deformación del suelo desaturado con y sin cimentaciones superficiales y después de cargas dinámicas, obteniendo una reducción del asentamiento postsísmico (reconsolidación) y de las deformaciones desviadoras al disminuir el grado de saturación; esto llevó al incremento de la capacidad de carga posterior a la sacudida, pero intensificando las aceleraciones transferidas a la fundación. Así mismo, (Marasini y Okamura, 2015a) analizaron un suelo con S_w entre 100 % y 85 % portante de cimientos poco profundos, lo que resulta en que la desaturación limita el asentamiento de la fundación (un 70 % y 50 % en los modelos de carga liviana y pesada, respectivamente) y la generación de exceso de presión de poros (un 50 % y 70 % menos que el saturado), evitando la licuefacción. Igualmente, (Okamura y Teraoka, 2005a) establecen que después de la prueba cíclica, el asentamiento para el suelo desaturado equivale a aproximadamente la sexta parte del obtenido para el suelo saturado. Un análisis similar con y sin cimentación es presentado por (Takemura *et al.*, 2009) y complementado por (Okamura y Teraoka, 2005a), lo que muestra que la inyección de aire tiene efectos significativos en la resistencia a la licuefacción para profundidades superiores a 2,0 m.

Modelación numérica

En algunos de los trabajos realizados para modelar la desaturación de suelos por el método de desaturación, se destaca la utilización del simulador de flujo multifásico TOUGH2 (Pruess, 1991), con el cual se ha logrado replicar la desaturación para diferentes presiones de inyección en el tiempo y espacio, obteniendo una concordancia entre mediciones experimentales y numéricas (Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008). (Okamura *et al.*, 2011) muestran que las predicciones de desaturación son coherentes con imágenes por tomografía y con muestras de laboratorio. Por otro lado, (Mitsuji, 2008) predice la respuesta dinámica con un análisis de esfuerzo efectivo, indicando que la velocidad, los desplazamientos y la deformación por cortante disminuyen debido a la desaturación. Así mismo, (Gao, Liu y Yu, 2013) estudian la evolución del exceso de presión de poros durante una desaturación variable. Estudios similares llevados a cabo por (Yashima, Oka, Taguchi y Tateishi, 1995) abordan el terremoto de Hyogoken Nambu de 1995 en Port Island (Kobe, Japón), calculando y replicando el exceso de presión de poros y la aceleración como respuestas a cargas dinámicas.

Por otro lado, (Marasini y Okamura, 2015b) utilizan el modelo LIQCA 2D propuesto por (Oka *et al.*, 1999) y (Oka *et al.*, 1994), donde se simula el módulo volumétrico del fluido para un $S_w = 85 %$, replicando el exceso de presiones de poros, el asentamiento estructural y deformación de los suelos de fundación observados en pruebas de centrifuga. (Takemura *et al.*, 2009) muestran que la resisten-

cia a la licuefacción para predicción y experimento, con $S_w = 80\%$, es aproximadamente 2,5 veces la de la saturación total. (McCray, 2000) presenta el estado del arte de los modelos matemáticos de volatilización de solventes, e indica que los resultados están ligados a una debida calibración; además, resalta que dichos modelos pueden adaptarse a las necesidades de la técnica de desaturación. Es de mencionar que la infiltración de aire, la desaturación y la deformación son procesos concurrentes que deben predecirse rigurosamente. En este sentido, trabajos como el de (Ramos, 2015), desde metodologías de estado crítico, o el de (Ramos, Prada y Vega, 2016), que evalúan esfuerzos y deformaciones en suelos granulares de manera rigurosa, son valiosos.

MODELO MATEMÁTICO

La formulación matemática presentada por (Pinder y Gray, 2008), que se basa en el trabajo realizado por (Darcy, 1983), se propone en este trabajo. Considerando el flujo bifásico en un medio poroso, las Ecuaciones (1) y (2) de balance para las fases no humectante, subíndice $i = nw$, y humectante, subíndice $i = w$, son como sigue:

$$\theta \frac{\partial S_w}{\partial t} + \nabla \cdot \left[- \frac{k_{int} k_{r,w}}{\mu_w} (\nabla p_w + \rho_w g \nabla D) \right] = 0 \quad (1)$$

$$\theta \frac{\partial S_{nw}}{\partial t} + \nabla \cdot \left[- \frac{k_{int} k_{r,nw}}{\mu_{nw}} (\nabla p_{nw} + \rho_{nw} g \nabla D) \right] = 0 \quad (2)$$

Donde: θ es la porosidad total; S_i es el grado de saturación del fluido i (w =agua, nw =aire); t es tiempo; k_{int} es permeabilidad intrínseca del material (m^2); $k_{r,i}$ es la permeabilidad relativa asociada al fluido i ; μ_i es la viscosidad dinámica del fluido i (Pa s); p_i es la presión del fluido i (Pa); ρ_i es la densidad del fluido i (kg/m^3); g es la aceleración de la gravedad; y D es la coordenada de la elevación vertical (m). La saturación de las fases se puede expresar mediante la Ecuación (3):

$$S_w + S_{nw} = 1 \quad (3)$$

La presión capilar a escala macro (p_c) se puede definir como la Ecuación (4):

$$p_c = p_{nw} - p_w \quad (4)$$

Las expresiones anteriores simplifican las Ecuaciones (1) y (2), eliminando dos incógnitas, y la ecuación de conservación de masa del fluido en los poros solo depende de p_{nw} y S_{nw} . Dado que la presión capilar se rige por S_w , el término capilar, ∇p_c , se puede expresar como la Ecuación (5):

$$\nabla p_c = \frac{\partial p_c}{\partial S_w} \nabla S_w \quad (5)$$

Sustituyendo las Ecuaciones (3), (4) y (5) en la Ecuación (1) y agregando la Ecuación (2), el sistema de conservación de la masa se escribe en forma de presión saturación y se expresa en las Ecuaciones (6) y (7), respectivamente, como:

$$\left[-\frac{k_{int}k_{r,w}}{\mu_w}(\nabla p_{nw} + \rho_w g \nabla D - \frac{\partial p_c}{\partial S_w} \nabla S_w) - \frac{k_{int}k_{r,nw}}{\mu_{nw}}(\nabla p_{nw} + \rho_{nw} g \nabla D) \right] = 0 \quad (6)$$

$$\theta \frac{\partial S_{nw}}{\partial t} + \nabla \cdot \left[-\frac{k_{int}k_{r,nw}}{\mu_{nw}}(\nabla p_{nw} + \rho_{nw} g \nabla D) \right] = 0 \quad (7)$$

A partir de las propiedades hidráulicas de los suelos no saturados, el grado efectivo de saturación de la fase w viene dado por la Ecuación (8):

$$S_{w,eff} = \left(\frac{S_w - S_{min}}{S_{max} - S_{min}} \right) \quad (8)$$

Donde: S_{max} y S_{min} son los valores límite máximos y mínimos de la fase líquida (S_w), respectivamente. La permeabilidad relativa de las fases de agua y aire viene dada por las Ecuaciones (9) y (10), respectivamente:

$$k_{r,w} = S_{w,eff}^a \left[1 - \left(1 - (S_{w,eff})^{1/m} \right)^m \right]^2 \quad (9)$$

$$k_{r,nw} = (1 - S_{w,eff})^b \left(1 - (S_{w,eff})^{1/m} \right)^{2m} \quad (10)$$

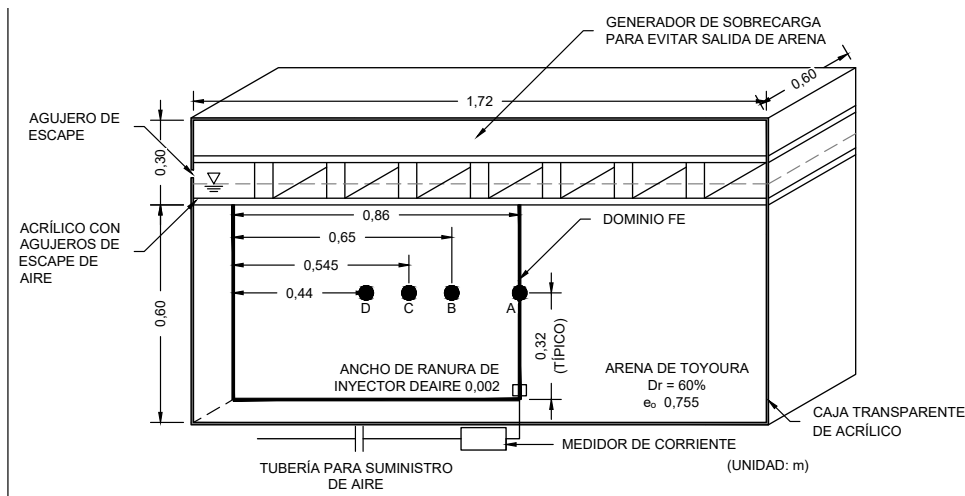


Figura 4. Esquema caja acrílica transparente. Los valores de S_w se miden en los lugares A, B, C y D

Fuente: modificado de (Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008)

Donde: a y b son los parámetros de forma y m un parámetro de material. Ahora, la expresión para la curva característica suelo y agua viene dada por la Ecuación (11) (Van Genuchten, 1980):

$$p_c = \frac{1}{\alpha} \left(S_{w,eff}^{-1/m} - 1 \right)^{1-m} \quad (11)$$

Donde: n es un parámetro de material que cumple la expresión $m = 1 - (1/n)$, y α es el inverso del valor de entrada de aire, el cual forma parte del modelo de (Van Genuchten, 1980). Derivando la Ecuación (11), el término capilar en la Ecuación (6) se expresa como la Ecuación (12) (equivalente al trabajo de (Horgue *et al.*, 2015)):

$$\frac{\partial p_c}{\partial S_w} = -\frac{1-m}{\alpha m} \left((S_{w,eff})^{-1/m} - 1 \right)^{-m} (S_{w,eff})^{-\frac{1+m}{m}} \quad (12)$$

ANÁLISIS Y MODELACIÓN DE INYECCIÓN DE GAS EN MATERIAL SATURADO

Validación del modelo propuesto

(Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008) desaturaron por inyección de aire una columna de suelo completamente saturada, y realizaron la validación por medio de un análisis numérico. Las condiciones experimentales fueron: flujo de agua y aire en la parte superior de la caja, presión hidrostática inicial para fase húmeda, y flujo de aire a través de un inyector en la parte central inferior de la caja. La Figura 4 muestra un esquema del montaje utilizado por los autores.

Los resultados de (Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008) se utilizan para validar la formulación matemática y el análisis numérico propuesto en el presente trabajo. Los parámetros del suelo, las presiones de inyección y las condiciones iniciales y de frontera utilizadas por (Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008) son presentados en la tabla I y en la Figura 4, respectivamente.

La Figura 5 muestra la comparación de los resultados experimentales y numéricos de (Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008) con el análisis numérico de desaturación propuesto en este trabajo. La Figura 5a ilustra discrepancias entre los resultados experimentales en (Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008) y las predicciones con el enfoque propuesto en este trabajo. Estas discrepancias se atribuyen directamente a inconsistencias experimentales y problemas de calibración de sensores que se obtuvieron en el experimento de (Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008) y en menor medida podrían también deberse a irregularidades entre permeabilidades reales y medidas, y la curva característica.

De igual manera, (Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008) al respecto de sus resultados, expresan que los flujos predichos subestiman las mediciones experimentales, sin embargo, cuanto mayor es la presión de inyección, menor es la discrepancia. Además, las predicciones indican que el aire llega a la ubicación D, lo cual no es congruente con las mediciones experimentales. Sin embargo, para otras

ubicaciones A, B y C, y para tiempos mayores, las predicciones se acercan a las reales a medida que aumentan las presiones de aire. Por otro lado, se piensa de igual manera que las características de drenaje del suelo pudieron no replicarse teóricamente, por circunstancias asociadas a los experimentos de retención de agua. En otras palabras, (Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008) mencionan que las propiedades como permeabilidad intrínseca y relativa, y características de drenaje del suelo deben examinarse con rigurosidad, antes de realizar predicciones del fenómeno.

La Figura 5b muestra un comparativo entre las predicciones de (Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008) y las predicciones con el enfoque propuesto en este trabajo. Se resalta que la Figura 5 se presenta hasta los 6000 s, esto se debe a que los experimentos planteados por (Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008) se efectuaron hasta dicho periodo. Además, el grado de saturación residual al final del experimento es de aproximadamente el 86 %.

Por otro lado, para las predicciones del presente estudio se percibe que para los puntos B, C y D se alcanza un grado de saturación a los 6000 s similar al del estudio de (Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008), pero para el punto D se nota que en el proceso de saturación hay un grado de saturación a los 6000 s menor que el determinado en el experimento de (Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008). Sin embargo, al final de la predicción se percibe que la cantidad de aire atrapado, después de que se detiene la inyección de aire, es independiente de la presión de inyección y está estrechamente ligado al campo gravitacional. Esta Figura muestra una similitud entre los resultados obtenidos por las dos metodologías. Sin embargo, se observa un retraso de tiempo del S_w en A, B, C y D, de los resultados

Tabla I. Parámetros de material e hidráulicos utilizados para predicciones

Variable	Magnitud	Descripción
ρ_w	1000 kg/m ³	Densidad de fluido, fase húmeda
μ_w	1 × 10 ⁻³ Pa s	Viscosidad dinámica, fase húmeda
ρ_{nw}	1,28 kg/m ³	Densidad de fluido, fase no húmeda
μ_{nw}	1,81 × 10 ⁻⁵ Pa s	Viscosidad dinámica, fase no húmeda
θ	0,421	Porosidad
S_{max}	1,0	Máximo grado de saturación, fase de húmeda
α	2,237 × 10 ⁻⁴ 1/Pa	Parámetro α de Van Genuchten
n	8,696	Parámetro material n Van Genuchten
a	0,50	Parámetro de forma, fase húmeda
b	0,33	Parámetro de forma, fase no húmeda
k_{int}	2,04 × 10 ⁻¹¹ m ²	Permeabilidad intrínseca

Fuente: elaboración propia.

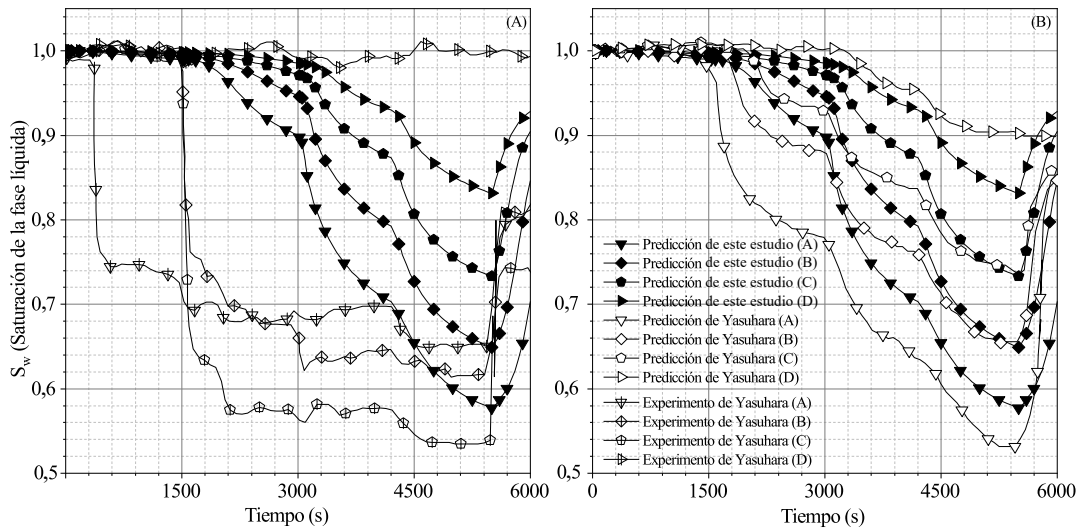


Figura 5. Comparación entre el presente trabajo y predicciones de (Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008) para S_w
Fuente: elaboración propia.

de (Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008), explicado por las diferencias entre las metodologías de los modelos numéricos y las funciones de permeabilidad relativa.

Al comparar ambas simulaciones numéricas se observan las siguientes tendencias: 1) S_w inicialmente disminuye cerca del inyector y progresivamente alrededor, debido a las fuerzas boyantes y los gradientes inducidos; 2) hay tendencia similar en desaturación, así como un valor mínimo equivalente de S_w al final de la inyección en $t = 5500$ s, y 3) después de $t = 5500$ s, el S_w aumenta debido al apagado del inyector; no obstante, el aire permanece en el dominio, implicando valores de S_w cercanos a 0,9 en $t = 6000$ s. Por tanto, a partir de las simulaciones, se observa que el flujo bifásico implementado en el modelo de elementos finitos propuesto captura las tendencias generales de la predicción y del experimento mostradas por (Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008).

Análisis paramétrico de inyección de aire

Se realiza un estudio paramétrico para evaluar la influencia de la permeabilidad intrínseca y las presiones de inyección en el avance de aire dentro del suelo. Se seleccionaron tres tipos de suelo, cuyos parámetros hidráulicos se presentan en la tabla II, obtenidos de (Lu, y Likos, 2004). Estos parámetros son considerados representativos de arenas y arenas limosas, siendo sometidos a presiones de inyección de aire que varían de 75 a 85 kPa. En el presente análisis, la presión de inyección máxima de modo que el esqueleto del suelo se altere poco durante la inyección de aire, es equivalente a 87 kPa (para un inyector ubicado a 6,0 m bajo la superficie y un suelo con $\gamma = 19,0$ kN/m³) según lo sugerido por (Ogata y Okamura, 2006).

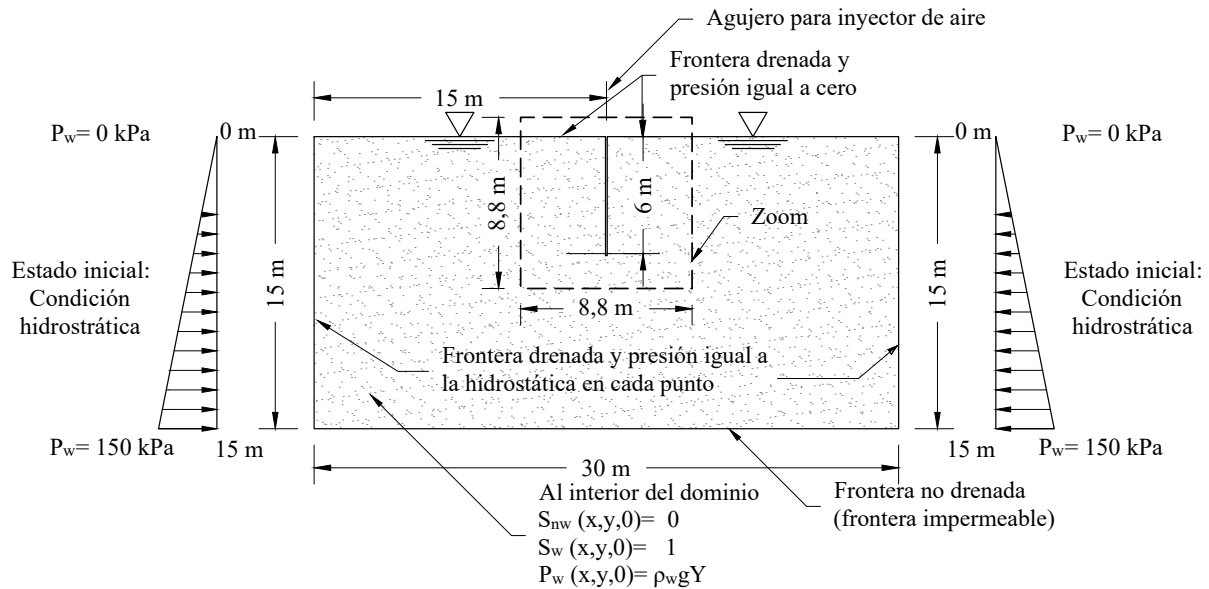


Figura 6. Modelo usado para el análisis paramétrico

Fuente: elaboración propia.

El modelo utilizado consiste en un suelo homogéneo con dimensiones de 30 m de ancho y 15 m de profundidad (Figura 6). Para la fase gaseosa, se asigna una condición de impermeabilidad al fondo, y se permite flujo de gas en el resto de fronteras, así como en el punto donde se encuentra el inyector a 6,0 m de profundidad. Las simulaciones inician desde una condición saturada y la fase gaseosa fluye cuando la presión generada en el inyector supera la presión hidrostática.

Tabla II. Parámetros utilizados para el grupo de simulaciones

Suelo	$\alpha(1/kPa)$	n	$k_{int}(m^2)$
1	0,07	2,0	$5,55 \times 10^{-12}$
2	0,10	4,0	$1,00 \times 10^{-11}$
3	0,12	6,0	$5,55 \times 10^{-11}$

Nota: $a = 3,0$; $b = 0,33$; $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$; $\mu_w = 1 \times 10^{-3} \text{ Pa}$; $\rho_{nw} = 1,28 \text{ kg/m}^3$; $\mu_{nw} = 1,81 \times 10^{-5} \text{ Pa}$; $\theta = 0,34$, $S_{w,max} = 1,0$ y $S_{w,min} = 0,0$.

Datos de (Chen, Hopmans y Grismer, 1999).

Fuente: elaboración propia.

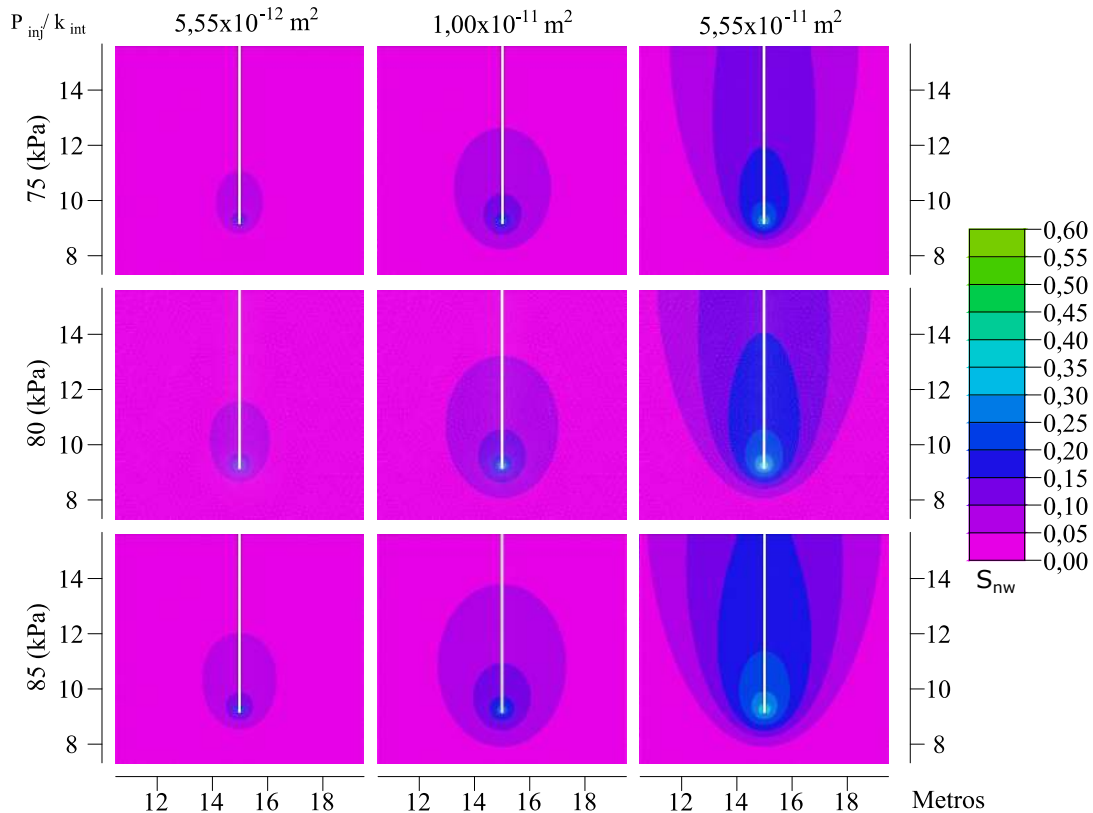


Figura 7. Isocontorno de S_{nw} en función de $P_{nw,inj}$ para $t = 1800$ s. Distancia en metros

Fuente: elaboración propia.

La Figura 7 presenta los isocontornos de la evolución de S_{nw} en $t = 1800$ s como función de la presión de inyección y la permeabilidad intrínseca. Se aclara que los isocontornos corresponden a un *zoom* fijo con forma cuadrada de 8,8 m de lado, ilustrado con líneas discontinuas en la Figura 6. El borde inferior izquierdo del *zoom* se encuentra en las coordenadas $x = 10,6$ m y $y = 7,2$ m. En la misma Figura se observa que, para una presión de inyección fija, cuanto más permeable es el suelo, mayor es la infiltración de la fase gaseosa. En consecuencia, para permeabilidades fijas e incrementos de presión de inyección de aire, se observa un aumento del avance del frente de desaturación, siendo en todos los casos, predominantemente vertical debido a las fuerzas gravitacionales.

Por otro lado, la predicción del impacto de la permeabilidad y la presión de inyección en el flujo de la fase gaseosa y el radio efectivo se muestra en la Figura 8. Se selecciona el valor de $S_{nw} = 0,1$ porque, como lo muestran (Chaney, 1978) y (Yoshimi, Tanaka y Tokimatsu, 1989), la susceptibilidad a la licuefacción de arenas completamente saturadas disminuye a la mitad cuando el grado de saturación del suelo se reduce en 10%. Debido a que el aire inyectado penetra y genera un radio efectivo desde el inyector, este definirá el patrón (triangular o cuadrado) y el espaciado de las perforaciones

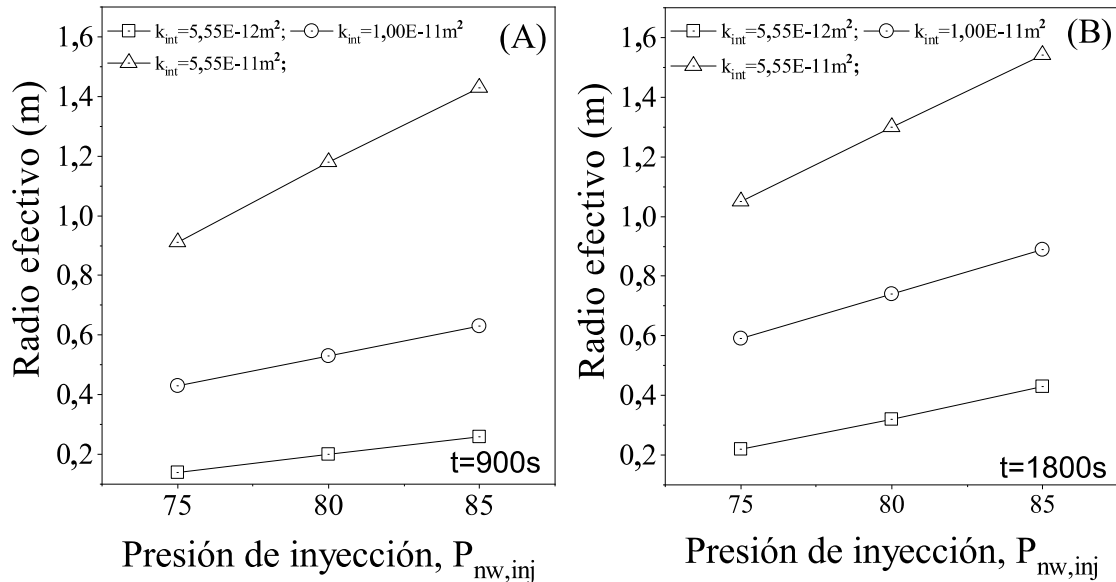


Figura 8. Radio efectivo para los suelos en la tabla II $S_{nw} = 0,1$ y $P_{nw,inj}$ de 70 a 85 kPa

Fuente: elaboración propia.

de inyección de aire que deben diseñarse en función de los requisitos del proyecto y la cobertura completa del área susceptible a licuefacción dentro de la profundidad a mejorar.

Las lecturas de las magnitudes del radio de desaturación de las Figuras 8A y 8B se tomaron en tiempos iguales a 900 s y 1800 s, respectivamente. Dichas Figuras presentan los valores de radio efectivo para los suelos de la tabla II, lo que indica que para todas las presiones el radio efectivo aumenta con el tiempo y el efecto es mayor a presiones de inyección más altas. Las Figuras también muestran que, para una misma presión de inyección, se observa un incremento del radio efectivo de desaturación a medida que se incrementa la permeabilidad intrínseca del suelo. Asimismo, cuando se comparan las Figuras 8A y 8B se ven resultados para iguales presiones más cercanos en el suelo menos permeable y más distantes en el suelo más permeable. En dichas Figuras se observa que para valores bajos de permeabilidades intrínsecas, el radio efectivo crece lentamente con incrementos en la presión de inyección; en cambio, para el suelo más permeable, el aumento en el radio efectivo es más pronunciado.

CONCLUSIONES

La inducción parcial del grado de saturación en suelos para la mitigación de la licuefacción sigue siendo una tecnología relativamente nueva que necesita ser estudiada. Se debe profundizar en la comprensión de los mecanismos del flujo en medios porosos, en busca de mejorar su implementación

en casos reales, ya que la mayor parte del trabajo de laboratorio realizado hasta el día de hoy incluye simplificaciones que pueden restringir la aplicabilidad de los resultados. De igual forma, como consecuencia de los pocos sistemas diseñados, operados y monitoreados en campo, no existen datos suficientes de rendimiento que permitirían reconocer con mayor certeza las ventajas y limitaciones de la técnica.

Por esto, es fundamental investigar sobre el control más preciso del grado de saturación generado en los suelos por procesos de inyección de aire, así como su distribución y extensión, la longevidad del efecto de desaturación y su rentabilidad respecto al área de ejecución.

Como resultado de este trabajo, se ha establecido una implementación para la predicción del flujo bifásico en el suelo a través de los criterios (estándares) de un flujo bifásico isotérmico, incompresible e inmiscible con impactos de succión matricial. Los resultados numéricos del modelo están en concordancia con los obtenidos por (Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008). Por otro lado, se muestran discrepancias significativas con respecto a las mediciones experimentales desarrolladas por los mismos autores.

De los modelos realizados se puede concluir que el grado de saturación de la fase húmeda disminuye, sobre todo, cerca del inyector y progresivamente hacia arriba, representando el avance del frente de gas. De igual forma, a medida que la presión de inyección de gas es mayor, el grado de saturación de la fase húmeda disminuye, lo que permite gradientes más altos para el flujo de gas. Por otra parte, se encontró que, para suelos con baja permeabilidad, el radio efectivo es relativamente pequeño para presiones bajas y altas de inyección; por el contrario, cuando la permeabilidad es mayor, se obtienen mayores variaciones del radio efectivo en el mismo instante de tiempo, causado principalmente por las fuerzas boyantes y los gradientes inducidos.

Por último, la magnitud de la extensión del frente de la fase gaseosa durante y después del proceso de inyección de aire está fuertemente controlada por la permeabilidad intrínseca y la presión de inyección, como lo indica el análisis paramétrico efectuado.

REFERENCIAS

- [Bouferra, Benseddiq y Shahrouf, 2007] Bouferra, R., Benseddiq, N. y Shahrouf, I. (2007). Saturation and preloading effects on the cyclic behavior of sand. *International Journal of Geomechanics*, 7(5), 396-401. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1532-3641\(2007\)7:5\(396\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1532-3641(2007)7:5(396)) ↑Ver página 143
- [Camp, Camp y Andrus, 2010] Camp, W. M., Camp, H. C. y Andrus, R. D. (2010). Liquefaction mitigation using air injection. En *International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*. Missouri University of Science and Technology. ↑Ver página 147

- [Chaney, 1978] Chaney, R. C. (1978). Saturation effects on the cyclic strength of sands. En *Volume I of Earthquake Engineering and Soil Dynamics—Proceedings of the ASCE Geotechnical Engineering Division Specialty Conference* (pp. 342-358). Junio 19-21. Pasadena, California: Geotechnical Engineering Division of ASCE. ↑Ver página 155
- [Chen, Hopmans y Grismer, 1999] Chen, J., Hopmans, J. y Grismer, M. (1999). Parameter estimation of two-fluid capillary pressure–saturation and permeability functions. *Advances in Water Resources*, 22(5), 479-493. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0309-1708\(98\)00025-6](https://doi.org/10.1016/S0309-1708(98)00025-6) ↑Ver página 154
- [Darcy, 1983] Darcy, H. (1983). Determination of the laws of flow of water through sand. En R. A. Freeze y W. Back (eds.), *Physical hydrogeology. Benchmark Papers in Geology* (vol. 72). Stroudsburg: Hutchinson Ross. ↑Ver página 149
- [Eseller-bayat, Yegian y Alshwabkeh, 2013] Eseller-bayat, E., Yegian, M. K. y Alshwabkeh, A. (2013). Liquefaction response of partially saturated sands. I : experimental results. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139(6), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000815](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000815). ↑Ver página 142, 145
- [Gallagher, Pamuk y Abdoun, 2007] Gallagher, P. M., Pamuk, A. y Abdoun, T. (2007). Stabilization of liquefiable soils using colloidal silica grout. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(1), 33-40. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2007\)19:1\(33\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:1(33)) ↑Ver página 142
- [Gao, Liu y Yu, 2013] Gao, Q., Liu, Z. y Yu, X. (2013). Computer simulations on the effects of desaturation on soil liquefaction resistance. En *IACGE*, 786-795. Reston, EE. UU.: American Society of Civil Engineers. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784413128.091> ↑Ver página 148
- [Grozic, Nadim y Kvalstad, 2005] Grozic, J. L. H., Nadim, F. y Kvalstad, T. J. (2005). On the undrained shear strength of gassy clays. *Computers and Geotechnics*, 32(7), 483-490. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2005.10.002> ↑Ver página 143
- [Grozic, Robertson y Morgenstern, 1999] Grozic, J. L., Robertson, P. K. y Morgenstern, N. R. (1999). The behavior of loose gassy sand. *Canadian Geotechnical Journal*, 36(3), 482-492. DOI: <https://doi.org/10.1139/t99-007> ↑Ver página 143
- [He, Chu e Ivanov, 2013] He, J., Chu, J. e Ivanov, V. (2013). Mitigation of liquefaction of saturated sand using biogas. *Géotechnique*, 63(4), 267-275. DOI: <https://doi.org/10.1680/geot.SIP13.P.004> ↑Ver página 142
- [Holbrook et al., 1998] Holbrook, T. B., Bass, D., Boersma, P., DiGiulio, D. C., Eisenbeis, J., Hutzler, N. J. y Roberts E. (1998). *Vapor extraction and air sparging design and application. wastech innovative site remediation technology series* (vol. 7). Annapolis, EE. UU. ↑Ver página 145

- [Horgue *et al.*, 2015] Horgue, P., Soulaire, C., Franc, J., Guibert, R. y Debenest, G. (2015). An open-source toolbox for multiphase flow in porous media. *Computer Physics Communications*, 187, 217-226. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cpc.2014.10.005> ↑Ver página 151
- [Ishihara, Huang y Tsuchiya, 1998] Ishihara, K., Huang, Y. y Tsuchiya, H. (1998). Liquefaction resistance of nearly saturated sand as correlated with longitudinal wave velocity. En J. F. Thimus *et al.* (eds.), *Poromechanics: a tribute to Maurice A. Biot* (pp. 583-586). Boca Ratón: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003078487-98> ↑Ver página 143
- [Ishihara, Okamura y Oshita, 2003] Ishihara, M., Okamura, M. y Oshita, T. (2003). Desaturating sand deposit by air injection for reducing liquefaction potential. En *Proc. Pacific Conference on Earthquake Engineering*. Tsukuba City, Japón. ↑Ver página 142, 146, 147
- [Kohno y Nishigaki, 1982] Kohno, I. y Nishigaki, M. (1982). Some aspects of laboratory permeability test. *Soils and Foundations*, 22(4), 181-190. DOI: https://doi.org/10.3208/sandf1972.22.4_181 ↑Ver página 147
- [Lu, y Likos, 2004] Lu, N. y Likos, W. J. (2004). *Unsaturated soil mechanics*. Hoboken, EE. UU.: Wiley. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=Rv1RAAAAMAAJ> ↑Ver página 153
- [Lundegard y LaBrecque, 1995] Lundegard, P. D. y LaBrecque, D. (1995). Air sparging in a sandy aquifer (Florence, Oregon, U.S.A.): actual and apparent radius of influence. *Journal of Contaminant Hydrology*, 19(1), 1-27. DOI: [https://doi.org/10.1016/0169-7722\(95\)00010-S](https://doi.org/10.1016/0169-7722(95)00010-S) ↑Ver página 146
- [Marasini y Okamura, 2015a] Marasini, N. P. y Okamura, M. (2015a). Air injection to mitigate liquefaction under light structures. *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics*, 15(3), 129-140. DOI: <https://doi.org/10.1680/jphmg.14.00005> ↑Ver página 142, 148
- [Marasini y Okamura, 2015b] Marasini, N. P. y Okamura, M. (2015b). Numerical simulation of centrifuge tests to evaluate the performance of desaturation by air injection on liquefiable foundation soil of light structures. *Soils and Foundations*, 55(6), 1388-1399. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2015.10.005> ↑Ver página 147, 148
- [Marulanda Culligan y Germaine, 2000] Marulanda, C., Culligan, P. J. y Germaine, J. T. (2000). Centrifuge modeling of air sparging - a study of air flow through saturated porous media. *Journal of Hazardous Materials*, 72(2-3), 179-215. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(99\)00140-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(99)00140-5) ↑Ver página 146
- [McCray, 2000] McCray, J. E. (2000). Mathematical modeling of air sparging for subsurface remediation: state of the art. *Journal of Hazardous Materials*, 72(2-3), 237-263. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(99\)00142-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(99)00142-9) ↑Ver página 149

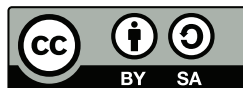
- [Mitsuji, 2008] Mitsuji, K. (2008). Numerical simulations for development of liquefaction countermeasures by use of partially saturated sand. En *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering October* (pp. 12-17). ↑Ver página 148
- [Ogata y Okamura, 2006] Ogata, H. y Okamura, M. (2006). Experimental study on air behaviour in saturated soil under air injection. En *Proc. Symp. On Natural Disaster Prevention, JSCE* (pp. 89-90). Tokushima, Japón. ↑Ver página 147, 153
- [Oka et al., 1994] Oka, F., Yashima, A., Shibata, T., Kato, M. y Uzuoka, R. (1994). FEM-FDM coupled liquefaction analysis of a porous soil using an elasto-plastic model. *Applied Scientific Research*, 52(3), 209-245. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00853951> ↑Ver página 148
- [Oka et al., 1999] Oka, F., Yashima, A., Tateishi, A., Taguchi, Y. y Yamashita, A. (1999). A cyclic elasto-plastic constitutive model for sand considering a plastic-strain dependence of the shear modulus. *Géotechnique*, 49(5), 661-680. DOI: <https://doi.org/10.1680/geot.1999.49.5.661> ↑Ver página 148
- [Okamura y Noguchi, 2009] Okamura, M. y Noguchi, K. (2009). Liquefaction resistances of unsaturated non-plastic silt. *Soils and Foundations*, 49(2), 221-229. DOI: <https://doi.org/10.3208/sandf.49.221> ↑Ver página 145, 147, 148
- [Okamura y Soga, 2006] Okamura, M. y Soga, Y. (2006). Effects of pore fluid compressibility on liquefaction resistance of partially saturated sand. *Soils and Foundations*, 46(5), 695-700. DOI: <https://doi.org/10.3208/sandf.46.695> ↑Ver página 142
- [Okamura y Tamura, 2004] Okamura, M. y Tamura, K. (2004). Prediction method for liquefaction-induced settlement of embankment with remedial measure by deep mixing method. *Soils and Foundations*, 44(4), 53-65. DOI: https://doi.org/10.3208/sandf.44.4_53 ↑Ver página 145
- [Okamura y Teraoka, 2005a] Okamura, M. y Teraoka, T. (2005a). Shaking table tests to investigate soil desaturation as a liquefaction countermeasure. En *Seismic Performance and simulation of pile foundations in liquefied and laterally spreading ground* (pp. 282-293). Reston, EE. UU.: American Society of Civil Engineers. DOI: [https://doi.org/10.1061/40822\(184\)23](https://doi.org/10.1061/40822(184)23) ↑Ver página 145, 148
- [Okamura y Teraoka, 2005b] Okamura, M. y Teraoka, T. (2005b). Shaking Table Tests to Investigate Soil Desaturation as a Liquefaction Countermeasure. En *Seismic Performance and Simulation of Pile Foundations in Liquefied and Laterally Spreading Ground* (pp. 282-293). Reston, EE. UU.: American Society of Civil Engineers. DOI: [https://doi.org/10.1061/40822\(184\)23](https://doi.org/10.1061/40822(184)23) ↑Ver página 145
- [Okamura y Tomida, 2015] Okamura, M. y Tomida, Y. (2015). Full scale test on cost effective liquefaction countermeasure for highway embankment. En *Proceedings of Sixth Internal Geotechnical Sym-*

- posium on Disaster Mitigation in Special Geoenvironment Conditions*. IIT Madras Chennai, India. ↑Ver página 143
- [Okamura, Ishihara y Tamura, 2003] Okamura, M., Ishihara, M. y Tamura, K. (2003). Liquefaction resistances and degree of saturation of sand improved with sand compaction piles. En *13th World Conference on Earthquake Engineering* (vol. 43, pp. 175-187). DOI: https://doi.org/10.3208/sandf.43.5_175 ↑Ver página 142, 147
- [Okamura, Ishihara y Tamura, 2006] Okamura, M., Ishihara, M. y Tamura, K. (2006). Degree of saturation and liquefaction resistances of sand improved with sand compaction pile. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(2), 258-264. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2006\)132:2\(258\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2006)132:2(258)) ↑Ver página 145, 147
- [Okamura et al., 2009] Okamura, Mitsu, Takebayashi, M., Nishida, K., Fujii, N., Jinguji, M., Imasato, T., ..., Nakagawa, E. (2009). In-situ test on desaturation by air injection and its monitoring. Japanese. *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, 65, 756-766. <https://doi.org/10.3850/GI100> ↑Ver página 145, 147, 148
- [Okamura et al., 2011] Okamura, M., Takebayashi, M., Nishida, K., Fujii, N., Jinguji, M., Imasato, T., ..., Nakagawa, E. (2011). In-situ desaturation test by air injection and its evaluation through field monitoring and multiphase flow simulation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 137(7), 643-652. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000483](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000483) ↑Ver página 143, 147, 148
- [PDE Solutions Inc., 2005] PDE Solutions Inc. (2005). *FlexPDE Users Guide*. Spokane Valley, EE. UU. Recuperado de <http://www.pdesolutions.com> ↑Ver página 142
- [Pinder y Gray, 2008] Pinder, G. F. y Gray, W. G. (2008). *Essentials of multiphase flow in porous media*. Hoboken, EE. UU.: Wiley. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=V3srAMAzw-EC> <https://doi.org/10.1002/9780470380802> ↑Ver página 149
- [Pruess, 1991] Pruess, K. (1991). *TOUGH2: A general-purpose numerical simulator for multiphase nonisothermal flows*. Berkeley, EE. UU. DOI: <https://doi.org/10.2172/138333> ↑Ver página 148
- [Rad , Vianna y Berre, 1994] Rad, N. S., Vianna, A. J. D. y Berre, T. (1994). Gas in soils. II: Effect of gas on undrained static and cyclic strength of sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, 120(4), 716- 736. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1994\)120:4\(716\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1994)120:4(716)) ↑Ver página 143
- [Ramos, 2015] Ramos, A. M. (2015). Influence of the void ratio and the confining on the static liquefaction in slopes in changi sand. *Tecnura*, 19(43). 57-67. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.1.a04> ↑Ver página 149

- [Ramos, Prada y Vega, 2016] Ramos, A. M., Prada, L. F. y Vega, C. A. (2016). Análisis de elementos finitos con un continuo elástico lineal tipo Cosserat. *Tecnura* 2016.4.a03 20(50). 43-54. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura>. ↑Ver página 149
- [Reddy y Adams, 2001] Reddy, K. R. y Adams, J. A. (2001). Effects of soil heterogeneity on air-flow patterns and hydrocarbon removal during in situ air sparging. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(3), 234-247. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2001\)127:3\(234\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:3(234)) ↑Ver página 146
- [Reddy, Kosgi y Zhou, 1995] Reddy, K. R., Kosgi, S. y Zhou, J. (1995). A review of in-situ air sparging for the remediation of VOC-contaminated saturated soils and groundwater. *Hazardous Waste and Hazardous Materials*, 12(2), 97-118. DOI: <https://doi.org/10.1089/hwm.1995.12.97> ↑Ver página 147
- [Takemura *et al.*, 2009] Takemura, J., Igarashi, R., Izawa, J., Okamura, M. y Masuda, M. (2009). Centrifuge model tests on soil desaturation as a liquefaction countermeasure. En *Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: The Academia and Practice of Geotechnical Engineering* (vol. 1, pp. 502-505). DOI: <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-031-5-502> ↑Ver página 148
- [Tomida, 2014] Tomida, Y. (2014). *A study on soil desaturation as a liquefaction countermeasure for highway embankments*. Japón: Ehime University. ↑Ver página 143, 146
- [Tsukamoto, Kawabe, Matsumoto y Hagiwara, 2014] Tsukamoto, Y., Kawabe, S., Matsumoto, J. y Hagiwara, S. (2014). Cyclic resistance of two unsaturated silty sands against soil liquefaction. *Soils and Foundations*, 54(6), 1094- 1103. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2014.11.005> ↑Ver página 142
- [Tsukamoto *et al.*, 2002] Tsukamoto, Y., Ishihara, K., Nakazawa, H., Kamada, K. y Huang, Y. (2002). Resistance of partly saturated sand to liquefaction with reference to longitudinal and shear wave-velocities. *Soils and Foundations*, 42(6), 93-104. DOI: https://doi.org/10.3208/sandf.42.6_93 ↑Ver página 142
- [US EPA, 1992] United States Environmental Protection Agency (US EPA) (1992). *A technology assessment of soil vapor extraction and air sparging*. EPA/600/R-92/173. Cincinnati, EE. UU. ↑Ver página 145, 146
- [Van Genuchten, 1980] Van Genuchten, M. T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44(5), 892. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x> ↑Ver página 151

- [Vega, Ramos y García, 2017] Vega, C. A., Ramos, A. M. y García, E. F. (2017). Efecto del gas en la velocidad de onda de corte de suelos arenosos densificados con explosivos. *Tecnura*, 21(51), 67-80. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.1.a05> ↑Ver página 145
- [Wisconsin DNR, 1995] Wisconsin DNR (1995). *Updated information and errata regarding guidance on design, installation and operation of in situ air sparging systems*. File Ref. 4440. Madison, EE. UU. ↑Ver página 145
- [Yang, Savidis y Roemer, 2004] Yang, J., Savidis, S. y Roemer, M. (2004). Evaluating liquefaction strength of partially saturated sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(9), 975-979. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2004\)130:9\(975\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2004)130:9(975)) ↑Ver página 142
- [Yang, Savidis, Sato y Li, 2003] Yang, J., Savidis, S., Sato, T. y Li, X. S. (2003). Influence of vertical acceleration on soil liquefaction: new findings and implications. *Proceeding Soil and Rock America*, 1. ↑Ver página 143
- [Yashima, Oka, Taguchi y Tateishi, 1995] Yashima, A., Oka, F., Taguchi, Y. y Tateishi, A. (1995). Three dimensional liquefaction analysis considering the compressibility of fluid phase. En *Proceedings 40th JGS Symposium* (pp. 257-264). ↑Ver página 148
- [Yasuhara, Okamura y Kochi, 2008] Yasuhara, H., Okamura, M. y Kochi, Y. (2008). Experiments and predictions of soil desaturation by air-injection technique and the implications mediated by multiphase flow simulation. *Soils and Foundations*, 48(6), 791-804. DOI: <https://doi.org/10.3208/sandf.48.791> ↑Ver página 147, 148, 150, 151, 152, 153, 157
- [Yegian, Eseller-Bayat, Alshawabkeh y Ali, 2007] Yegian, M. K., Eseller-Bayat, E., Alshawabkeh, A. y Ali, S. (2007). Induced-partial saturation for liquefaction mitigation: experimental investigation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133(4), 372-380. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2007\)133:4\(372\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2007)133:4(372)) ↑Ver página 142
- [Yoshimi, Tanaka y Tokimatsu, 1989] Yoshimi, Y., Tanaka, K. y Tokimatsu, K. (1989). Liquefaction resistance of a partially saturated sand. *Soils and Foundations*, 29(3), 157-162. DOI: https://doi.org/10.3208/sandf1972.29.3_157 ↑Ver página 155
- [Zeybek y Madabhushi, 2017a] Zeybek, A. y Madabhushi, G. S. P. (2017a). Centrifuge testing to evaluate the liquefaction response of air-injected partially saturated soils beneath shallow foundations. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15(1), 339-356. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10518-016-9968-6> ↑Ver página 147, 148

- [Zeybek y Madabhushi, 2017b] Zeybek, A. y Madabhushi, G. S. P. (2017b). Influence of air injection on the liquefaction- induced deformation mechanisms beneath shallow foundations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 97, 266-276. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2017.03.018> ↑Ver página 147, 148
- [Zeybek y Madabhushi, 2017c] Zeybek, A. y Madabhushi, G. S. P. (2017c). Durability of partial saturation to counteract liquefaction. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Ground Improvement*, 170(2), 102-111. DOI: <https://doi.org/10.1680/jgrim.16.00025> ↑Ver página 145
- [Zeybek y Madabhushi, 2018] Zeybek, A. y Madabhushi, G. S. P. (2018). Physical modelling of air injection to remediate liquefaction. *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics*, 18(2), 68- 80. DOI: <https://doi.org/10.1680/jphmg.16.00049> ↑Ver página 147, 148



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://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

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, 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

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, tecnura@gmail.com

Página web:

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

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://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

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, 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, tecnura@gmail.com

Web page:

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