

Contenido

EDITORIAL	10	Análisis de la intervención antrópica en cuerpos de agua: caso caño Banderas, en el municipio Puerto López (Meta, Colombia)	77
INVESTIGACIÓN			
Optimal Value of Past samples for Decision Making in Cognitive Radio Networks	13	Analysis of anthropic intervention in water bodies: caño Banderas case in the Puerto Lopez (Meta, Colombia) Municipality	
Valor óptimo de muestras pasadas para la toma de decisiones en redes de radio cognitiva		HERNANDO CASTRO GARZÓN, DAGOBERTO TORRES FLÓREZ, NADESKA JENNIFFER GALLARDO LICHAA	
Identificación de activos y ciberactivos críticos en sistemas de transmisión de energía eléctrica	27	Inconvenientes del uso de promedios de parámetros fisicoquímicos no conservativos, ejemplos de caso lagunas costeras mexicanas	85
Identification of assets and cyber critical assets in electric power transmission systems		Disadvantages of the use of average of non-conservative physicochemical parameters, case examples mexican coastal lagoons	
ALVARO ESPINEL ORTEGA, JUAN CARLOS CARRENO PEREZ		GUADALUPE DE LA LANZA ESPINO, SALVADOR HERNÁNDEZ PULIDO, FRANCISCO JOSÉ GUTIÉRREZ MENDIETA	
Estado del agua del río Cesar por vertimientos residuales de la ciudad de Valledupar. Bioindicación por índice BMWP/COL	39	Medida de la eficiencia de un colector solar de placa plana, mediante un montaje experimental desarrollado con instrumentación virtual	102
State of the Cesar river water due to the residual discharge from the city of Valledupar. Bioindication by BMWP/Col index.		Measurement of the efficiency of a flat plate solar collector, by means of an experimental assembly developed with virtual instrumentation	
HERNANDO CARLOS OÑATE BARRAZA, GRIDIS YULIEHT CORTEZ HENAO		NELSON LIBARDO FORERO CHACÓN, PAUL DAVID GARZÓN CASTAÑEDA	
Salud ambiental del río ranchería a través de macroinvertebrados acuáticos en el área de influencia del complejo carbonífero el cerrejón	49	Instrucciones para los autores	18
Environmental health of the ranchería river through aquatic macroinvertebrates in the area of influence of the el cerrejón carboniferous complex		Instructions for authors	127
LUIS DÍAZ CHÁVEZ, ANA PATRICIA ESPINOSA ROMERO, GEOMAR MOLINA BOLÍVAR			
Efectos de las crecidas en el transporte de material particulado y carbono orgánico. Caso del río Oka (País Vasco, España)	64		
Effects of floods in the transport of particulate matter and organic carbon. Oka river case (Basque Country, Spain)			
LUIS HERNANDO MONTOYA ARMENTA, YIM JAMES RODRIGUEZ DÍAZ			



Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Acreditación Institucional de Alta Calidad

Tecnura

p-ISSN: 0123-921X
Volumen 24 - Número 65
Julio - Septiembre de 2020

Revista Tecnura • Volumen 24 – Número 65 • Julio – Septiembre de 2020
p-ISSN: 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

Optimal value of past samples for decision making in cognitive radio networks

Salud ambiental del río Ranchería a través de macroinvertebrados acuáticos en el área de influencia del complejo carbonífero El Cerejón

Efectos de las crecidas en el transporte de material particulado y carbono orgánico. Caso del río Oka (País Vasco, España).

Inconvenientes del uso de promedios de parámetros fisicoquímicos no conservativos, ejemplos de caso lagunas costeras mexicanas

Tecnura

Tecnología y cultura, afirmando el conocimiento

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica

Volumen 24 - Número 65
Julio – Septiembre de 2020

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

COMITÉ EDITORIAL

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

COMITÉ CIENTÍFICO

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

EVALUADORES

PhD. Adalgisa Scotti
Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina

PhD. Alberto Saldaña Robles
Universidad de Guanajuato

PhD. Alexander Ramón Valencia
Universidad De Pamplona

PhD. Alfredo Perez Paredes
Benemerita Universidad De Puebla

PhD. Germán Ariel Salazar
Universidad Nacional De Salta

PhD. Paola Caymes-Scutari
Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina

PhD. Sylwia Kulczyk
Universidad De Varsovia

MSc. Adolfo Consuegra Solorzano
Universidad De Sucre

MSc. Oscar Fabian Corredor Camargo
Universidad Cooperativa de Colombia

MEng. Oscar Florez
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

ASISTENTES DE LA REVISTA TECNURA

Lizeth Viviana Urrea

COORDINACIÓN EDITORIAL

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

Tecnura

Volumen 24 - Número 65
Julio – Septiembre de 2020

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 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), IndexCopernicus (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 compra, canje o suscripción.

SUSCRIPCIÓN

El precio unitario de la revista es de 10000 pesos (el precio no incluye el valor del envío). La suscripción anual tiene un costo de 45000 pesos para Colombia, 40 USD para América Latina y el Caribe, 60 USD para otras regiones (el precio incluye el valor del envío). Para suscribirse utilice el formato ubicado al final 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: 571-3238400, extensión: 5003
Celular: 57-3153614852
Bogotá, D.C., Colombia
Correo electrónico:
tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com
Tecnura en internet:
<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

DISEÑO ORIGINAL

Julián Hernández-Taller de Diseño

CORRECCIÓN DE ESTILO PARA ESPAÑOL

Fernando Carretero Padilla

CORRECCIÓN DE ESTILO PARA INGLES

Laura Ximena García

DIAGRAMACIÓN Y DISEÑO DE CUBIERTA

Julián Hernández-Taller de Diseño
director@julianhernandez.co



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Tecnura
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. Cesar Augusto García Ubaque
District Francisco José de Caldas University. 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. Adalgisa Scotti
Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina

PhD. Alberto Saldaña Robles
Universidad de Guanajuato

PhD. Alexander Ramón Valencia
Universidad De Pamplona

PhD. Alfredo Perez Paredes
Benemerita Universidad De Puebla

PhD. Germán Ariel Salazar
Universidad Nacional De Salta

PhD. Paola Caymes-Scutari
Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina

PhD. Sylwia Kulczyk
Universidad De Varsovia

MSc. Adolfo Consuegra Solorzano
Universidad De Sucre

MSc. Oscar Fabian Corredor Camargo
Universidad Cooperativa de Colombia

MEng. Oscar Florez
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

TECNURA JOURNAL ASSISTANTS

Lizeth Viviana Urrea

EDITORIAL COORDINATION

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

Tecnura

Volumen 24 - Número 65

July – September of 2020

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.

SIGN UP

The unit price of the journal is 6 USD (the price does not include shipping). The annual sign up is 28 USD for Colombia; 40 USD in Latin America and the Caribbean; 60 USD in other regions (the price includes shipping). To sign up, use the format located at the end of the journal.

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 - 3238400, extension: 5003
Cell phone Number: 57 - 3153614852
Bogotá D.C., Colombia
E-mail:
tecnura.ud@correo.udistrital.edu.co, tecnura@gmail.com
Tecnura on internet: <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura>

ORIGINAL DESIGN

Julián Hernández - Taller de Diseño
director@julianhernandez.co

STYLE CORRECTION IN SPANISH

Fernando Carretero Padilla

STYLE CORRECTION IN ENGLISH

Laura Ximena García

LAYOUT AND TITLE PAGE DESIGN

Julián Hernández - Taller de Diseño

DECLARACIÓN DE ÉTICA Y BUENAS PRÁCTICAS

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 confluían 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.

CODE OF ETHICS AND GOOD PRACTICE

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 research 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.

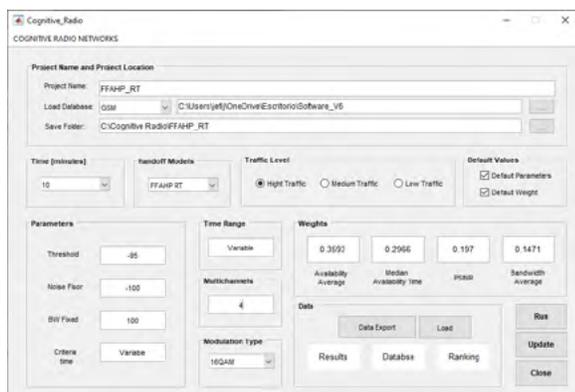
Complaints / allegations

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

Contenido

EDITORIAL

10



Estado del agua del río Cesar por vertimientos residuales de la ciudad de Valledupar. Bioindicación por índice BMWP/COL

39

State of the Cesar river water due to the residual discharge from the city of Valledupar. Bioindication by BMWP/Col index.

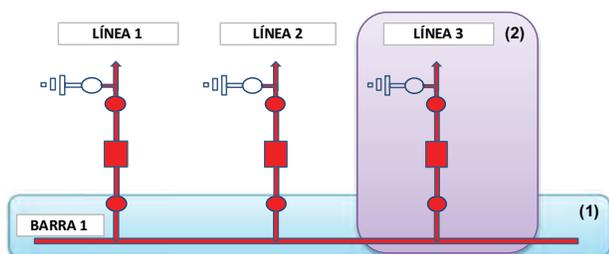
HERNANDO CARLOS OÑATE BARRAZA, GRIDIS YULIEHT CORTEZ HENAO

Optimal Value of Past samples for Decision Making in Cognitive Radio Networks

13

Valor óptimo de muestras pasadas para la toma de decisiones en redes de radio cognitiva

JEFFERSON JARA ESTUPIÑAN, CESAR AUGUSTO HERNÁNDEZ SUAREZ, DIEGO ARMANDO GIRAL RAMÍREZ

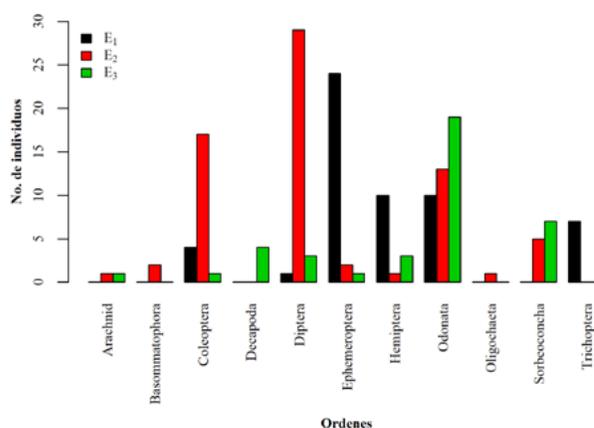


Identificación de activos y ciberactivos críticos en sistemas de transmisión de energía eléctrica

27

Identification of assets and cyber critical assets in electric power transmission systems

ALVARO ESPINEL ORTEGA, JUAN CARLOS CARRENO PEREZ

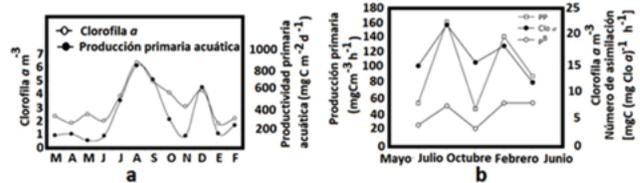
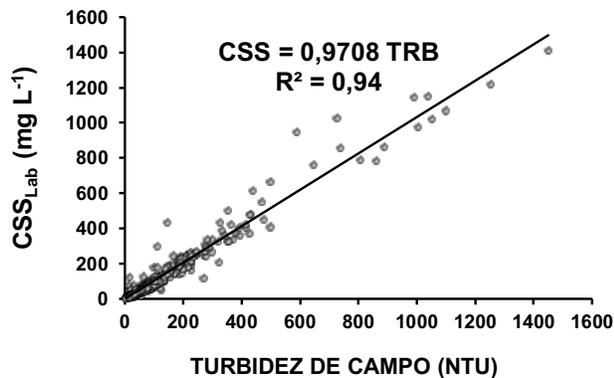


Salud ambiental del río ranchería a través de macroinvertebrados acuáticos en el área de influencia del complejo carbonífero el cerrejón

49

Environmental health of the ranchería river through aquatic macroinvertebrates in the area of influence of the el cerrejón carboniferous complex

LUIS DÍAZ CHÁVEZ, ANA PATRICIA ESPINOSA ROMERO, GEOMAR MOLINA BOLÍVAR



Inconvenientes del uso de promedios de parámetros fisicoquímicos no conservativos, ejemplos de caso lagunas costeras mexicanas

85

Disadvantages of the use of average of non-conservative physicochemical parameters, case examples mexican coastal lagoons

GUADALUPE DE LA LANZA ESPINO, SALVADOR
HERNÁNDEZ PULIDO, FRANCISCO JOSÉ GUTIÉRREZ
MENDIETA

Efectos de las crecidas en el transporte de material particulado y carbono orgánico. Caso del río Oka (País Vasco, España)

64

Effects of floods in the transport of particulate matter and organic carbon. Oka river case (Basque Country, Spain)

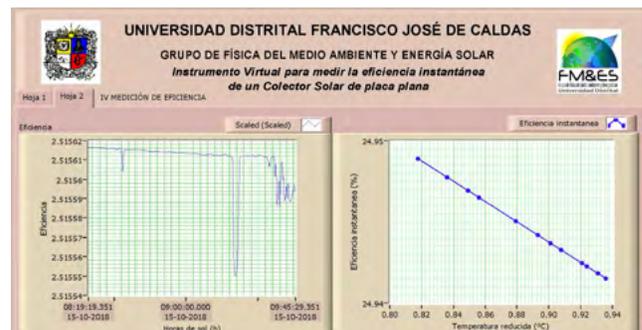
LUIS HERNANDO MONTOYA ARMENTA, YIM JAMES
RODRÍGUEZ DÍAZ

Análisis de la intervención antrópica en cuerpos de agua: caso caño Banderas, en el municipio Puerto López (Meta, Colombia)

77

Analysis of anthropic intervention in water bodies: caño Banderas case in the Puerto Lopez (Meta, Colombia) Municipality

HERNANDO CASTRO GARZÓN, DAGOBERTO TORRES
FLÓREZ, NADESKA JENNIFFER GALLARDO LICHAA



Medida de la eficiencia de un colector solar de placa plana, mediante un montaje experimental desarrollado con instrumentación virtual

102

Measurement of the efficiency of a flat plate solar collector, by means of an experimental assembly developed with virtual instrumentation

NELSON LIBARDO FORERO CHACÓN, PAUL DAVID
GARZÓN CASTAÑEDA

**Instrucciones para los autores
Instructions for authors**

118
127

EDITORIAL

La energía eléctrica es reconocida como un recurso fundamental para el desarrollo económico y social de cualquier nación. Gran parte de las necesidades básicas de las personas se ven reflejadas en el consumo energético y se asocian de una u otra manera a las actividades que desempeñan a diario. Se puede afirmar que la mayoría de dichas acciones están estrechamente ligadas al consumo eléctrico, también conocido como consumo energético per-cápita. El acceso a energía eléctrica es un indicador de desarrollo y lo es también de pobreza. Es por ello que pese a los importantes avances que experimentó la región de América Latina y el Caribe (ALyC) en la reducción de la pobreza y en la universalización del acceso a la energía, más de 30 millones de personas aún carecían de energía eléctrica en 2011, y de éstas, 21 millones eran pobres. Se estima que al menos una tercera parte de la población rural de ALyC siguen sin acceso al servicio de electricidad (Cátedra para la Universalización de Servicios Energéticos Básicos, 2015). El escenario energético mundial describe la posibilidad de que en el largo plazo la región de ALyC seguirá siendo desafiada por una serie de tendencias fuertes. Esto referido a una transición por un menor crecimiento de empleo, impulsado por el crecimiento demográfico. Asimismo, la progresión radical de las nuevas tecnologías, los mayores desafíos ambientales y un cambio en el poder económico contribuyen a esta problemática.

En Colombia el sistema eléctrico se halla interconectado en buena parte del territorio nacional que comprende las regiones Andina, Caribe y Pacífico, una menor proporción en las regiones Orinoquía y Amazonía, y nula proporción en la región Insular. Las zonas no interconectadas a la red eléctrica generan una demanda no satisfecha del servicio eléctrico. Por consiguiente, la ausencia de este servicio desmejora la calidad de vida de las personas que viven allí y afecta su economía, debido a que no pueden desarrollar actividades que estén en función del fluido eléctrico. De acuerdo con el IPSE (Instituto de planeación y promoción de soluciones energéticas para las zonas no interconectadas), específicamente en Colombia las zonas no interconectadas equivalen a un 52% del territorio nacional. Esto incluye

90 municipios, 20 territorios especiales biodiversos y fronterizos, 1448 localidades, 39 cabeceras municipales, y 5 capitales departamentales. (IPSE 2014)

Se espera que la demanda de electricidad en la región se duplique para el año 2030. Por otra parte, si bien casi el 60% proviene de fuentes hidroeléctricas, el abastecimiento de energía generada con combustible fósil ha aumentado sustancialmente en los últimos 10 años, principalmente de gas natural. Por otra parte, la dependencia de los combustibles importados desafía el equilibrio de la balanza de pagos y aumenta la vulnerabilidad de los ecosistemas clave que sustentan importantes sectores productivos, incluido el turismo (Cátedra para la Universalización de Servicios Energéticos Básicos, 2015).

Esta situación en Colombia y en otros países de ALyC ha sido vista como una oportunidad de desarrollo. Es por esto que el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Programa de Naciones Unidas para el desarrollo (PNUD) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) han lanzado una nueva alianza para apoyar la iniciativa Energía Sostenible para todos (SE4ALL), en ALyC. Las tres organizaciones también acordaron incrementar el acceso a la financiación para iniciativas de energía sostenible y crear un 'hub', o centro, de Energía Sostenible para toda la región de América Latina y el Caribe, organizado por el PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2018). Es allí donde los recursos naturales renovables como el sol, el viento y el agua, en las regiones no interconectadas, pueden ser la base para la generación de energías renovables como eólica, fotovoltaica, térmica e hidráulica para estas zonas y posibilitar su desarrollo. La generación de energía a partir de recursos naturales renovables representan también grandes retos tecnológicos, que deben ser abordados por diferentes actores dentro de los cuales se destacan las universidades u donde nuestra Universidad Distrital debe jugar un papel protagónico a través de sus grupos y proyectos de investigación.

CÉSAR AUGUSTO GARCÍA-UBAQUE
Director

EDITORIAL

Social interest housing (SIH) must be efficient and sustainable, and must respond to technical, environmental, and social needs. For this, the critical factors of the value chain must be identified during the design process. These factors range from their conceptualization in the architectural and structural design, the production of the material, and the manufacture and transportation of prefabricated products, to the commercialization and construction of the home.

In search of mitigating the quantitative and qualitative deficit of housing in Colombia, the development of residential projects has been promoted during the last five years. These projects have been built using traditional construction systems, such as structural masonry and confined masonry (DANE, 2017). For example, 67% of the almost 68 million square meters of housing, started in Colombia between the second quarter of 2012 and the first quarter of 2017, was built with traditional construction systems. In the case of SIH homes, which for the same period meant 30% of the total area started in homes (just over 20 million square meters), 55.8% was made with these traditional construction systems (DANE, 2017). These figures demonstrate how housing in Colombia is mostly built with construction systems with a low degree of industrialization and technological development. In addition to high labor costs and lower construction yields, this causes higher housing prices and less affordability.

On the other hand, although a little more than 43% of the SIH were built with industrialized construction systems, it must be considered that this type of system in the Colombian construction environment refers to technified construction systems on-site. These systems are composed of modular metal forms, easy to transport, which within a scale of technological development of construction is three levels below the highest level of industrialization (Paye

Anco, Peña Castillo, & Franco Sanchez, 2014). Therefore, the percentage of homes that were built with low-tech construction techniques associated with total homes and total SIH homes, could be much higher. However, another problem is the purely economic approach to architectural and structural designs, which affects the efficiency of social housing built in Colombia. These designs do not contemplate the environment and do not meet the user's needs in terms of quality of housing, comfort, adaptability, and future growth (Jaramillo, 2002).

The sum of these factors leads to facing a technological development challenge, which in turn can become a field of work for innovation: the development of advanced and high-performance materials for housing construction. When building, it is important to consider several aspects that guarantee the efficiency of the final product. Aspects such as the reduction of weight in the structural and precast units, the decrease in the size of the elements, the greater capacity, the better performance in aggressive environments, guarantee a more sustainable and environmentally friendly development compared to traditional concrete.

Given these approaches, it is necessary to look for technological solution alternatives with the participation of the research groups present in the faculties of engineering and architecture. Furthermore, these alternatives must have an impact on the housing problem in Colombia, since the aim is to improve the key factors that affect the value chain of social housing, rather than just achieving a technical solution. This would be achieved through the use of a comprehensive approach that forms a sphere of knowledge around the construction system and made up of architectural and structural designers, the precast industry, the builders, and the end users.

CÉSAR AUGUSTO GARCÍA-UBAQUE
Director



Optimal Value of Past samples for Decision Making in Cognitive Radio Networks

Valor óptimo de muestras pasadas para la toma de decisiones en redes de radio cognitiva

Jefferson Jara Estupiñan¹, Cesar Augusto Hernández Suarez²,
Diego Armando Giral Ramírez³

Fecha de recepción: 10 de septiembre de 2019

Fecha de aceptación: 6 de Mayo de 2020

Cómo citar: Jara–Estupiñan., J. Hernández–Suarez., C.A. y Giral–Ramírez., D.A. (2020) Optimal value of past samples for decision making in cognitive radio networks. *Tecnura*, 24(65)13-26. DOI: 10.14483/22487638.15278

Abstract

Context: The modeling and prediction of spectrum usage by PUs is an important aspect in reducing interference between SUs and PUs, and for improving overall spectral decision-performance. This process requires past spectral information that might allow the algorithm to model the behavior of the PU.

Objective: To determine the optimal value of past samples and recalculation time of decision criteria for the decision-making algorithms in cognitive radio networks.

Methodology: Several simulation experiments were carried out using the FFAHP algorithm. Two different approaches were used (real time, and better effort), with high and low traffic, in the GSM frequency band. A statistical analysis of the data obtained is performed, varying the time range parameters while the time criteria remained constant, and vice versa.

Results: In high traffic conditions, it is enough to take 1800 previous samples to calculate the initial value of the parameters and update them every 10 minutes (1800). Whereas, in low traffic conditions,

5400 previous samples are needed in order to calculate the initial value of parameters and update them every 10 minutes (1800).

Conclusions: A high number of previous samples is not necessary to determine the initial value of the decision parameters in order to obtain a good performance of the handoff rate, nor is it necessary to update those parameters to obtain traffic corresponding to the band of GSM frequency.

Funding: The present work is a result of a research project financed by the Center of Research and Scientific Development of the District University Francisco José de Caldas.

Keywords: Spectral decision, spectral handoff, spectral information, cognitive radio, wireless networks.

Resumen

Contexto: El modelado y predicción del uso del espectro por parte de los PU es un aspecto importante para reducir la interferencia entre los SU y PU, y mejorar el desempeño de la decisión espectral. Lo anterior requiere de información espectral pasada,

1 Electrical Engineer. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Contact: jjarae@correo.udistrital.edu.co

2 Electronic Engineer, PhD in Engineering. Titular Lecturer and researcher of the Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contact: cahernandezs@udistrital.edu.co

3 Electrical Engineer, PhD(c) in Engineering. Lecturer and researcher of the Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. Contact: dagiralr@udistrital.edu.co

que permita al algoritmo modelar el comportamiento del PU.

Objetivo: Determinar el valor óptimo de muestras pasadas y tiempo de recálculo de criterios de decisión para los algoritmos de toma de decisiones en redes de radio cognitiva.

Metodología: Se realizan varios experimentos de simulación a partir del algoritmo FFAHP, en dos diferentes enfoques, tiempo real y mejor esfuerzo, con tráfico alto y bajo, en la banda de frecuencia GSM. Se realiza un análisis estadístico de los datos obtenidos, variando los parámetros de *time range*, mientras *criteria time* permanece constante, y viceversa.

Resultados: Para tráfico alto es suficiente con tomar 1800 muestras anteriores para calcular el valor inicial de los parámetros y actualizarlos cada 10 minutos (1800). Si el tráfico es bajo es suficiente con

tomar 5400 muestras anteriores para calcular el valor inicial de los parámetros y actualizarlos cada 10 minutos (1800).

Conclusiones: No es necesario un número elevado de muestras anteriores para determinar el valor inicial de los parámetros de decisión para obtener un buen desempeño de la tasa de *handoff*, así como tampoco lo es para la actualización de los mismos, para un tráfico correspondiente a la banda de frecuencia GSM.

Financiamiento: El presente trabajo es un resultado de un proyecto de investigación financiado por el Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Palabras clave: Decisión espectral, *handoff* espectral, información espectral, radio cognitiva, redes inalámbricas.

INTRODUCTION

The International Telecommunications Union (ITU) defines cognitive radio (CR) as a “radio or system that detects and is aware of its surroundings and can be adjusted dynamically and autonomously according to its radio operation parameters” (Hernández, Pedraza, Páez, & Rodríguez-Colina, 2015). The solution in cognitive radio against the inefficient use of the radioelectric spectrum is none other than the dynamic access to the spectrum (DSA), allowing the opportunistic use of the available frequencies by secondary users (SU) without causing any interference to the primary users (PU) (Hernández, Pedraza, et al., 2015; R. López & Montejo Sánchez, 2015). This is materialized through the process known as a cognitive cycle (Játiva, 2017; Romero, 2015).

The spectral decision function plays a very important role for the optimal performance of the cognitive radio network (CRN) within the cognitive cycle (Lala, Balkhi, & Mir, 2017) since the proper move at a timely instant within the radioelectric spectrum guarantees that the PUs do not suffer

from any interference during the use of licensed channels, and that the SUs have uninterrupted communications without delays that cause information loss. Hence, most of the research work has focused on improving and establishing more assertive strategies for optimal development (Das, Ghosh, Das, & Barman, 2017; Hoque, Azmal, & Arif, 2017; Kyrk & Yanyshyn, 2017).

To achieve this there is a need for artificial intelligence algorithms and techniques (Bayrakdar & Çalhan, 2018), as well as machine learning (A. M., Matyjas, Hu, & Kumar, 2017; Koushik, Hu, & Kumar, 2018), and multi-criteria decision-making methods (Hernández, Giral, & Santa, 2015; Salgado, Hernandez, Molina, & Beltran-Molina, 2016), among others. Some examples include particle swarm optimization (Agrawal, Tyagi, & Singh, 2018; Alhammedi, Roslee, & Alias, 2017), real time spectrum transfer (Chakraborty & Misra, 2015), and fuzzy logic (Javed & Naeem, 2018). When it is uncertain which frequency of the spectrum is available during the transmission time required by the SU, it is important to consider the behavior pattern of PUs. Most of the algorithms

used in CR manage to model and even predict the behavior of spectrum usage by Pus based on past spectral information such as spectral occupancy (Harold Vásquez Suarez, 2017; Hernández & Luis Fernando Pedraza Martínez, 2016; D. A. López, Trujillo, & Gualdrón, 2015).

To model or predict with enough accuracy it is necessary to use a large amount of historical spectral information. However, as large amounts of past information can have a positive effect on prediction and modeling of the spectral occupancy pattern, they can also have a negative impact in the processing times of the algorithms, as well as significant delays during communication. Therefore, it is necessary to determine the lowest amount of spectral information needed to generate forecasts with accuracy and low delays. The present research aims to determine an optimal number of past data needed to carry out a proper modeling process of the behavior of spectral occupancy in a given frequency band as well as the maximum time in which the parameters of the algorithms must be adjusted, so as to reduce resource consumption such as the processing time, energy, hardware and software requirements, among others.

This work was carried out based on a series of spectral mobility simulations in the GSM frequency band with the CRN simulation software developed by (Hernández & Giral, 2015). Criteria Time and Time Range parameters were varied in this software which have maximum times of 1800 and 10800 units respectively (180 units correspond to 1 minute), while the other parameters remain constant.

RELATED WORK

One of the main problems faced by cognitive radio networks is the high consumption of energy and the stronger impact seen in the battery-supplied networks. Therefore, (Abdullah & Abed, 2016) carried out simulations to reduce the number of samples used in the PU detection stage. Reductions by 50%, 33%, and 25% are achieved in order to

determine energy savings. This led to discover that the reduction in energy consumption when Eb/No is 10 dB is 50%, 60% and 63%, respectively, for the sample reductions mentioned above. However, not all detections were convenient, so the authors concluded that a reduction of up to 40% in energy consumption can be reached as long as half of the samples or more is used with an acceptable error margin in the detection of the primary user.

In (Syed & Safdar, 2017), the efficiency and demand in energy of the CR system are improved using the historical records for spectrum detection, which is none other than data acquired over time. This reduces the spectrum exploration frequency. In this assisted scheme, the database of the centralized analytical engine offers a wide historical record of the spectrum usage so it can be harnessed by SUs, which acquire said data and process it in order to ensure an effective detection, reduction in energy consumption by close to 50%.

In (Marino, Paura & Savoia, 2016), in order to optimize energy consumption in the spectrum detection process, a theoretical analysis is carried out on an arbitrary mobility network model to show that there is a unique detection time in which performance is increased for the detection of SU mobility. Afterwards, several simulations are performed to prove the existence of said value.

METHODOLOGY

The simulation software for CRN used in this research was developed in the project "Development of an adaptive algorithm for spectral handoff focused on increasing the performance and efficiency of mobile networks," funded by the Center for Research and Scientific Development from the District University Francisco José de Caldas (Hernández & Giral, 2015). That software allows to parameterize different variables such as:

- **Type of technology:** Wi-Fi or GSM.
- **Simulation time:** SU transmission, between 1 and 10 minutes.

- **Handoff models:** AHP RT, AHP BE, FAHP RT, FAHP BE, FFAHP RT, FFAHP BE, SAW RT, SAW BE, MEW RT, MEW BE, TOPSIS RT, TOPSIS BE, VIKOR RT, VIKOR BE, GRA, or RANDOM, among others.
- **Traffic level:** high, medium, or low traffic.
- **Threshold:** Power threshold that can determine the presence or absence of a PU in a determined channel.
- **Noise Floor:** Average noise floor of the spectrum analyzer during the metering campaign.
- **BW Fixed:** Fixed bandwidth for each channel.
- **Criteria time:** Periodic time in which the values of the decision criteria are recalculated and updated during the execution of the algorithm. It can take a maximum value of 1800 time instants (10 minutes).
- **Time Range:** Time in which the initial values of the decision criteria are calculated, before the assessment. It can take a maximum value of 10,800 (60 minutes).
- **Multichannel:** Number of continuous channels that the algorithm can use to perform multi-channel transmission.
- **Type of modulation:** 16QAM, 64QAM, QPSK y BFSK.
- **Weights:** In this section, the weights must be defined for the four decision criteria: Available Average (AA), Bandwidth (BW), Signal-to-Noise

Ratio plus interference (SINR), and Estimated Availability Time (EAT).

The software works under three traffic levels: High, Medium, and Low, both for the training phase (used to set the initial parameters of the algorithms) and the assessment phase (used to assess the performance of the algorithms). This distribution corresponds to six databases for each type of technology (GSM and Wi-Fi), thus to 12 databases (see [Table 1](#)).

The simulation software uses real spectral occupancy data gathered during a previous metering campaign in Bogota city, over a one-week period. [Tables 2](#) and [3](#) show the amount of data gathered for each technology ([Hernández & Giral, 2015](#)). The column represents the frequency channels, and the rows represent time (1/3 of a second approximately for each row).

The software also allows to load some data by default. The data loaded for this research included the weight of Available Average (AA), Bandwidth Average (BW), PSINR, Estimated Availability Time (EAT), and the parameters Threshold, Noise Floor, and Fixed BW. The system was parameterized with 4 channels in the criteria (Multichannel) and the GSM technology.

Simulations were carried out for the decision-making algorithm Fuzzy Feedback Analytic Hierarchy Process (FFAHP) due to its notable

Table 1. Selected data

Tecnology	Traffic	Traffic level	Time lapses	Rows	Columns
GSM	Evaluation	High	1800 (10 min)	1800	551
		Low			
		Medium			
	Training	High	10800 (60 min)	10800	551
		Low			
		Medium			
Wi-Fi	Evaluation	High	1800 (10 min)	1800	461
		Bajo			
		Medium			
	Training	High	10800 (60 min)	10800	461
		Low			
		Medium			

Source: Taken from ([Hernández & Giral, 2015](#)).

Table 2. Acquired data

Technology	Quantity of Acquired Data		
	Rows	Columns	Total Data
GSM	1.145.700	551	631.280.700
Wi-Fi	2.490.000	461	1.147.890.000

Source: Taken from (Hernández & Giral, 2015).

Table 3. Data quantity for training and evaluation

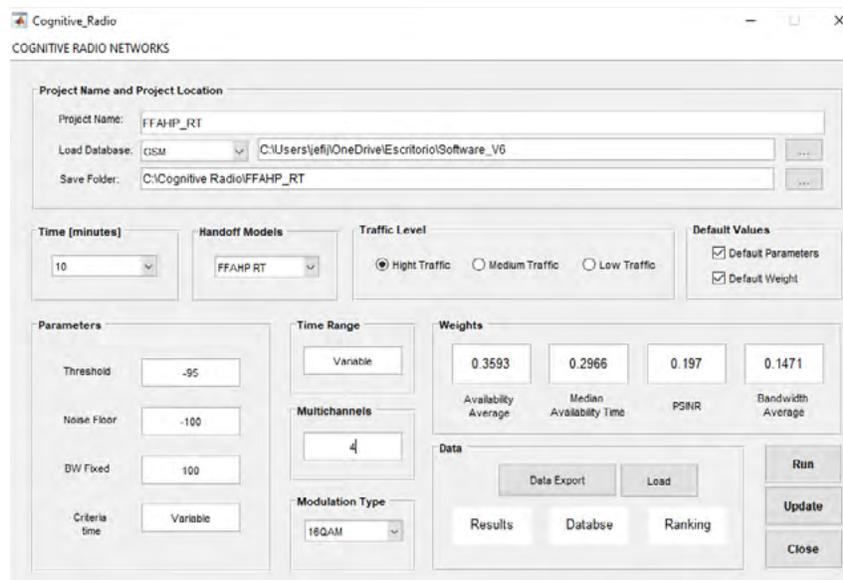
Technology	Process	Data
GSM	Evaluación	991.800
	Entrenamiento	5.950.800
Wi-Fi	Evaluación	829.800
	Entrenamiento	4.978.800

Source: Taken from (Hernández & Giral, 2015).

performance in CRN (Hernández-Suárez, Pedraza-Martínez, & de la Colina, 2016). Four different types of scenarios were considered: (1) Real-time approach with high traffic (RT-HT); (2) Real-time approach with low traffic (RT-LT); (3) Better effort with high traffic (BE-HT); and (4) Better effort with

low traffic (BE-LT). The parameters were modified in each scenario while the criteria time remained constant. The opposite case was also assessed.

Figure 1 shows the parameterization of the previously described variables in the graphical software interface for FFAHP with RT-HT.

**Figure 1.** Parameters of the graphical interface of the software for FFAHP for RT-HT scenario.

Source: MATLAB main software screen

Simulations

To determine the minimum amount of information needed, three sets of simulations were developed. Initially, the parameter “Criteria_Time” kept a constant value of 1800 (maximum value), and the parameter “Time_Range” was modified for all types of scenarios RT-HT, RT-LT, BE-HT and BE-LT. Table 4 shows the variation ranges of each parameter.

A similar procedure was also carried out in which the parameter “Time_Range” had a constant value of 10.800 (maximum value), while the parameter “Criteria_Time” was set in each of four scenarios RT-HT, RT-LT, BE-HT and BE-LT. Table 5 shows the variation ranges for each parameter.

Finally, joint simulations were carried out using the best results from the previous experiments in order to determine the optimal behavior. For each experiment, 10 simulations were performed and the average values were stored in order to deliver more significant data in terms of statistics.

Table 4. Time_Range Variation for FFAHP

	Criteria Time	Time Range
FFAHP RT-HT, RT-LT, BE-HT, BE-LT	1800	180
		360
		540
		720
		900
		1080
		1260
		1440
		1620
		1800
		3600
		5400
		7200
		9000
		10800

Source: Authors

RESULTS

The present research was based mainly on the previously mentioned metering campaigns, that lead to the charts corresponding to the spectral handoff with real spectral occupancy databases, with a SU transmission time of 10 minutes.

The results are organized into three sections: (1) Time_Range, (2) Criteria_Time, and (3) Joint Results. In the first section, figures 2 to 5 show the simulation results when the “Time_Range” remained constant with a value of 10800 and the “Criteria_Time” varied. In the second section, figures 6 to 9 describe the simulation results when the “Criteria_Time” remained constant with a value of 1800 and the “Time_Range” varied. In both sections, the figures describe the results obtained in each simulation scenario described in the methodology: RT-HT, RT-LT, BE-HT, and BE-LT. In the third section, figures 6 to 9 show the information corresponding to the third simulation campaign, in which the parameter values corresponding to the best behaviors during initial simulations were considered.

Table 5. Criteria_Time Variation for FFAHP

	Criteria Time	Time Range
FFAHP RT-HT, RT-LT, BE-RT, BE-LT	180	10800
	360	
	540	
	720	
	900	
	1080	
	1260	
	1440	
	1620	
	1800	

Source: Authors

Time_range

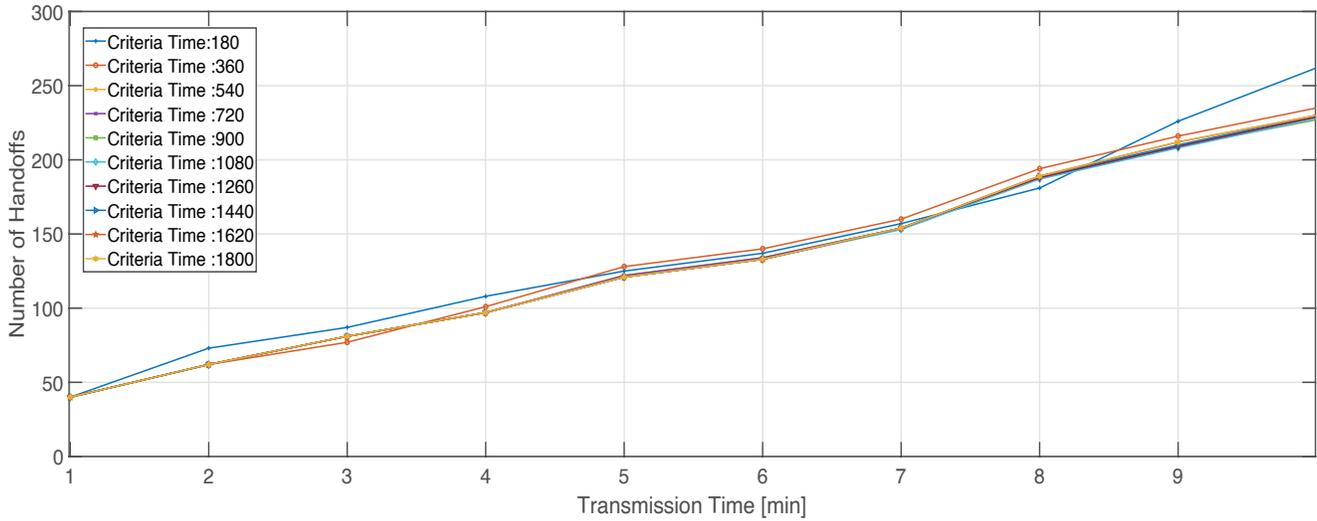


Figure 2. Handoffs FFAHP RT-HT

Source: Authors

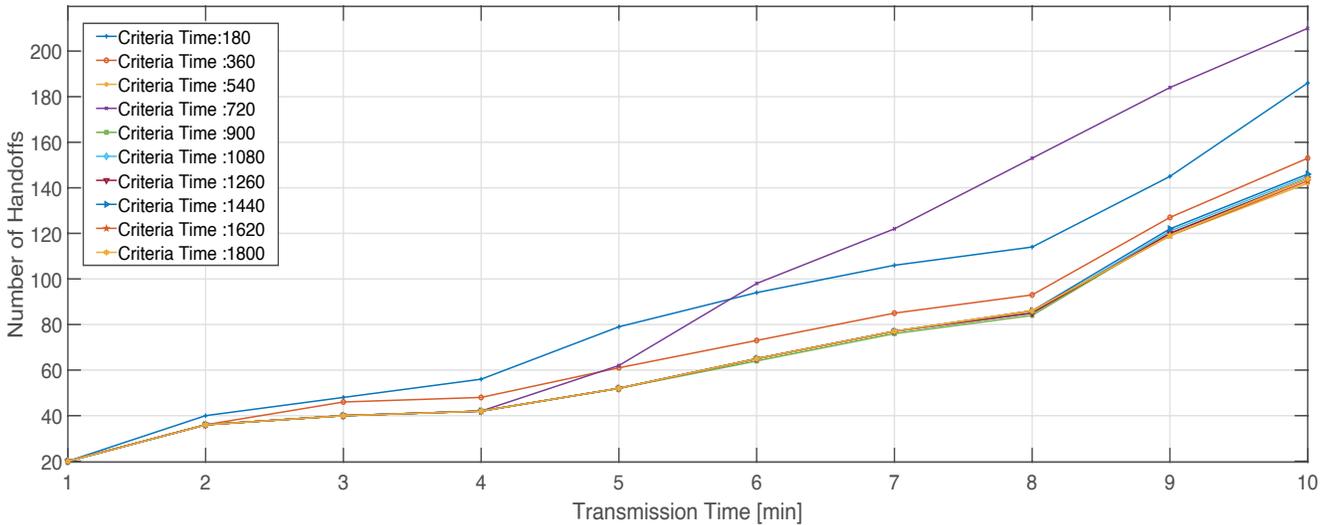


Figure 3. Handoffs FFAHP RT-LT

Source: Authors

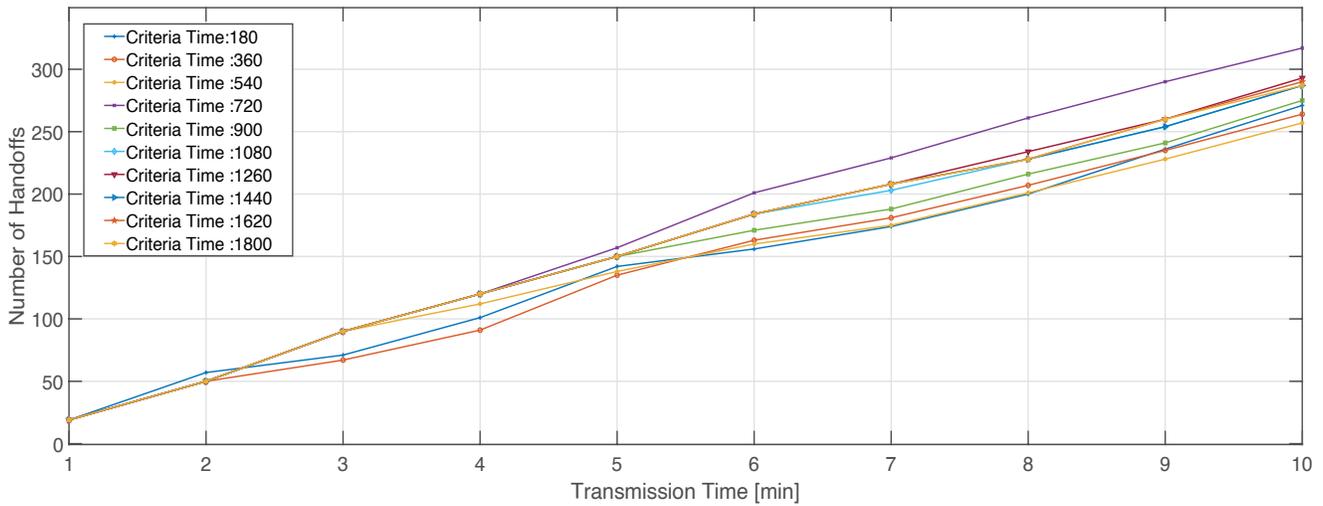


Figure 4. Handoffs FFAHP BE-HT

Source: Authors

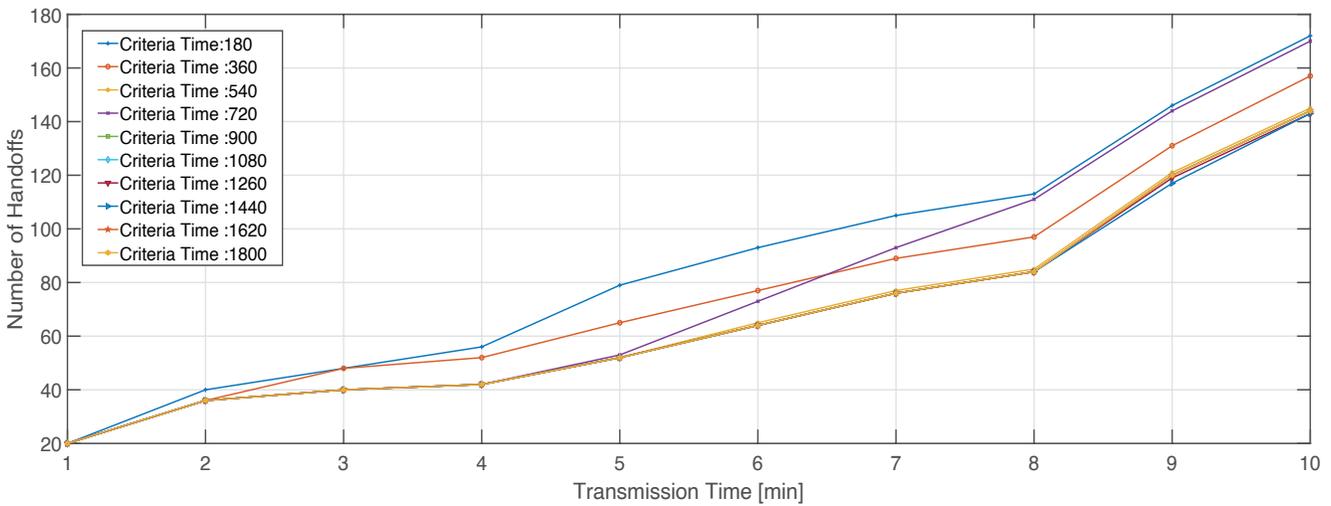


Figure 5. Handoffs FFAHP BE-LT

Source: Authors

Figures 2 to 5 lead to some conclusions. Firstly, when the update time of the decision parameters is increased, the variations in the handoff rate for low traffic scenarios (RT-LT and BE-LT) are more significant than in their high traffic counterparts (RT-HT and BE-HT). Secondly, in most cases the Criteria Time variable delivers similar results; thus, it is not necessary to update the decision-making parameters so frequently, even

when an inflection point is detected in the charts. Hence, three of the highest values of the Criteria Time were chosen (900, 1260, and 1800) to perform a joint analysis in the third subsection of the results section to determine with more objectivity the best value of the Criteria Time. However, when the Criteria Time equals 720 (4 minutes), there is an abrupt negative change in 3 out of 4 scenarios (RT-LT, BE-HT, and BE-LT) followed by a

stabilization when it reaches the value of 900 (5 minutes). As a result, the value of 720 is classified as an atypical value.

As a preliminary statement, it could be assumed that it is unnecessary to update (or recalculate) the

decision parameters in such short periods, rendering the Criteria Time equal to 1800 (10 minutes), which is the best option among the analyzed values, yet establishing that the best option may be a superior value.

Criteria_time

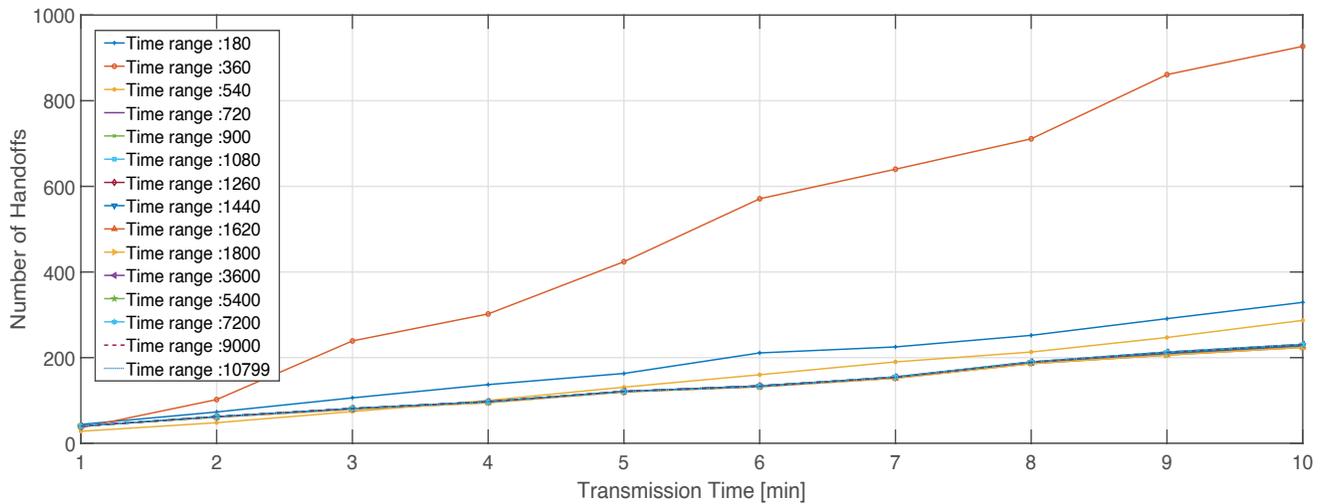


Figure 6. Handoffs FFAHP RT-HT

Source: Authors

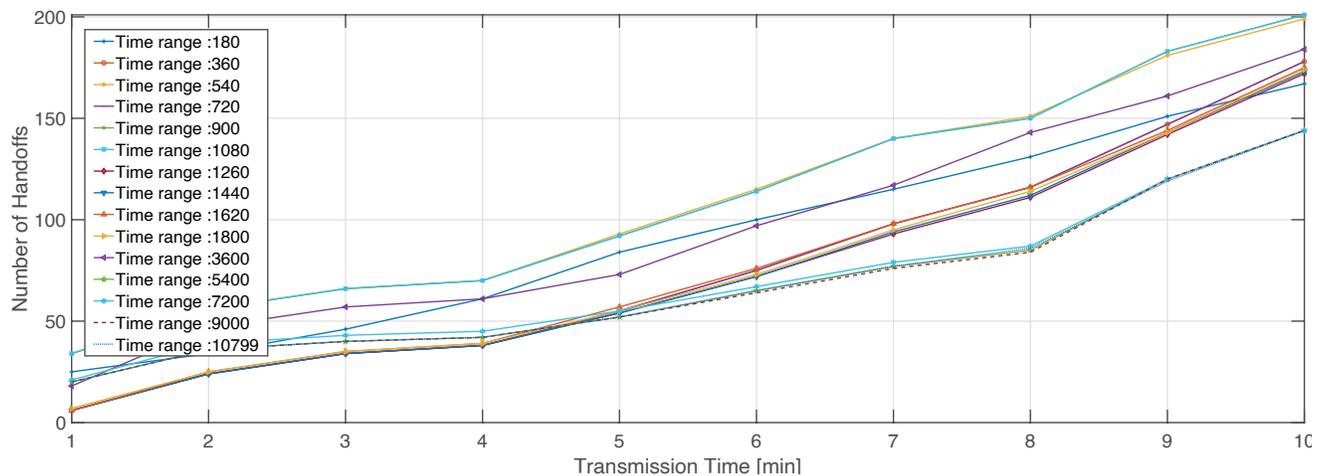


Figure 7. Handoffs FFAHP RT-LT

Source: Authors

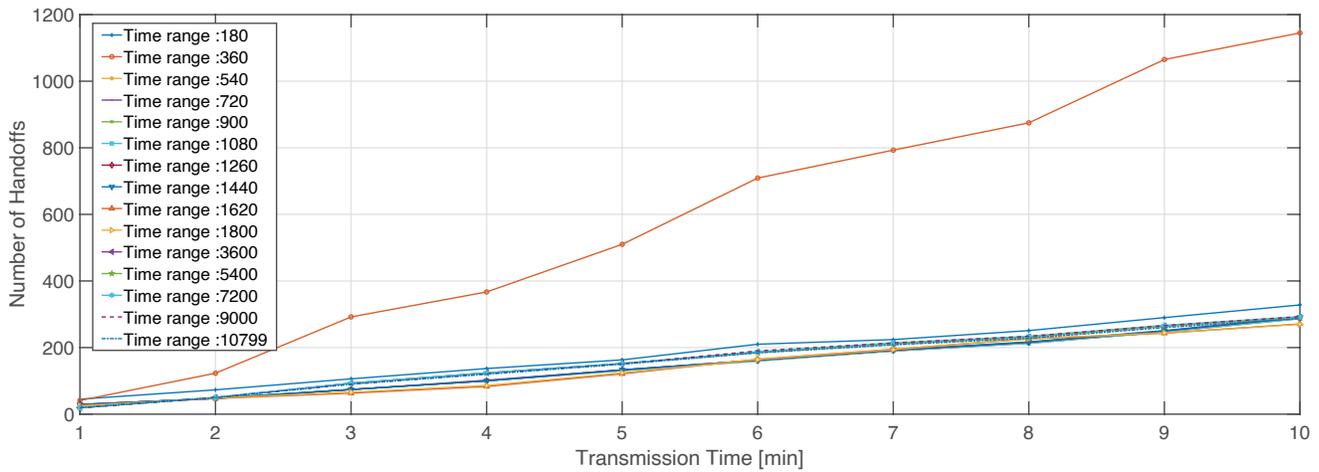


Figure 8. Handoffs FFAHP BE-HT

Source: Authors

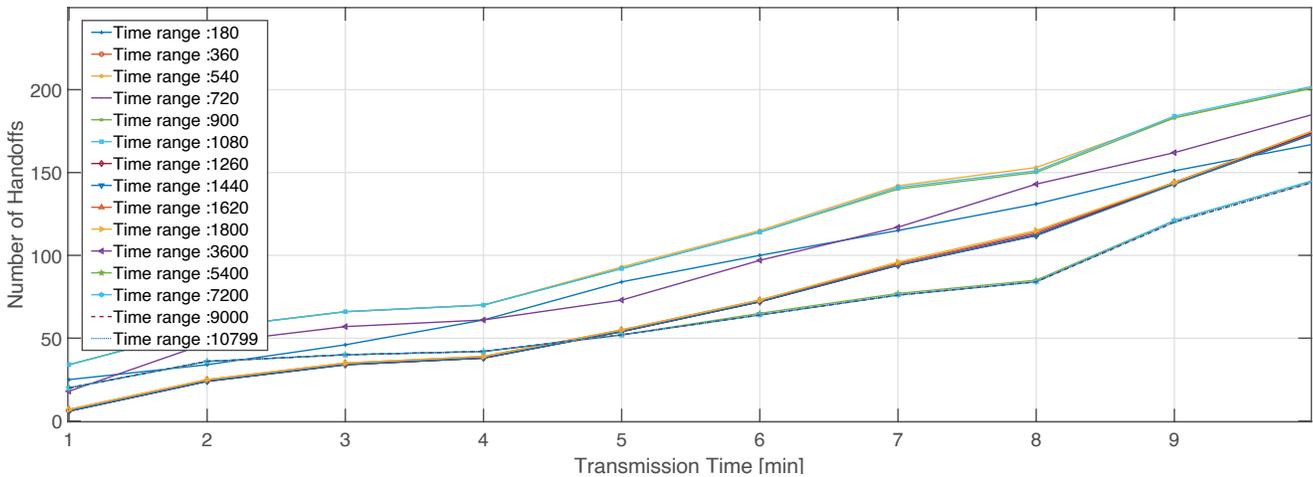


Figure 9. Handoffs FFAHP BE-LT

Source: Authors

Figures 6 to 9 enable different analyses. Firstly, in a similar case to Criteria Time when the number of previous samples is reduced, the variations in the handoff rate for low traffic scenarios (RT-LT and BE-LT) are more significant than in high traffic scenarios (RT-HT and BE-HT). There is an exception in high traffic where the Time Range value is 360 (2 minutes) and leads to atypical results in the spectral handoff rate, so the value is not considered for

the corresponding values. Secondly, in most cases, the Time Range offers similar results, showing that it is not necessary to set the initial decision-making parameters with an excessive amount of past data. In contrast to Criteria Time, some inflection points were determined for each scenario. In the RT-HT case with 720 samples (4 minutes) and onward, the results are fairly similar. However, when the number of past samples is below 540 (3 minutes),

the performance of the handoff rate is reduced by 25.87%. In the BE-HT case, the inflection point is reached at 360 (2 minutes). Similar results occur when the samples surpass a total of 540 (3 minutes) and when there are less than 360 samples (2 minutes): the performance of the handoff rate is reduced by 14.28%. In the case of RT-LT, the inflection point stands at 3600 (20 minutes) and for 5400 samples (30 minutes), and onward, where the results are fairly similar. When there are less than 3600 samples (20 minutes), the performance of the spectral handoff rate is reduced by 27.77%. The BE-LT case has the same behavior than BE-HT.

For high traffic (HT), it is concluded that close to 720 samples (4 minutes) are needed. This is significantly lower than the 5400 samples (30 minutes) required for low traffic and could be explained by the fact that high traffic translates into a more dynamic and frequent behavior, making it easier to model a behavior pattern in terms of spectral occupancy. It is important to point out that the previous

explanation makes sense for spectral occupancy of the present work within the GSM band.

Given that the purpose is to determine the minimum value of required past samples, and based on the previous analysis, the Time Range values of 720, 1260, 1800, 3600, and 5400 were chosen to perform a joint analysis.

Joint results

Since the values of Criteria Time and Time Range that offered the best independent results were determined in previous analyses, the combinations of said values are assessed to determine the couple that offers the best results. The values of Criteria Time are: 720, 1260, 1800, 3600, and 5400; and for Time Range the values are: 900, 1260, and 1800. The analysis is based on the previously described scenarios RT-HT, RT-LT, BE-HT, and BE-LT, whose results can be seen in [Tables 6, 7, 8, and 9](#), respectively.

Table 6. Handoffs for joint values of Criteria Time and Time Range, for RT-HT

		Time Range				
		720	1260	1800	3600	5400
Criteria Time	900	228	228	224	227	227
	1260	227	229	225	230	230
	1800	228	228	224	231	231

Sources: Authors

Table 7. Handoffs for joint values of Criteria Time and Time Range, for RT-LT

		Time Range				
		720	1260	1800	3600	5400
Criteria Time	900	179	178	179	169	144
	1260	177	172	165	186	144
	1800	178	172	174	184	144

Sources: Authors

Tabla 8. Handoffs for joint values of Criteria Time and Time Range, for BE-HT

		Time Range				
		720	1260	1800	3600	5400
Criteria Time	900	291	279	272	279	279
	1260	279	277	279	297	296
	1800	288	291	270	291	290

Sources: Authors

Tabla 9. Handoffs for joint values of Criteria Time and Time Range, for BE-LT

		Time Range				
		720	1260	1800	3600	5400
Criteria Time	900	174	174	175	167	144
	1260	174	173	166	186	144
	1800	174	174	175	185	145

Sources: Authors

The analysis in Tables 6 to 9 shows that the best handoff rates (the smallest ones) take place for the following combinations, respectively: for RT-HT, 1800 and 1800; for RT-LT, 1800 and 5400; for BE-HT; 1800 and 5400; and for BE-LT, 1800 and 5400.

In conclusion, it is sufficient to take 1800 samples in high traffic to calculate the initial value of the parameters and update them every 10 minutes (1800). In low traffic, it is sufficient to take 5400 samples to calculate the parameters and update them every 10 minutes. This translates into a reduction of energy consumption and computational effort for network and users by 10 times for Criteria Time and by 6 times for Time Range; this means that the computational cost was approximately reduced by 60 times.

CONCLUSIONS

Based on the previous results, it is not mandatory to have a high number of previous samples to determine the initial value of the decision parameters and deliver a good performance in handoff rates, nor is it necessary to update the values for traffic under the GSM frequency band. This allowed to significantly cut energy consumption as well as

costs and delays in the information processing stages, thereby optimizing the resources of the cognitive radio network.

FINANCING

This work is the result of a research project funded by the Center for Research and Scientific Development of the District University Francisco Jose de Caldas.

REFERENCES

- A. M., K., Matyjas, J. D., Hu, F., & Kumar, S. (2017). Channel/Beam Handoff Control in Multi-Beam Antenna Based Cognitive Radio Networks. *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, 4(1), 30–42.
<https://doi.org/10.1109/tccn.2017.2771777>
- Abdullah, H. N., & Abed, H. S. (2016). Improvement of energy consumption in cognitive radio by reducing the number of sensed samples. *Al-Sadiq International Conference on Multidisciplinary in IT and Communication Techniques Science and Applications, AIC-MITCSA 2016*, 301–306.
<https://doi.org/10.1109/AIC-MITCSA.2016.7759954>

- Agrawal, R., Tyagi, D., & Singh, H. M. (2018). PHS-CR: Particle Swarm Optimization Based Handoff Spectrum Using Cognitive Radio. *2018 International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN)*, 996–999.
<https://doi.org/10.1109/ICACCCN.2018.8748569>
- Alhammad, A., Roslee, M., & Alias, M. Y. (2017). Analysis of spectrum handoff schemes in cognitive radio network using particle swarm optimization. *2016 IEEE 3rd International Symposium on Telecommunication Technologies, ISTT 2016*, 103–107.
<https://doi.org/10.1109/ISTT.2016.7918093>
- Bayrakdar, M. E., & Çalhan, A. (2018). Comparative performance evaluation of efficient spectrum handoff methods in wireless cognitive networks. *26th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU 2018*, 1–4.
<https://doi.org/10.1109/SIU.2018.8404573>
- Chakraborty, T., & Misra, I. S. (2015). Designing a real-time spectrum handoff algorithm for VoIP based Cognitive Radio Networks. *2015 IEEE Radio and Antenna Days of the Indian Ocean, RADIO 2015*, 1–2.
<https://doi.org/10.1109/RADIO.2015.7323370>
- Das, A., Ghosh, S. C., Das, N., & Barman, A. Das. (2017). Q-Learning Based Co-Operative Spectrum Mobility in Cognitive Radio Networks. *Proceedings-Conference on Local Computer Networks, LCN, 2017-October*, 502–505.
<https://doi.org/10.1109/LCN.2017.80>
- Harold Vásquez Suarez. (2017). *Modelo de handoff espectral proactivo-predictivo que permite reducir el nivel de interferencia en redes de radio cognitiva*. Universidad Distrital Francisco José De Caldas.
- Hernández-Suárez, C. A., Pedraza-Martínez, L. F., & de la Colina, E. R. (2016). Fuzzy feedback algorithm for the spectral handoff in cognitive radio networks. *Revista Facultad de Ingeniería*, 2016(81), 47–62.
<https://doi.org/10.17533/udea.redin.n81a05>
- Hernández, C., & Luis Fernando Pedraza Martínez, F. H. M. S. (2016). Algoritmos para asignación de espectro en redes de radio cognitiva. *Tecnura*, 20(48), 69–88.
<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.2.a05>
- Hernández, C., & Giral, D. A. (2015). Spectrum mobility analytical tool for cognitive wireless networks. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(21), 42265–42274.
- Hernández, C., Giral, D., & Santa, F. (2015). MCDM Spectrum Handover Models for Cognitive Wireless Networks. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 9(10), 679–682.
- Hernández, C., Pedraza, L., Páez, I., & Rodríguez-Colina, E. (2015). Análisis de la Movilidad Espectral en Redes de Radio Cognitiva. *Informacion Tecnológica*, 26(6), 169–186.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000600018>
- Hoque, S., Azmal, M., & Arif, W. (2017). Analysis of spectrum handoff under secondary user mobility in cognitive radio networks. *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*, 1122–1125.
<https://doi.org/10.1109/TENCON.2016.7848183>
- Játiva, P. G. P. (2017). *Análisis de cognitive radio en redes móviles*. Universidad De Chile-Ingeniería Eléctrica.
- Javed, S., & Naeem, B. (2018). Reduction of ping-pong effect in cognitive radio spectrum handoffs using fuzzy logic based inference. *Proceedings-2018 UKSim-AMSS 20th International Conference on Modelling and Simulation, UKSim 2018*, 9–13.
<https://doi.org/10.1109/UKSim.2018.00014>
- Koushik, A. M., Hu, F., & Kumar, S. (2018). Intelligent Spectrum Management Based on Transfer Actor-Critic Learning for Rateless Transmissions in Cognitive Radio Networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 17(5), 1204–1215.
<https://doi.org/10.1109/TMC.2017.2744620>
- Kyryk, M., & Yanyshyn, V. (2017). Proactive spectrum handoff performance evaluation model for Cognitive Radio. *2016 3rd International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2016-Proceedings*, 18–20.
<https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2016.7905323>

- Lala, N., Balkhi, A., & Mir, G. M. (2017). Spectrum Handoff in Cognitive Radio Networks: A Survey. *Oriental Journal of Computer Science and Technology*, 10(04), 765–772.
<https://doi.org/10.13005/ojcs/10.04.10>
- López, D. A., Trujillo, E. R., & Gualdrón, O. E. (2015). Elementos fundamentales que componen la radio cognitiva y asignación de bandas espectrales. *Informacion Tecnológica*, 26(1), 23–40.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000100004>
- López, R., & Montejó Sánchez, S. (2015). La Radio Cognitiva y su Impacto en el Uso Eficiente del Espectro de Radio. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 36(1), 42–55.
<https://doi.org/10.1234/rielac.v36i1.268>
- Marino, F., Paura, L., & Savoia, R. (2016). On spectrum sensing optimal design in spatial-temporal domain for cognitive radio networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65(10), 8496–8510.
<https://doi.org/10.1109/TVT.2015.2505087>
- Romero, K. J. G. (2015). *Modelo de decisión del espectro para radio cognitiva que integra las pérdidas de propagación en la banda GSM del espectro radioeléctrico*. Universidad Distrital Francisco José De Caldas.
- Salgado, C., Hernandez, C., Molina, V., & Beltran-Molina, F. A. (2016). Intelligent Algorithm for Spectrum Mobility in Cognitive Wireless Networks. *Procedia Computer Science*, 83(Ant), 278–283.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.126>
- Syed, T. S., & Safdar, G. A. (2017). History-Assisted Energy-Efficient Spectrum Sensing for Infrastructure-Based Cognitive Radio Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66(3), 2462–2473.
<https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2585763>





Identificación de activos y ciberactivos críticos en sistemas de transmisión de energía eléctrica

Identification of assets and cyber critical assets in electric power transmission systems

Alvaro Espinel Ortega¹ , Juan Carlos Carreno Perez² 

Fecha de recepción: 20 de Noviembre de 2019

Fecha de aceptación: 6 de Mayo de 2020

Cómo citar: Espinel-Ortega., A., y Carreño-Perez., J.C. (2020). Identificación de activos y ciberactivos críticos en sistemas de transmisión de energía eléctrica. *Tecnura*, 24(65)27-38. DOI: [10.14483/22487638.15388](https://doi.org/10.14483/22487638.15388)

Resumen

Objetivo: Presentar una propuesta para la identificación de activos y ciberactivos críticos, facilitando a los agentes del sector conocer su planta tecnológica instalada, clasificar sus activos y ciberactivos, para que posteriormente se valore el estado de vulnerabilidad cibernética y se tomen las acciones necesarias para mantener su sistema en un nivel operativamente seguro.

Metodología: Debido al avance de los sistemas de comunicaciones y tecnologías electrónicas, se ha promulgado durante los últimos 18 años la implementación de estos beneficios tecnológicos a los sistemas de potencia eléctrica abarcando toda la cadena productiva de energía eléctrica, es decir, generación, transmisión, distribución, comercialización e incluso en proyectos de generación distribuida, con el propósito de brindar confiabilidad, selectividad y controlar de manera centralizada la información y gestión de todas las variables eléctricas. En consecuencia, la investigación se construyó a partir de modelar el funcionamiento desde la perspectiva de ciberseguridad e identificando los servicios,

arquitecturas y topologías de operación del sistema de transmisión de energía eléctrica.

Resultados: Anteriormente en los sistemas eléctricos, las únicas fallas que podrían producir una pérdida del suministro de energía eran las ocasionadas por descargas atmosféricas, sobrecargas de los circuitos o fallas en los activos del sistema, como conductores, transformadores, interruptores, bujes entre otros. Ahora, con la integración de redes de comunicación en los sistemas energéticos, a estos imprevisibles se suman problemas de seguridad cibernética como lo son la seguridad e integridad de la información, así como el control de acceso para la manipulación de los dispositivos de maniobras del sistema eléctrico.

Con base en este nuevo aspecto que puede ocasionar fallas y daños en la infraestructura eléctrica, se necesita conocer detalladamente los activos que pueden ser afectados y que a su vez su intervención maliciosa llegue a alterar el sistema de transmisión de energía eléctrica. Por tal razón, en este documento se presenta una propuesta para la identificación de activos y ciberactivos críticos, facilitando a los

1 Ingeniero electricista, magíster en Teleinformática, doctor en Ingeniería de Software, docente de Planta Facultad de ingeniería. Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas Bogota D.C. Contacto: aespinel@udistrital.edu.co
2 Ingeniero en Distribución y Redes Eléctricas, especialista en Teleinformática, magíster en Ciencias de la Información y las Comunicaciones. Grupo de Investigación GESETIC. Bogota D.C. Contacto: jccarrenop@correo.udistrital.edu.co

agentes del sector conocer su planta tecnológica instalada, clasificar sus activos y ciberactivos.

Conclusiones: En este trabajo presenta una propuesta para la identificación de activos y ciberactivos críticos, facilitando a los agentes del sector conocer su planta tecnológica instalada, clasificar sus activos y ciberactivos. En este artículo se presenta una propuesta para la identificación de activos y ciberactivos críticos de la infraestructura eléctrica de transmisión de energía, con el propósito de realizar posteriormente una valoración del estado de vulnerabilidad cibernética y se tomen las acciones necesarias para mantener su sistema en un nivel operativamente seguro.

Palabras clave: ciberseguridad, energía eléctrica, infraestructura crítica, tecnologías de operación, vulnerabilidades.

Abstract

Objective: Submit a proposal for the identification of critical assets and cybernetic assets, which makes it easier for the agents of the sector to know their installed technological plant, classify their cybernetic assets and assets, so that the cyber vulnerability status is subsequently evaluated and take the necessary measures to keep your system at an operationally safe level.

Methodology: Due to the advance of communications and technology systems, the implementation of these technological benefits to electric power systems has been promulgated over the last 18 years, covering the entire production chain of electric energy, that is, generation, transmission, distribution, commercialization and even in distributed generation projects, with the purpose of providing reliability, selectivity and centrally controlling the information and management of all electrical

variables. Consequently, the research was built from functional modeling from the perspective of cybersecurity and identifying the services, architectures and operational topologies of the electric power transmission system.

Results: Previously in electrical systems, the only failures that could cause a loss of energy supply were those caused by atmospheric discharges, circuit overloads or failures in system assets such as conductors, transformers, switches, bushings, among others. Now, with the integration of communication networks in the energy systems, to these unforeseen are added cyber security problems such as information security, data integrity and access control for the manipulation of the system maneuvering devices electric.

Based on this new aspect that can cause failures and damage to the electrical infrastructure, it is necessary to know in detail the assets that may be affected and that in turn their malicious intervention can affect the electric power transmission system. For this reason, this document presents a proposal for the identification of critical assets and cyber assets, which makes it easier for sector agents to know their installed technology plant, classify their cyber assets and assets,

Conclusions: In this document, a proposal for the identification of critical assets and cybernetic assets is presented, which makes it easier for the agents of the sector to know their installed technological plant, classify their cybernetic assets and assets, so that the state of cyber vulnerability is evaluated and may take the necessary measures to keep their system at an operationally safe level.

Keywords: cybersecurity, critical infrastructure, electric power, operation technologies, vulnerabilities.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, la difusión e implementación de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) han producido un

fenómeno con profunda influencia política, social y económica, que aporta aspectos positivos como la globalización del conocimiento.

Al incorporar las TIC en los sistemas de control, supervisión y protección de la infraestructura

eléctrica, se crea una vulnerabilidad a nivel de seguridad informática, en la cual un agente inescrupuloso pueda generar ataques cibernéticos que ocasionen pérdidas de suministro de energía o fallas en el sistema eléctrico. Con base en este nuevo aspecto que puede ocasionar fallas y daños en la infraestructura eléctrica, y evaluando la situación actual mundial en cuanto a la seguridad y condición social, se evalúa que existe gran probabilidad de ataques cibernéticos organizados a los sistemas energéticos. En consecuencia, a nivel sistémico eléctrico es muy importante identificar los activos que se pueden ver afectados ante cualquier tipo de ataque cibernético.

En consecuencia, a nivel sistémico eléctrico es muy importante identificar los activos que se pueden ver afectados ante cualquier tipo de ataque cibernético; por esta razón, en este documento se presenta una propuesta de identificación de los activos y ciberactivos para sistemas de transmisión de energía eléctrica.

ANTECEDENTES

De acuerdo con lo propuesto en [DeSmit, Elhabashy, Wells y Camelio \(2017\)](#), como primer paso, las empresas deben comprender cómo sus sistemas podrían verse comprometidos por ataques ciberfísicos. Sin embargo, antes de esto se debe tener claridad de la manera en que funciona el sistema para determinar todos los posibles vectores de ataque, al que dicho sistema se puede ver expuesto.

Con el propósito de entender el funcionamiento del sistema de transmisión de energía eléctrica, en términos generales una subestación cuenta con cuatro niveles jerárquicos de operación.

- *Nivel 0*: Patio en el caso de subestaciones aisladas en aire, y GIS, en el caso de subestaciones encapsuladas aisladas en SF6.
- *Nivel 1*: Controlador de Bahía/Selectores de respaldo (mímicos de operación de emergencia para control de equipos de patio).

- *Nivel 2*: Estación de operación y gateway o controladores de subestación.
- *Nivel 3*: Centros de control.

La filosofía de operación establece que, si un nivel jerárquico está habilitado para operación, los niveles superiores a este se encontrarán bloqueados. Así, si el nivel 0 se encuentra habilitado, no se podrá operar desde los niveles 1, 2 y 3; de igual manera para los niveles superiores.

Los sistemas de automatización y protección de las subestaciones eléctricas del sistema de transmisión de energía eléctrica colombiano están conformados, en su mayoría, por un equipo de control de subestación de nivel 2; por su parte, los sistemas de control y protección de bahías de nivel 1 son realizados por dispositivos numéricos programables e integrados en el mundo de la tecnología de las comunicaciones.

La automatización y protección de las subestaciones de transmisión de energía cumple de manera integral con las siguientes tareas: adquisición y distribución de la información en tiempo real, señalización local (nivel 1 y nivel 2), señalización remota (nivel 3), supervisión, control local y remoto, control con enclavamientos, control bajo secuencias de mando, protección eléctrica de la bahía, selectividad de la operación de protecciones eléctricas de la subestación, conexión descentralizada o centralizada mediante protocolos de comunicación con dispositivos de protección eléctrica, controladores de bahía y estaciones esclavas, registro y archivo de la información del proceso.

Por la forma modular en que, en la actualidad, se diseñan las subestaciones eléctricas de transmisión, el sistema de automatización y protección es escalable y expandible en la medida que se puede implementar en un rango amplio de tipos, tamaños, con diferentes aplicaciones y requerimientos, permitiendo adaptarse a la medida de las necesidades que el sistema de transmisión lo vaya necesitando.

Por su parte, estos sistemas digitales se integran a la tecnología de las comunicaciones IT aprovechando las ventajas actuales, sus desarrollos y todas sus posibilidades futuras. Mediante las posibilidades de comunicación de los equipos de automatización y protección es posible crear los enlaces necesarios para el intercambio de información dentro del sistema y con los centros de control de nivel superior, IED (*intelligent electronic device*), controladores de bahía y otros dispositivos o sistemas. Lo anterior, teniendo en cuenta que dentro de su diseño e implementación no se comprometa la disponibilidad del sistema, el cual es un factor que puede afectar la operación del sistema eléctrico (Carreño, 2012).

La investigación realizada por Hyunguk y Taeshik (2015), menciona que de acuerdo con la revisión, no se tienen estudios sobre los tipos de nuevas vulnerabilidades de seguridad y los requisitos de seguridad que se requieren en un entorno de protocolo heterogéneo basado en IEC 61850. En este documento, se examina la red eléctrica en Corea y analiza las vulnerabilidades de seguridad, los requisitos de seguridad y arquitecturas de seguridad en dicho entorno.

Las comunicaciones en las subestaciones son basadas en IEC 61850, entre las subestaciones y el Centro de Control del sistema de control de potencia de Corea, se usan los protocolos IEC 61850, DNP3 y IEC 61970.

Cuando se conectan protocolos heterogéneos, como en este caso, un punto de conversión de protocolo es requerido y se convierte en un punto de ruptura de la seguridad de extremo a extremo, en este punto se basa la metodología propuesta por Hyunguk y Taeshik (2015). Por lo que determinan que las amenazas de seguridad que pueden ocurrir en un entorno donde se conectan protocolos heterogéneos basados en IEC 61850, se clasifican en seis tipos: vulnerabilidad de protocolo, asignación inadecuada de protocolos, mapeo de servicio de seguridad incorrecta, herramienta de configuración insegura, sistema Gateway inseguro y debilidad de diseño de red.

Los protocolos que se manejan en la infraestructura de red sobre los sistemas de transmisión de energía eléctrica generalmente son basados en TCP/IP, DeviceNet, ControlNet, PROFIBUS, MODBUS, DNP3, IEC61850, IEC61870-5-104, IEC61870-5-101 Serial, IEC61870-5-103 Serial (Cherdantseva *et al.*, 2016).

En Colombia se están desarrollando constantemente proyectos de expansión de energía eléctrica, como se presenta en UPME (2018) con proyección al 2031, en los cuales se están vinculando tecnologías modernas que implementan tendencias IP y específicamente aplicaciones con IEC 61850; adicionalmente, se realizan modernizaciones de sistemas existentes contemplando el cambio de plataforma y migrando a sistemas inteligentes, automatizando procesos e integrando gestión energética. Por tanto, se requiere establecer una metodología que brinde a las empresas del sector los mecanismos necesarios para tener un sistema seguro.

Adicionalmente, en Colombia las empresas encargadas de proveer el servicio de energía eléctrica tienen la obligación de mantener altos estándares de calidad, dentro de ellas la disponibilidad y confiabilidad del sistema como se especifican en los marcos regulatorios (Mora, Carrillo y Jaimes, 2004). Con esto toma mayor relevancia la identificación de activos y ciberactivos críticos en sistemas de transmisión de energía eléctrica, con el propósito de que los diferentes agentes del sector tomen las medidas de mitigación correspondientes garantizando los estándares de calidad que ellos deben mantener.

MODELO DE FUNCIONAMIENTO

Con la intención de representar el funcionamiento y los elementos principales que componen el sistema de transmisión de energía eléctrica desde la perspectiva de ciberseguridad, en la figura 1 se muestra un modelo de funcionamiento en donde se proporciona la estructura del sistema desde la

perspectiva de ciberseguridad propuesta en esta investigación.

En este trabajo se considera *infraestructura crítica* (IC) las redes de transmisión de energía eléctrica. Como se presenta en la [figura 1](#), estas redes a su vez se definen como sistemas complejos debido a las múltiples interacciones entre sus componentes, dadas principalmente por el diseño que está orientado a brindar un rendimiento óptimo, una operación confiable y una funcionalidad segura. El problema radica en que los métodos clásicos de análisis de vulnerabilidad y evaluación del riesgo no pueden abarcar la complejidad de la IC (estructura y dinamismo; topología y funcionalidad, estática y dinámica).

Esta complejidad dificulta el análisis de una falla o mal funcionamiento; comportamientos emergentes pueden surgir en el sistema por una respuesta colectiva de componentes fundamentales, que se traduce en la incapacidad de predecir y administrar un evento en el sistema. Como consecuencia, existe una mayor incertidumbre en la caracterización de escenarios de falla de la infraestructura crítica ([Zio, 2016](#)).

La estructura compleja hace referencia a la heterogeneidad, y esta última a las diferencias en los elementos, sus interconexiones y roles dentro de la estructura del sistema, frecuentemente con alta conectividad hacia los elementos del núcleo y baja conectividad hacia los nodos periféricos ([Zio, 2016](#)).



Figura 1. Modelo del funcionamiento desde la perspectiva de ciberseguridad

Fuente: elaboración propia.

La complejidad dinámica se manifiesta mediante eventos inesperados en el comportamiento del sistema, en respuesta a cambios locales en el entorno y a las condiciones operacionales de sus componentes. El sistema eléctrico de potencia a mostrado dentro sus antecedentes a nivel mundial comportamientos emergentes, en donde fallas locales han producido efectos envolventes inesperados transformándose en fallas en cascada sobre todo el sistema (Zio, 2016).

ARQUITECTURA DE COMUNICACIONES EN SISTEMAS DE TRANSMISIÓN

Con la intención de dar una descripción de los diferentes componentes que intervienen en el sistema de control, protección y medida en la transmisión de energía eléctrica, la arquitectura de comunicaciones de este tipo de sistemas está formada por uno o más centros de control y un número de dispositivos de campo como RTU (*remote terminal unit*), IED (*intelligent electronic device*), PLC (*programmable logic controller*), *gateway* (controladores basados en *software* y sistemas operativos), conectados por una infraestructura de comunicaciones. Estos dispositivos reciben información desde los componentes de campo y convierten esta información en datos digitales, los cuales a su vez son enviados a los centros de control, y también son capaces de recibir comandos digitales desde los centros de control y manejar grupos de alarmas y ajustes de variables de campo (Cherdantseva et al., 2016).

Las RTU, PLC y *gateway* son dispositivos digitales que monitorean sensores y variables de campo, con las cuales toman decisiones basadas en programas de control realizadas por el usuario con lo que dependiendo de estas controlan válvulas, interruptores, tiristores, IGBT, entre otros. Dentro de la arquitectura de control, la mayoría de las instalaciones cuenta con una interfaz hombre-máquina (IHM) que permite almacenar, controlar y operar de manera local el sistema a partir de una interfaz gráfica y despliegues de operación.

Por otra parte, las IHM proporcionan un sistema de supervisión y control centralizado para numerosas entradas y salidas de proceso. Están diseñadas para recopilar información de campo, transferirla a un centro informático central y mostrar la información al operador gráfica o textualmente (Santander, 2017).

La comunicación se basa en el intercambio de mensajes entre los dispositivos maestros o clientes, con los dispositivos de control esclavos o servidores los cuales envían información y aceptan instrucciones de operación que transmiten hacia los elementos de campo (Cherdantseva et al., 2016).

Dentro de este marco y tomando las funcionalidades definidas anteriormente, estas se soportan físicamente en arquitecturas de comunicaciones que se resumen en a figura 2; este diagrama se desarrolló con el objeto de ilustrar las comunicaciones y enlaces de los casos más comunes que podemos encontrar en un sistema de transmisión de energía eléctrica.

Uno de los tipos más importantes de infraestructura de información crítica son los sistemas de control industrial (ICS) que supervisan y controlan procesos en infraestructuras industriales, como sistemas de generación de energía, sistemas de distribución y transmisión eléctrica, sistemas de tratamiento de agua, oleoductos y gasoductos, plantas químicas y refinerías (Alcaraz y Zeadally, 2015). Estos sistemas incorporan arquitecturas de comunicaciones como la presentada en la figura 2, para conectar centros de control a subestaciones remotas ubicadas en las infraestructuras que se controlan. Las subestaciones incorporan sistemas automatizados llamados unidades terminales remotas (RTU), *gateway* o controladores de subestación, que alojan sensores para recopilar y enviar datos de estado al centro de control, y actuadores para realizar acciones de control (Alcaraz y Zeadally, 2015).

Teniendo en cuenta la importancia del sector energético, se necesita una tecnología principal para asegurar la coordinación de todos los

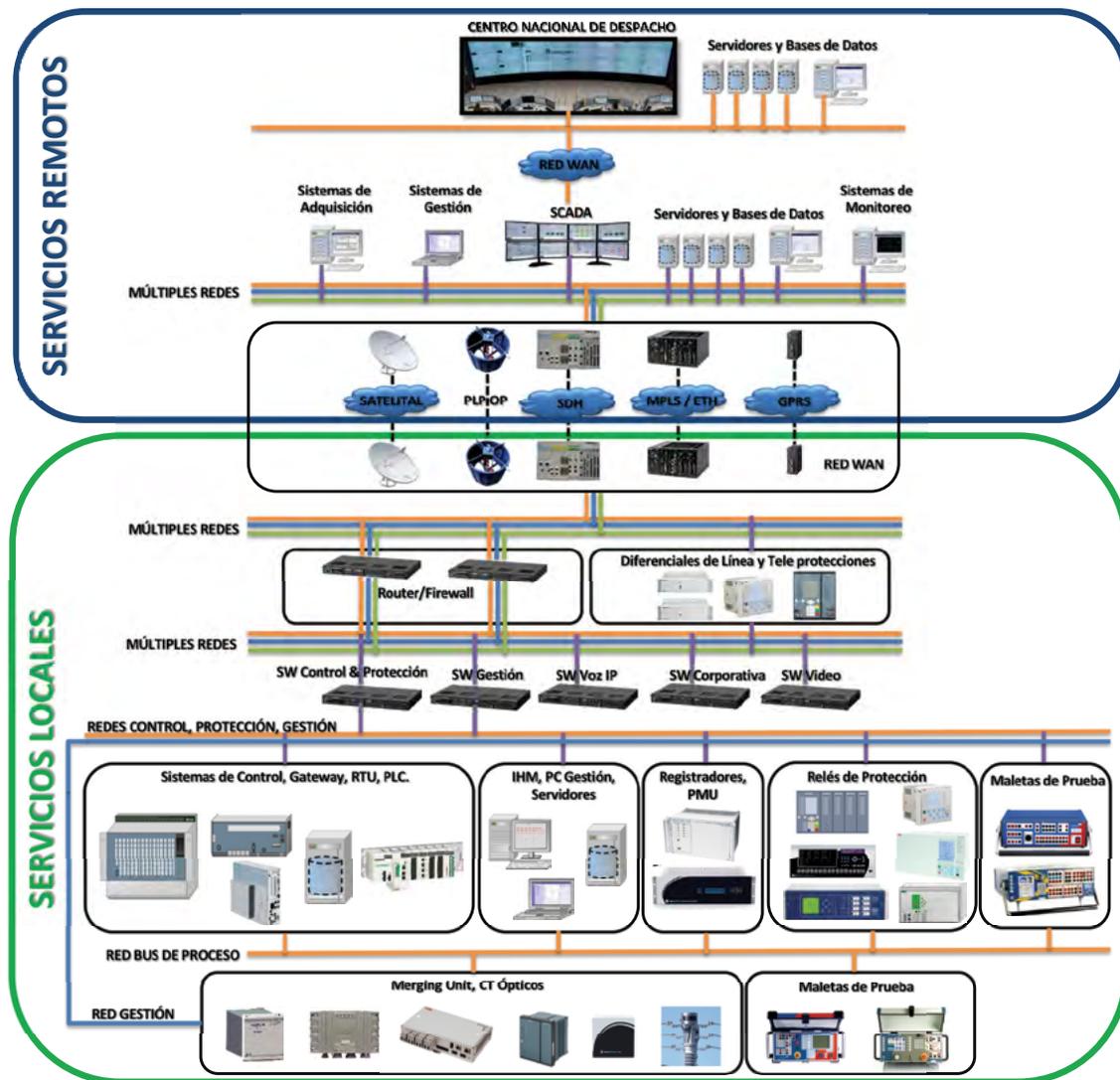


Figura 2. Esquema de arquitectura de comunicaciones en sistemas de transmisión

Fuente: elaboración propia.

componentes de la tecnología de operación (OT) desde un único centro, la cual se denomina *sistemas de supervisión y adquisición de datos* (SCADA). Los SCADA deben brindar alta disponibilidad e integridad de la información. En el caso particular del sector de energía, su importancia está dada en el garantizar el suministro de energía eléctrica a toda la población y a diferentes industrias (Santander, 2017).

ACTIVOS Y CIBERACTIVOS CRÍTICOS

En este artículo se considera infraestructura crítica (IC) las redes de transmisión de energía eléctrica. Estas a su vez se definen como *sistemas complejos* debido a la múltiples interacciones entre sus componentes, dadas por el diseño que está orientado a brindar un rendimiento óptimo, una operación confiable y una funcionalidad segura.

Para la identificación de activos críticos dentro del sistema de transmisión de energía eléctrica, se utilizó el método de identificarlos dando respuestas a las siguientes preguntas (Zio, 2016):

- ¿Cuáles son sus componentes críticos que si fallan causarían grandes consecuencias?
- ¿Cuáles son los mecanismos de propagación en toda la infraestructura crítica?
- ¿Cuáles son los eventos iniciales locales que pueden evolucionar a fallas en cascada globales?

En este orden de ideas, la definición de los componentes eléctricos del sistema de transmisión de energía se da en dos grandes grupos: subestaciones eléctricas y las líneas de transmisión que conectan las subestaciones al resto de la cadena energética.

En consecuencia, a nivel sistémico eléctrico los activos que se pueden ver afectados son subestaciones y líneas de transmisión; así, la identificación de los activos que en este trabajo se denominan activos primarios corresponde, por un lado, a la propia línea de transmisión y por otro, a los elementos que constituyen una unidad constructiva que abarca dentro de este un conjunto de elementos y equipos utilizados para dirigir el flujo de energía, lo que se denomina *grupo subestación eléctrica*.

La definición de estos activos primarios depende de la configuración de la subestación, esta hace referencia al arreglo de equipos electromecánicos consecutivos de un patio de conexión, que se traduce en la manera en que permite su operación con diferentes grados de confiabilidad, seguridad y flexibilidad.

Por consiguiente, los activos utilizados en el presente trabajo se definen en las figuras 3, 4, 5 y 6, en donde se muestra la tipificación de los activos primarios para las configuraciones de subestaciones existentes en Colombia, y que a su vez son identificados como los elementos del sistema de transmisión que pueden verse afectados ante un ataque de cualquier índole y origen.

Identificando estos activos primarios, se definen los activos secundarios que pueden afectar el activo primario, entendiéndose *afectar* como no permitir el flujo de energía a través de él, en condiciones del sistema en el que debería admitirlo. Los activos secundarios, para cada activo primario se presentan en la figura 7, los cuales fueron definidos a partir del modelo funcional y del esquema de arquitectura desarrollado al inicio de esta sección, y teniendo en cuenta que por su funcionalidad afectan directamente el activo primario de nuestro sistema de transmisión de energía.

Estos activos secundarios al ser conectados directamente a redes de comunicaciones y

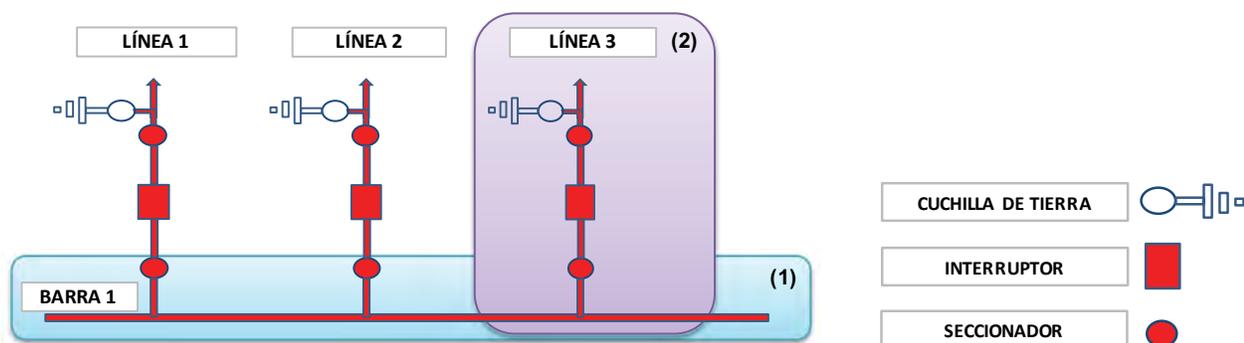


Figura 3. Activos primarios subestación barra sencilla en sistemas de transmisión

Fuente: elaboración propia.

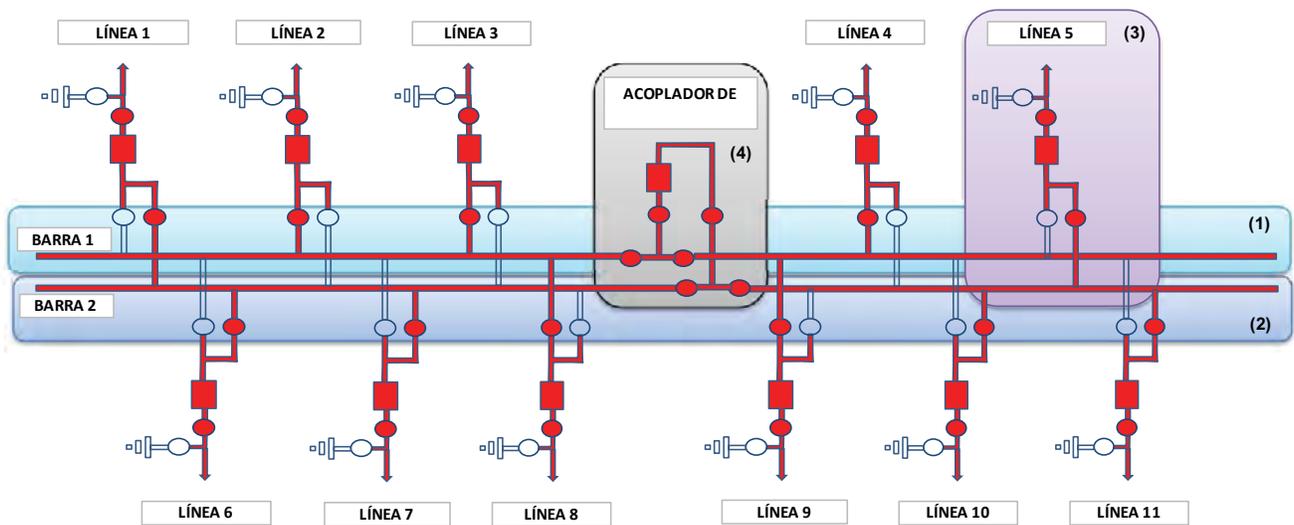


Figura 4. Activos primarios subestación doble barra en sistemas de transmisión

Fuente: elaboración propia.

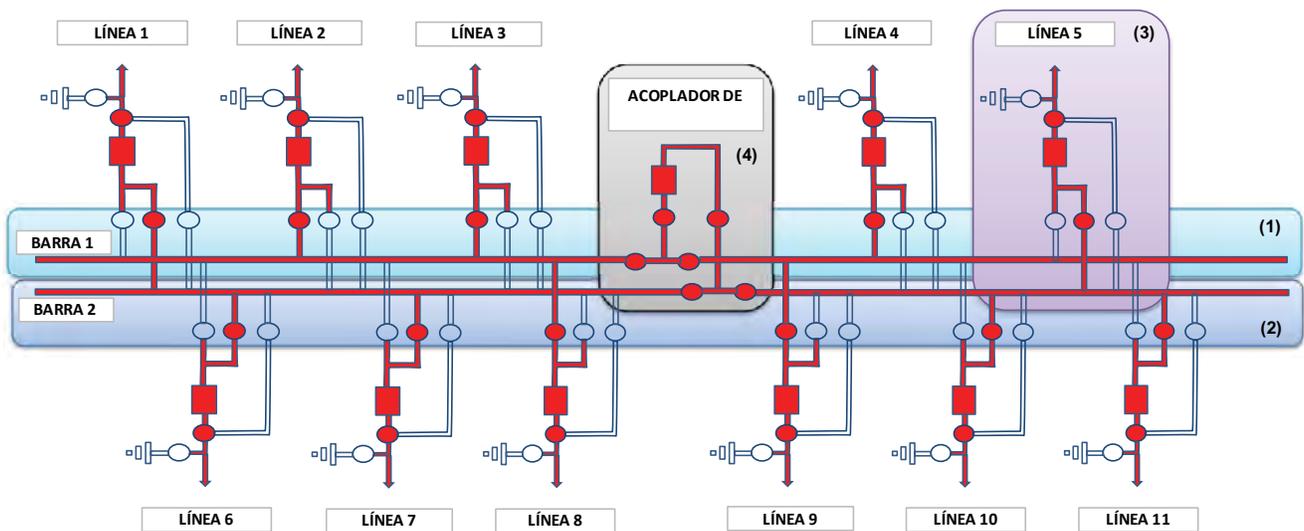


Figura 5. Activos primarios subestación doble barra + transferencia en sistemas de transmisión.

Fuente: elaboración propia.

sistemas de información, que en conjunto permiten la toma de decisión ante eventos y contingencias sobre el sistema de transmisión, pueden ser afectados por otros, a los que en este documento denominamos *activos terciarios*, dado que por medio de estos se pueden alterar, manipular y eliminar información relevante, modificando

los resultados que se obtienen en lo que en el modelo de funcionamiento del sistema desarrollado se definió como las capas de sistemas e inteligencia operacional. En la [figura 8](#) se presentan los activos terciarios y la manera indirecta en la que puede afectar el funcionamiento de un activo primario.

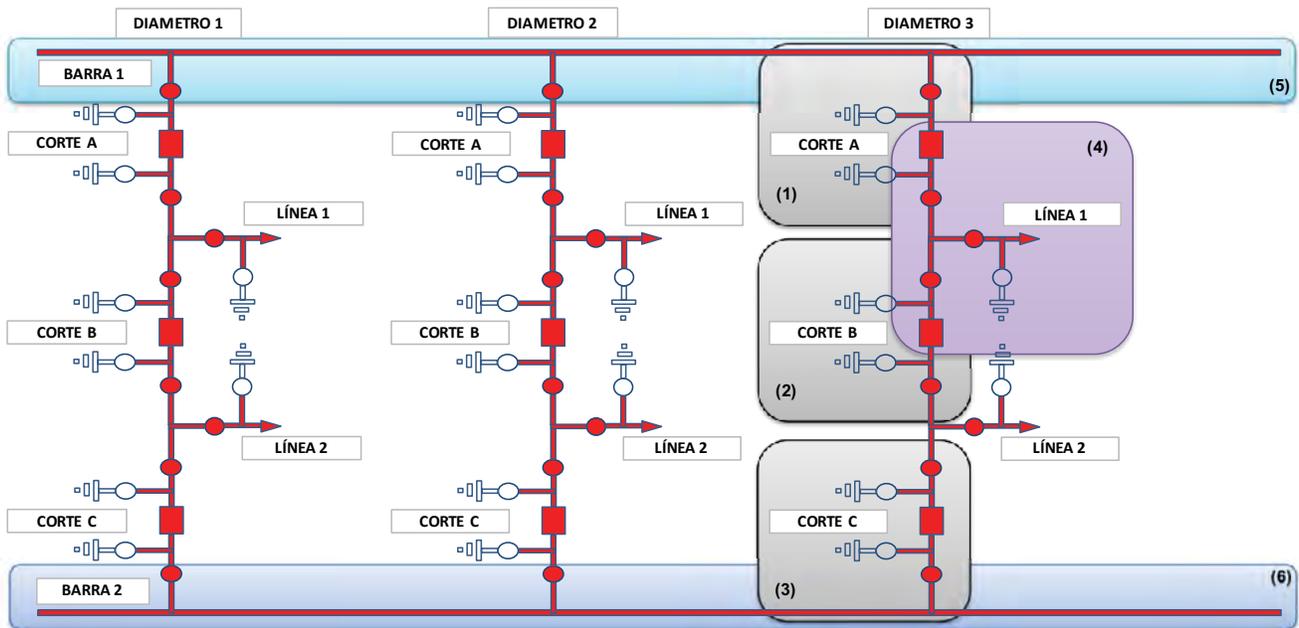


Figura 6. Activos primarios subestación interruptor y medio en sistemas de transmisión

Fuente: elaboración propia.

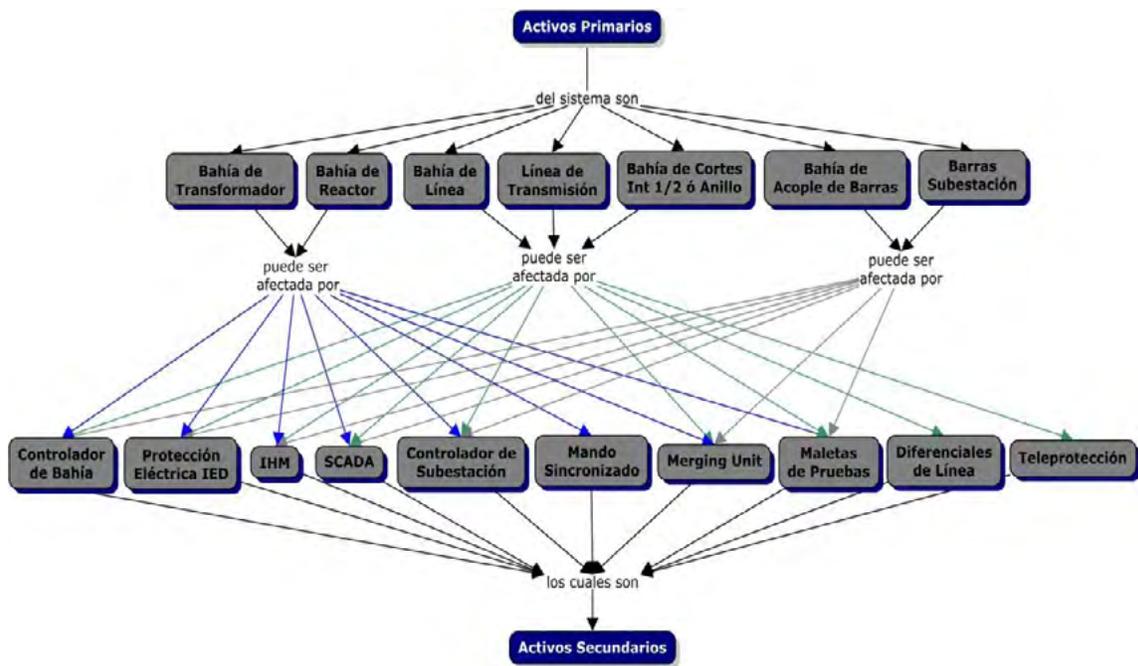


Figura 7. Activos secundarios que pueden afectar los activos primarios del sistema de transmisión

Fuente: elaboración propia.

Los sistemas de potencia funcionan frecuentemente cerca de los límites operacionales debido al incremento de la demanda de electricidad, donde pequeños disturbios en la red pueden producir disparos y efectos de mayor escala como *blackouts*. En general, estos resultan de fallas en cascada en el sistema de transmisión de energía, los disparos de fallas en cascada son múltiples y principalmente incluyen casos aleatorios y ataques maliciosos (Zhu et al., 2015).

Por medio de la identificación de activos propuesta en este documento, se visualizan las fuentes de posibles vectores de ataque que en determinado momento pueden ser objetivo, para afectar el suministro de energía eléctrica y que finalmente desencadenen en *blackout* afectando diferentes sectores estratégicos y vitales para las naciones.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un modelo de funcionamiento del sistema de transmisión de energía eléctrica desde la perspectiva de ciberseguridad presentado en la figura 1, que permite conocer el funcionamiento sistémico y evidenciar los posibles vectores de vulnerabilidad que pueden presentarse en los diferentes puntos de operación.

Se elaboró la arquitectura general de comunicación de sistemas de transmisión de energía eléctrica mostrado en la figura 2, donde se representan las comunicaciones y enlaces que se pueden encontrar en sistemas reales, facilitando la comprensión del funcionamiento del sistema y permitiendo a los diferentes agentes del sector diseñar los perímetros de seguridad lógica para mitigar posibles

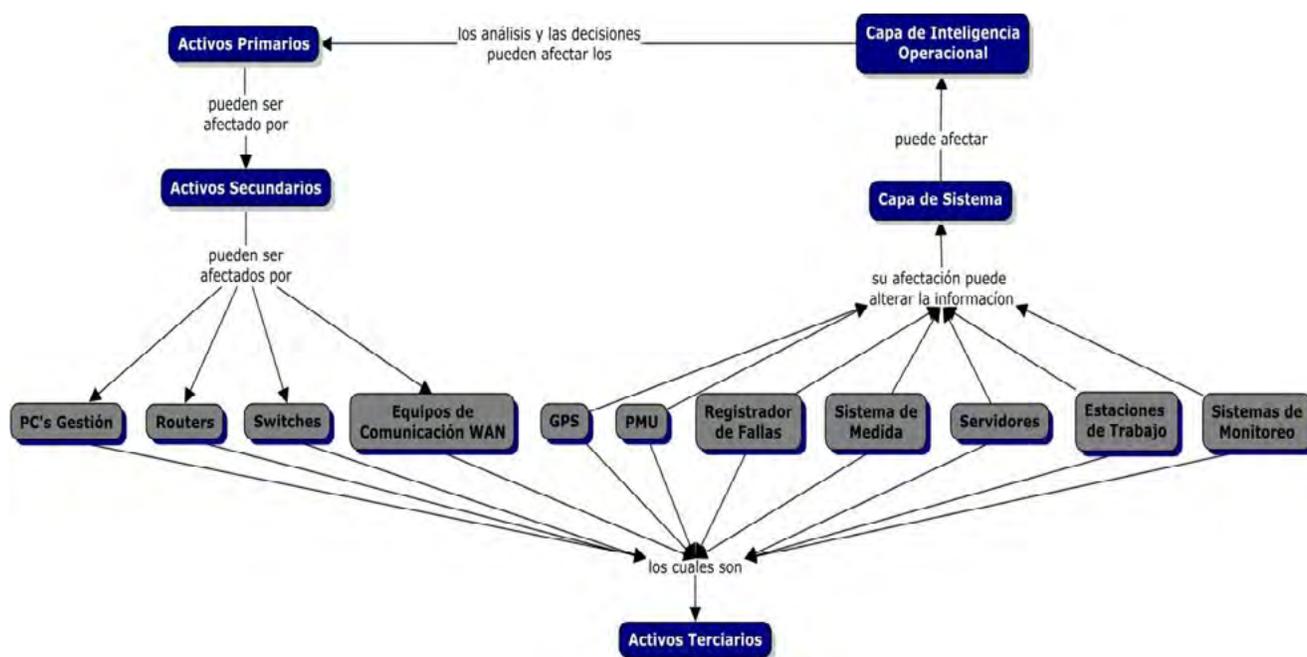


Figura 8. Activos terciarios que pueden afectar los activos primarios del sistema de transmisión de manera indirecta

Fuente: elaboración propia.

intrusiones en los diferentes ciberactivos de la infraestructura.

Se definieron tres tipos de activos para el análisis: primarios, secundarios y terciarios, con su posible afectación en el servicio de energía eléctrica. Adicionalmente, se definieron los posibles activos que se encuentran en los sistemas de transmisión, dependiendo de su topología eléctrica, funcionalidades y servicios tecnológicos presentes en la instalación.

Finalmente, este trabajo presenta una propuesta para la identificación de activos y ciberactivos críticos, facilitando a los agentes del sector clasificarlos y conocer su planta tecnológica instalada, para que posteriormente se valore el estado de vulnerabilidad cibernética y se tomen las acciones necesarias para mantener su sistema en un nivel operativamente seguro.

REFERENCIAS

- Alcaraz, C. y Zeadally, S. (2015). Critical infrastructure protection: Requirements and challenges for the 21st century. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 8, 53-66. <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2014.12.002>
- Carreño, J. (2012). Criterios y consideraciones metodológicas y tecnológicas a tener en cuenta en el diseño e implementación del protocolo iec 61850 en la automatización y protección de sistemas de potencia eléctrica. *Redes de Ingeniería*, 3(1), 23-40. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/REDES/article/view/6405>
<https://doi.org/10.14483/2248762X.6405>
- Cherdantseva, Y., Burnap, P., Blyth, A., Eden, P., Jones, K., Soulsby, H. y Stoddart, K. (2016). A review of cyber security risk assessment methods for 5SCADA6 systems. *Computers & Security*, 56, 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2015.09.009>
- DeSmit, Z., Elhabashy, A., Wells, L. y Camelio, J. (2017). An approach to cyber-physical vulnerability assessment for intelligent manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 43, 339-351. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.03.004>
- Hyunguk, Y. y Taeshik, S. (2015). Challenges and research directions for heterogeneous cyber-physical system based on 5IEC6 61850: Vulnerabilities, security requirements, and security architecture. *Future Generation Computer Systems*.
- Hyunguk, Y., Taeshik, S. (2015). Challenges and research directions for heterogeneous cyber-physical system based on 5IEC6 61850: Vulnerabilities, security requirements, and security architecture. *Future Generation Computer Systems*.
- Mora, J., Carrillo, G. y Jaimes, J. (2004). Reducción de la indisponibilidad durante fallas en subestaciones de transmisión de energía eléctrica. *Tecnura*, 15, 77-83.
- Santander, M. (2017). Entendiendo los sistemas SCADA. *Boletín Ciberespacio*, 1(1), 32-39.
- UPME. (2018). Plan de Expansión de Referencia Generación - Transmisión 2017-2031. https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Plan_GT_2017_2031_PREL.pdf
- Zhu, Y., Yan, J., Tang, Y., Sun, L. y He, H. (2015). Joint Substation-Transmission Line Vulnerability Assessment Against the Smart Grid. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 10(5), 1010-1024. <https://doi.org/10.1109/TIFS.2015.2394240>
- Zio, E. (2016). Challenges in the vulnerability and risk analysis of critical infrastructures. ELSEVIER. <https://doi.org/10.1016/j.res.2016.02.009>
- Zio, E. (2016). Challenges in the vulnerability and risk analysis of critical infrastructures. *Reliability Engineering & System Safety*. ELSEVIER, 152, 137-150. <https://doi.org/10.1016/j.res.2016.02.009>





Estado del agua del río Cesar por vertimientos residuales de la ciudad de Valledupar. Bioindicación por índice BMWP/Col

State of the Cesar river water due to the residual discharge from the city of Valledupar. Bioindication by BMWP/Col index.

Hernando Carlos Oñate Barraza¹, Gridis Yulieht Cortéz Henao²

Fecha de recepción: 2 de Diciembre de 2019

Fecha de aceptación: 6 de Mayo de 2020

Cómo citar: Oñate–Barraza., H.C., y Cortéz–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: [10.14483/22487638.15766](https://doi.org/10.14483/22487638.15766)

Resumen

Objetivo: El objeto de este artículo es cualificar las condiciones de la corriente del río Cesar en la zona de influencia del vertimiento del STAR del municipio de Valledupar, y su relación con los indicadores de contaminación biológica e índice de calidad BMWP/Col.

Metodología: Se establecieron cuatro estaciones de muestreo sobre la corriente del río Cesar: E1 y E2, localizadas aguas arriba de la zona de mezcla de la descarga residual de la ciudad; E3, ubicada en el punto de mezcla del vertimiento y el río; y E4, situada aguas abajo de la descarga. Permite conocer sus características fisicoquímicas y determinar la condición biológica de la corriente según el índice BMWP/Col para los cuatro puntos de muestreo establecidos.

Resultados: En las estaciones E1 y E2, se obtuvieron macroinvertebrados indicadores de aguas limpias y bien oxigenadas, con una clasificación de agua aceptable; mientras que las estaciones E3 y E4, indicadores de aguas contaminadas de calidad

dudosa; siendo E4 la más crítica con concentraciones de oxígeno y DBO₅ de 4,61 mg/l y 51,42 mg/l, respectivamente.

Conclusiones: La estación E4 evidencia la calidad de agua más contaminada según el índice aplicado, a pesar de la presencia de individuos de los géneros *Hemiptera* y *Trichoptera* que reciben una alta puntuación en el índice BMWP/Col. Se da también la aparición de grupos de macroinvertebrados indicadores de aguas de pésima calidad como los *dípteros* de la familia *Ephydriidae*, *Culicidae* y *Chironomidae*.

Palabras clave: aguas residuales, bioindicadores, calidad de aguas, ecosistema lotico.

Abstract

Objective: The purpose of this article is to qualify the conditions of the Cesar river stream in the area of influence of the dumping of the STAR of the municipality of Valledupar, and its relationship with the biological indicators of contamination and BMWP/Col quality index.

1 Magíster en Ingeniería Ambiental, ingeniero sanitario y ambiental. Docente Universidad Popular del Cesar. Valledupar, Colombia. Contacto: hernandoonate@unicesar.edu.co

2 Magíster en Ciencias Ambientales, microbióloga. Docente Colegio Bilingüe Fisher School. Valledupar, Colombia. Contacto: yugridis@hotmail.com

Methodology: Four sampling stations were established on the Cesar River: E1 and E2 located upstream of the mixture zone at the municipal wastewater discharge point, E3 located at the point of mixing of the discharge and the river; and E4 located downstream of the discharge, letting know its physicochemical characteristics and to determine the biological conditions of the stream according to the BMWP/Col index for each of the established stations.

Results: In stations E1 and E2, macroinvertebrates indicators of clean and well-oxygenated waters were obtained, with an acceptable water classification; while the stations E3 and E4, were found macroinvertebrates indicators of contaminated waters of

doubtful quality; E4 has being the most critical area, with oxygen and BOD₅ concentrations of 4.61 mg/L and 51.42 mg/L respectively.

Conclusions: The station E4 shows the quality of the most contaminated water according to the index applied, since despite the presence of individuals from the Hemiptera and Trichóptera genus that receive a high score in the BMWP/Col index, also, the appearance of groups of macro invertebrates indicators of poor quality waters such as the Diptera of the family Ephydriidae, Culicidae and Chironomidae.

Keywords: wastewater, bioindicators, water quality, lotic ecosystem.

INTRODUCCIÓN

El río Cesar en su recorrido atraviesa los departamentos de La Guajira y el Cesar, para desembocar en la ciénaga de Zapatosa la cual desemboca en el río Magdalena. En su recorrido por el departamento del Cesar, este río baña con sus aguas los municipios de Agustín Codazzi, Becerril, Bosconia, Chimi-chagua, Chiriguaná, Curumaní, Copey, La Jagua de Ibirico, San Diego y Valledupar, entre muchos otros. Siendo sus aguas utilizadas por estas comunidades ribereñas como fuente de abastecimiento y consumo en actividades domésticas y económicas como la agricultura, la pesca y la ganadería. Sin embargo, en el transcurso de los años se ha visto afectada la calidad de sus aguas por los vertimientos residuales de estas comunidades. El municipio de Valledupar y más específicamente el vertimiento de sus aguas residuales, ejerce un mayor impacto sobre las aguas de este afluente hídrico. Según [Rodríguez, García y Pardo \(2015\)](#), entre los impactos generados por las Plantas de tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) municipales a su entorno, se pueden considerar la generación de olores, la presencia de espumas, el deterioro estético, entre otros. De igual manera, el aporte de nutrientes promueve la eutrofización que, al presentarse en exceso, induce un

crecimiento desmesurado de la vegetación acuática ([Peña, Muñoz y Espinosa, 2001](#)).

En estas tres últimas décadas los efectos negativos generados sobre los recursos hídricos han llevado a una constante preocupación ambiental, que cada vez gana más adeptos. Esto ha impulsado la necesidad de mantener los ecosistemas acuáticos como un objetivo legítimo que debería ser considerado entre las distintas demandas por agua dulce ([Castro, Carvajal y Céspedes, 2011](#)).

Es tan grande el impacto negativo generado por los múltiples vertimientos (puntuales o difusos) que se ejercen sobre la corriente del río Cesar, que ha llevado a instituciones ambientales como Corpocesar, a declarar la emergencia ambiental en su cuenca media y baja ([Resolución 0170 de 2015](#)).

En ese sentido, el objeto de este artículo es valorar las condiciones del agua del río Cesar en la zona de influencia del vertimiento del STAR del municipio de Valledupar, y su relación con los indicadores de contaminación biológica e índice de calidad BMWP/Col.

Según [Giraldo \(2004\)](#), en los últimos años, la implementación del índice BMWP/Col se ha convertido en una herramienta rápida, eficaz y económica de cualificación ecológica de cuerpos de agua, en comparación con métodos tradicionales

que se han caracterizado por su elevado costo y menor practicidad.

El método del índice BMWP/Col se estableció en Inglaterra para la identificación a nivel de familia de los grupos de macroinvertebrados haciendo uso de datos cualitativos (presencia o ausencia), puntuando en escala de 1 a 10 el nivel de tolerancia o sensibilidad a la contaminación del agua, respectivamente. La sumatoria de la puntuación obtenida, según el número de individuos de cada familia en un lugar determinado, genera el total del índice BMWP/Col.

La presencia o ausencia de macroinvertebrados bentónicos acuáticos como indicadores de contaminación es una muestra de las alteraciones físico-químicas de los cuerpos de agua por la acción antropogénica, pues ellos constituyen un soporte a los test de campo usualmente aplicados, lo cual representa el análisis determinante de las condiciones de una fuente hídrica (Oscos, Campos y Escala, 2006).

Es de conocimiento que desde hace varios años se implementan diversas técnicas biológicas para evaluar la calidad del agua que son cada vez más utilizadas, sobre todo en Estados Unidos y Europa. Estas no pueden implementarse en los países tropicales sin conocer el tipo de organismos que allí habitan y sus exigencias ecológicas y distribución geográfica. Por tal razón, desde la década de 1980, Roldán (1996), el uso de un índice BMWP/Col, como se detalla en la (tabla 1), que tiene en cuenta las familias encontradas en los ecosistemas acuáticos del departamento de Antioquia.

METODOLOGÍA

Delimitación del área de estudio

Este estudio tuvo lugar en la zona del río Cesar denominada “La descarga del Salguero”, nombre derivado del puente homónimo. Esta zona coincide con el punto donde se vierte el efluente del STAR de la ciudad de Valledupar. Para la delimitación del área de estudio y la ubicación de las estaciones de muestreo se consideró que aguas arriba del punto del vertimiento residual se presentan aportes puntuales y escorrentías superficiales sobre el río que podrían afectar las características físicas, químicas y microbiológicas de este y verse reflejados en los resultados investigados, provocando un incremento en el aporte de sedimentos y la turbidez de los ríos (González, Carvajal y Loaiza, 2016). Para minimizar este efecto se establecieron cuatro estaciones sobre el río Cesar, las cuales se localizaron así: E1, 4,6 km aguas arriba del vertimiento del STAR del municipio de Valledupar y 100 m aguas arriba de la zona donde se presentan los aportes puntuales adicionales sobre el río Cesar; E2, 2,5 km aguas arriba del vertimiento del municipio de Valledupar, localizada aguas debajo de la zona donde se presentan los aportes puntuales adicionales sobre el río Cesar; E3, localizada en el punto de mezcla del vertimiento del STAR del municipio de Valledupar y el río Cesar; y la E4, 100 m aguas abajo de la descarga del STAR del municipio de Valledupar.

Tabla 1. Método BMWP/Col

Clase	Calidad	BMWP/Col	Significado	Color
I	Buena	>100	Aguas muy limpias a limpias	
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	
V	Muy crítica	<16	Aguas fuertemente contaminadas	

Fuente: Roldán (1996).

Caracterización fisicoquímica

Para la caracterización se realizó un muestreo compuesto en un periodo de 12 horas diarias, 2 días a la semana, durante 3 meses, donde se evaluaron los parámetros de DQO, contenido de sólidos, presencia de nutrientes inorgánicos (N y P) y alcalinidad. Para los parámetros OD y DBO se aplicó un muestreo puntual en el centro de la corriente para cada una de las estaciones descritas anteriormente (Ideam, 2004).

Determinar presencia/ausencia de microorganismos indicadores de contaminación del agua y el índice BMWP/Col

El método utilizado permitió la obtención de muestras representativas de todos los taxones relativamente abundantes, para así determinar aproximadamente la densidad y biomasa para cada una de las estaciones descritas anteriormente, y poder estimar los índices en cada tramo. Para el muestreo fue utilizada una Red Surber, o red de mano,

de 250-500 µm de malla, la cual se ubicó contracorriente ocupando el mayor espacio posible de la sección transversal del río, removiendo el fondo con mucho cuidado y permitiendo que los animales y sedimentos terminen dentro de la red, para depositarlos en una serie de tamices donde posteriormente fueron lavados para ser clasificados individualmente en frascos de plástico con formaldehído al 4 %. Las muestras se llevaron al laboratorio de la Universidad Popular del Cesar donde fueron separadas en unidades sistemáticas lo más pronto posible, y se clasificaron con la ayuda de claves taxonómicas que permitieron establecer sus características ecológicas y las afectaciones morfológicas que podrían sufrir por el impacto de la contaminación en el cuerpo de agua. A continuación los individuos fueron enumerados y preservados para la determinación del índice de biomasa y de diversidad y frecuencia, para así clasificar las aguas de acuerdo con el índice BMWP/Col (Roldán, 2003)

Las puntuaciones asignadas a cada familia de macroinvertebrados según el BMWP/Col se resumen en la [tabla 2](#).

Tabla 2. Puntuación de las familias de macroinvertebrados para obtener BMWP/Col

Familia	Puntuación
<i>Siphonuridae, Heptageniidae, Leptophebiidae, Potamanthidae, Ephemeridae, Taeniopterygidae, Leuctridae, Capniidae, Perlodidae, Perlidae, Chloroperlidae, Aphelocheiridae, Phryganeidae, Molanidae, Beraeidae, Odontoceridae, Leptoceridae, Goeridae, Lepidostomatidae, Brachycentridae, Sericostomatidae, Athericidae, Blephariceridae</i>	10
<i>Astacidae, Lestidae, Calopterygidae, Gomphidae, Cordulegasteridae, Aeshnidae, Corduliidae, Libellulidae, Psychomyiidae, Philopotamidae, Glossosomatidae</i>	8
<i>Ephemerellidae, Nemouridae, Rhyacophilidae, Polycentropodidae, Limnephilidae</i>	7
<i>Neritidae, Viviparidae, Ancylidae, Hydroptilidae, Unionidae, Corophiidae, Gammaridae, Platycnemididae, Coenagriidae</i>	6
<i>Oligoneuriidae, Dryopidae, Elmidae, Helophoridae, Hydrochidae, Hydraenidae, Clambidae, Hydropsychidae, Tipulidae, Simuliidae, Planariidae, Dendrocoelidae, Dugesidae</i>	5
<i>Baetidae, Caenidae, Haliplidae, Curculionidae, Chrysomelidae, Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae, Dolichopodidae, Dixidae, Ceratopogonidae, Anthomyidae, Limoniidae, Psychodidae, Sialidae, Piscicolidae, Hidracarina</i>	4
<i>Mesoveliidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae, Pleidae, Notonectidae, Corixidae, Helodidae, Hydrophilidae, Hygrobiidae, Dysticidae, Gyrinidae, Valvatidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Bithyniidae, Sphaeriidae, Glossiphoniidae, Hirudidae, Erpobdellidae, Asellidae, Ostracoda</i>	3
<i>Chironomidae, Culicidae, Muscidae, Thaumaleidae, Ephydriidae</i>	2
<i>Oligochaeta (todas las clases), Syrphidae</i>	1

Fuente: Roldán (2003).

RESULTADOS

Características de los parámetros fisicoquímicos en el río Cesar y el vertimiento del STAR del municipio de Valledupar

En las tablas 3 y 4 se presentan los valores de los diferentes parámetros de calidad de agua medidos *in situ* y determinados analíticamente en el laboratorio de la Universidad Popular del Cesar, para las cuatro estaciones de estudio sobre el río Cesar.

Según la tabla 3, las concentraciones de saturación de oxígeno presentan su valor más bajo en la E4, donde se evidenciaron valores promedios de oxígeno disuelto de 66,07 %. El efecto del vertimiento genera un consumo de oxígeno alto, disminuyendo así la cantidad de oxígeno disuelto disponible en este tramo del río. Para las E1 y E2 las concentraciones de oxígeno disuelto son muy próximas a la concentración de saturación, lo cual significa que a esta distancia la carga orgánica aportada por la zona de aportes puntuales ya se ha consumido en su gran mayoría, con lo cual podemos decir que en la sección entre las E1 y E2

el río presenta una alta capacidad de autodepuración, haciendo esto que las aguas de estos sectores tengan mejores condiciones; esta zona es conocida como zona de recuperación, donde a lo largo del recorrido del río se presenta un aumento significativo del nivel de oxígeno disuelto debido a sus procesos de oxigenación. Se realizó una caracterización fisicoquímica, dentro de la cual se determinaron parámetros como: DBO₅, DQO, nitrógeno total, nitratos, nitritos, fósforo total, sólidos suspendidos totales y alcalinidad, para cada uno de los días de muestreo y las cuatro estaciones descritas.

Según la información anterior, los aportes realizados por el STAR del municipio de Valledupar afectan las condiciones de equilibrio natural del río Cesar, alterando así el estado sanitario del mismo. El efluente del STAR, a pesar de recibir un tratamiento previo, presenta una alta concentración de materia orgánica, dependiendo del origen del vertido; para el caso de los vertimientos en estudio y sus efectos en el cuerpo receptor (río Cesar), la concentración del OD no es tan baja debido a la reaireación a la que estos efluentes son sometidos antes de mezclarse con el cuerpo receptor.

Tabla 3. Caracterización de parámetros medidos *in situ*

Estación	OD (mg/L)	% *saturación de oxígeno	Temp. (°C)	pH	Caudal (m ³ /s)
E1	6,17	88,45	28,24	6,75	4,53
E2	6,97	100,00	30,45	7,40	8,56
E3	5,98	85,85	30,19	7,16	0,31
E4	4,61	66,07	29,70	7,24	6,10

* Concentración de oxígeno de saturación 6,97 mg/L O₂.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Caracterización fisicoquímica del río Cesar en las estaciones de muestreo

Estación	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	mg/L N-NO ₃	mg/L N- NO ₂	mg/L N-Total	mg/L P-Total
E1	62,53	14,00	1,74	0,39	2,50	0,37
E2	55,14	21,14	1,77	0,26	2,36	0,41
E3	385,21	150,43	3,10	0,03	27,05	4,44
E4	75,20	51,42	2,15	0,18	8,10	1,04

Fuente: elaboración propia.

Aplicación del índice de calidad BMWP/Col

A continuación se presenta la descripción de las familias encontradas en cada una de las estaciones, así como la determinación del índice de calidad BMWP/Col para cada una de ellas.

E1 4,6 km aguas arriba del vertimiento del STAR del municipio de Valledupar

Se hallaron varias comunidades de macroinvertebrados correspondientes a 8 órdenes y 12 familias que se relacionan en la [tabla 5](#).

Se presenta un listado de macroinvertebrados indicadores de aguas limpias y bien oxigenadas; y de aguas limpias y frías. Los *ephemeróteros* y *plecópteros* son buenos indicadores de tal condición del agua. Ellos presentan agallas laterales que toman el oxígeno disuelto del agua en corrientes medias y rápidas. Los *trichópteros* de la familia *Hydropsychidae* son buenos bioindicadores de aguas limpias, ya que viven en aguas con altas concentraciones de oxígeno disuelto (aproximadamente 89 % de saturación de oxígeno).

E2 2,5 km aguas arriba del vertimiento del municipio de Valledupar

Se hallaron varias comunidades de macroinvertebrados correspondientes a 7 órdenes y 12 familias que se relacionan en la [tabla 6](#).

La mayoría de macroinvertebrados acuáticos encontrados en la estación de muestreo E2 son indicadores de aguas limpias, bien oxigenadas; esto se confirma con el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en la E2 (ver [tabla 3](#)), que evidencia fenómenos muy leves de contaminación. Algunos *ephemerópteros* y *trichópteros* son tolerantes a elevadas concentraciones de sólidos suspendidos, y se hallan en aguas limpias a medianamente turbias.

E3 localizada en el punto de mezcla del vertimiento del STAR del municipio de Valledupar y el río Cesar

La evaluación para los vertimientos se realizó en la zona de mezcla, encontrando 3 órdenes y 10 familias. Los resultados que se describen en la [tabla 7](#), y son ratificados por la evaluación de parámetros fisicoquímicos descritos anteriormente.

Tabla 5. Macroinvertebrados E1

Orden	Familia	Puntaje (índice BMWP/Col)
Trichoptera	Hidropsychidae	7
Hemiptera	Naucoridae	8
	Vellidae	8
	Baetidae	7
Ephemeroptera	Leptohyphidae	7
	Leptophlebiae	9
Odonata	Coenagrionidae	8
	Libellulidae	6
Coleoptera	Elmidae	6
	Dryopidae	7
Díptera	Chironomidae	2
Plecoptera	Perlidae	10
Lepidoptera	Pyralidae	6
Total		91

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Macroinvertebrados E2

Orden	Familia	Puntaje (índice BMWP/Col)
Trichoptera	Hidropsychidae	6
Decapoda	Trichodactylidae	6
	Palaemonidae	6
Hemiptera	Naucoridae	8
	Vellidae	7
	Baetidae	6
Ephemeroptera	Leptohyphidae	7
	Leptophlebiae	9
	Coenagrionidae	8
Odonata	Libellulidae	6
	Elmidae	7
Diptera	Culicidae	2
Total		78

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Macroinvertebrados E3

Orden	Familia	Puntaje (índice BMWP/Col)
Diptera	Culicidae	2
	Psychodidae	2
	Ephydriidae	2
	Chironomidae	2
	Stratiomyidae	4
Hemiptera	Corixidae	4
	Belostomatidae	4
Coleoptera	Dytiscidae	8
	Noteridae	6
	Hidrophilidae	3
Total		37

Fuente: elaboración propia.

A través del cálculo del índice BMWP/Col, se obtuvieron valores de calidad de agua de 37, lo cual indica que según la [tabla 1](#), son aguas contaminadas de calidad dudosa y que pertenecen al tipo IV en la zona de mezcla entre el vertimiento del sistema de tratamiento de aguas residual del municipio de Valledupar y el río Cesar.

E4 100 m aguas abajo de la descarga del STAR del municipio de Valledupar

Se hallaron varias comunidades de macroinvertebrados correspondientes a 6 órdenes y 12 familias que se relacionan en la [tabla 8](#).

Tabla 8. Macroinvertebrados E4

Orden	Familia	Puntaje (índice BMWP/Col)
Díptera	Chironomidae	2
	Ephydriidae	2
	Culicidae	2
Hemiptera	Vellidae	7
	Gerridae	7
Trichoptera	Leptoceridae	8
Coleoptera	Noteridae	4
	Lymnaeidae	4
Haplotaxida	Tubificidae	1
Total		37

Fuente: elaboración propia.

A pesar de la presencia de individuos de los géneros *Hemíptera* y *Trichoptera* que reciben una alta puntuación en el índice BMWP/Col, también se evidencia la aparición de grupos de macroinvertebrados indicadores de aguas de pésima calidad, como los *dípteros* de la familia *Ephydriidae*, *Culicidae* y *Chironomidae*. Es importante aclarar que, para la E4, el nivel de oxígeno disuelto se sitúa en 4,61; lo que corresponde a aguas en condiciones críticas, sin embargo, el índice de calidad BMWP/Col arroja como resultado un agua clase IV (dudosa), estas diferencias son justificadas con

la presencia de individuos de la familia *Leptoceridae*, que si bien están presentes en aguas oxigenadas también pueden desarrollarse en condiciones de abundante disponibilidad de materia orgánica, como se observa en la caracterización fisicoquímica (tabla 4). Una vez obtenidos los valores del índice BMWP/Col para la evaluación de calidad de agua en cada uno de los tramos de estudio, se muestran los resultados generales y su relación con las variables oxígeno disuelto (O_2) y DBO_5 con los cuales se ratifican los resultados del índice BMWP/Col, para todos los casos (tabla 9).

Tabla 9. Resultados generales

Estación	km	O_2 (mg/L)	DBO_5 (mg/L)	Clase	Significado	Calidad	Color
E1	0	6,17	14	III	Aguas medianamente contaminadas	Aceptable	
E2	2,528	6,97	21,14	III	Aguas medianamente contaminadas	Aceptable	
E3	4,626	5,98	25,93	IV	Aguas contaminadas	Dudosa	
E4	4,726	4,61	51,42	IV	Aguas contaminadas	Dudosa	

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los flujos máxicos resultados de la caracterización de las estaciones E1 = 5480,85 kg/d, y E2 = 14164,57 kg/d, indican una mezcla completa y el aporte de carga que se ejerce entre el río y las descargas puntuales que se encuentra entre estas estaciones; esto se evidencia en la estación E2, donde el flujo máxico presenta un incremento debido al aporte por escorrentías superficiales. Sin embargo, para los puntos E2 y E4, los valores fueron 14164,57 kg/d y 28320,45 kg/d, respectivamente, indicando que la mezcla de los vertimientos del STAR del municipio de Valledupar no es completa a la distancia de 100 m en los cuales se realizó la evaluación.

La E4 presenta la calidad de agua más contaminada en el tramo, según el índice BMWP/Col, ya que a pesar de la presencia de individuos de los géneros *Hemíptera* y *Trichóptera* que reciben una alta puntuación en el índice BMWP/Col, también aparecen grupos de macroinvertebrados indicadores de aguas de pésima calidad, como los *dípteros* de la familia *Ephydriidae*, *Culicidae* y *Chironomidae*.

En la E4 el nivel de oxígeno disuelto se sitúa en 4,61, lo que corresponde a aguas en condiciones críticas; sin embargo, el índice de calidad BMWP/Col arroja como resultado un agua clase IV (dudosa). Estas diferencias son justificadas con la presencia de individuos de la familia *Leptoceridae*, que si bien están presentes en aguas oxigenadas también pueden desarrollarse en condiciones de abundante disponibilidad de materia orgánica.

El método BMWP/Col representa una herramienta de gran utilidad para la bioindicación de la calidad de cuerpos de agua de media y baja densidad especialmente adaptado a los ecosistemas de la región Andina colombiana y aplicado a diversas regiones del país teniendo en cuenta las características del cuerpo de agua. Por tanto, es importante avanzar y profundizar en el estudio ecológico y taxonómico de macroinvertebrados bénticos como indicadores de calidad del agua especialmente en

la región de la costa Atlántica de Colombia, donde la información disponible sobre estos organismos para el uso mencionado es limitada.

La correlación de los resultados obtenidos a partir del método BMWP/Col para el río Cesar, en los tramos de estudio con las características físico-químicas, microbiológicas y comportamiento de constantes cinéticas de la zona, constituye un antecedente de gran relevancia para posteriores investigaciones en la región.

FINANCIAMIENTO

Esta investigación se desarrolló en el marco de convocatoria interna para la financiación de proyectos de grupos de investigación de la Universidad Popular del Cesar.

REFERENCIAS

- Castro Heredia, L., Carvajal Escobar, Y. y Céspedes López, G. (2011). Aplicación de la metodología de caudales básicos de mantenimiento en la cuenca media del río Tuluá-subcuenca del río Cauca. *Tecnura*, 16(31), 33-44. DOI: [10.14483/udistrital.jour.tecnura.2012.1.a03](https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2012.1.a03)
- Giraldo Quintero, G. (2004). Bioindicación de la calidad del agua en corrientes alto andinas. Aplicación de los índices de monitoreo biológico BMWP/Col y BMWP/Cu. *Tecnura*, 7(14), 17-23. DOI: [10.14483/22487638.6172](https://doi.org/10.14483/22487638.6172)
- González López, N., Carvajal Escobar, Y. y Loaiza Cerrón, W. (2016). Análisis de sequías meteorológicas para la cuenca del río Dagua, Valle del Cauca, Colombia. *Tecnura*, 20(48), 101-113. DOI: [10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.2.a07](https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.2.a07)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) (2004). *Guía para monitoreo y seguimiento del agua*. Bogotá.
- Oscos, J., Campos, F. y Escala, M. (2006). Variación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas. *Limnetica*, 25(3), 683-692.

Peña Prieto, L., Muñoz Martínez, M. y Espinosa Correa, A. (2001). Tratamiento de aguas residuales municipales y su impacto ambiental sobre un ecosistema, Universidad Distrital, Colombia. *Tecnura*, 5(9), 35-45. DOI: [10.14483/22487638.6116](https://doi.org/10.14483/22487638.6116)

Resolución 0170 del 09 de marzo de 2015. Por medio del cual se declara la emergencia ambiental en la cuenca media y baja del río Cesar, se adoptan medidas de emergencia ambiental y se establecen otras disposiciones, Corpocesar.

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: [10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a12](https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a12)

Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia*. 1a. ed. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.

Roldan, G. (1996). *Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Medellín: Colciencias, Universidad de Antioquia.





Salud ambiental del río Ranchería a través de macroinvertebrados acuáticos en el área de influencia del complejo carbonífero El Cerrejón

Environmental health of the Ranchería river
through aquatic macroinvertebrates in the area of influence
of the El Cerrejón carboniferous complex

Luis Díaz Chávez¹, Ana Patricia Espinosa Romero², Geomar Molina Bolívar³

Fecha de recepción: 23 de Diciembre de 2019

Fecha de aceptación: 6 de Mayo de 2020

Cómo citar: Díaz-Chávez., L. Espinosa – Romero., A.P. y Molina-Bolívar., G. (2020). Salud ambiental del río Ranchería a través de macroinvertebrados acuáticos en el área de influencia del complejo carbonífero El Cerrejón. *Tecnura*, 24(65) 49-63. DOI: [10.14483/22487638.15773](https://doi.org/10.14483/22487638.15773)

Resumen

Objetivo: Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la salud ambiental del ecosistema lótico río Ranchería en el área de influencia del complejo carbonífero El Cerrejón, a través de bioindicación con macroinvertebrados acuáticos.

Metodología: Se establecieron tres estaciones de monitoreo (E_1 , E_2 y E_3), en las cuales se realizaron mediciones de variables fisicoquímicas como: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxígeno disuelto (mg/l), pH, salinidad (%o), conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), turbidez (UNT), sólidos suspendidos totales (mg/l), cloruros (mg/l), amonios ($\mu\text{g}/\text{l}$), nitritos ($\mu\text{g}/\text{l}$), nitratos ($\mu\text{g}/\text{l}$), fosfatos ($\mu\text{g}/\text{l}$) y demanda bioquímica de oxígeno (mg/l). Los macroinvertebrados acuáticos se colectaron a través de muestreo multihábitat por arrastre con red surber, red D-net y recolección de organismos bentónicos, usando nucleadores PVC. La calidad de las aguas en cada estación de monitoreo se clasificó mediante el índice BMWP/col.

Resultados: Como resultados relevantes, se encontró que las familias de macroinvertebrados acuáticos con más abundancia en E_1 fueron Baetidae, Coenagrionidae, Philopomamidae, Leptohyphidae y Leptophlebiidae; en E_2 , Culicidae, Hydrophilidae, Coenagrionidae, Psephenidae e Hydrobiidae, y en E_3 , Coenagrionidae, Hydrobiidae, Belastomatidae y Palaemonidae.

Conclusiones: Se concluye que E_1 posee aguas de buena calidad (BMWP/col = 130; ASPT = 6,50), con alta diversidad y riqueza ($H'_{E_1} = 3,75$ bits/ind; $I_{E_1} = 4,76$); E_2 y E_3 poseen aguas de calidad aceptable (BMWP/col = 65; ASPT = 5,00) y calidad dudosa (BMWP/col = 50; ASPT = 5,25), respectivamente, con mediana diversidad de familias ($H'_{E_2} = 2,97$ bits/ind y $H'_{E_3} = 2,32$ bits/ind) y mediana riqueza ($I_{E_2} = 2,82$ y $I_{E_3} = 1,88$).

Financiamiento: Universidad de La Guajira.

Palabras clave: Calidad de agua, bioindicadores, BMWP/col.

1 Ingeniero ambiental. Profesional de apoyo. Instituto de Estudios Ambientales y Aprovechamiento de Agua (INESAG), Universidad de La Guajira. Riohacha, Colombia. Contacto: luisdiazc@uniguajira.edu.co

2 Magistra en Desarrollo Rural, especialista en Gerencia Ambiental y Desarrollo Sostenible, ingeniera del Medio Ambiente. Directora del Programa de Ingeniería Ambiental y docente, Universidad de La Guajira. Riohacha, Colombia. Contacto: apespinosa@uniguajira.edu.co

3 Doctor en Ciencias Naturales para el Desarrollo, MSc en Ciencias Biológicas Mención Ecología Acuática, licenciado en Biología y Química. Docente de planta, Universidad de La Guajira. Riohacha, Colombia. Contacto: gmolina@uniguajira.edu.co

Abstract

Objective: This research aimed to evaluate the environmental health of the lunatic ecosystem River Ranchería in the area of influence of the El Cerrejón coal complex, through bioindication with aquatic macroinvertebrates.

Methodology: Three monitoring stations were established (E_1 , E_2 y E_3), in which measurements of physicochemical variables were made such as: Temperature ($^{\circ}\text{C}$), Dissolved Oxygen (mg/L), pH, Salinity (‰), Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Turbidity (UNT), Total Suspended Solids (mg/L), Chlorides (mg/L), Amonios ($\mu\text{g}/\text{L}$), Nitrites ($\mu\text{g}/\text{L}$), Nitrates ($\mu\text{g}/\text{L}$), Phosphates ($\mu\text{g}/\text{L}$) and Biochemical Oxygen Demand (mg/L). Aquatic macroinvertebrates were collected through multi-habitat sampling with surber net, D-net and PVC nucleators for collection of benthic organisms. Water quality at each monitoring station was classified using the BMWP/col index.

Results: As relevant results, it was found that the families of aquatic macroinvertebrates with the most abundance in E_1 were Baetidae, Coenagrionidae, Philopomamidae, Leptohiphidae and Leptophlebiidae; in E_2 , Culicidae, Hydrophilidae, Coenagrionidae, Psephenidae e Hydrobiidae and in E_3 , Coenagrionidae, Hydrobiidae, Belastomatidae and Palaemonidae.

Conclusions: It is concluded that E_1 has good quality waters (BMWP/col 130; ASPT 6.50), with high diversity and richness ($H'E1 \times 3.75$ bits/ind; $IE1 \times 4.76$); E_2 and E_3 have waters of acceptable quality (BMWP/col $\times 65$; ASPT 5.00) and dubious quality (BMWP/col $\times 50$; ASPT-5.25), respectively, with median diversity of families ($H'E2 \times 2.97$ bits/ind and $H'E3 \times 2.32$ bits/ind) and median wealth ($IE2 \times 2.82$ and $IE3 \times 1.88$).

Financing: Universidad de La Guajira.

Keywords: Water quality, bioindicators, BMWP/col.

INTRODUCCIÓN

Los ríos son ecosistemas dinámicos y complejos, con múltiples conexiones con otros ecosistemas, longitudinales (conexión río arriba-río abajo), laterales (conexión con la cuenca hidrográfica y vegetación de la ribera) y verticales (conexión con las aguas subterráneas y la precipitación) (Encalada, 2010). Estas particularidades les permiten brindar múltiples servicios ambientales que han sido utilizados como ejes para el desarrollo de la humanidad, con la consecuente contaminación y transformación de la morfología de sus cauces por la intervención antrópica asociada a grandes obras de infraestructura, afectando además, la calidad del agua con la disposición y vertimiento de residuos sólidos y líquidos, que tiene graves efectos en la biodiversidad acuática y en las funciones y servicios ecosistémicos que proveen.

Particularmente, el río Ranchería, considerado la principal fuente hídrica del departamento de La Guajira, alberga sobre su cuenca el desarrollo

de muchas de las actividades económicas del departamento, incluyendo la minería de explotación de carbón a cielo abierto de El Cerrejón, y por su amplio recorrido a través de su superficie, baña con sus aguas a muchos de sus municipios que lo han convertido en el principal receptor de efluentes de los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales, que no operan eficientemente en la remoción de la carga contaminante (Corpoguajira, 2011).

Diversos estudios han analizado la calidad del agua del río Ranchería (Molina-Bolívar y Jiménez-Pitre, 2017; Bolívar, Pitre y Correa, 2017; Argumedo, Sierra y Negrete, 2017; Pérez, Nardini y Galindo, 2018; Fuentes, Verbel, Villegas y Campos, 2019) y algunos de ellos (Pérez, Nardini y Galindo, 2018; Fuentes *et al.*, 2019) han demostrado el deterioro de la calidad del agua a su paso por la mina de El Cerrejón, dados los vertimientos que realizan los centros poblados alrededor del cauce principal, el aumento de la turbiedad, la disminución de la velocidad del mismo y el excesivo

transporte de material suspendido producto de los materiales de arrastre aguas arriba de la cuenca.

No obstante, la mayoría de estos estudios se han realizado desde el punto de vista fisicoquímico de las aguas del río Ranchería, y por ser reconocido ampliamente que estos solo reflejan las condiciones ambientales del ecosistema en el instante en que son evaluadas, se considera necesario incorporar procedimientos de bioindicación a través de macroinvertebrados acuáticos para evaluar la calidad de las aguas del río Ranchería, dado que los bioindicadores reflejan la dinámica ambiental del ecosistema en el tiempo y, por su simplicidad metodológica, rapidez en la obtención de los resultados y alta confiabilidad, se constituyen en una herramienta idónea para el análisis de calidad del agua en ecosistemas lóticos (Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega, 1988; Medianero y Samaniego, 2004; López *et al.*, 2005; Ortiz, 2005; Giacometti, 2019).

En la actualidad, son muchas las investigaciones de bioindicación a través de macroinvertebrados acuáticos que se han realizado en el mundo y en Colombia, puesto que estos son considerados como los mejores indicadores de calidad del agua (Correa, Machado y Roldán, 1981; Álvarez y Roldán, 1983; Arango y Roldán, 1983; Bedoya y Roldán, 1984; Roldán, 1985; Zúñiga de Cardoso, 1985; Alba-Tercedor y Sánchez-Ortega, 1988; Machado y Rincón, 1989; Pérez, 1999; Sánchez-Vélez y García-Núñez, 1999; Riss, Ospina y Gutiérrez, 2002; Vivas *et al.*, 2002; Chalá *et al.*, 2003; Guerrero-Bolaño, Manjarrés-Hernández y Núñez-Padilla, 2003; Roldán-Pérez, 2003, 2016; González y Lozano, 2004; Gutiérrez, Riss y Ospina, 2004; López *et al.*, 2005; Molina, Fossati y Marín, 2006; Guinard, Ríos y Vega, 2013; Madera, Angulo, Díaz y Rojano, 2016; Murillo-Montoya, Mendoza-Mora, Restrepo-Bastidas y Rodríguez, 2018; Giacometti, 2019). Sin embargo, en el área de estudio, las investigaciones de la calidad de las aguas del río Ranchería a través de procesos de bioindicación son escasos. La literatura revisada solo reporta estudios de este tipo en la zona deltaica del río

Ranchería (Castro *et al.*, 2005; Arteta-Bonivento, 2009; Castro *et al.*, 2013).

En virtud de lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar la salud ambiental del río Ranchería a través macroinvertebrados acuáticos en el área de influencia del complejo carbonífero El Cerrejón, permitiendo conocer las condiciones de calidad de este ecosistema desde un enfoque biológico para una mejor administración del recurso por parte de las instituciones encargadas a esta labor.

METODOLOGÍA

Área de estudio y estaciones de monitoreo

El río Ranchería está localizado en el departamento de La Guajira (Colombia); nace en la Sierra Nevada de Santa Marta, en la laguna Chirigua a una altitud de 3875 msnm, y tiene una longitud aproximada de 248 km (Corpoguajira, 2011; Corpoguajira y Fundación Pro-Sierra Nevada de Santa Marta, 2012).

Para el desarrollo de este estudio se establecieron tres estaciones de monitoreo sobre el cauce principal del río Ranchería: E₁, E₂ y E₃ (figura 1), respectivamente georreferenciadas a través de un receptor GPS Garmin Etrex (tabla 1). La estación E₁, tomada como blanco, se localizó aguas arriba del río Ranchería (cuenca alta) a la altura del corregimiento de Caracolí, Sabana de Manuela, municipio de San Juan del Cesar, se caracteriza porque el cauce presenta un ancho aproximado de 30 m con aguas turbulentas, cristalinas y profundidades promedios de 0,40 m; su fondo se compone de abundante gravilla y rocas de gran tamaño, y en algunos sectores sus bordes presentan lodos finos con presencia de material vegetal de la flora circundante. Las estaciones E₂ y E₃ fueron situadas en el área de influencia del complejo carbonífero de El Cerrejón. E₁, E₂ se localizó antes del complejo minero a 300 m de la población del corregimiento de Papayal, municipio de Barrancas, caracterizada por tener aguas torrentosas en época de lluvias con

coloración marrón oscuro atribuidas a la presencia de partículas en suspensión. En época de sequía sus aguas son quietas y transparentes con coloración verdosa producto de la presencia de microalgas del género *Lemna*; su profundidad promedio es de 0,60 m con fondos arenosos y lechos blandos en los bordes. La estación E₃, ubicada aproximadamente entre 2-3 km del municipio de Albania, presenta una profundidad promedio de 0 30 m y un ancho aproximado de 10 m, con aguas corrientes poco transparentes y lecho constituido por gravas

y cantos rocosos afilados; en los extremos, el lecho presenta lodos finos.

Medición de variables fisicoquímicas

En las estaciones de monitoreo se realizaron mediciones *in situ* de las variables fisicoquímicas: temperatura (Temp.), oxígeno disuelto (OD), pH, salinidad (Sal.), conductividad (Cond.), utilizando un multiparámetro WTW 3320 y turbidez (Turb.) a través de un turbidímetro HACH 2100P. Asimismo,

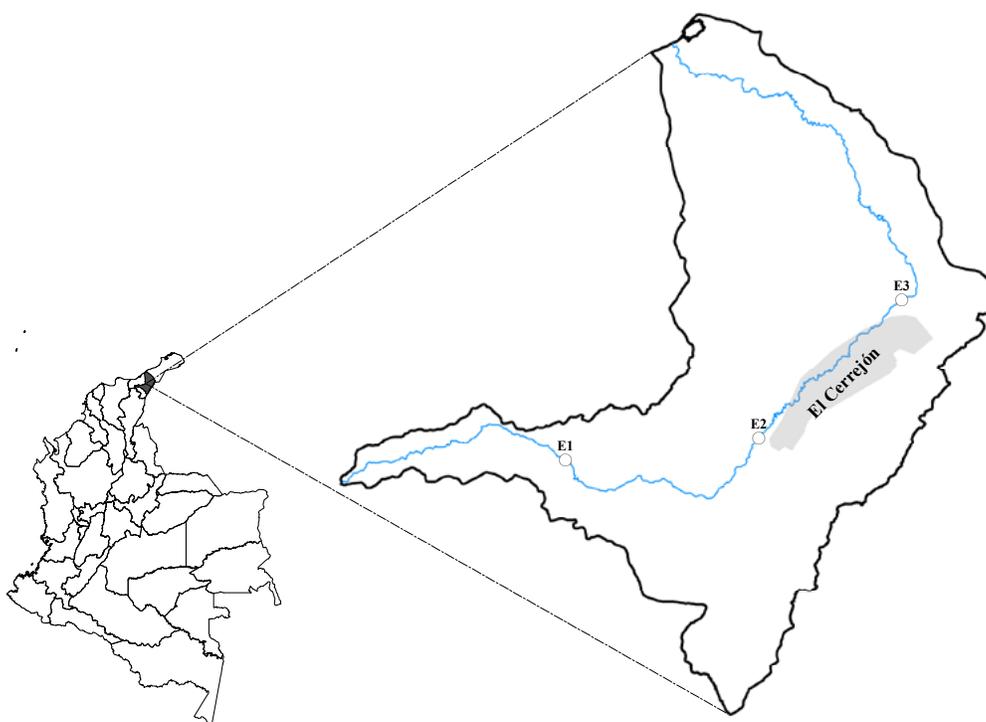


Figura 1. Localización del área de estudio

Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Geolocalización de las estaciones de monitoreo

Estaciones de monitoreo	Coordenadas		Descripción de la zona
	Norte	Este	
E ₁	10° 57' 12.85"	73° 03' 31.66"	Corregimiento de Caracolí
E ₂	10° 59' 02.49"	72° 46' 00.42"	Corregimiento de Papayal
E ₃	11° 10' 48.29"	72° 33' 11.74"	Municipio de Albania

Fuente: elaboración propia.

se tomaron muestras en botellas de polietileno de 500 ml para la determinación de las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST), amonio (NH_4^+), nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), fosfatos (PO_4^{-3}), cloruros (Cl^-) y la demanda biológica de oxígeno (DBO_5), las cuales fueron trasladadas bajo refrigeración a 4 °C al laboratorio de calidad ambiental de la Universidad de La Guajira, para su análisis en un periodo de 8 horas después de la toma de muestras (APHA, *et al.*, 2005). Estos monitoreos se realizaron abarcando un periodo de lluvias comprendido entre los meses de septiembre a octubre de 2014, y uno de sequía, de abril a junio de 2015, de acuerdo con el régimen bimodal de la zona de estudio.

Recolección e identificación de macroinvertebrados acuáticos

Los macroinvertebrados acuáticos se colectaron a través de un muestreo multihábitat, mediante una red Surber con luz de malla de 1 mm, según la metodología recomendada por Roldán (1988) y Moreno (2008). Además, se utilizaron redes D-net para hacer barridos de los márgenes del río con vegetación y de este modo atrapar a los insectos nadadores o que viven adheridos a los tallos y hojas de la vegetación sumergida (Roldán, 1988); nucleadores de PVC de 2" de diámetro para la colecta de organismos bentónicos y colecta manual de organismos adheridos a rocas y restos de vegetación (troncos y hojarasca). Los organismos encontrados fueron tomados con pinzas entomológicas y depositados en frascos de 30 ml, debidamente rotulados; las muestras se preservaron en alcohol al 70 % (Posada *et al.*, 2000), y posteriormente fueron trasladadas al Laboratorio de Ciencias Biológicas de la Universidad de La Guajira para su identificación a través del uso de claves taxonómicas (Roldán, 1988; Aquatic National, 2001; Fernández y Domínguez, 2001; Muñoz, 2004; Bouchard, Ferrington y Karius, 2004; Álvarez, 2005; McCafferty, 2014; Melo y Montemayor, 2014).

Análisis de los datos

El tratamiento de la información colectada consistió en la determinación de medidas de resumen para las variables fisicoquímicas entre estaciones de monitoreo, cálculo de la estructura numérica de los macroinvertebrados acuáticos a través de los índices de diversidad de Shannon-Weaver (Shannon, 1948) y riqueza de Margalef; clasificación de la calidad de las aguas en cada estación de monitoreo a través del índice BMWP/col (Roldán-Pérez, 2003), evaluación de las asociaciones entre las morfofamilias de macroinvertebrados encontradas y las variables fisicoquímicas medidas a través de un análisis de componentes principales usando el paquete estadístico R v.3.2.5.

RESULTADOS

Desde el punto de vista fisicoquímico, el resumen de las variables consideradas para el desarrollo de este estudio se expone en la tabla 2, donde es evidente el deterioro que presentan las aguas del río Ranchería, conforme su cauce principal hace su recorrido desde E_1 hasta E_3 , presentándose un incremento significativo en la magnitud y variabilidad de los valores medios del contenido de sólidos en suspensión, las concentraciones de Cl^- , nutrientes (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- y PO_4^{-3}) y la DBO_5 .

Considerando este punto de vista, una visión general del río Ranchería, en el área de estudio, muestra que el incremento de los valores de conductividad eléctrica, sumado a la disminución paulatina del oxígeno disuelto y el pH, son indicativos de impactos en el ecosistema por el desarrollo de actividades antrópicas que, a causa de fluctuaciones en las concentraciones relativas de la totalidad de los iones, en la sumatoria de sus efectos a través del tiempo, muestran o evidencian cambios en la conductividad (Garbagnati, González, Antón y Mallea, 2005). Análogamente, el incremento en las concentraciones de nutrientes y DBO_5 se traduce en deterioro de la calidad del agua por aportes de carga contaminante a través

de efluentes vertidos sobre el cauce del río; sin embargo, el predominio de formas oxidadas del nitrógeno (NO_2^- y NO_3^-), respecto a su forma reducida (NH_4^+), revela la capacidad de amortiguamiento del río sobre la contaminación y/o su capacidad de autodepuración, en tanto no se incrementen de forma drástica los aportes de contaminantes orgánicos (Castañe *et al.*, 1998; Toro *et al.*, 2002).

Por otro lado, también resalta la contaminación visual o estética que presentan las aguas del río Ranchería en su cuenca media (E_2 y E_3), a causa de mayores valores de turbidez y sólidos suspendidos totales, atribuidos a la relación positiva y significativa que estas variables guardan con el incremento de precipitaciones sobre las cuencas; efecto que se agudiza en la medida que estas sufran de problemas de deforestación, sean de sustrato blando y fácilmente erosionables (Ortega *et al.*, 1988), como ocurre en la cuenca del río Ranchería.

En general, la dinámica de las variables fisicoquímicas en este estudio corresponde con los valores reportados en otros estudios realizados en estaciones de monitoreo cercanas a las establecidas para el desarrollo de este, en todas las variables analizadas, exceptuando los valores obtenidos de nutrientes (grupo del nitrógeno y PO_4^{3-}), que

resultaron ser significativamente inferiores (Boni-vento, 2010; Corpoguajira y Fundación Pro-Sierra Nevada de Santa Marta, 2012; Rangel, 2013).

Por otro lado, el muestreo multihábitat de macroinvertebrados acuáticos logró la colecta de 166 individuos representados por 3 filo, 5 clases, 11 órdenes y 30 familias. En general, los órdenes más representativos fueron Odonata (42 ind., 25,00 %) y Díptera (33 ind., 19,64 %), seguidos por Coleóptera (20 ind., 11,90 %) y Hemíptera (16 ind., 9,52). Así mismo, las familias más representativas corresponden a Coenagrionidae (35 ind., 20,83 %), Culicidae (25 ind., 14,88 %) y Baetidae (14 ind., 8,33 %), seguidas por Hydrobiidae (12 ind., 7,14 %) y Hydrophilidae (11 ind., 6,55 %).

La distribución espacial de los órdenes y morfofamilias encontradas en la zona de estudio se muestran en las figuras 2 y 3, respectivamente, observándose mayor abundancia en E_1 de los órdenes Ephemeroptera (24 ind.), Hemiptera (10 ind.), Odonata (10 ind.) y Tricoptera (7 ind.). En E_2 , la mayor abundancia de individuos se obtuvo para los órdenes Díptera (29 ind.), Coleóptera (17 ind.) y Odonata (13 ind.). Por último, E_3 se encuentra mejor representada en cuanto a abundancia por los órdenes Odonata (19 ind.), Sorbeoconcha (7 ind.)

Tabla 2. Resumen de los valores de las variables fisicoquímicas expresadas como $\bar{x} \pm s$

Variable	Unid.	E_1	E_2	E_3
		$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
Temp	°C	24,85 ± 1,44	31,45 ± 2,72	33,45 ± 3,08
pH	Adim.	8,2 ± 0,44	7,86 ± 0,30	7,83 ± 0,20
OD	mg/l	8,48 ± 1,26	6,80 ± 2,14	6,51 ± 1,56
Sal	‰	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,05	0,10 ± 0,08
Cond	µS/cm	44,50 ± 5,66	435,50 ± 123,08	715,00 ± 185,23
Turb	UNT	7,50 ± 6,31	24,55 ± 252,59	87,00 ± 355,09
SST	mg/l	11,45 ± 10,57	25,55 ± 191,34	38,90 ± 285,88
Cl ⁻	mg/l	9,86 ± 2,82	23,15 ± 2,47	36,71 ± 3,66
NH ₄ ⁺	µg/l	2,28 ± 3,71	11,06 ± 17,80	21,87 ± 34,95
NO ₂ ⁻	µg/l	2,41 ± 0,87	19,51 ± 11,32	25,64 ± 5,02
NO ₃ ⁻	µg/l	10,64 ± 8,28	34,43 ± 22,00	61,52 ± 16,34
PO ₄ ⁻³	µg/l	30,71 ± 24,29	169,49 ± 29,23	223,62 ± 59,34
DBO ₅	mg/l	1,75 ± 1,14	2,78 ± 0,96	3,50 ± 1,61

Fuente: elaboración propia.

y Decapoda (4 ind.). Análogamente, las familias con más representación en E_1 fueron Baetidae (14 ind.), Coenagrionidae (6 ind.), Philopotamidae (5 ind.), Leptohyphidae (4 ind.) y Leptophlebiidae (4 ind.); en E_2 , las familias más abundantes fueron Culicidae (25 ind.), Hydrophilidae (11 ind.), Coenagrionidae (10 ind.), Psephenidae (5 ind.) e Hydrobiidae (5 ind.). E_3 presentó mayor abundancia de organismos en las familias Coenagrionidae (19 ind.), Hydrobiidae (7 ind.), Belostomatidae (5 ind.) y Palaemonidae (4 ind.).

Las asociaciones entre las morfofamilias identificadas en cada estación de monitoreo y las variables fisicoquímicas (figura 4) revelan que las familias Baetidae, Isonychiidae, Leptohyphidae, Leptophlebiidae (Ephemeroptera), Calopterygidae, Gomphidae, Platycnemididae (Odononata), Corexidae, Gerridae, Naucoridae, Notonectidae (Hemiptera), Dixidae (Díptera), Heteroceridae (Coleóptera), Hydropsychidae y Philopotamidae

(Tricoptera) se correlacionan positiva y fuertemente con las variables oxígeno disuelto y pH, asociadas a E_1 . Las familias Hydrophilidae, Psephenidae (Coleóptera) Ephemerillidae (Ephemeroptera), Culicidae (Díptera), Planorbidae (Basomatophora), Libellulidae (Odonata) y Tubificidae (Oligochaeta), se asocian más fuertemente con E_2 . Asimismo, las familias Palaemonidae (Decápoda), Coenagrionidae (Odonata), Chironomidae (Díptera), Hydrobiidae (Sorbeoconcha), Dryopidae (Coleóptera) y Tetragnathidae (Arachnid), se correlacionan fuerte y positivamente con las variables salinidad, turbidez, temperatura, cloruros y los nutrientes (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- y PO_4^{-3}) en E_3 .

La estructura numérica de los macroinvertebrados acuáticos colectados en cada estación de monitoreo, a través de los índices de diversidad de Shannon-Weaver y riqueza de Margalef se muestra en la tabla 3. En ella se aprecia que E_1 se constituye en un hábitat con una alta diversidad de familias

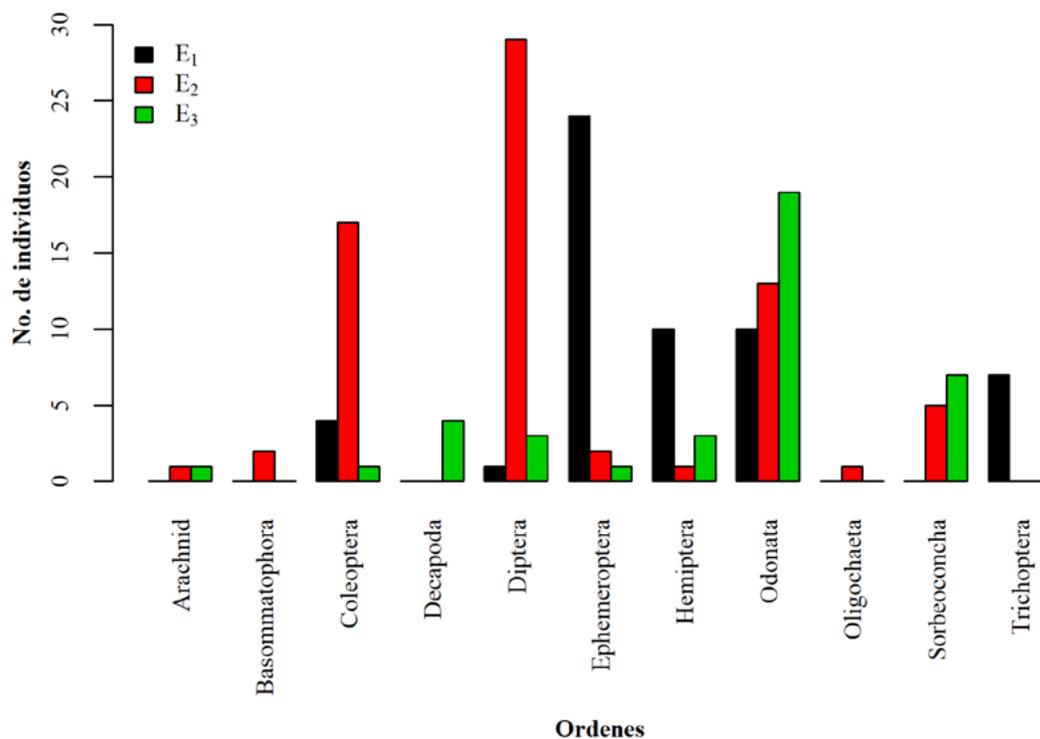


Figura 2. Distribución espacial de los órdenes de macroinvertebrados acuáticos colectados en el área de estudio

Fuente: elaboración propia.

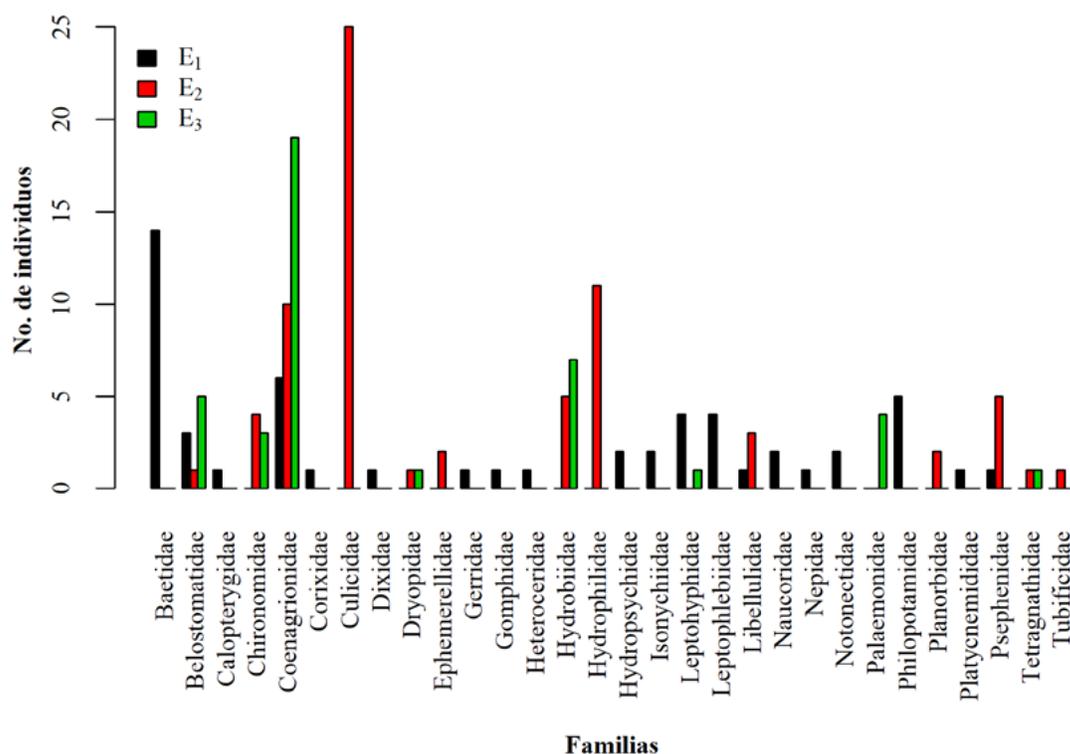


Figura 3. Distribución espacial de las morfofamilias de macroinvertebrados acuáticos colectados en el área de estudio

Fuente: elaboración propia.

de macroinvertebrados acuáticos ($H'_{E_1} = 3,75$ bits/ind), atribuidas a aguas limpias con poca o nula intervención antrópica (Wilhm y Dorris, 1968). Las estaciones E_2 y E_3 resultaron ser hábitats con mediana diversidad de familias ($H'_{E_2} = 2,97$ bits/ind y $H'_{E_3} = 2,32$ bits/ind), asociadas a ecosistemas con aguas ligeramente contaminadas. La riqueza de familias en la zona de estudio presenta una disminución paulatina conforme el río hace su recorrido de descenso a lo largo de la cuenca, obteniéndose que E_1 es la estación con mayor riqueza ($I_{E_1} = 4,76$), propia de ecosistemas diversos con buena calidad ambiental, mientras que E_2 y E_3 , corresponden con hábitats de mediana riqueza ($I_{E_2} = 2,82$ y $I_{E_3} = 1,88$).

El establecimiento de clases de calidad de agua a las estaciones de monitoreo a través del índice biológico BMWP/col y el ASPT se muestra en la

tabla 4, donde se observa que E_1 corresponde a la estación con mejor calidad de sus aguas (BMWP/col = 130; ASPT = 6,50); E_2 y E_3 corresponden con aguas de calidad aceptable (BMWP/col = 65; ASPT = 5,00), y dudosa calidad (BMWP/col = 50; ASPT = 5,25), respectivamente. En la figura 5 se muestra el mapa de calidad del agua de la zona de estudio en función del BMWP/col.

Desde el punto de vista biótico, las familias encontradas en E_1 son indicadoras de aguas limpias o de buena calidad, caracterizadas por estar bien oxigenadas, con inexistente predominio de procesos de oxidación de materia orgánica (Roldán, 1988; De la Lanza-Espino, Pulido y Pérez, 2000; Hahn-Von Hessberg et al., 2009; Oscoz, Galicia y Miranda, 2009; Rosado, 2009; Flowers y La Rosa, 2010; Gutiérrez y Reinoso-Flórez, 2010; Oliveira y Callisto, 2010; Ramírez, 2010; Forero, 2013; Gil et

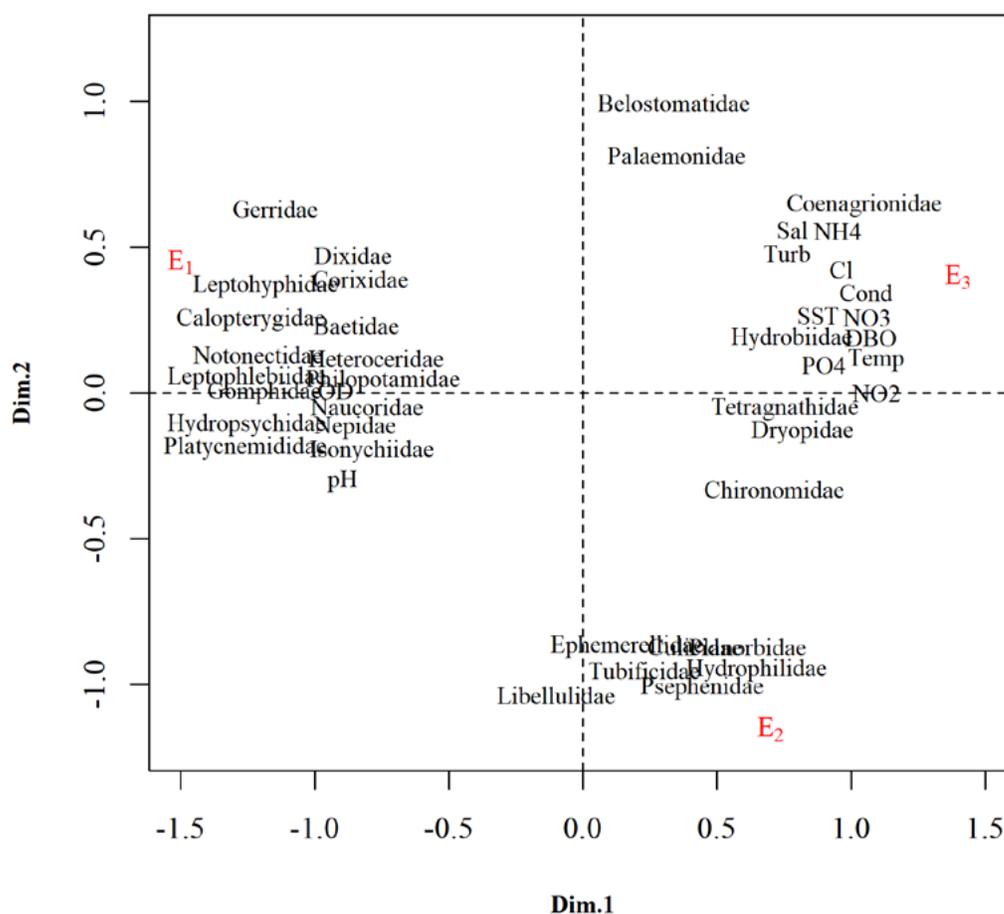


Figura 4. Asociaciones entre morfofamilias identificadas y las variables fisicoquímicas

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Estructura numérica de los macroinvertebrados acuáticos colectados

Estación	Índice de diversidad de Shannon-Weaver (H') (bits/ind)	Índice de riqueza de Margalef (I')
E ₁	3,75	4,76
E ₂	2,97	2,82
E ₃	2,32	1,88

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Calidad del agua de la zona de estudio según el BMWP/col

Estación	BMWP/col	ASPT	Calidad
E ₁	130	6,50	Aguas de clase I, de buena calidad o no contaminadas.
E ₂	65	5,00	Aguas clase III, de calidad aceptable o ligeramente contaminadas.
E ₃	50	5,25	Aguas clase IV, de calidad dudosa o moderadamente contaminadas.

Fuente: elaboración propia.

al., 2013; González-Soriano y Novelo-Gutiérrez, 2014; Jiménez, 2014). En E₂, las familias identificadas son indicadoras de estrés en el ecosistema, tolerantes a aguas menos oxigenadas, de bajo caudal y con aportes de materia orgánica (Roldán, 1988; Oscoz, Galicia y Miranda, 2009; Rosado, 2009); no obstante, a la existencia de familias representantes de los órdenes Ephemeroptera y Coleóptera, estas consisten en familias relativamente tolerantes a niveles de estrés por materia orgánica (Oscoz, Galicia y Miranda, 2009). Las familias encontradas en E₃ son en su mayoría indicativas de aguas con moderada contaminación de origen orgánico (Oscoz, Galicia y Miranda, 2009; Rosado, 2009) y/o aguas oligomesotróficas (Rosado, 2009). Se destaca la presencia de representantes de la familia Palaemonidae, considerada como indicadora de buena calidad (Roldán-Pérez, 2003). Sin embargo, De la Lanza-Espino, Pulido y Pérez

(2000) consideran a esta familia como indicadoras de bajas concentraciones de oxígeno, altas temperaturas y falta de vegetación riparia, condiciones imperantes en esta estación de monitoreo.

Los valores de diversidad de macroinvertebrados acuáticos en E₁ son semejantes a los reportados para ecosistemas lóticos con poca intervención antrópica y mayor variedad de microhábitats (Arango et al., 2008; Chalá et al., 2003). Asimismo, la clasificación de calidad del agua en función al índice BMWP/col es similar a los valores establecidos en una quebrada del oriente antioqueño con aguas muy limpias o de buena calidad que, junto a una gran variedad de biotopos, la disponibilidad de alimento y las características del sustrato (similares a E₁), permiten una gran abundancia y distribución de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, de allí su alta diversidad y riqueza (Moreno, 2008).

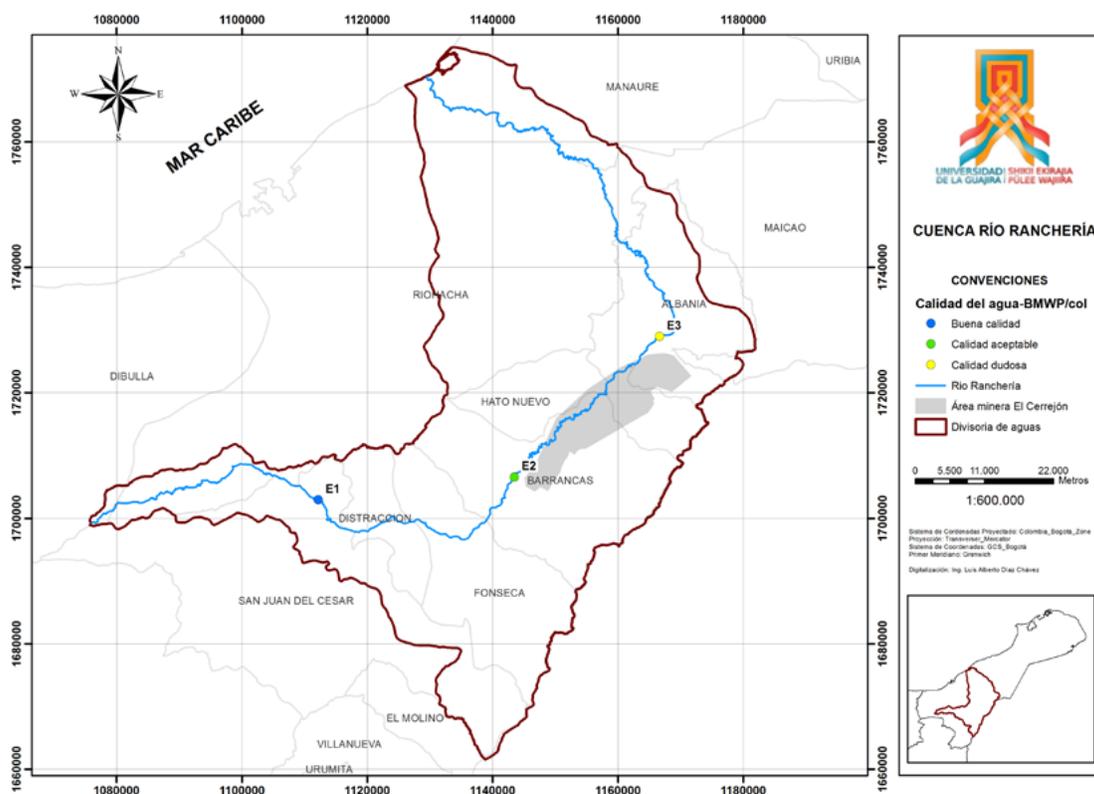


Figura 5. Mapa de calidad de agua de la zona de estudio según BMWP/col

Fuente: elaboración propia.

En E_2 y E_3 , la disminución paulatina de la diversidad y riqueza de la fauna de macroinvertebrados acuáticos se explica por la perturbación del ecosistema debido a factores contaminantes como el urbanismo y sus actividades conexas, donde el aumento de los sólidos y la turbidez (como ocurre en río Ranchería) son variables limitantes para el establecimiento de la fauna de macroinvertebrados, dado que se impide el paso de rayos solares al medio, se afecta y taponan el sistema de intercambio gaseoso en los animales acuáticos y destruyen sus hábitats naturales; afectando directamente a las comunidades vegetales que sirven de alimento y refugio para los insectos (García-Alzate, Román-Valencia, González, & Barrero, 2010).

En consecuencia, se refleja el decaimiento de la calidad ambiental del ecosistema a través del BWMP/col. No obstante, la clasificación de la calidad del agua en estas estaciones está ligeramente afectada en comparación a la zona baja de la cuenca, donde los valores de bioindicación a través del mismo índice, adaptado a las condiciones del ecosistema estuarino del río Ranchería, clasifica sus aguas como de clase III, de calidad crítica o aguas muy contaminadas (Castro *et al.*, 2013).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos son concluyentes en que la valoración de la calidad del ecosistema, a través de los macroinvertebrados acuáticos y las variables fisicoquímicas analizadas, revela un deterioro progresivo de la salud ambiental del río Ranchería, conforme se avanza en el recorrido del río desde aguas arriba hasta la zona más baja. La estación E_1 , tomada como blanco, se clasificó como aguas limpias o de buena calidad según la aplicación del índice BMWP/col, con predominio de morfofamilias de macroinvertebrados asociadas a aguas limpias con buena oxigenación. Las estaciones E_2 y E_3 se clasificaron como aguas de calidad aceptable y dudosa, respectivamente. Lo anterior explica la pérdida de diversidad y riqueza de las familias de macroinvertebrados, con dominio de

comunidades de macroinvertebrados asociados a las condiciones de degradación ambiental que sufre el medio.

FINANCIAMIENTO

Este artículo es producto del proyecto “Salud ambiental del río Ranchería a través de macroinvertebrados acuáticos en el área de influencia del complejo carbonífero El Cerrejón”, investigación avalada y financiada por la Universidad de La Guajira.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de La Guajira, por el apoyo logístico y financiero, y al Grupo de Investigación Pichihuel, por el acompañamiento en las actividades de monitoreo.

REFERENCIAS

- Alba-Tercedor, J. y Sánchez-Ortega, A. (1988). Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnética*, 4(5), 1-56.
- Álvarez, A. L. (2005). *Metodología para la evaluación de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de los recursos hidrobiológicos*. Bogotá: Instituto Alexander Von Humboldt.
- Álvarez, L. F. y Roldán, G. (1983). Estudio del orden Hemiptera (Heteroptera) en el departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales. *Actualidades Biológicas*, 12(44), 31-46.
- American Public Health Association (APHA) *et al.* (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, D. C., EE. UU.
- Aquatic National (2001). *A pictorial guide to the orders of aquatic invertebrates*. Logan, Utah: Department of Fisheries and Wildlife, Utah State University.
- Arango, M. C. y Roldán, G. (1983). Odonatos inmaduros del departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales. *Actualidades Biológicas*, 12(46), 91-105.

- Arango, M. C., Álvarez, L. F., Arango, G. A., Torres, O. E. y Monsalve, A. de J. (2008). Calidad del agua de las quebradas la Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia. *Revista EIA*, (9), 121-141.
- Argumedo, C. D., Gómez, J. y Negrete, J. M. (2017). Metales en sedimento del río Ranchería, La Guajira. *Bistua, Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 15(2), 64-68.
- Arteta-Bonivento, R. (2009). Crabs in the rio Rancheria Delta, Riohacha (Colombia) (Crustacea: Decapoda: Brachyura). *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 13(1), 140-152.
- Bedoya, O. I. y Roldán, P. G. (1984). Estudio de los dípteros acuáticos en diferentes pisos altitudinales del departamento de Antioquia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 2(2), 113-134.
- Bolívar, G. E. M., Pitre, I. A. J. y Correa, D. A. (2017). Cuantificación de coliformes totales en estuario del río Ranchería. *Revista Biotecnología, UniCacuca*, 15(2), 23–29. [10.18684/bsaa\(15\).590](https://doi.org/10.18684/bsaa(15).590)
- Bonivento, Z. (2010). Evaluación de la calidad del agua en el marco del diagnóstico del estado del río Ranchería en el año 2010 (Tesis de pregrado). Universidad de La Guajira, Riohacha, Colombia.
- Bouchard, R. W., Ferrington, L. C. y Karius, M. L. (2004). *Guide to aquatic invertebrates of the Upper Midwest*. Water Resources Center, University of Minnesota, St. Paul, MN. 208 p.
- Castañé, P. M., Loez, C. R., Olgin, H. F., Puig, A., Rovedatti, M. G., Topalián, M. L. y Salibián, A. (1998). Caracterización y variación espacial de parámetros fisicoquímicos y del plancton en un río urbano contaminado (río Reconquista, Argentina). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 14(2), 69-77.
- Castro, F., Rosado, J., Deluque, M., Jiménez, J. y Madrugado, E. (2005). *Estudio limnológico del ecosistema estuarino "El Riito", transecto del río Ranchería, Riohacha – La Guajira*. Riohacha: Universidad de La Guajira.
- Castro, F., Rosado, J., Ríos, H., De Armas, N. y Castellanos, K. (2013). *Evaluación de la calidad ecológica del ecosistema Riito, transecto del río Ranchería, Riohacha, La Guajira*. Riohacha: Universidad de La Guajira.
- Corporación Autónoma Regional de La Guajira (Corporación Autónoma Regional de La Guajira) (2011). *Plan de Ordenamiento de la cuenca del río Ranchería*. Riohacha.
- Corporación Autónoma Regional de La Guajira (Corporación Autónoma Regional de La Guajira) y Fundación Pro-Sierra Nevada de Santa Marta. (2012). *Plan de ordenamiento del recurso hídrico y reglamentación de corrientes y vertimientos de las cuencas de los ríos Ranchería, Carraipía y Tomarrazón-Camarones, en el departamento de La Guajira*. Riohacha.
- Correa, M., Machado, T. y Roldán, G. (1981). Taxonomía y ecología del orden Trichoptera en el departamento de Antioquia en diferentes pisos altitudinales. *Actualidades Biológicas*, 10(36), 35-48.
- Chalá, W. P., Garca, D. M., Mosquera, M. L., Caicedo, K. P., Palacios, J. A., Castro, A. A. y Guerrero, J. E. (2003). Diversidad de macroinvertebrados y evaluación de la calidad del agua de la quebrada La Bendición, municipio de Quibdó (Chocó-Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 8(2), 23-30.
- De la Lanza-Espino, G., Pulido, S. H. y Pérez, J. L. C. (2000). *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores)*. Madrid: Plaza y Valdés.
- Encalada, A. (2010). Funciones ecosistémicas y diversidad de los ríos: Reflexiones sobre el concepto de caudal ecológico y su aplicación en el Ecuador. *Polemika*, 2(5), 40-47.
- Fernández, H. y Domínguez, E. (2001). Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos Sudamericanos. Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto M. Lillo, Tucumán. 282 p.
- Flowers, R. W. y La Rosa, C. (2010). Capítulo 4: Ephemeroptera. *Revista de Biología Tropical*, 58, 63-93.
- Forero, A. M. (2013). Estudio de la familia Baetidae (Ephemeroptera: Insecta) en una cuenca con influencia de la urbanización y agricultura: río Alvarado-Tolima. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*, 1(25), 12-21.

- Fuentes, G. A., Verbel, J. O., Villegas, J. C. V. y Campos, D. A. (2019). Si el río suena, piedras lleva: Sobre los derechos al agua y a un ambiente sano en la zona minera de La Guajira. Indepaz. 164 p. Recuperado de <http://www.indepaz.org.co/wp-content/uploads/2019/02/Si-el-río-suena-piedras-lleva-Indepaz-2019.pdf>
- Garbagnati, M. A., González, P. S., Antón, R. I. y Mallea, M. A. (2005). Características fisicoquímicas, capacidad *buffer* y establecimiento de la línea base ambiental del río Grande, San Luis, Argentina. *Ecología Austral*, 15, 59-71.
- García-Alzate, C. A., Román-Valencia, C., González, M. I. y Barrero, A. M. (2010). Composición y variación temporal de la comunidad de insectos acuáticos (Insecta) en la quebrada Sardineros, afluente Río Verde, Alto Cauca, Colombia. *Revista de Investigaciones de La Universidad de Quindío*, 21, 21-28.
- Giacometti, J. C. (2019). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. *Boletín Técnico, Serie Zoológica*, 6(2), 17-32.
- Gil, Z. N., Bustillo, A. E., Gómez, N., García, P. A. y Zuluaga, Y. M. (2013). *Las libélulas y su rol en el ecosistema de la zona cafetera*. Centro nacional de investigaciones del café (CENICAFE), Avances Técnicos 357, 8 p.
- González, L. y Lozano, L. (2004). Bioindicadores como herramienta de evaluación de la calidad ambiental en la parte alta de la microcuenca las delicias. *Umbral Científico*, (5), 73-82.
- González-Soriano, E. y Novelo-Gutiérrez, R. (2014). Biodiversidad de Odonata en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 243-251. [10.7550/rmb.34716](https://doi.org/10.7550/rmb.34716)
- Guerrero-Bolaño, F., Manjarrés-Hernández, A. y Núñez-Padilla, N. (2003). Los macroinvertebrados bentónicos de Pozo Azul (cuenca del río Gaira, Colombia) y su relación con la calidad del agua. *Acta Biológica Colombiana*, 8(2), 43-55.
- Guinard, J. D. C., Ríos, T. y Vega, J. A. B. (2013). Diversidad y abundancia de macroinvertebrados acuáticos y calidad del agua de las cuencas alta y baja del río Gariché, provincia de Chiriqui, Panamá. *Gestión y Ambiente*, 16(2), 61-70.
- Gutiérrez, C. y Reinoso-Flórez, G. (2010). Géneros de ninfas del orden Ephemeroptera (Insecta) del departamento del Tolima, Colombia: listado preliminar. *Biota Colombiana*, 11(1 y 2), 23-32.
- Gutiérrez, J. D., Riss, W. y Ospina, R. (2004). Bioindicación de la calidad del agua con macroinvertebrados acuáticos en la sabana de Bogotá, utilizando redes neuronales artificiales. *Caldasia*, 26(1), 151-160.
- Hahn-Von Hessberg, C., Toro, D., Grajales-Quintero, A., Duque-Quintero, G. y Serna-Urbe, L. (2009). Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola, Universidad de Caldas, Municipio de Palestina, Colombia. *Boletín Científico Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 13(2), 89-105.
- Jiménez, D. M. (2014). Aspectos ecológicos de la familia leptohyphidae (insecta: ephemeroptera) de la cuenca del río Alvarado (Tolima, Colombia) (Tesis de pregrado). Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia.
- López, C. N., Lazo, D. G., González, G. G., Brandimarte, A. L., Riveaux, S. M. y Cordero, Y. M. (2005). Una metodología rápida y de fácil aplicación para la evaluación de la calidad del agua utilizando el índice BMWP-Cub para ríos cubanos. *Tecnura*, 9(17), 65-76.
- Machado, T. y Rincón, J. (1989). Distribución ecológica e identificación de los coleópteros acuáticos en diferentes pisos altitudinales del departamento de Antioquia (Tesis de pregrado). Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Madera, L. C., Angulo, L. C., Díaz, L. C. y Rojano, R. (2016). Evaluación de la calidad del agua en algunos puntos afluentes del río Cesar (Colombia) utilizando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de contaminación. *Información Tecnológica*, 27(4), 103-110. [10.4067/S0718-07642016000400011](https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000400011)
- McCafferty, W. P. (2014). *Aquatic entomology: the fisherman's and ecologists' illustrated guide to insects and their relatives*. Burlington, Massachusetts: Jones & Bartlett Learning.

- Medianero, E. y Samaniego, M. (2004). Comunidad de insectos acuáticos asociados a condiciones de contaminación en el río Curundú, Panamá. *Folia Entomológica Mexicana*, 43(3), 279-294.
- Melo, M. C. y Montemayor, S. I. (2014). Rhopalidae. *Biodiversidad de Artrópodos Argentinos*, 3, 451-456.
- Molina, C. I., Fossati, O. y Marín, R. (2006). Ensayo de un método para el estudio de macroinvertebrados acuáticos en un río contaminado de la ciudad de la Paz-Bolivia. *Ciencia Abierta Internacional*, 29, 1-14.
- Molina-Bolívar, G. y Jiménez-Pitre, I. (2017). Análisis de la contaminación por coliformes termotolerantes en el estuario del río Ranchería, La Guajira (Colombia). *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 21(2), 41-50. [10.18684/bsaa\(15\).590](https://doi.org/10.18684/bsaa(15).590)
- Moreno, Y. M. (2008). Caracterización de la biodiversidad acuática y de la calidad de las aguas de la quebrada Los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó*, 27(1), 85-91.
- Muñoz Quesada, F. J. (2004). El orden Trichoptera (Insecta) en Colombia, II: inmaduros y adultos, consideraciones generales. En F. Fernández, M. G. Andrade, y G. Amat (Eds.) *Insectos de Colombia Vol III*. (pp. 319-349). Universidad Nacional de Colombia-Instituto Humboldt. Bogotá, D.C.
- Murillo-Montoya, S. A., Mendoza-Mora, A., Restrepo-Bastidas, E. S. y Rodríguez, M. Á. (2018). Utilización de macroinvertebrados acuáticos como herramienta para determinar la calidad del agua en la quebrada Santo Tomás, municipio de Pensilvania, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 42(164), 212-220. [10.18257/raccefy.655](https://doi.org/10.18257/raccefy.655)
- Oliveira, A. y Callisto, M. (2010). Benthic macroinvertebrates as bioindicators of water quality in an Atlantic forest fragment. *Iheringia. Série Zoologia*, 100(4), 291-300. [10.1590/S0073-47212010000400003](https://doi.org/10.1590/S0073-47212010000400003)
- Ortega, M. et al. (1988). Características fisicoquímicas de las aguas superficiales de la Rambla del Moro después de una riada (cuenca del río Segura, SE de España). *Limnética*, 4, 19-26. Recuperado de http://www.limnetica.net/Limnetica/Limne04/L04u019_Fisicoquimica_aguas_rambla_Moro.pdf
- Ortiz, L. L. (2005). La bioindicación de la calidad del agua: importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del río Juan Amarillo, Cerros Orientales de Bogotá. *Umbral Científico*, (7), 5-11.
- Oscos, J., Galicia, D. y Miranda, R. (2009). *Macroinvertebrados de la cuenca del Ebro: descripción de taxones y guía de identificación*. Pamplona, España: Departamento de Zoología y Ecología, Universidad de Navarra.
- Pérez, G. R. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Academia Colombiana de Ciencia*, 23(88), 375-387.
- Pérez, J. I., Nardini, A. G. y Galindo, A. A. (2018). Análisis comparativo de índices de calidad del agua aplicados al río Ranchería, La Guajira-Colombia. *Información Tecnológica*, 29(3), 47-58. [10.4067/S0718-07642018000300047](https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300047)
- Posada, G. et al. (2000). Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 48(1), 59-70.
- Ramírez, A. (2010). Capítulo 5: Odonata. *Revista de Biología Tropical*, 58, 97-136.
- Rangel, M. (2013). Evaluación de la calidad del agua utilizando índices pertinentes a los usos del río Ranchería, departamento de La Guajira – Colombia (Tesis de pregrado). Universidad de La Guajira, Riohacha, Colombia.
- Riss, W., Ospina, R. y Gutiérrez, J. D. (2002). Establecimiento de valores de bioindicación para macroinvertebrados acuáticos de la sabana de Bogotá. *Caldasía*, 24(1), 135-156.
- Roldán, G. (1985). Contribución al conocimiento de las ninfas de los efemerópteros (clase; insecta, orden: Ephemeroptera) en el departamento de Antioquia, Colombia. *Actualidades Biológicas*, 14(51), 3-13.
- Roldán, G. (1988). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Medellín: Universidad de Antioquia, Fondo FEN.

- Roldán-Pérez, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col.* Medellín: Universidad de Antioquia.
- Roldán-Pérez, G. (2016). Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(155), 254-274. [10.18257/raccefyn.335](https://doi.org/10.18257/raccefyn.335)
- Rosado, J. (2009). *Laguna Salá: su biología y ambiente*. 2a. ed. Riohacha, Colombia: Editorial Gente Nueva.
- Sánchez-Vélez, A. y García-Núñez, R. M. (1999). Bio-monitoreo de ríos en la gestión de cuencas: una aproximación introductoria. IX Congreso Nacional de Irrigación, Memorias de Simposio 4 sobre Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, 63-71.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379-423. [10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x](https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x)
- Toro, M. et al. (2002). Calidad de las aguas de los ríos mediterráneos del proyecto Guadalmed. Características fisicoquímicas. *Limnética*, 21(3-4), 63-75.
- Vivas, S., Casas, J., Pardo, I., Robles, S., Bonada, N., Mellado, A. et al. (2002). Aproximación multivariante en la exploración de la tolerancia ambiental de las familias de macroinvertebrados de los ríos mediterráneos del proyecto Guadalmed. *Limnética*, 21(3-4), 149-173.
- Wilhm, J. & Dorris, T. (1968). Biological parameter of wáter quality. *Bioscience*, 18, 477 – 481. [10.2307/1294272](https://doi.org/10.2307/1294272)
- Zúñiga de Cardoso, M. del C. (1985). Estudio de la ecología del río Cali con énfasis en su fauna bentónica como indicador biológico de calidad. *Revista Ainsa*, 5(1), 63-85.





Efectos de las crecidas en el transporte de material particulado y carbono orgánico. Caso del río Oka (País Vasco, España)

Effects of floods in the transport of particulate matter and organic carbon. Oka river case (Basque Country, Spain)

Luis Hernando Montoya Armenta¹, Yim James Rodríguez Díaz²

Fecha de recepción: 20 de Diciembre de 2019

Fecha de aceptación: 6 de Mayo de 2020

Cómo citar: Montoya–Armenta., L.H., y Rodríguez–Díaz., Y.J. (2020). Efectos de las crecidas en el transporte de material particulado y carbono orgánico. Caso del río Oka (País Vasco, España). *Tecnura*, 24(65) 64-76. DOI: [10.14483/22487638.15759](https://doi.org/10.14483/22487638.15759)

Resumen

Objetivo: El objetivo general de esta investigación fue entender la repercusión de los eventos de crecidas en la exportación de sólidos suspendidos y carbono orgánico en la cuenca del río Oka, para el periodo comprendido desde 01-10-2009 a 30-09-2012.

Metodología: Se instaló una estación hidrometeorológica en un punto de la desembocadura de la cuenca, lo que permitió la recopilación continua de información concerniente a: pluviosidad, caudal del río, turbiedad, etc. La correlación entre la turbiedad medida en campo (TRB) y la concentración sólidos suspendidos (CSS), determinados a nivel de laboratorio fue establecida como una función polinómica de primer grado. La carga de sólidos suspendidos (SS), carbono orgánico en disolución (COD) y carbono orgánico en forma de partículas suspendidas o particulado (COP), fue determinada multiplicando el caudal por la concentración de cada uno de ellos, aplicándolo para cada periodo de tiempo requerido.

Resultados: La exportación total se estimó en 2267,6 t de SS, 104,3 t de COD y 53,3 t de COP,

representando tasas en $t\ km^{-2}\ año^{-1}$ de 71,85 para SS; 3,30 para COD, y 1,68 para COP (valores promedio de los tres años hidrológicos estudiados).

Conclusiones: El estudio estadístico reveló que, para esta cuenca, los agentes más trascendentes en el transporte de SS, COD y COP son la precipitación y el volumen de agua transportado. Los sólidos en suspensión se transportaron especialmente durante los meses comprendidos desde el otoño hasta el invierno, cuando se producen con frecuencia las crecidas más intensas, siendo estas las de mayor importancia en la contribución de sólidos suspendidos y carbono orgánico a la salida de la cuenca.

Palabras clave: carbono orgánico, crecidas, exportación, río Oka, sólidos en suspensión.

Abstract

Objective: The general objective of this research was to understand the repercussion of flood events on the export of suspended solids and organic carbon in the Oka river catchment for the period from 10-01-2009 to 09-30-2012).

1 Doctor en Ingeniería Ambiental, ingeniero químico. Docente de la Universidad Popular del Cesar. Aguachica, Colombia. Contacto: luismontoya@unicesar.edu.co

2 Magíster en Ingeniería Ambiental, ingeniero del Medio Ambiente. Docente de carrera de la Universidad Popular del Cesar. Valledupar, Colombia. Contacto: yimrodriguez@unicesar.edu.co

Methodology: A hydrometeorological station was installed at a point at the catchment mouth allowing the continuous collection of information on: rainfall, river flow, turbidity, etc. The correlation between turbidity measured in the field (*TRB*) and suspended solids concentration (*CSS*), determined at the laboratory level, was established as a polynomial function of the first degree. The load of suspended solids (*SS*), organic carbon in dissolution (*COD*) and organic carbon in the form of suspended particles or particulate (*COP*), was determined by multiplying the flow rate by the concentration of each one, applying it for each period of time required.

Results: Total exports were estimated at 2,267.6 t of *SS*, 104.3 t of *COD* and 53.3 t of *COP*, representing

rates in $t\ km^{-2}\ year^{-1}$ of 71.85 for *SS*, 3.30 for *COD* and 1.68 for *COP* (average values of the three hydrological years studied).

Conclusions: The statistical study revealed that for this catchment, the most important agents in the transport of *SS*, *COD* and *COP* are: precipitation and the volume of water transported. Suspended solids were transported especially during the months from autumn to winter, when the most intense floods occur most frequently, being these the most important in the contribution of suspended solids and organic carbon to the outlet of the catchment.

Financing: University of the Basque Country (*UFI11/26*).

Keywords: Organic carbon, floods, exportation, Oka river, suspended solids.

INTRODUCCIÓN

En el interior de las cuencas hidrográficas, los recursos hídricos naturales, dispuestos principalmente para el consumo humano, están expuestos a una posible contaminación en el transcurso de su ciclo hidrológico. En estos se presentan significativos y súbitos incrementos de la concentración de ciertos contaminantes en la columna de agua, principalmente durante temporadas de avenidas, conocidas como crecidas o crecientes. Los contaminantes se asocian con la actividad antropogénica humana (agricultura, ganadería, industria, entre otras), y en ocasiones sus concentraciones pueden superar la capacidad autodepurativa de la naturaleza, afectando negativamente la calidad del recurso para sus posibles usos (Montoya, 2013).

Las crecidas presentan diversas variables hidrológicas, entre las más importantes están: el caudal, el volumen total de agua transportado o la velocidad con la cual se incrementa el caudal, las cuales se asocian con una precipitación equivalente en intensidad y duración; estas varían dependiendo de las particularidades de la cuenca, como tamaño, pendiente, tipo de suelo o características morfológicas; así mismo, por características alterables por

actividades antropogénicas, como los usos del territorio, cubierta vegetal, zonas urbanas con superficies impermeables, etc. (Carvajal, Arango y Jiménez, 2007; Montoya, 2013; Zabaleta et al., 2007).

Por otra parte, la erosión del suelo genera un incremento en el arrastre y deposición de sedimentos y, por tanto, en la turbiedad de los ríos (González, Carvajal y Loaiza, 2016), puesto que el agua transportará el sedimento desde la parte alta de las cuencas hasta las zonas aluviales y de sedimentación, como son los estuarios y las desembocaduras al mar (Oeurng, Sauvage y Sánchez-Pérez, 2010; Montoya, 2013). La abundancia y características de las sustancias aportadas por las crecidas influyen sobre la calidad del agua en las zonas costeras de desembocadura, la preservación de los ecosistemas y sus posibles usos. Por otra parte, la exportación del sedimento en los ríos está asociado con la dinámica del transporte de carbono orgánico disuelto y particulado, sustancias de gran importancia para la calidad del recurso hídrico y que se utilizan como indicadores de contaminación (Ni et al., 2008; Montoya 2013).

Actualmente, la cuantificación de los sólidos suspendidos y el carbono orgánico exportados en las diferentes cuencas de los ríos ha adquirido

relevancia para entender sus dinámicas de transferencia, lo cual es básico para la prevención de la erosión y los deslizamientos del suelo por escorrentía, especialmente en las laderas presentes en zonas de influencia en las cuencas de los ríos, lo que a su vez ha sido utilizado como herramienta para la gestión integrada de los recursos hídricos (Oeurng, Sauvage y Sánchez-Pérez, 2010; Oeurng et al., 2011; Montoya, Ruiz y Antigüedad, 2014). No obstante, son limitados los estudios que estimen las tasas de transporte de sedimento en suspensión y carbono orgánico en cuencas, principalmente durante eventos de crecidas. Ejemplo de ello es la tesis doctoral “Efectos de las crecidas en el transporte de material particulado y contaminantes asociados: aplicación al caso del río Oka (Urdaibai), País Vasco” (Montoya, 2013), en la cual se basa este artículo. Parte de este trabajo fue presentado como ponencia en la I Jornada Binacional de Investigación de la URBE (Montoya, Ruiz y Antigüedad, 2014).

METODOLOGÍA

Zona de estudio

El área de estudio está ubicada en la unidad hidrográfica del Oka, este río realiza la más importante aportación de agua y material en suspensión desde el continente hasta su desembocadura en el estuario de Urdaibai (figura 1), el cual fue reconocido por la Unesco en 1984 como reserva de la biosfera de Urdaibai, por su extraordinaria abundancia ecológica (Montoya, 2013).

El río Oka recorre unos 14 km, y es catalogado como de corto tramo. La cuenca se sitúa en la provincia de Bizkaia (País Vasco), con una extensión de 178 km². Este estudio se realizó en la subcuenca de cabecera del Oka (31,56 km²), siendo esta homónima con la cuenca principal y de carácter principalmente agroforestal, ostentando una pendiente promedio aproximada del 26 % (Montoya, 2013).

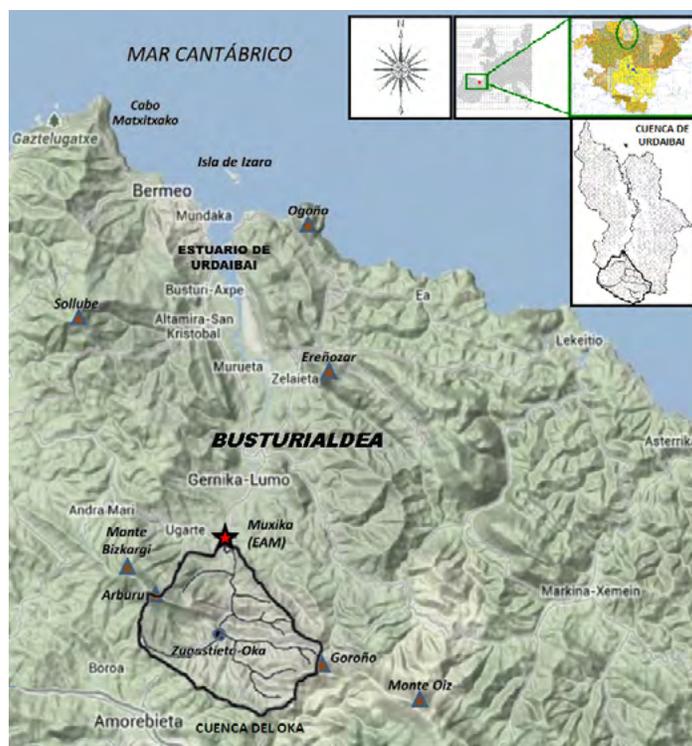


Figura 1. Mapa de localización de la parte alta de la cuenca del río Oka

Fuente: elaboración propia.

Instrumentación y métodos de muestreo

La red hidrometeorológica de Bizkaia posee una estación de aforo emplazada en la población de Muxika (EAM) que permite monitorear continuamente variables como el caudal del río, precipitación, turbiedad, entre otras. Estas variables se registran electrónicamente en intervalos de diez minutos. La turbiedad se midió directamente en el cauce del río usando un turbidímetro infrarrojo Solitax con un rango de 0–1000 NTU. Para garantizar el monitoreo de los eventos de crecidas, en la estación de aforos se instaló un muestreador de agua automático (SIGMA 900) y se programó para iniciar la recolección de 24 muestras (cada una con intervalo de dos horas), cuando la turbiedad en la corriente alcanzara 100 NTU. Las muestras de agua de 25 eventos de crecida fueron recolectadas en botellas de polietileno de 800 ml y transportadas inmediatamente al Laboratorio de Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad del País Vasco, para su procesamiento y posterior análisis (Montoya, 2013).

Análisis de laboratorio

A las muestras tomadas durante los eventos de crecida (sin filtrar) se les corroboró el valor de turbiedad y se comparó con los datos medidos en el cauce del río. La concentración de sólidos suspendidos (CSS) se midió por filtración de la muestra bruta (300 a 400 ml) a través de un filtro previamente pesado de 0,45 μm , para ser subsecuentemente secado y pesado. El carbono orgánico total (COT) y el carbono orgánico disuelto (COD) se determinaron por oxidación con ácido crómico en una muestra de agua sin filtrar y filtrada, respectivamente, mediante un método colorimétrico (APHA, 2005). El carbono orgánico particulado se calculó por la diferencia entre el COT y COD (Montoya, 2013).

Determinación de cargas y tasas de exportación

Basándose en el registro de los datos de caudal y la concentración de sólidos en suspensión, carbono orgánico disuelto y particulado, determinados para intervalos de 10 minutos, se establecieron las cargas anuales de SS, COD y COP con el procedimiento planteado por Walling y Webb (1985), de acuerdo con la ecuación (1).

$$CARGA = V * \frac{\sum_{i=1}^n (C_i * Q_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (1)$$

Donde: V (m^3) es el volumen de agua descargado durante el intervalo de tiempo requerido; C_i es el elemento concentración ($mg L^{-1}$ para SS, COD y COP); Q_i ($m^3 s^{-1}$) es el caudal instantáneo del río y n es el número de mediciones (Oeurng et al., 2011; Montoya, 2013). A partir del cociente realizado entre la carga anual y el área de la cuenca de cabecera (31,56 km^2), se calcularon las tasas de exportación para SS, COD y COP ($t km^{-2} año^{-1}$).

Análisis estadístico

El procesamiento estadístico de los datos se realizó mediante el software SPSS. Se efectuó un análisis de componentes principales (ACP) con rotación ortogonal Varimax para establecer relaciones entre variables y posibles patrones en la distribución de los datos medidos.

RESULTADOS

Las curvas ascendentes y descendentes de los hidrogramas representan los eventos hidrológicos de las crecidas (Oeurng et al., 2011). De acuerdo con esto, se realizó la caracterización de 25 eventos de crecida durante este estudio, acorde a las variables que han sido empleadas por diversos investigadores (Oeurng et al., 2011; Montoya, 2013; Cerro,

Sánchez-Pérez, Ruiz-Romera y Antigüedad, 2014). Las variables se agruparon en aquellas que ofrecen información antes y durante los eventos de crecida, las cuales se resumen en la tabla 1.

Las variables antecedentes comprenden la precipitación acumulada de un día antes ($P1d$, mm), siete días antes ($P7d$, mm) y veintiún días antes ($P21d$, mm) del inicio de la crecida, así como el caudal base también anterior al inicio de la crecida (Q_b , $m^3 s^{-1}$). Las variables de la crecida comprenden la precipitación total causante de las crecidas (P_t , mm), intensidad para la precipitación media por hora (IP_m , $mm h^{-1}$), máxima intensidad

para una precipitación por hora ($IP_{máx}$, $mm h^{-1}$) durante el evento. Asimismo, se expresaron: el volumen agua total producida o volumen de la crecida (V_c , hm^3), la duración total de la crecida (F_d , h), el caudal medio (Q_m , $m^3 s^{-1}$), el tiempo (T_r , h) para alcanzar el caudal máximo de crecida ($Q_{máx}$, $m^3 s^{-1}$) y se contemplaron parámetros como el coeficiente de la crecida $R_c = V_c / Pt$ (V_c y Pt en mm) y la relación de caudales $Q_{máx}/Q_b$. Los resultados del porcentaje de aporte de agua de la crecida con respecto al volumen de agua exportada durante el respectivo año hidrológico también son incluidos en la tabla 1.

Tabla 1. Variables hidrometeorológicas de las crecidas en la cuenca del Oka durante el periodo 2009-2012

Año Hidrol.	E	Fecha Evento	Estación	P_t (mm)	F_d (h)	T_r (h)	IP_m ($mm h^{-1}$)	$IP_{máx}$ ($mm h^{-1}$)	$P1d$ (mm)	$P7d$ (mm)	$P21d$ (mm)	V_c (hm^3)	% V_c/V_T	R_c	Q_m ($m^3 s^{-1}$)	Q_b ($m^3 s^{-1}$)	$Q_{máx}$ ($m^3 s^{-1}$)	$Q_{máx}/Q_b$
2009-2010	1	01/11/2009	Otoño	262,3	353,67	109,67	0,79	8,60	0,0	0,0	42,7	4,64	23,29	0,56	3,64	0,12	23,93	194,81
	2	02/12/2009	Otoño	46,4	103,17	6,83	0,45	6,00	3,1	30,8	39,1	0,65	3,25	0,44	1,74	0,28	7,20	26,14
	3	12/01/2010	Invierno	37,9	111,50	53,50	0,32	6,30	0,1	23,4	68,4	1,05	5,29	0,88	2,62	0,47	16,57	35,11
	4	29/01/2010	Invierno	98,0	155,17	52,00	0,63	5,10	0,0	21,4	83,1	2,25	11,31	0,73	4,03	0,34	20,87	60,51
	5	14/05/2010	Primavera	22,1	84,17	8,83	0,26	3,90	1,4	19,1	72,2	0,24	1,2	0,34	0,79	0,17	2,96	17,02
	6	15/06/2010	Primavera	102,3	66,00	19,00	1,55	9,70	21,5	58,6	63,0	2,01	10,09	0,62	8,44	0,24	41,31	173,12
2010-2011	7	04/10/2010	Otoño	55,2	33,50	7,50	1,62	10,20	0,3	1,8	46,5	0,09	0,53	0,05	0,75	0,05	4,00	83,65
	8	01/11/2010	Otoño	49,5	44,17	10,33	1,10	8,10	0,0	10,4	29,8	0,40	2,33	0,26	2,52	0,06	11,32	188,68
	9	07/11/2010	Otoño	112,1	122,50	81,17	0,91	9,20	0,0	49,7	64,6	1,33	7,7	0,38	3,00	0,13	13,57	105,91
	10	21/11/2010	Otoño	57,2	112,33	12,00	0,51	4,90	8,1	52,1	211,5	1,16	6,76	0,65	2,87	0,47	12,26	26,05
	11	22/12/2010	Otoño	42,9	135,17	20,17	0,32	4,70	2,0	30,4	60,7	1,02	5,89	0,75	2,08	0,51	5,48	10,76
	12	21/02/2011	Invierno	88,3	87,00	11,30	1,00	8,50	4,8	14,7	36,2	1,61	9,37	0,58	5,14	0,26	18,83	72,98
	13	27/02/2011	Invierno	45,0	123,83	23,83	0,36	3,50	6,2	99,3	127,7	1,08	6,25	0,76	2,41	0,54	7,04	13,02
	14	16/03/2011	Invierno	81,9	74,00	12,33	1,09	11,80	0,3	0,3	51,5	1,72	9,96	0,67	6,43	0,19	58,86	314,68
	15	19/07/2011	Verano	23,5	40,17	7,17	0,57	4,60	0,1	34,4	40,4	0,07	0,38	0,09	0,45	0,06	0,88	15,71
	16	26/07/2011	Verano	14,4	30,50	12,50	0,46	1,70	9,2	45,4	83,0	0,14	0,81	0,31	1,26	0,24	2,63	10,76
2011-2012	17	06/11/2011	Otoño	121,1	98,00	47,17	1,22	7,10	0,2	12,7	47,8	1,66	8,13	0,44	4,70	0,03	36,76	1174,23
	18	17/12/2011	Otoño	90,5	92,17	40,83	0,97	4,90	0,0	15,2	70,2	1,63	7,97	0,57	4,89	0,16	13,81	87,61
	19	05/01/2012	Invierno	42,8	87,67	12,33	0,49	4,70	1,1	28,0	139,4	0,93	4,57	0,69	2,95	0,51	14,61	28,38
	20	28/01/2012	Invierno	25,0	69,50	13,17	0,36	4,50	5,3	28,4	47,6	0,59	2,89	0,75	2,36	0,63	5,25	8,38
	21	05/02/2012	Invierno	32,7	69,67	8,67	0,47	3,50	0,9	34,8	96,7	0,60	2,96	0,59	2,41	0,63	6,50	10,31
	22	13/04/2012	Primavera	59,8	114,83	45,50	0,52	4,70	2,6	29,6	39,5	1,24	6,09	0,66	3,00	0,46	11,64	25,54
	23	18/04/2012	Primavera	41,8	108,83	39,67	0,38	4,40	21,2	85,8	122,9	0,94	4,58	0,71	2,38	0,54	7,03	13,08
	24	27/04/2012	Primavera	43,5	81,00	25,33	0,53	5,90	1,1	16,4	130,6	0,77	3,77	0,56	2,63	0,42	7,25	17,39
	25	20/05/2012	Primavera	65,8	95,67	22,67	0,69	6,70	10,3	10,3	21,1	1,00	4,89	0,48	2,90	0,26	8,00	30,39

E: evento; P_t : precipitación total durante la crecida; F_d : duración de la crecida; T_r : tiempo para alcanzar la máxima descarga; IP_m : intensidad de precipitación media; $IP_{máx}$: intensidad de precipitación máxima; $P1d$, $P7d$, $P21d$: precipitación acumulada un día, siete días y veintiún días antes del evento; V_c : volumen de la crecida; % V_c/V_T : porcentaje de aporte de agua de la crecida con respecto al volumen de agua exportada durante el respectivo año hidrológico; R_c : coeficiente de la crecida; Q_m : caudal medio; Q_b : caudal base; $Q_{máx}$: caudal máximo; $Q_{máx}/Q_b$: relación caudal máximo/caudal base.

Fuente: elaboración propia.

El 36 % de estas crecidas (eventos 1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 17 y 18) ocurrieron en otoño (octubre a diciembre), el 32 % (eventos 3, 4, 12, 13, 14, 19, 20 y 21) en invierno (enero a marzo), 24 % (eventos 5, 6, 22, 23, 24 y 25) en primavera (marzo a junio) y 8 % (eventos 15 y 16) en verano (julio a septiembre). La precipitación para las 25 crecidas presentó un valor promedio de 66,5 mm y un rango que abarca desde 14,4 mm (julio 2011) hasta 262,3 mm (noviembre 2009), fechas que para la duración total del evento se corresponden con el mínimo (30,5 h) y máximo (353,7 h), con 99,8 h en promedio. Por otra parte, el volumen de agua desplazado durante los eventos presentó un promedio de 1,14 hm³ con un mínimo de 0,07 hm³ (julio 2011) y un máximo de 4,64 hm³ (noviembre 2009). El caudal máximo registrado para los eventos presentó un rango comprendido entre 0,88 m³ s⁻¹ (julio 2011) y 58,86 m³ s⁻¹, este último durante el evento 14 (marzo 2011), con promedio de 14,34 m³ s⁻¹ (Montoya, 2013).

De la tabla 1, también puede observarse que existen cuatro eventos de crecida que resaltan por su magnitud (eventos 1, 6, 14 y 17), los cuales pueden considerarse de alta intensidad. Estos presentaron los mayores caudales punta debido a altas precipitaciones generadas. Sin embargo, crecidas como la ocurrida en marzo 16 de 2011 no mostraron precipitaciones ni un tiempo de duración superior a algunas otras que se generaron, pero sí ostentó el máximo caudal registrado (58,86 m³ s⁻¹), esto fue debido a que la intensidad de precipitación por hora fue alta dentro de las cuatro horas anteriores al pico de caudal, periodo en el cual se presentó la máxima intensidad de precipitación (11,8 mm h⁻¹).

La concentración de sólidos suspendidos (CSS) promedio para las crecidas presentó un rango de valores comprendido desde 32,90 mg L⁻¹ (diciembre 2010) hasta 203,48 mg L⁻¹ (junio 2010). Entre tanto, la CSS máxima que se alcanzó fue de 1407,66 mg L⁻¹ en el evento 14 (marzo 2011), donde también se presentaron valores punta para

COD (10,68 mg L⁻¹) y COP (21,34 mg L⁻¹), hecho en parte previsible por ser la crecida con el mayor caudal alcanzado, lo cual contribuiría a que el arrastre de sedimentos y carbono orgánico fuera el más significativo. De igual forma, se estableció que durante los eventos de crecida COD y COP hubo concentraciones promedio de 5,19 mg L⁻¹ y 3,41 mg L⁻¹, respectivamente, mientras que durante los periodos de estiaje se observó un valor promedio de 2,13 mg L⁻¹ para COD y 1,14 mg L⁻¹ para COP (Montoya, 2013).

Los datos continuos de CSS durante todo el periodo de estudio (2009-2012) se calcularon a partir de una buena relación entre la turbiedad (TRB) medida en campo y la CSS obtenida en el laboratorio (figura 2). Esta regresión lineal ($R^2 = 0,94$) indica que las propiedades físicas del material particulado en suspensión tienden a ser estables, señalando que no se presentan variaciones importantes en la fuente de los sedimentos debido a la homogeneidad de la cuenca en términos del tipo y uso del suelo (Walling y Webb, 1985).

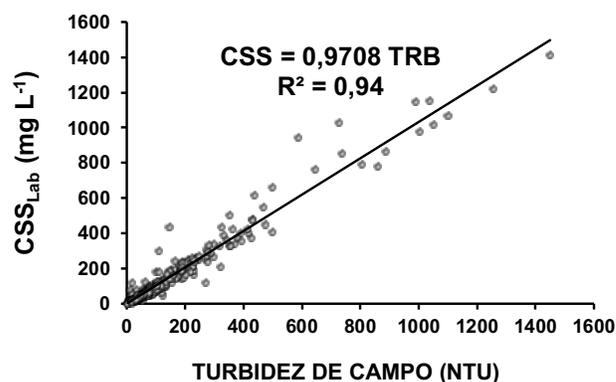


Figura 2. Regresión TRB – CSS para la cuenca del río Oka

Fuente: elaboración propia.

Para obtener datos continuos de la concentración de COD y COP, se establecieron ecuaciones de regresión con el caudal durante los eventos de crecida ($R^2 = 0,61$) y con CSS ($R^2 = 0,76$), respectivamente (figura 3).

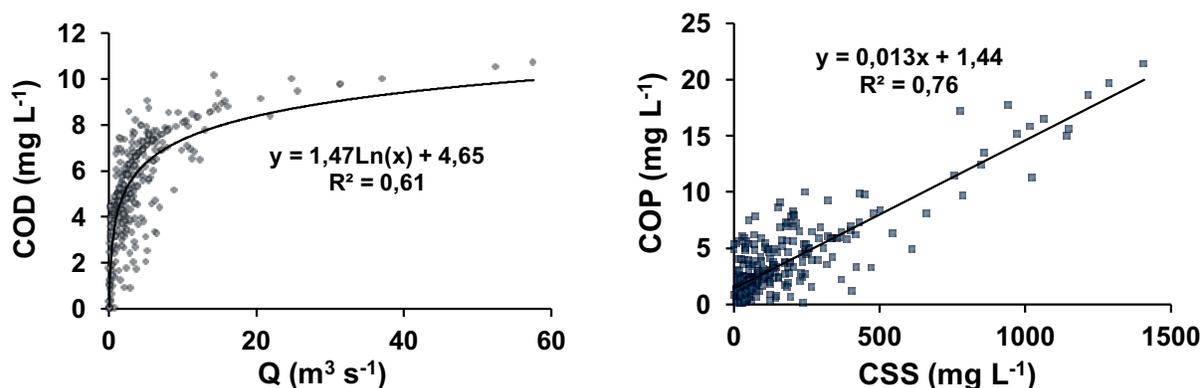


Figura 3. Relaciones entre (a) caudal (Q) y carbono orgánico disuelto (COD); (b) concentración de sólidos suspendidos (CSS) y carbono orgánico particulado (COP)

Fuente: elaboración propia.

Estimación de cargas y tasas específicas de exportación

La [tabla 2](#) resume las cargas medias y tasas específicas por año de SS, COD y COP para la cuenca de cabecera del río Oka. Durante el periodo hidrológico estudiado comprendido desde octubre de 2009 a septiembre de 2010, se exportó una carga total de SS de 2777,63 toneladas (t), *equivalente a* $88,01 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ (tasa específica); igualmente, se determinaron las cargas de COD (112,58 t) y COP (61,31 t) las cuales se corresponden con una tasa de $3,57 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ para COD y $1,94 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ para COP. En el periodo hidrológico comprendido desde 2010 a 2011, la carga media anual de SS, COD y COP se estimó en 2072,67 t, 90,98 t y 48,29 t, respectivamente, correspondiéndose con

tasas de $65,67$, $2,88$ y $1,53 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$, respectivamente. El tercer periodo hidrológico estudiado (2011 a 2012) presentó cargas de exportación de 1952,19 t, 109,15 t y 49,94 t, para SS, COD y COP, respectivamente, con sus correspondientes tasas precisadas en $61,86$, $3,46$ y $1,58 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$, respectivamente ([Montoya, 2013](#)).

En general, el periodo hidrológico 2009 a 2010 presentó una mayor pluviosidad, lo cual generó un mayor transporte de SS, COD y COP, si se compara con los dos periodos hidrológicos siguientes. El descenso que puede observarse en el transporte de sedimentos ($25,38 \%$ para 2010 a 2011, y $29,72 \%$ para 2011 a 2012) refleja el vínculo directo entre la pluviosidad y la exportación de sedimentos. No obstante, se observó que la exportación de COD y COP no mantiene específicamente esta

Tabla 2. Valores generales y tasas específicas por año de SS, COD y COP transportados en la cuenca del río Oka

Año hidrológico	P_T (mm)	SSt (t año ⁻¹)	SSt (t km ⁻² año ⁻¹)	CODt (t año ⁻¹)	CODt (t km ⁻² año ⁻¹)	COPt (t año ⁻¹)	COPt (t km ⁻² año ⁻¹)
2009-2010	1224,1	2777,63	88,01	112,58	3,57	61,31	1,94
2010-2011	1171,9	2072,67	65,67	90,98	2,88	48,26	1,53
2011-2012	1071,6	1952,19	61,86	109,15	3,46	49,94	1,58
2009-2012	1155,9	2267,50	71,85	104,24	3,30	53,17	1,68

Fuente: elaboración propia.

relación, lo cual estaría vinculado con las diversas particularidades de cada evento de crecida (tiempos y duración de los eventos, intensidad, volúmenes de agua exportados, etc.), al igual que con factores concernientes a las características y usos antrópicos del suelo, que pudieron presentarse en la cuenca en el periodo comprendido por este estudio y que podrían repercutir en que la variabilidad anual sea significativa (Oeurng, Sauvage y Sánchez-Pérez, 2010).

Para la cuenca del río Oka se estimó una tasa de exportación de sólidos suspendidos (sedimento en suspensión) correspondiente a $71,85 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ como valor medio del periodo en estudio (octubre de 2009 a septiembre de 2012), la cual es menor al valor de $100 - 250 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ publicado para cuencas perteneciente a la zona del mediterráneo español (Walling y Webb, 1996). De manera análoga se establecieron tasas de $3,30 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ para la exportación del carbono orgánico disuelto y $1,68 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ para el carbono orgánico particulado.

En cuanto a las principales cuencas del País Vasco, existen claras diferencias entre unas y otras, dependiendo de su extensión y topografía. Uriarte (1998) realizó un estudio en la provincia de Gipuzkoa y reportó tasas de exportación de sedimento menores a las de este estudio, con valores de 45 , 55 y $50 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en la cuenca de los ríos Deba (450 km^2), Urola (280 km^2) y Urumea (210 km^2), respectivamente. En cambio, las cuencas de los ríos Oiartzun y Oria ostentaron tasas de exportación superiores, con 130 y $260 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$, respectivamente. Por otra parte, Zabaleta et al. (2007) analizaron la respuesta hidrosedimentaria en pequeñas cuencas de Gipuzkoa (País Vasco) durante los años hidrológicos 2003-2005, y estimó tasas de exportación de sedimentos de 45 , 35 y $15 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$, respectivamente, para la cuenca de los ríos Añarbe (48 km^2), Aixola ($4,8 \text{ km}^2$) y Barrendiola (3 km^2). Estos autores también resaltan que resulta difícil establecer una comparación adecuada entre los resultados obtenidos para las distintas cuencas, ya que existen importantes diferencias entre las metodologías aplicadas por elaboración propia y las

características de las cuencas (geología, relieve, precipitación, uso de suelo, entre otras).

Datos más recientes para estas y otras cuencas durante el periodo 2006-2012 han sido reportados por la Diputación Foral de Gipuzkoa en el informe *Cuantificación de la tasa de sedimentos exportados de las cuencas del territorio histórico de Gipuzkoa* (DFG, 2012). Entre ellas se destacan las cuencas de los ríos: Aixola ($18 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$), Añarbe ($170 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$), Deba ($60-105 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$), Urola ($31-100 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$), Oria ($171-350 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$), Urumea ($46-127 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$), Oiartzun ($52-115 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$) y Amundarain ($38-52 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$). Este informe ha demostrado, además, la importancia del seguimiento permanente de variables físicas, químicas, meteorológicas e hidrológicas para dimensionar la magnitud y las variaciones con la que se exportan los sedimentos en las principales cuencas de Gipuzkoa.

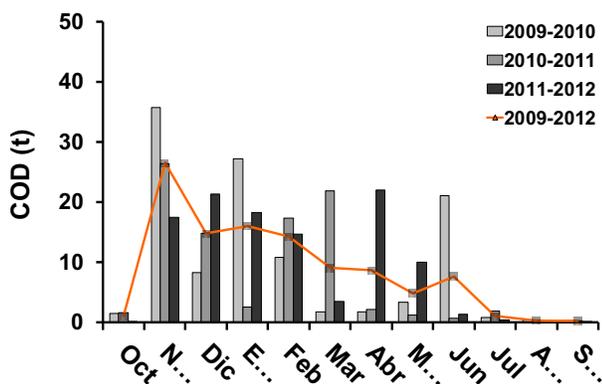
La tasa media de COP ($1,68 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$) determinada para la cuenca del río Oka durante todo el periodo en estudio, es ligeramente superior a la tasa de $1,47 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ estimada por Veyssy et al. (1998) en la cuenca del Garona al suroeste de Francia, la tasa de $1,64 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ en el río Orinoco (Ludwig, Probst y Kempe, 1996) y la tasa de $1,10 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ estimada como la media de los ríos en Europa (Ludwig, Probst y Kempe, 1996). Sin embargo, esta tasa es muy superior al valor hallado de $0,54 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$, reportado en la cuenca forestal Alegría ubicada en la provincia de Álava, al norte de España (Cerro et al., 2014). En contraste, esta tasa en el río Oka es inferior a la encontrada por Oeurng et al. (2011) en la cuenca Save al suroeste de Francia ($1,8 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$), también a la estimada en el río Amazonas $3,23 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ (Richey, Hedges, Devol y Quay, 1990) y mucho más baja que las $5,3 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ del río Nivelles que drena en una típica cuenca montañosa del Pirineo Francés hacia el Golfo de Vizcaya (Coyne et al., 2005).

En cuanto a la tasa media anual de COD ($1,68 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$), este valor es superior a las estimaciones de $0,70 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ para la cuenca del río Save (Oeurng et al., 2011), las $0,85 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$

en la cuenca Alegría (Cerro *et al.*, 2014), y 0,95 t km⁻² año⁻¹ estimadas en la región agrícola del río Embarras como el promedio de los años 1994 a 2003 (Royer y David, 2005). Sin embargo, este valor es inferior a otros encontrados en ríos suramericanos como el Amazonas con 5,27 t km⁻² año⁻¹ (Richey *et al.*, 1990) y Orinoco con 4,82 t km⁻² año⁻¹ (Ludwig, Probst y Kempe, 1996). La obtención de una mayor carga de COD respecto al COP se relaciona principalmente con una limitada erosión del suelo presentada por las cuencas forestales a diferencia de las cuencas agrícolas y de uso mixto. Asimismo, los suelos en la cuenca del Oka, que están en su mayoría cubiertos de bosques y pastos, le proporcionarían a la corriente de agua un alto contenido de COD producto del material vegetal en descomposición (Yang *et al.*, 2013).

Variabilidad temporal de la exportación de SS, COD y COP

La cuenca de cabecera del río Oka presentó, durante los tres años hidrológicos estudiados, una gran variabilidad temporal respecto a la exportación de sólidos en suspensión y carbono orgánico. Estos cambios estacionales pueden analizarse considerando las variaciones en el clima (Oeurng, Sauvage y Sánchez-Pérez, 2010; Cerro *et al.*, 2014).



La contribución mensual de la carga de SS por cada año hidrológico analizado en la cuenca puede apreciarse en la figura 4; la línea naranja representa el valor promedio del mes, que se ha determinado teniendo en cuenta la información recopilada en cada uno de los periodos estudiados (Montoya, 2013).

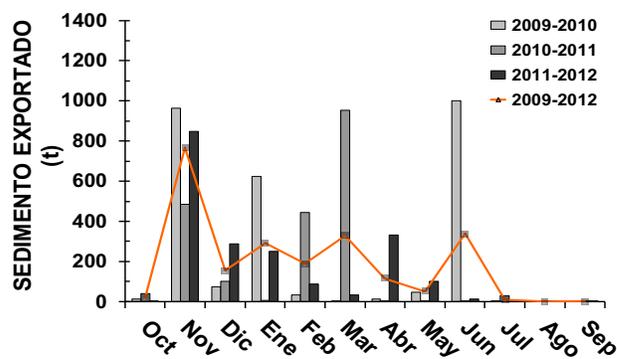


Figura 4. Cargas mensuales de SS exportados por la cuenca del río Oka en el periodo 2009-2012

Fuente: elaboración propia.

Particularmente, los principales aportes de SS, COD y COP tuvieron lugar desde el mes de noviembre hasta marzo (otoño/invierno), estaciones donde se originaron con una mayor frecuencia los eventos de lluvia intensa y continua (figura 5).

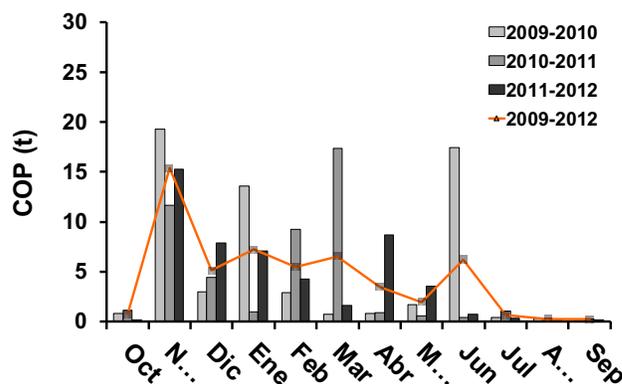


Figura 5. Cargas mensuales de: (a) COD; (b) COP, exportados por la cuenca del río Oka en el periodo 2009-2012

Fuente: elaboración propia.

No obstante, el transporte de materiales por el río igualmente está supeditado al origen y características de crecidas inusitadas y poderosas que podrían suceder especialmente en otoño, invierno e, incluso, en primavera. De la misma manera, adquiere gran importancia la disponibilidad del sedimento y demás materiales en el propio cauce y las zonas aledañas al río, sufriendo procesos de arrastre o reposición a causa de las dinámicas de las corrientes de agua en la cuenca (Montoya, 2013).

Relación entre las variables hidrometeorológicas, sólidos en suspensión y carbono orgánico

Se obtuvieron cuatro factores que explican en total el 82,27 % de la varianza, mediante el ACP. La figura 6 agrupa los factores más importantes (I y II), los cuales representan el 58,90 % de la varianza total. En el primer factor se agrupan las variables $IP_{m'}$, $IP_{máx'}$, $Q_{m'}$, $Q_{máx'}$, $CSS_{m'}$, $CSS_{máx'}$, SS_t , $COD_{máx'}$, COP_m , $COP_{máx'}$, COP_t y en menor grado $COD_{m'}$, $Q_{máx'}/Q_{b'}$, que explican el 36,90 % de su varianza. El segundo factor agrupa $P_{t'}$, $F_{d'}$, $T_{r'}$, V_c y $COD_{t'}$ que explica el 22,00 % de la varianza total. Las variables relacionadas con el sedimento en suspensión

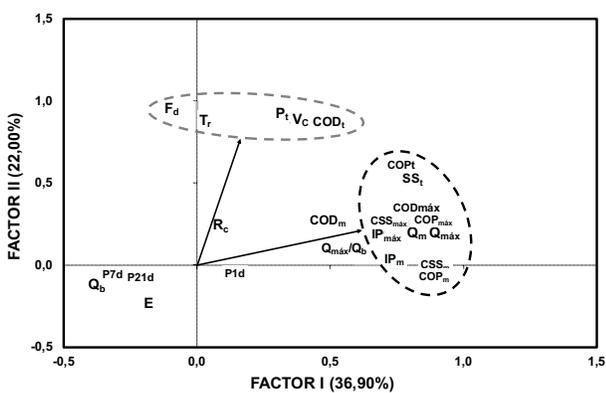


Figura 6. Ubicación de las variables hidrometeorológicas, SS, COD y COP, en los planos factoriales I – II del análisis de componentes principales

Fuente: elaboración propia.

presentaron una fuerte relación con los factores I-II, pero principalmente con el primero. Estos resultados sugieren una respuesta directa en la cuenca en términos del caudal del río, la exportación de sedimento en suspensión y carbono orgánico ante los eventos con mayor importancia en términos de duración, intensidad de las precipitaciones y caudal máximo generado. En contraste, también se identifican parámetros de las crecidas (E , Q_b , $P1d$, $P7d$, $P21d$ y R_c), que no presentan influencia directa sobre la generación de sedimentos.

Igualmente, en la figura 7 se observa la distribución de las crecidas entre los factores I y II que se obtuvieron del ACP, identificando numéricamente cada uno de los eventos de acuerdo con la tabla 1.

Teniendo en cuenta estos componentes, la clasificación de los eventos de crecida se definió en tres categorías de acuerdo con su capacidad para transportar sólidos en suspensión y carbono orgánico.

Tipo I: son aquellas crecidas que presentan una menor intensidad y un alto porcentaje de ocurrencia en esta cuenca (48 %), representando doce eventos de crecida (2, 5, 7, 11, 13, 15, 16, 20, 21, 23, 24 y 25). Estas se corresponden con situaciones de bajas contribución de SS (< 100 toneladas)

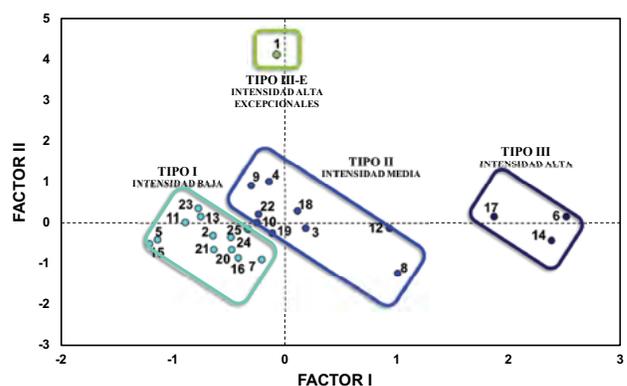


Figura 7. Distribución de los eventos de crecida en el plano factorial I–II obtenidos por el análisis de componentes principales

Fuente: elaboración propia.

y con caudales no superiores a $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Tipo II: eventos de crecida de mediana intensidad; ocurrieron con menos frecuencia (36 %), con nueve eventos (3, 4, 8, 9, 10, 12, 18, 19 y 22). La contribución de SS se consideró altamente relevante ($100 \text{ t} \leq \text{SS}_t \leq 500 \text{ t}$) y sus caudales máximos estuvieron comprendidos entre 10 y $21 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Tipo III: agrupa los eventos de mayor intensidad (1, 6, 14 y 17) que representan el 16 % del total analizado. Se caracterizan por una alta exportación de SS ($> 500 \text{ t}$) y caudales máximos de importancia significativa (21 a $60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Este tipo de evento se puede clasificar como excepcional debido a su intensidad y al tiempo relativamente corto que tarda en alcanzar el caudal máximo (Montoya, 2013).

Los resultados anteriores sugieren una respuesta directa de la cuenca en términos de transporte de sedimento en suspensión y carbono orgánico a eventos de gran importancia en términos de precipitación y volumen de agua generado. Los eventos de crecida de alta intensidad corresponden a aquellos con una alta capacidad para transportar SS, COD y COP. Esta clasificación contribuye a la comprensión de la cuenca en términos de transporte de contaminantes y la respuesta hidrológica de los eventos de crecida con diferente intensidad.

CONCLUSIONES

Es trascendental el monitoreo continuo de parámetros físicos, químicos, meteorológicos e hidrológicos para establecer la cantidad y variabilidad de sedimentos en suspensión y carbono orgánico que fueron exportados en la cuenca del río Oka.

La fase particulada en la columna de agua refleja una alta variabilidad en el transporte de los sólidos suspendidos en los eventos de crecida. La buena relación entre el caudal y la concentración de carbono orgánico disuelto, así como de la concentración de los sólidos suspendidos y la concentración de carbono orgánico particulado durante los eventos de crecida, fue útil para calcular las concentraciones a largo plazo a partir de

parámetros simples de medir e hizo posible obtener la carga exportada por año.

Los resultados revelan el importante papel de las crecidas en la movilización de SS, COD y COP desde la cuenca agroforestal del Oka, contribuyendo a determinar cargas de 2267,5 t (SS), 104,2 t (COD) y 53,2 t (COP), que se corresponden con tasas de $71,85 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ (SS), $3,30 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ (COD) y $1,68 \text{ t km}^{-2} \text{ año}^{-1}$ (COP), como valores medios para los tres años hidrológicos estudiados.

La precipitación y el volumen de agua transportado fueron los principales factores que controlaron la exportación de SS, COD y COP en la cuenca de cabecera del río Oka. Estos factores señalaron que las crecidas consiguen agruparse en tres categorías de acuerdo con la intensidad y su potencial para el transporte de sólidos en suspensión y carbono orgánico.

La metodología utilizada para llegar a establecer una clasificación de los eventos de crecida permite determinar la carga exportada por tipo de evento, mensual, y anual; las crecidas de intensidad superior fueron las de mayor importancia en la contribución de sólidos suspendidos y carbono orgánico a la salida de la cuenca. También proporciona información para un mejor diagnóstico del impacto de cada evento de crecida, contribuyendo a la proyección de normas y disposiciones para la protección del ecosistema fluvial y del estuario de Urdaibai.

FINANCIAMIENTO

Universidad del País Vasco (UFI11/26), Ministerio de Ciencia e Innovación (CGL2011-26236), Gobierno Vasco-Grupo Consolidado de Hidrogeología y Medio Ambiente (IT598-13).

REFERENCIAS

American Public Health Association (APHA) (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21a. ed. Washington, D. C.

- Carvajal, Y., Arango, D. y Jiménez, H. (2007). Estimación de caudales promedios mensuales por subcuencas hidrológicas mediante modelación con HEC-HMS. *Tecnura*, 11(21), 14-28. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.6260>
- Cerro, I., Sánchez-Pérez, J. M., Ruiz-Romera, E. y Antigüedad, I. (2014). Variability of particulate (SS, POC) and dissolved (DOC, NO₃) matter during storm events in the Alegria agricultural watershed. *Hydrological Processes*, 28, 2855-2867. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.9850>
- Coyne, A., Etcheber, H., Abril, G., Maneux, E., Dumas, J. y Hurtrez, J. E. (2005). Contribution of small mountainous rivers to particulate organic carbon input in the Bay of Biscay. *Biogeochemistry*, 74, 151-171. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10533-004-3362-1>
- Diputación Foral de Gipuzkoa (DFG) (2012). *Cuantificación de la tasa de sedimentos exportados de las cuencas del Territorio Histórico de Gipuzkoa. (Fase VI). Caracterización de los sedimentos en la cuenca del Deba. Año hidrológico 2011-2012, 2012*. Informe inédito. Gipuzkoa, España.
- González, N., Carvajal, Y. y Loaiza, W. (2016). Análisis de sequías meteorológicas para la cuenca del río Dagua, Valle del Cauca, Colombia. *Tecnura*, 20(48), 101-113. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.2.a07>
- Ludwig, W., Probst, J. L. y Kempe, S. (1996). Predicting the oceanic input of organic carbon by continental erosion. *Global Biogeochemical Cycles*, 10, 23-41. DOI: <https://doi.org/10.1029/95GB02925>
- Montoya, L.H. (2013). *Efectos de las crecidas en el transporte de material particulado y contaminantes asociados: aplicación al caso del río Oka (Urdabai), País Vasco*. [Tesis inédita de doctorado]. Universidad del País Vasco, Bilbao, España.
- Montoya, L.H., Ruiz, E. y Antigüedad, I. (noviembre, 2014). *Efectos de las crecidas en el transporte de material particulado y carbono orgánico. Caso del río Oka (País Vasco, España)*. En Conferencia I Jornada Binacional de Investigación de la URBE (CI-DETIU). Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín. Maracaibo, Venezuela.
- Ni, H. G., Lu, F. H., Luo, X. L., Tian, H. Y. y Zeng, E. Y. (2008). Riverine inputs of total organic carbon and suspended particulate matter from the Pearl River Delta to the coastal ocean off South China. *Marine Pollution Bulletin*, 56, 1150-1157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.02.030>
- Oeurng, C., Sauvage, S. y Sánchez-Pérez, J. M. (2010). Dynamics of suspended sediment transport and yield in an intensive agricultural catchment in Southwest France. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35, 1289-1301. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.1971>
- Oeurng, C., Sauvage, S., Coyne, A., Maneux, E., Etcheber, H. y Sánchez-Pérez, J.M. (2011). Fluvial transport of suspended sediment and organic carbon during flood events in a large catchment in southwest France. *Hydrological Processes*, 25(15), 2365-2378. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.7999>
- Richey, J. E., Hedges, J. I., Devol, A. H. y Quay, P. D. (1990). Biogeochemistry of carbon in the Amazon River. *Limnology Oceanography*, 35, 352-371. DOI: <https://doi.org/10.4319/lo.1990.35.2.0352>
- Royer, T. y David, M. (2005). Export of dissolved organic carbon from agricultural streams in Illinois, USA. *Aquatic Science*. 67, 465-471. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00027-005-0781-6>
- Uriarte, A. (1998). *Sediment dynamics on the inner continental shelf of the Basque Country (N. Spain)*. [Tesis inédita de doctorado]. Universidad de Southampton, Southampton, Inglaterra.
- Veyssy, E., Etcheber, H., Lin, R., Buat-Ménard, P. y Maneux, E. (1998). Seasonal variation and origin of Particulate Organic Carbon in the lower Garonne River at La Re'ole (Southwestern France). *Hydrobiologia*, 391, 113-126. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1003520907962>
- Walling, D. E. y Webb, B. W. (1985). Estimating the discharge of contaminants to coastal waters by rivers: some cautionary comments. *Marine Pollution Bulletin*, 16, 488-492. DOI: [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(85\)90382-0](https://doi.org/10.1016/0025-326X(85)90382-0)
- Walling, D.E. y Webb, B.W. (1996). Erosion and sediment yield: a global overview. *Erosion and*

sediment yield: global and regional perspectives. Proceedings of the Exeter Symposium. *IAHS Publications*, 236, 3-19. Recuperado de http://hydrologie.org/redbooks/a236/iahs_236_0003.pdf

Yang, Y., He, Z., Wang, Y., Fan, J., Liang, Z. y Stoffella, P. J. (2013). Dissolved organic matter in relation to nutrients (N and P) and heavy metals in surface runoff water as affected by temporal variation and land uses—A case study from Indian River Area,

south Florida, USA. *Agricultural Water Management*, 118, 38-49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.12.001>

Zabaleta, A., Martínez, M., Uriarte, J. A. y Antigüedad, I. (2007). Factors controlling suspended sediments yield during runoff events in small headwater catchments of the Basque Country. *Catena*, 71(1), 179-190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.06.007>





Análisis de la intervención antrópica en cuerpos de agua: caso caño Banderas, en el municipio Puerto López (Meta, Colombia)

Analysis of anthropic intervention in water bodies: caño Banderas case in the Puerto Lopez (Meta, Colombia) Municipality

Hernando Castro Garzón¹, Dagoberto Torres Flórez², Nadeska Jenniffer Gallardo Lichaa³

Fecha de recepción: 23 de Diciembre de 2019

Fecha de aceptación: 6 de Mayo de 2020

Cómo citar: 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. DOI: [10.14483/22487638.15772](https://doi.org/10.14483/22487638.15772)

Resumen

Contexto: Puerto López se ubica en el nororiente del departamento del Meta, una distancia de 90 kilómetros de la capital, Villavicencio; es conocido como el centro geográfico de Colombia, y se caracteriza por ser una zona de riqueza hídrica. El caño Banderas es parte de la cuenca del río Meta, al que efluyen el 33 % de las aguas negras del casco urbano, y que se encuentra contaminado por las aguas residuales y basuras.

Método: A través de un enfoque mixto se recopiló información por medio de entrevistas semiestructuradas y encuestas, procesadas en [Atlas.ti](https://atlas.ti.com) 7 y SPSS 20, respectivamente, estableciendo relaciones para la interpretación de resultados.

Resultados: Se estableció que los impactos generados no han sido mitigados a pesar de los diferentes programas determinados en la planeación municipal; la desigualdad en la condición ciudadana permite la ocupación como el detrimento de zonas de protección ambiental, a la vez que facilita los vertimientos y el depósito de residuos sólidos en ellas.

Conclusiones: Los análisis de la intervención antrópica de cuerpos de agua permiten establecer responsabilidades en los impactos negativos de la zona, así como pormenorizar acciones de mejora para su recuperación acordes al territorio.

Palabras clave: afluentes, comunidad, contaminación, sostenibilidad.

Abstrac

Context: Puerto López is located in the northeast of the Department of Meta, is known as the geographic center of Colombia, is located at a distance of ninety kilometers from the capital, Villavicencio; It is characterized as an area of water wealth. The Banderas pipe is part of the Meta River Basin to which 33% of the urban sewage effluents effluent, establishing that it is contaminated by sewage and garbage.

Method: Through a mixed approach, information was collected through semi-structured interviews and surveys, processed in [Atlas.ti](https://atlas.ti.com) 7 and SPSS 20 respectively, establishing relationships for the interpretation of results.

- 1 Profesional en Administración de Empresas, especialista en Ecología y Medio Ambiente, máster en Gestión Ambiental y Sostenible, PhD en Desarrollo Sostenible. Docente Universidad de los Llanos, Villavicencio, Meta, Colombia. hcastro@unillanos.edu.co
- 2 Profesional en Administración Pública, magíster en Administración de Empresas con énfasis en administración de proyectos, doctorando en Ciencias Económicas y Administrativas. Docente, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Meta, Colombia. dtorres@unillanos.edu.co
- 3 Profesional en Administración, Maestría en Administración de Empresas, PhD en Ciencias Gerenciales. Docente, Universidad de Sabaneta, Sabaneta, Antioquia, Colombia. nadeska.gallardo@gmail.com

Results: It was established that the impacts generated have not been mitigated despite the different programs determined in municipal planning; The inequality in the citizen status allows the occupation as the detriment of environmental protection zones as well as facilitates the dumping and deposit of solid waste in them.

Conclusions: The analysis of the anthropic intervention of water bodies allows to establish responsibilities in the negative impacts of the area as well as to detail improvement actions for their recovery according to the territory.

Keywords: tributaries, community, pollution, sustainability.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua es la alteración de sus características naturales, principalmente producida por la actividad humana, que la hace total o parcialmente inadecuada para el consumo o como soporte vital de plantas y animales (Peñaloza Paez, 2012) los problemas por contaminación se incrementan cada día (Barba Ho, 2002; Leon, Cordoba & Carreño, 2016). El agua Esta se ve afectada principalmente por los vertimientos no controlados provenientes del sector agropecuario, doméstico e industrial (Lizarazo y Orjuela, 2013; Rangel *et al.*, 2019). Más aún, las actividades humanas alteran los procesos evolutivos del paisaje y modelan sus formas naturales; por ende, de la manera como la población se organice en el territorio es uno de los detonantes para los conflictos ambientales (Agua-limpia Dualiby & Castro Méndez, 2012). Por otro lado, Benítez y Contreras (2013) explican que no solo los desechos domésticos afectan las cuencas hídricas, determinan que la agricultura tiene una alta influencia por el uso inadecuado y excesivo de grandes volúmenes de plaguicidas; como resultante genera la contaminación de las aguas superficiales cercanas a las zonas de producción. Los plaguicidas pueden llegar a ser consumidos a través del agua potable, ya que estas sustancias químicas pueden persistir por largos periodos de tiempo en las aguas subterráneas y superficiales (del Puerto Rodríguez, Suárez Tamayo & Palacio Estrada, 2014). Por lo anterior, debido a la contaminación presente en las fuentes hídricas, el agua sufre cambios en su color y estructura, por la diversidad de compuestos que llegan a ella: desechos

de los hogares, detergentes, petróleo, pesticidas y desechos nucleares (Peñaloza Paez, 2012; Vaca, Ubaque & de Plaza Solórzano, 2016). Además, la dispersión de la contaminación sobrepasa los límites geopolíticos; razón por la cual la calidad del agua en una cuenca es un indicador del impacto de las actividades humanas en una determinada zona (Torres Beristáin *et al.* 2013). A su vez, Larios Ortiz (2009) enuncia que la cantidad de agua subterránea disponible se ve afectada por el sobreuso de productos agroindustriales ya que estos contienen nitratos altamente contaminantes. Gil *et al.* (2012) establecen que los contaminantes emergentes (CE) son los compuestos de origen químico que al estar presentes en los cuerpos de agua tienen un alto impacto ambiental, que además se refleja en daños a la salud de las poblaciones aledañas.

En el río Ebro, de España, por la actividad agrícola como la ganadera así como algunas actividades industriales, se identificaron fármacos y algunos plaguicidas; sustancias como acetaminofén, atenolol, carbamazepina, ibuprofeno son vertidos al río y en su gran mayoría no alcanzan a ser diluidos por las plantas de tratamiento (Prados Joya, 2010).

En el río San Lucas, en Perú, se identificó la afectación del afluente por heces humanas y de animales, y la disposición de basura en sus riveras; adicionalmente contiene minerales y compuestos químicos por las deficientes prácticas agrícolas conexas al río (Mendoza Astopilco, 2010).

Por otro lado, en México, el río Atoyac se ve afectado por desechos industriales que han impactado a más de 2 300 000 habitantes en 28

municipios. El agua se torna de colores oscuros debido a su nivel de contaminación; y se han encontrado 25 sustancias nocivas que pueden ocasionar enfermedades como hepatitis, cáncer y cólera (Es-trada Rivera, 2018).

Hay que mencionar que la materia fecal es una de las principales problemáticas presente en el río Poas, en Costa Rica, en donde el nivel y concentración en temporada seca aumentan, debido a que el agua no tiene flujo constante; además, hay incremento en la propensión y riesgo de contraer enfermedades por esta causa también (Brenes & Molina, 2012).

Por otro lado, López *et al.* (2012) muestran que en Colombia el volumen de aguas residuales generadas es aproximadamente un 70 %-80 % del volumen consumido como potable; “así mismo, cabe señalar que las plantas de tratamiento de estas aguas en el país, solo tratan el 43 % de las aguas de los municipios que han sido recolectadas” (Ramírez Hernández, 2015, pág. 296) mostrando las deficiencias en cobertura del país.

Ilustrando lo anterior “durante muchos años, los ríos y quebradas que cubren el territorio nacional han servido como medio de recepción de aguas negras, domésticas, industriales, agropecuarias y desechos sólidos” (Solano, 2012, pág.10). Se presenta un panorama de impactos negativos, “en Colombia, los problemas ambientales tienen diferentes causas, una de ellas es la ausencia de una cultura ambiental en las comunidades que viven o frecuentan zonas aledañas a las corrientes hídricas” (Plata e Ibarra, 2015, pág. 235). A continuación, se presenta el estado de algunos afluentes de la geografía nacional.

En el caso de la cuenca del río Tunjuelo, por efecto de la expansión urbana de la ciudad de Bogotá, se presenta erosión, empobrecimiento del suelo, contaminación del agua y aire (Pachón y Urrego, 2015).

De igual modo el río Cauca presenta moléculas de plomo, cadmio, cromo y mercurio. Se estima que el departamento de Risaralda produce alrededor de 50 000 toneladas de desechos y

materiales contaminantes que son vertidos al río (Reyes *et al.* 2016).

De acuerdo con lo anterior, los impactos generados en el río Magdalena, que oferta el 10,6 % del recurso hídrico del país, son altos debido a su sobreexplotación y a su aporte en el valor al producto interno bruto (PIB) nacional. A su vez, se presentan casos similares con las vertientes del Orinoco, Amazonas, Sinú, Atrato y Catatumbo, que aún no tienen el nivel de deterioro del Magdalena, pero presentan una alta intervención antrópica (Cepal, 2002).

Por último, se asocia la contaminación de los afluentes con enfermedades en las poblaciones aledañas; principalmente en el sur del departamento de Bolívar, ya que allí se vierten algunos metales pesados y plaguicidas que han generado malformaciones como labio leporino y paladar hendido (Ortega-Miller, 2017).

Por otro lado, el departamento del Meta es un gran productor hídrico ubicado en la región de los Llanos Orientales de Colombia; uno de sus grandes afluentes es el río Meta que tiene una superficie de cuenca de 93 800 km² (Junguito Bonnet, 2011) su cauce cruza el municipio de Puerto López en donde se destacan, según el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT), seis subcuencas, que ocupan un área de 166.25 ha y sus playas ocupan 45.06 ha, constituyéndose el río Metica como el principal drenaje del municipio (se vierte el 67% de las aguas del alcantarillado), siendo una de estas subcuencas donde se encuentra el caño Banderas, que es el objeto de estudio de este trabajo.

Puerto López se localiza en el nororiente del departamento, es conocido como el centro geográfico de Colombia, debido a que en el alto Mene-gua se encuentra el centro del país; está ubicado a una distancia de 90 km de la capital, Villavicencio; limita por el sur, con el municipio de San Martín; por el Oriente, con el municipio de Puerto Gaitán; por el norte, con el departamento de Casanare y el municipio de Cabuyaro; por el occidente, con los municipios de San Carlos y Villavicencio. Puerto López cuenta con una extensión

de 6290 km² en la zona rural y 8 km² en la zona urbana; la topografía es en su mayoría plana y presenta paisajes propios del llano (Alcaldía de Puerto López, 2016).

Adicionalmente, el *Plan de Desarrollo “Puerto López para todos”*, del periodo 2016-2019, indica que el municipio está estructurado y dividido en el perímetro urbano con 21 barrios, y el sector rural está conformado por 10 corregimientos de policía y 20 veredas catastrales. En la zona urbana, los barrios Abel Rey, Policarpa y Santander fueron seleccionados como transecto de estudio, dado que estos se encuentran ubicados al margen del afluente.

Por ende, el caño Banderas quien recibe el 33 % de las aguas negras del municipio, pertenece a la cuenca del río Metica. Identificando adicionalmente, el caño de Los Muertos que desemboca al caño Banderas, indicando que se encuentra contaminado por las aguas residuales y basuras que son allí arrojadas. Además, en cuanto al tratamiento de las aguas residuales, el documento emanado por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena, 2014) establece que el municipio debe incluir en el PBOT los sitios de ubicación de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), incluyendo sus respectivas zonas de amortiguación.

En el presente trabajo se identifican los puntos de impacto ambiental del caño Banderas en el transecto seleccionado y se comparan las acciones propuestas en cuanto a saneamiento básico y residuos sólidos en el PBOT y el Plan de Desarrollo de Puerto López 2016-2019 frente a los hallazgos en campo. Por ende, el alcance del trabajo del mismo está dado en términos de establecer la situación actual del caño Banderas frente a la gestión técnica y de planeación del municipio.

METODOLOGÍA

El presente trabajo comprendió tres fases, que incluyeron tareas de revisión documental como también trabajo de campo complementarios: en la

primera, se desarrolló la recopilación documental y generación de información base; en la segunda, se llevó a cabo contacto con la comunidad; por último, en la tercera, se realizó el procesamiento e interpretación de la información obtenida en las etapas previas.

Inicialmente, se revisó y analizó la información plasmada en los documentos municipales, como el Plan de Acción de Puerto López y su Plan Básico de Ordenamiento Territorial. Se identificaron las afectaciones, causas, medidas o estrategias implementadas, así como su resultado en términos de solución. Lo anterior con el fin de realizar una comparación con el trabajo de campo para cumplir con el objetivo de este trabajo.

Posteriormente se dio inicio a la interacción de contexto en el caño Banderas; para lo que se utilizó un enfoque mixto que permitió tener una percepción adecuada del entorno y sus relaciones (Hamui-Sutton, 2013). Se inició con entrevistas semiestructuradas (Izcara y Andrade, 2013) con el periodista Apolinar Beltrán que trabaja para el periódico regional *Tierra Mágica*, y con Juan Martínez, presidente de la junta de acción comunal de los barrios localizados en el área de estudio del caño Banderas. Estas dos personas se constituyeron como informantes principales ya que son conocedoras de la zona y han implementado denuncias públicas sobre la contaminación y el riesgo para la comunidad.

En contraste, se realizó una encuesta a las 82 familias que habitan los barrios de la zona, donde se determinó el grado de conocimiento que tiene la población acerca de la afectación de su entorno, cuáles son las causas y de qué manera están implicados.

Para el procesamiento de la parte cuantitativa de la información se utilizó el *software SPSS* (Castañeda, 2010); a través del cual se identificaron las relaciones entre participación ciudadana, gestión del gobierno, conservación y contaminación.

Se usó también, *Atlas.ti* para el análisis cualitativo (Taylor & Bogdan, 1987) de datos, y se analizaron las entrevistas en profundidad; la

categoría determinada fue *conocimiento de la contaminación ambiental*, y las subcategorías aplicadas *gobierno, comunidad, factores contaminantes, acciones realizadas*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis cuantitativo se estableció la relación entre contaminación y la participación ciudadana, haciendo referencia al impacto que tiene la comunidad en el agua y riberas del caño; se identificó que si existiera participación e interés por parte de los habitantes de la zona se disminuiría el nivel de contaminación del afluente; pero ellos, en un alto porcentaje, depositan residuos sólidos y vertimientos en el cuerpo de agua y no implementan medidas de mitigación del impacto negativo producido por ellos.

Además, al relacionar las variables gestión del gobierno y conservación se identifica que la institucionalidad es deficiente en su intervención frente a la conservación; este resultado se refleja en la ausencia de acciones por parte del gobierno municipal en el cauce del caño a pesar de que está contenido en el PBOT y existen contratos para su mejoramiento.

La comunidad presente en la zona determinó, que el impacto recurrente es por residuos sólidos, con un 49 % para el subítem de muy alto, motivado por la ausencia de cultura ciudadana, así como educación ambiental. Le sigue un 45 % por aguas servidas, debido a que un 90 % de las viviendas que colindan con el caño no cuentan con servicio de alcantarillado, por lo que se ven obligados a utilizar el caño para suplir este servicio, aunado a que el municipio no cuenta con una PTAR en funcionamiento ni una red de alcantarillado óptima, lo que origina que gran parte de los desechos sigan vertiendo al cuerpo de agua. En un tercer lugar aparece la deforestación con un 41 %, ya que en época de sequía la población tala árboles para construir parte de sus casas, corrales o para utilizarlos como leña. Con un 20 % impacta la ganadería, ya que los animales de granja, como

gallinas, cerdos, vacas y caballos afectan el agua con sus heces, además generan compactación y sedimentación a lo largo de caño.

Adicionalmente, el 49 % de los encuestados manifestó que siempre observan personas arrojando desechos al caño, mientras que el 46 % determinó que casi siempre y solo un 5 % a veces observa personas arrojando basura.

Para la fase cualitativa, el programa [Atlas.ti](#) 7 permitió analizar las entrevistas semiestructuradas; se establecieron cuatro subcategorías y sus descriptores: comunidad, acciones realizadas, gobierno y factores contaminantes. Inicialmente, los informantes destacaron la situación de ocupación informal en la que se encuentran los habitantes de estos barrios, así como las necesidades por las que pasan al no tener los servicios públicos; además, se refleja en sus narraciones la falta de conciencia e interés de la mayoría de la población tanto como la renuencia a mitigar el impacto por ellos generado.

Por otro lado, identificaron entre los contaminantes el muro de contención, construido en la margen izquierda del caño, que impide que tenga un curso normal, apoyando el agua y residuos sólidos contaminando el entorno. Otro factor es la ausencia del sistema de alcantarillado en los tres barrios implicados en la problemática, lo que genera que las aguas servidas sean vertidas al caño Banderas.

En el factor gobierno se denota y reitera el incumplimiento por parte de este, ya que algunos proyectos como la reforestación del caño Banderas no fueron realizados; así mismo, se destinaron recursos para la construcción de la PTAR, pero aún no se ejecuta. Por otro lado, se han interpuesto recursos jurídicos a la Alcaldía Municipal, pero estos no han sido resueltos favorablemente.

Por otro lado, el programa arrojó una nube de palabras indicativas de relevancia, en donde *caño* fue mencionada en más ocasiones, puesto que los entrevistados la utilizaban para referirse a la zona problema. Igualmente, la palabra *alcantarillado* hacía referencia a su ausencia en los tres barrios

objeto de estudio, con el agravante de que los desechos sólidos que corren por el drenaje de aguas lluvias del municipio se vierten en el caño.

El término *contaminación* se utilizó para destacar las causas que afectan este afluente, como lo es el muro de contención, las basuras arrojadas por la comunidad, las cocheras, la falta de conciencia, entre otras. Así mismo, mediante la palabra *alcal-día* se identificó el desinterés y la negligencia por parte de la institucionalidad, puesto que no se han tomado medidas que mitiguen los impactos negativos presentes. Finalmente, el término *problema* describió las afectaciones que influyen en la contaminación del caño Banderas.

Por todo lo descrito, el caño Banderas se ve afectado por diversas intervenciones, una de ellas es el muro de contención, el cual separa al caño de su entorno natural, además los residuos sólidos que son arrojadas allí están quedando atrapados constituyendo un cúmulo de desechos contaminantes. Adicionalmente, la falta de conciencia en la comunidad es plausible en cada una de las acciones representadas en los residuos depositados a un costado del muro; el inadecuado manejo administrativo que se le está dando a los planes de gobierno son un detonante, pues su incumplimiento deteriora de la zona; los contratos adjudicados y no ejecutados o realizados en forma parcial redundan en detrimento ambiental.

El Plan Básico de Ordenamiento Territorial contempla la evaluación de la contaminación en el caño Banderas, pero en ningún momento se plantean medidas de solución o estrategias en apoyo con la comunidad.

CONCLUSIONES

La carencia en la prestación de servicios públicos, por constituirse como un asentamiento informal, es determinante para la generación constante de vertimientos y desechos sólidos; también, la falta de conciencia por parte de la comunidad asentada en la ribera del caño Banderas incrementa los impactos negativos de la zona.

Por otro lado, se determinó la existencia contractual de mejoramientos del transecto estudiado, pero desafortunadamente no fueron ejecutados ni se presentan recursos judiciales al respecto.

Son necesarias sinergias entre la institucionalidad y la comunidad afectada a través de iniciativas sociales enfocadas a la reforestación y recuperación del cuerpo de agua, ya que no se observó intervención alguna por parte de la municipalidad y, a su vez, son muy pocas las personas que han creado iniciativas o propuestas ambientales para ser aplicadas en el sector.

Finalmente, se establece que en el caño Banderas no se ha generado un mejoramiento de la sostenibilidad ambiental en los últimos años; por el contrario, se observa un incremento constante en los impactos negativos presentes.

RECOMENDACIONES

Es necesario plantear alternativas de reforestación con especies nativas a lo largo del cauce para mitigar su estado actual, para lo cual es indispensable conseguir el apoyo económico y adquirir el compromiso con las diferentes entidades públicas y privadas de la región.

Se deben encaminar acciones entorno a la intervención de Cormacarena como la institución enfocada a la preservación del ambiente. A su vez, las empresas de la región, como Riopaila y Bionergy, tienen programas de compensación forestal; al solicitar su apoyo, se podría lograr el mejoramiento de la zona.

Se propone la realización de charlas, talleres y actividades lúdicas con la intervención de la Institución Educativa Técnico Agropecuario, así como con la Universidad de los Llanos, con el fin de crear jornadas de sensibilización y limpieza del caño. Estas actividades son una gran oportunidad para generar compromiso con la comunidad. También, a través del presidente de la Junta de Acción Comunal se puede convocar a las familias que están directamente afectadas para organizar reuniones en las que se establezcan planes de limpieza y el cuidado de la zona.

En cuanto a las basuras, se deberá solucionar con Espuerto S. A., la cual es la entidad encargada de la recolección de desechos, proponiendo la ubicación de contenedores en puntos clave de los barrios afectados, con el fin de que las personas puedan disponer adecuadamente sus residuos, ya que en la actualidad no lo hace.

En época seca, la Alcaldía deberá imponer sanciones económicas y culturales a quienes talen arboles como una medida correctiva; esto deberá ser tratado en las diferentes actividades que se realicen con la comunidad.

Así mismo, es necesario establecer un programa de saneamiento predial por parte de la Alcaldía o, por el contrario, uno de reubicación para la recuperación de la zona de protección de ronda de caño.

Se deben implementar los respectivos cierres de las porquerizas presentes; así como el aislamiento de la zona de protección de la ocupación de semovientes.

La propuesta de demolición del muro perimetral es pertinente, así como la adecuación del sistema de aguas lluvias y alcantarillado.

AGRADECIMIENTOS

A Julián García Sánchez y Brayan Herrera, quienes facilitaron el contacto con las comunidades, así como la recolección de información.

REFERENCIAS

- Agualimpia Dualiby, Y. D. C., & Castro Méndez, C. E. (2012). Aprovechamiento responsable del recurso hídrico fluvial. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 33(3), 18-32.
- Alcaldía de Puerto López, Meta. (2016). *Plan básico de ordenamiento territorial municipio de Puerto López diagnostico urbano*. Puerto López
- Barba Ho, L. E. (2002). *Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición* [Universidad del Valle]. <https://www.coursehero.com/file/20925691/conceptos/>
- Benítez-Díaz, p., & Miranda-Contreras, L. (2013). Contaminación de aguas superficiales por residuos de plaguicidas en Venezuela y otros países de Latinoamérica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29, 7-23.
- Brenes, G. C., & Molina, J. M. (2012). Contaminación fecal en varios ríos de la Gran Área Metropolitana y la Península de Osa. *Tecnología en Marcha*, 25(4), 33-39. [10.18845/tm.v25i4.617](https://doi.org/10.18845/tm.v25i4.617)
- Castañeda, M. B. (2010). *Procesamiento de datos y análisis estadísticos utilizando SPSS: Un libro práctico para investigadores y administradores educativos*. Edipucrs.
- Cepal. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar* (50). Recuperado de <https://archivo.cepal.org/pdfs/Waterguide/LCL1799S.pdf>
- Cormacarena, Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena. (2014). *Términos De Referencia Para La Formulación De Planes De Saneamiento Y Manejo De Vertimientos (Psmv)*, Grupo Agua Subdirección De Gestión Y Control Ambiental.
- del Puerto Rodríguez, A. M., Suárez Tamayo, S., & Palacio Estrada, D. E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372-387.
- Estrada Rivera, A. (2018). *Evaluación toxicológica del agua residual textil (proceso DEMIN) vertida al río Atoyac* (Master's thesis), Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I., & Gutiérrez, O. D. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción+limpia*, 7(2).
- Hamui-Sutton, A. (2013). Un acercamiento a los métodos mixtos de investigación en educación. *Investigación en Educación Médica*, 2(8), 211-216. [10.1016/S2007-5057\(13\)72714-5](https://doi.org/10.1016/S2007-5057(13)72714-5)
- Izcara, S. y Andrade, K. L. (2013). *La entrevista en profundidad teoría y práctica*. Tamaulipas: Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT).
- Junguito Bonnet, R. (2011). *Transportes fluviales y desarrollo empresarial en Colombia: la empresa El*

- Libertador de Navegación a Vapor por el Río Meta, 1892-99* (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Económicas. Universidad de Buenos Aires).
- Larios Ortiz, L. (2009). Metahemoglobinemia en niños: situación Actual. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 13(3).
- León Agatón, A., Córdoba Ruiz, J. C., & Carreño Sayago, U. F. (2016). Revisión del estado de arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos. *Tecnura*, 20(50), 141-153.
- Lizarazo Becerra, J. M., & Orjuela Gutiérrez, M. I. (2013). *Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- López, J. R., Elías, A., Delgado, D., Sarduy, L., & Domínguez, M. (2012). Efecto de la suplementación con concentrado proteico energético en la dinámica de las partículas del rumen en bucerros (*Bubalus bubalis*) alimentados con pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*). *Livestock Res. Rural Devel*, 24, 158.
- Mendoza Astopilco, V. E. (2010). *Estudio de la contaminación del río San Lucas* (Doctoral dissertation, Tesis, Municipalidad Provincial de Cajamarca, Perú).
- Ortega-Miller, J. G., Yezioro-Rubinsky, S., Benavides-Pinto, B. C., & Báez-Quintero, L. C. (2017). Efectos teratogénicos de insecticidas organofosforados en la etiología de labio y paladar hendido: revisión de literatura. *Revista Nacional de Odontología*, 13(24). [10.16925/od.v12i24.1658](https://doi.org/10.16925/od.v12i24.1658)
- Pachón, M. J. C., & Muñoz, L. M. U. (2016). Problemáticas socioambientales en la cuenca del río Tunjuelo: una posibilidad en la enseñanza y el aprendizaje de la geografía. *Revista de Geografía do Colégio Pedro II*, 2(4), 95-108
- Peñaloza Paez, J. A. (2012). LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL. *DELOS Desarrollo Local Sostenible*, 5(N13), 1–5. <https://www.eumed.net/rev/delos/13/japp.html>
- Plata, Á. M., & Ibarra Vega, D. (2016). Percepción local del estado ambiental en la cuenca baja del río Manzanares. *Luna Azul*, (42), 235-255. [10.17151/luaz.2016.42.15](https://doi.org/10.17151/luaz.2016.42.15)
- Prados Joya, G. (2010). *Tratamiento de aguas para la eliminación de antibióticos -nitroimidazoles- mediante adsorción sobre carbón activado y tecnologías avanzadas de oxidación*. <http://hdl.handle.net/10481/49621>
- Rangel, B. C. S., Olveira, A. E. M., Arellano, V. H. R., & González, C. A. G. (2019). Nanomateriales celulósicos para la adsorción de contaminantes emergentes. *Tecnura*, 23(62).
- Ramírez Hernández, O. (2015). Identificación de problemáticas ambientales en Colombia a partir de la percepción social de estudiantes universitarios localizados en diferentes zonas del país. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(3), 293-310 [10.20937/rica.53548](https://doi.org/10.20937/rica.53548)
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Lagos, M. D., & Jimenez, E. E. G. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: 12+ D*, 16(2), 66-77. [10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5447](https://doi.org/10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5447)
- Solano, M. (2011). Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua de la parte media-alta de la microcuenca del río Damas y propuesta de manejo. Tesis, *Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia, Costa Rica*.
- Taylor, S. J., & Bogdan, R. (1987). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación* (Vol. 1). Barcelona: Paidós.
- Torres Beristáin, B., González López, G., Rustrián Portilla, E., & Houbron, E. (2013). Enfoque de cuenca para la identificación de fuentes de contaminación y evaluación de la calidad de un río, Veracruz, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29(3), 135-146.
- Vaca, M. C. G., Ubaque, C. A. G., & de Plaza Solórzano, J. S. (2016). Estudio exploratorio del tratamiento de agua de lavado de tintas por método de electrocoagulación/electroflotación. *Tecnura*, 20(47), 107-117. [10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.1.a09](https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.1.a09)





Inconvenientes del uso de promedios de parámetros fisicoquímicos no conservativos, ejemplos de caso lagunas costeras mexicanas

Disadvantages of the use of average of non-conservative physicochemical parameters, case examples mexican coastal lagoons

Guadalupe de la Lanza Espino¹ , Salvador Hernández Pulido² ,
Francisco José Gutiérrez Mendieta³ 

Fecha de recepción: 30 de Noviembre de 2019

Fecha de aceptación: 6 de Mayo de 2020

Cómo citar: De la Lanza–Espino., G. Hernández – Pulido., S. y Gutiérrez–Mendieta., F.J. (2020). Inconvenientes del uso de promedios de parámetros fisicoquímicos no conservativos, ejemplos de caso lagunas costeras mexicanas. *Tecnura*, 24(65) 85-101. DOI: [10.14483/22487638.15973](https://doi.org/10.14483/22487638.15973)

Resumen

Contexto: La amplia variación en los parámetros fisicoquímicos y biológicos costeros es resultado de factores locales naturales: clima, geomorfología, influencia marina, descargas fluviales, como los antropogénicos; esto desencadena alteraciones que han dado lugar al uso de promedios que no reflejan la realidad acuática. Por esto, el presente estudio analiza la justificación teórica, los parámetros conservativos, no conservativos y biológicos del agua de lagunas costeras, tanto del golfo de México como del Pacífico mexicano, a través de datos referidos como mínimos, máximos y promedio, y su grado certeza.

Metodología: Se recabó información fisicoquímica y biológica de once lagunas costeras con diferencias ambientales extremas: cinco de la vertiente del Golfo de México y seis del Pacífico mexicano, según la disponibilidad y continuidad de la información.

Resultados: Los intervalos de los parámetros (máximo y mínimo) fueron significativamente amplios, asociados a factores climáticos estacionales (precipitación y estiaje), descargas fluviales temporales o permanentes, manejo del agua en el área terrestre adyacente, así como por la influencia mareal. Por consiguiente, emplear un promedio basado en máximos y mínimos no es recomendable. En los parámetros no conservativos hubo diferencias de variación cortas o de mayor amplitud, debido a la dinámica de circulación y época –a la anualidad e interanualidad–, por lo que no es recomendable utilizar promedios. Con base en lo anterior, se estimaron mayores variaciones en los parámetros acuáticos en las lagunas del Pacífico y mayor homogeneidad en las del golfo de México, resultado de la regularidad fluvioclimática, menor influencia antropogénica y de menor manejo costero.

1 Doctora, Investigadora Titular, Laboratorio de Hidrobiología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Contacto: gdlle@unam.mx

2 Técnico Académico, Laboratorio de Hidrobiología, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Contacto: fshp@ib.unam.mx

3 Doctor en Ciencias Biológicas, Investigador Titular, Laboratorio de Ecosistemas Costeros, Departamento de Hidrobiología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. Contacto: fgm@xanum.uam.mx

Conclusiones: Para un diagnóstico con una visión integrativa de los factores fisicoquímicos y biológicos costeros, es necesario basarse en el conocimiento de las condiciones normales locales que incluyen: la dinámica física, fluvial, geomorfológica e influencias terrestres adyacentes, para diferenciarse de los impactos antropogénicos que modifican las características acuáticas; por esta razón, no es adecuado referir los resultados como mínimos, máximos y promedios, que en muchos casos el intervalo entre el primero y el último puede ser amplio, inseguro y erróneo; además de no ser repetitivos o permanentes y variar heterogéneamente, como se pudo apreciar en las lagunas elegidas del golfo de México y el Pacífico mexicano.

Palabras clave: parámetros fisicoquímicos, lagunas costeras de México.

Abstrac

Context: The wide variation in coastal physicochemical and biological parameters are the result of natural local factors: climate, geomorphology, marine influence, river discharges, resulting in wide variations and this has resulted in the use of averages that do not reflect aquatic reality. Therefore, the present study analyzes the theoretical behavior of the conservative and non-conservative and biological parameters of coastal lagoons of both the Gulf of Mexico and the Mexican Pacific, through data referred to as minimum, maximum and average, and their degree of certainty.

Methodology: Physicochemical and biological information was collected from 11 coastal lagoons with extreme environmental differences: five from the Gulf of Mexico and six from the Mexican Pacific, according to the availability and continuity of the information.

Results: The intervals of the conservative and non-conservative parameters (maximum and minimum) were significantly wide, associated with seasonal climatic factors (rainfall and dry season), temporary or permanent river discharges, water management in the adjacent land area, as well as by tidal influence. Therefore, using an average based on maximum and minimum of those parameters is not recommended. In the non-conservative parameters, there were short or larger differences in variation; due to the dynamics of circulation, season, even, to the annual until the interannual, so it is not advisable to use averages. Based on the above, greater variations in aquatic parameters were estimated in the lagoons of the Pacific and greater homogeneity in those of the Gulf of Mexico, as a result of fluvioclimatic regularity, less anthropogenic influence and less coastal management.

Conclusions: For a diagnostic analysis with an integrative view of coastal physicochemical and biological factors, it is necessary to rely on knowledge of local normal conditions that include: physical dynamics, river, geomorphological dynamics and adjacent terrestrial influences, to differentiate from anthropogenic impacts, which they modify the aquatic characteristics; therefore, it is not appropriate to refer the results as minimum, maximum and average that in many cases the interval between the first and the last can be wide, with insecure and erroneous results; in addition to not being repetitive or permanent and vary heterogeneously, as could be seen in the chosen lagoons of the Gulf of Mexico and the Mexican Pacific.

Keywords: physicochemical parameters, coastal lagoons of Mexico

INTRODUCCIÓN

El intervalo de concentración de los parámetros fisicoquímicos acuáticos conservativos (temperatura, salinidad) y no conservativos (oxígeno disuelto, nutrientes nitrogenados y fosforados), así como

los biológicos (clorofila y producción primaria) en costas del Pacífico y del Golfo de México, es altamente variable, y depende de factores ambientales como el clima de comportamiento anual (por época o por estación), hidrometeorológicos eventuales incluso extraordinarios, diferencias

geomorfológicas (lagunas, estuarios, esteros, bahías y marismas) y actualmente de manera relevante antropogénicos; además sus interacciones con los cambios espaciales o temporales, de escalas de diferente magnitud, en general en la zona costera son cortas (Fichez *et al.*, 2019). Lo anterior debe de tomarse en cuenta en la interpretación de los intervalos de concentración de componentes acuáticos, la amplia variación de los no conservativos que ha dado lugar al empleo de los promedios como artificio para intentar explicar su condición fisicoquímica o estado trófico y, en casos particulares, su variación espacio-temporal y su influencia en la distribución de especies. Adicionalmente, los promedios se han empleado en lo que se ha generalizado como *calidad del agua*, sin embargo, estos solamente pueden emplearse en balances de masa, sal y nutrientes (LOICZ, 1997; Smith *et al.*, 1997) o en monitoreos irregulares de un limitado número de parámetros y sitios de muestreo; por ejemplo, los usados en las Normas Oficiales Mexicanas, en las que para interpretar los resultados de un análisis ambiental se comparan con normas extranjeras, generalmente de otras latitudes, en cuyo caso es preferible investigar para comparar las variaciones de los parámetros con lagunas cercanas o con registros anteriores del mismo ambiente, aunque esta situación tiene también sus inconvenientes porque no han sido las mismas metodologías que fueron empleadas para su determinación, las cuales tienen que ver más con el consumo o empleo del agua por el ser humano que con aspectos ecológicos. En muchas ocasiones, los estudios que involucran características taxonómicas, los especialistas determinan solo ciertos parámetros fisicoquímicos puntuales o promedio, para asociarlos en su identificación o en ciclos de vida de organismos acuáticos e incluso con condiciones de contaminación (bioindicadores). Los estudios ecológicos deben estar basados en una red de monitoreo regular, amplia y justificada; asimismo, y en particular, en aspectos biológicos que deben tomar en cuenta los ciclos diarios, semanales, por época o por año, según sean los objetivos lo que

permite estimar condiciones naturales y sus tendencias de contaminación.

El problema de emplear los promedios de los parámetros fisicoquímicos o biológicos es que los resultados obviamente no consideran los cambios ambientales a pequeña escala, como la mezcla vertical u horizontal por efectos eólicos o marales, las descargas continentales fluviales temporales u ocasionales, ya sea naturales o modificadas por el hombre (represamientos) que dan como resultado una distribución heterogénea o en parches de manera transitoria como en el contenido de clorofila a que en muchos casos es altamente fluctuante. Esta situación es similar en ciertos parámetros que muestran intervalos de diferente magnitud, hasta en periodos de horas, y ciertos autores estiman como intervalos permanentes, lo que requiere de un adecuado conocimiento. Por su parte, Hernández y Gómez (2014) postulan que procesos físicos a pequeña escala, como la turbulencia, la circulación local o la formación de pequeños giros (celdas de Langmuir) o filamentos, condicionan una elevada variabilidad. De la misma manera, Pirela, Troccoli y Hernández (2008) señalan que existen diferencias significativas temporales en la temperatura, velocidad del viento, salinidad, amonio, nitrito, nitrato, fosfato y clorofila A; el mismo microfitoplancton muestra diferencias indicadoras temporales en abundancia total, por grupos y riqueza. Según Mann y Lazier (1991), los principales procesos reguladores del fitoplancton son: las surgencias costeras y las celdas de Langmuir, las cuales provocan migración vertical del plancton y por tanto se subestiman en la interpretación los resultados.

Dentro de las técnicas empleadas para determinar producción primaria neta están: la que se considera más precisa que es el C^{14} ; sin embargo, con ciertos inconvenientes en la aplicación en sistemas lagunares por la adsorción de este isótopo por las arcillas y requiere reactivos, equipo y material altamente específico que la hacen costosa. La más frecuentemente empleada es la medición de la producción primaria a través de los cambios

en la concentración de oxígeno, debido a la fotosíntesis y respiración en botellas claras y oscuras, respectivamente. Esta técnica es de baja sensibilidad y reproducibilidad, debido a que comúnmente se obtienen resultados negativos, en virtud de que se registra una mayor producción de oxígeno en la botella oscura que en la clara, lo cual puede deberse a la fotorrespiración o la presencia de cianobacterias con actividad fotosintética oxigénica, que es la modalidad de fotosíntesis en la que el agua es el donante primario de electrones y que, por tanto, libera oxígeno (O_2) en la oscuridad (Florencio *et al.*, 2019), todo lo anterior induce a malas interpretaciones.

Así mismo, los heterótrofos presentes en las botellas claras (que frecuentemente tienen una alta carga orgánica) requieren oxígeno para degradarla reduciendo las concentraciones de este gas, dando como resultados producciones primarias bajas o frecuentemente negativas. Por su parte Sosa, Millán y Santamaría (1997) concluyen que, debido a su abundancia, es importante considerar a las bacterias en estudios encaminados a estimar la productividad primaria en cuerpos costeros, ya que afectan el resultado del método de oxígeno, por la utilización de este gas por parte de las bacterias cuando hay suficiente sustrato orgánico dentro de las botellas. Con base en lo anterior, fue difícil considerar estos parámetros para incluirlos en la evaluación de la producción primaria.

Hay que destacar la importancia de la diversidad de metodologías empleadas, según el parámetro; por ejemplo, en el caso de parámetros conservativos (temperatura y salinidad) puede ser recomendable el empleo de un multisensor, sin embargo, este puede tener una limitada sensibilidad para algunos no conservativos (oxígeno y nutrientes); adicionalmente se deben considerar errores de laboratorio, muchas veces no reportados.

Cuando se trate de evaluar tendencias de variación de parámetros en el agua que alimentan a las lagunas costeras a través de cuencas fluviales, estas pueden presentar modificaciones en su volumen y su composición fisicoquímica de forma

natural e incluso por su represamiento; por otra parte, actividades antropogénicas ubicadas en las márgenes de los ríos descargan directamente aguas residuales a las cuencas, ya sea fluvial o lagunar, y que por efectos de la circulación se pueden presentar gradientes altamente heterogéneos. Por lo anterior, se debe insistir que en muchas ocasiones será necesario que los registros de los parámetros sean bajo una red de estaciones de muestreo claramente justificados, con una frecuencia que permita representar los intervalos de variación, asociándolos con aspectos geomorfológicos, hidrológicos fluviales y de relevancia climática, incluyendo los sociales, económicos y antropogénicos lo cual permitirá discriminar los cambios naturales de los impactos generados por la contaminación.

A partir de lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue analizar la representatividad de los resultados expresados a través del mínimo, el máximo y promedio, tomando en cuenta que no son resultados permanentes ni repetibles y continuarán con su variación temporal a escalas diferentes, según el parámetro y las diversas influencias internas y externas. Para justificar lo anterior, se realizó un análisis basado en la teoría y en la información publicada de once sistemas lagunares costeros mexicanos (seis del Pacífico y cinco del golfo de México).

METODOLOGÍA

Con el fin de enfatizar el problema del empleo de los promedios de variables que presentan grandes diferencias entre el máximo y el mínimo, se recabó información fisicoquímica de once sistemas costeros con diferencias geológicas, climáticas, y fenómenos eventuales, incluso como consecuencia de las actividades humanas (presas, agricultura, descargas residuales antropogénicas). Las lagunas costeras que se analizaron fueron cinco de la vertiente del golfo de México y seis del Pacífico mexicano (figura 1), según la disponibilidad y continuidad de la información.

Los parámetros conservativos analizados fueron temperatura y salinidad; los no conservativos fueron: oxígeno disuelto incluyendo su saturación, amonio, nitratos, nitritos, nitrógeno total, ortofosfatos, fósforo total y los biológicos: clorofila a y el índice de fertilidad relativa basado en el contenido de dicho pigmento (Ryther y Yentsch 1957), índice considerado en el presente análisis como equivalente a la producción orgánica bruta por día, aunque diversos autores no consideran que exista una correlación; sin embargo, Sosa, Gaxiola, Olivos e Iñiguez (2013), y Arreola (2003) muestran una correlación importante entre ambos términos; por ejemplo, en la laguna de Cuyutlán, México y laguna El Salitre, Colombia.

Para el análisis de todos los parámetros individuales se generaron las tablas 1a y 1b, con el fin de analizar la problemática de referir los resultados en el formato de sus intervalos (máximo, mínimo y

promedio) y examinar las diferencias por cada vertiente (Pacífico y golfo de México).

RESULTADOS

Dentro de los parámetros conservativos en las lagunas de ambas vertientes, la temperatura ha sido el factor que ha mostrado intervalos relativamente constantes, que están determinados por el patrón climático anual, así como la ubicación de cada laguna costera de latitudes tropicales, presentando cambios menos amplios que la de los otros parámetros (tablas 1a y 1b). Los intervalos de salinidad (máximo y el mínimo) fueron significativamente amplios para las lagunas de ambas vertientes (tablas 1a y 1b) y están asociadas a factores climáticos estacionales (precipitación y estiaje), además de las generadas por las descargas fluviales ya sean temporales o permanentes, por escurrimientos en

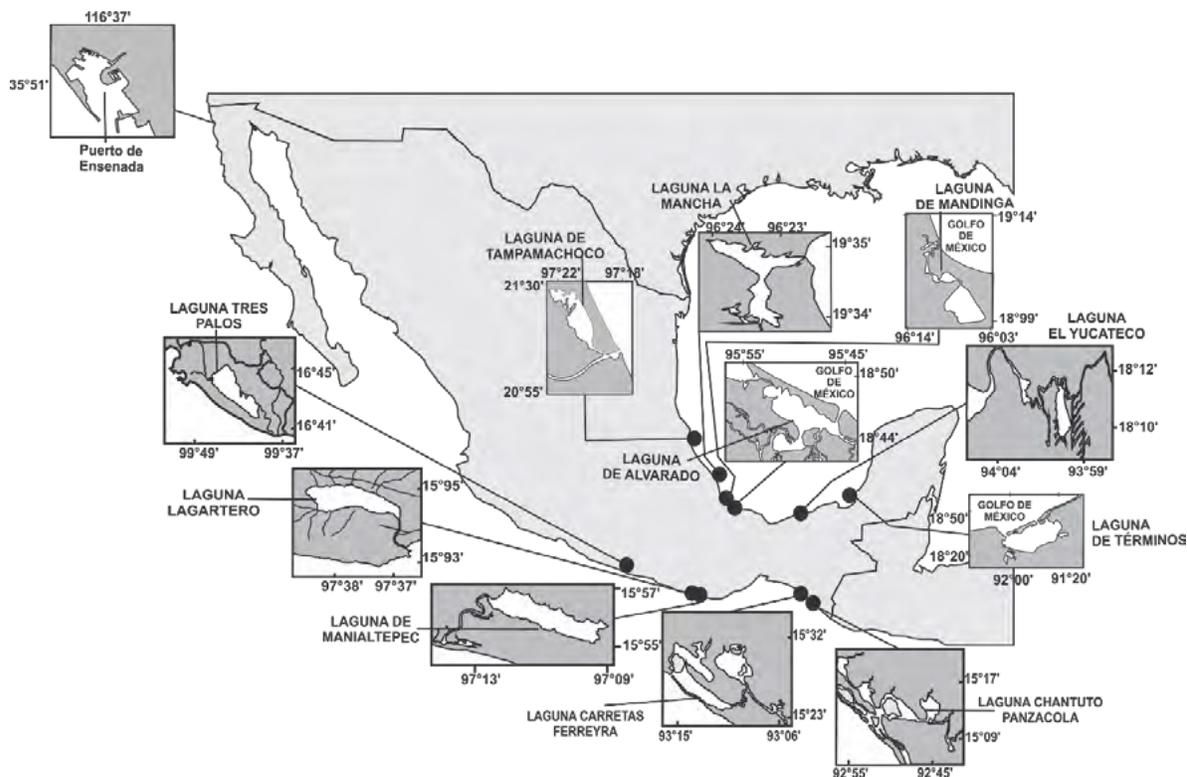


Figura 1. Localización de las lagunas costeras que se analizaron en el golfo de México y Pacífico mexicano

Fuente: elaboración propia.

sus márgenes, manejo del agua en el área terrestre adyacente (Bueno, Marceleño, Nájera y De Haro, 2019), así como por la influencia mareal, entre otros. Por tanto, emplear un promedio basado en máximos y mínimos de este factor que está involucrado en varias funciones biológicas, como en procesos osmóticos, metabólicos, así como en la distribución espacial y sucesional de los organismos, además de la desaparición de especies en ciertas zonas, y en diferentes etapas de ciclos de vida particularmente en fauna diádroma (Willmer, Stone y Johnston, 2005), no es recomendable aun siendo un factor conservativo.

En el caso de los no conservativos (considerados reactivos química y biológicamente), las diferencias en escalas de variación van desde las dimensiones puntuales (en parches), por ejemplo la fotosíntesis-respiración, y de mayor escala como diurnas, por época, anual o interanuales, resultado de influencias hidrogeológicas, cambio climático, entre otros factores ambientales; por lo que no es posible utilizar los promedios. Desde el punto de vista biológico general o puntual, la variación de estos factores no conservativos afecta no solo respuestas metabólicas, la tasa respiratoria y sobrevivencia tanto de organismos acuáticos pelágicos como bentónicos (Willmer, Stone y Johnston, 2005).

El contenido de oxígeno disuelto en los ambientes acuáticos costeros es ampliamente variable y heterogéneo, observables por las diferencias entre el mínimo y máximo en cualquier laguna costera, por lo que considerar únicamente el promedio no es recomendable (tablas 1a y 1b), dado que este no da idea tanto de condiciones de hipoxia (por oxidaciones orgánicas e inorgánicas y respiración), como de aeración (incluida la saturación) resultante de la fotosíntesis, procesos que se llevan a cabo durante las horas diurnas. Adicionalmente, otros factores pueden ser relevantes a nivel puntual, razón por la cual la interpretación de sus resultados deben ser hechos considerando únicamente los periodos muestreados y no hacer extrapolaciones para definir un ciclo diurno completo o temporal.

En cuanto a lo observado en las lagunas consignadas, no se encontraron particularidades regionales de variación entre las del golfo de México y del Pacífico. En el caso del cálculo del porcentaje de saturación, dado que se basa en la solubilidad de este gas según temperatura y salinidad fundamentalmente, este parámetro es aplicable para estimar los límites de tolerancia de peces y algunos organismos bentónicos. Pérez y Rodríguez (2008) emplearon este porcentaje y calcularon el índice de calidad del agua-Fundación Nacional de Salud (ICA-NSF) y consideraron que se ajustaba, en general, a la realidad de las especies tropicales, donde el porcentaje ideal para muchos peces es mayor a 67 %, mientras que las concentraciones de oxígeno disuelto menores a 55 % afectan adversamente la biodiversidad y la supervivencia de la comunidad biótica. Adicionalmente, concentraciones superiores a 100 % de saturación de oxígeno disuelto pueden resultar peligrosas para la vida acuática, pues facilitan que burbujas de oxígeno bloqueen el flujo sanguíneo (Chapman, 1996). En el caso de las lagunas costeras aquí analizadas, las sobresaturaciones más conspicuas se presentaron en las lagunas tanto del golfo de México, donde osciló entre 42 % hasta 92 % de saturación; como en el Pacífico, desde 31 % al 58 %, incluso del 57 % a 280 % como en la laguna Tres Palos, considerada de una alta contaminación. En lagunas de ambas vertientes se registraron saturaciones que pueden ser resultado de circunstancias locales, en los que la fotosíntesis haya sido extremadamente alta o muy baja, o también la presencia de descargas de aguas de desecho que agotan el oxígeno (tablas 1a y 1b). Por lo anterior, se ratifica que es difícil calificar a los ambientes costeros únicamente con registros promediados.

El amonio es un ion (NH_4^+) y no un gas (NH_3) pero que frecuentemente se refiere en forma errónea en las publicaciones como amonio. Las concentraciones de este ion son muy variables en ambientes acuáticos tanto lénticos como lóticos, de aguas dulces o salobres costeras, de condiciones aireadas o hipóxicas. Es importante mencionar

Tabla 1a. Características fisicoquímicas y biológicas (clorofila A y producción primaria) en los sistemas lagunares del Pacífico mexicano.

	Temp. °C	Sal. UPS	O. Dis. mg/L	Sat. Oxi %	NH ₄ (µM)	NO ₃ +NO ₂ (µM)	N Tot. (µM)	PO4 (µM)	P Tot. (µM)	Clor. a (mg/m ³)	Prod prim (gC/m ³ /d)	Referencia
PUERTO DE ENSENADA (2004)												
MÍN.	16,5	33,0	1,8	23,4	0,3	0,1	1,2	0,1	0,3	0,1	0,02	De la Lanza et al., 2006
MÁX.	22,7	33,7	6,4	92,8	11,9	3,1	26,1	2,9	8,7	16,5	2,65	
PROM	18,8	33,3	4,2	56,8	3,1	1,3	12,7	0,9	2,7	8,1	1,30	
LAGARTERO (1998, 1999)												
MÍN.	21,0	1,0	0,7	8,0	0,1	0,2	0,9	0,4	1,0	0,6	0,10	De la Lanza y Hernández, 1999 informe
MÁX.	33,0	32,0	6,7	113,6	5,8	23,9	33,4	7,5	15,2	248,0	39,90	
PROM.	29,6	16,8	3,6	52,2	2,5	3,4	6,8	1,8	4,1	37,1	5,97	
LAGUNA DE TRES PALOS (2003)												
MÍN.	29,3	2,2	4,3	56,6	0,1	14,3	21,4	1,3	3,6	96,1	15,45	De la Lanza et al., 2008
MÁX.	33,0	3,6	19,9	280,3	41,4	50,0	250,0	27,4	80,6	155,5	25,01	
PROM.	30,5	3,2	10,6	141,3	9,3	29,2	101,3	6,3	23,9	125,0	20,11	
CHANTUTO-PANZACOLA (2014)												
MÍN.	0,2	17,0	0,9	9,6	3,0	6,3	12,3	16,3	19,0	0,6	0,09	Gómez et al., 2017
MÁX.	35,5	35,5	6,8	119,3	134,7	177,8	289,4	286,7	571,0	90,1	14,49	
PROM.	13,4	29,6	2,7	31,8	24,1	90,9	88,5	58,6	88,8	17,7	2,85	
CHANTUTO-PANZACOLA (2015)												
MIN	14,0	0,6	0,2	2,0	3,2	6,3	9,5	4,4	54,0	0,1	0,02	Gutiérrez, com. personal
MAX	37,0	40,0	17,0	346,9	134,5	186,5	321,0	92,4	199,0	131,4	21,14	
PROM	28,6	13,6	5,7	79,7	92,0	89,9	181,9	55,6	117,0	27,0	4,34	
CHANTUTO-PANZACOLA ()												
MÍN.	25,6	0,0	0,1	11,0	0,1	0,0	0,5	0,1		0,1	0,01	Gutiérrez, com. personal
MÁX.	35,8	40,0	12,0	153,0	28,0	51,0	54,8	25,9		142,8	22,97	
PROM.	30,8	14,8	3,2	64,0	4,6	8,1	12,0	4,7		21,7	3,49	
LAGUNA MANIALTEPEC (1989)												
MÍN.	21,0	3,0	2,6	30,6	3,7	3,5	2,5	0,1	2,9	0,1	0,02	Contreras y Warner, 2004
MÁX.	31,0	6,5	4,1	57,7	28,8	8,2	150,7	4,3	15,7	256,0	41,18	
PROM.	26,0	4,8	3,4	43,9	16,3	5,9	33,7	2,2	8,7	39,1	6,29	
LAGUNA MANIALTEPEC												
MÍN.	21,0	6,2	0,3	5,0	0,6	0,2	1,1	0,6	1,3	0,4	0,06	Gutiérrez, com. personal
MÁX.	39,5	77,2	9,7	222,0	12,5	10,5	16,7	13,2	33,8	256,0	41,18	
PROM.	29,8	36,0	4,4	98,0	5,0	1,5	6,6	3,1	8,0	39,1	6,29	
CARRETAS PEREYRA (2010)												
MÍN.	1,3	29,0	3,8	50,0	1,7	1,7	3,4	2,0	10,4	8,2	1,32	Contreras, 2010
MÁX.	34,6	33,2	6,6	111,9	24,9	4,1	27,2	30,7	33,1	55,4	8,91	
PROM.	18,0	31,1	5,2	77,6	13,3	2,9	15,3	16,4	21,8	31,8	5,12	
CARRETAS PEREYRA												
MÍN.	27,3	0,0	0,8	18,0	0,2	0,2	1,0	0,1		0,2	0,03	Gutiérrez, com. personal
MÁX.	36,1	38,7	11,2	201	29,9	66,8	68,2	39,1		26,5	4,26	
PROM.	31,9	16,2	4,1	83	4,2	9,3	13,1	7,3		6,7	1,07	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 1b. Características fisicoquímicas y biológicas (clorofila a y producción primaria) en los sistemas lagunares en el golfo de México.

	Temp. °C	Sal. UPS	O. Dis. mg/L	Sat. Oxi %	NH ₄ (µM)	NO ₃ +NO ₂ (µM)	N Tot. (µM)	PO4 (µM)	P Tot. (µM)	Clor. a (mg/m ³)	Prod prim (gC/m ³ /d)	
LAGUNA DE TAMPAMACHOCO (2009)												
MÍN.	25,9	16,8	3,4	51,1	0,7	0,1	5,0	0,3	2,6	1,6	0,3	De la Lanza, Hernández y Carbajal, 2014
MÁX.	29,8	37,4	10,5	181,0	15,7	1,6	37,9	3,6	7,7	13,6	2,2	
PROM.	27,3	29,9	7,0	106,1	8,6	0,3	18,4	1,5	4,2	5,3	0,9	
LAGUNA DE TAMPAMACHOCO (2010)												
MÍN.	25,5	3,4	3,6	53,6	19,3	0,8	30,0	0,7	3,6	18,2	2,9	
MÁX.	26,6	27,4	7,6	100,0	35,0	2,2	40,7	6,8	28,1	31,4	5,1	
PROM.	26,2	16,1	5,6	75,2	23,7	1,5	34,4	2,5	13,7	21,1	3,4	
LAGUNA DE TAMPAMACHOCO (2012)												
MÍN.	27,7	1,5	6,8	97,0	20,7	1,0	24,3	1,9	7,1	2,4	0,4	
MÁX.	29,3	26,5	13,0	174,0	30,0	6,5	70,7	88,7	123,9	15,9	2,6	
PROM.	28,6	15,9	8,4	115,8	24,7	2,9	47,9	30,5	56,1	8,2	1,3	
LAGUNA LA MANCHA (2012)												
MÍN.	24,7	21,5	5,5	84,3	ND	0,1	5,1	5,5	12,9	3,0	0,5	Contreras, Ri- vera y Segura, 2005
MÁX.	26,9	34,1	9,5	125,1	1,4	0,2	15,3	14,5	29,0	11,4	1,8	
PROM.	25,6	28,5	7,6	108,7	0,4	0,1	10,2	11,3	23,2	7,2	1,2	
LAGUNA DE MANDINGA (2016)												
MÍN.	29,1	8,6	3,2	43,7	6,4	0,1	21,4	1,3	8,1	2,9	0,5	De la Lanza y Hernández 2018
MÁX.	31,1	16,0	7,9	111,3	12,9	1,3	53,6	34,8	37,4	56,5	9,1	
PROM.	30,3	11,7	5,7	80,9	8,9	0,5	32,6	11,2	16,2	22,8	3,7	
LAGUNA DE MANDINGA (2018)												
MÍN.	24,9	27,4	6,8	101,5	9,3	0,5	13,6	3,2	10,0	8,2	1,3	
MÁX.	27,1	31,8	8,0	119,4	13,6	4,3	58,6	6,1	23,9	26,5	4,3	
PROM.	25,8	28,9	7,2	108,7	11,7	1,6	34,2	4,4	14,4	13,9	2,2	
LAGUNA DE ALVARADO (2015)												
MÍN.	25,1	0,2	3,2	42,6	15,0	0,1	35,7	0,3	1,3	0,6	0,1	De la Lanza y Hernández, 2017
MÁX.	31,0	9,6	9,5	92,3	24,2	4,6	314,3	14,2	50,3	48,8	7,9	
PROM.	27,8	4,6	6,0	72,0	18,9	1,4	107,7	6,2	24,1	15,2	2,4	
LAGUNA DE ALVARADO (2016)												
MÍN.	27,0	1,8	6,4	84,7	14,3	0,1	35,7	1,9	22,3	6,5	1,0	
MÁX.	27,5	5,9	8,3	106,1	19,3	0,9	114,3	6,8	45,5	11,8	1,9	
PROM.	27,2	4,0	7,2	94,8	17,3	0,5	74,4	5,3	43,1	8,5	1,4	
LAGUNA EL YUCATECO (2008)												
MÍN.	12,7	26,0	1,6	5,9	4,3	0,1	32,1	1,2	6,8	1,8	0,3	De la Lanza et at., 2012
MÁX.	26,3	28,8	5,5	93,6	21,4	1,4	82,1	11,9	35,2	27,1	4,4	
PROM.	15,0	27,1	3,7	53,1	13,8	0,2	49,1	3,5	17,9	14,2	2,3	
LAGUNA EL YUCATECO (2009)												
MÍN.	27,3	23,3	0,2	2,1	ND	0,1	9,3	0,3	3,2	10,0	1,6	
MÁX.	30,2	33,0	8,5	122,1	ND	0,8	38,6	5,2	20,0	28,8	4,6	
PROM.	28,8	27,8	5,4	80,2	ND	0,4	29,1	2,7	7,3	17,1	2,8	
LAGUNA TÉRMINOS (1986)												
MÍN.	24,0	5,0	4,2	52,5	0,1	0,2		0,1		2,9	0,5	De la Lanza y Lozano, 1999
MÁX.	33,0	38,0	13,8	237,9	1,5	2,1		7,5		20,0	3,2	
PROM.	28,0	21,8	7,2	104,3	0,5	0,5		0,9		8,2	1,3	
LAGUNA TÉRMINOS (2017)												
MÍN.	23,4	4,0	3,0	32,6	0,02	0,02	0,04	0,5		2,12	0,3	Gutiérrez, com. personal
MÁX.	33,0	36,0	10,9	265,8	2,7	2,6	21,5	9,6		71,86	11,6	
PROM.	29,3	24,1	6,2	77,50	0,2	0,2	3,8	3,70		21,97	3,5	

Fuente: elaboración propia.

que las variaciones de concentración no solamente pueden ser resultado de procesos que se lleven a cabo al interior de cada ambiente, cuyos factores resultan de reacciones químicas aisladas, lo que hace difícil la interpretación cuando no se tiene experiencia. Los resultados de este nutriente tienen un amplio grado de incertidumbre, no solamente por las diferentes técnicas empleadas sino por las diferencias en el manejo del personal quien las ejecuta y más aún por la falta de conocimiento adecuado para una acertada interpretación. Así mismo, existen diferentes unidades empleadas en su cuantificación y que obviamente no son comparables con las Normas Oficiales de México. En muchos casos, los intervalos entre el mínimo y el máximo se desvirtúan empleando el valor promedio, el cual no da idea clara del nivel trófico real o del grado de contaminación de cualquier ecosistema acuático, y generalmente se extrapola a todo un cuerpo acuático; adicionalmente hay que considerar que este es un nutriente no conservativo. En consecuencia, es difícil recomendar el promedio, el cual solamente representa una fracción de tiempo puntual en un macrocosmos acuático.

Aplicando todo lo anterior a las lagunas costeras tanto del golfo de México como del Pacífico aquí analizadas, se puede establecer que en algunos casos sus intervalos de concentraciones han sido considerados normales, cuando se comparan con información preliminar del siglo pasado, época en donde no existían mayores descargas de aguas residuales o la influencia de la actividad agrícola marcada con uso de fertilizantes. En el caso de la laguna Chantuto Panzacola en 1993 se reportaron niveles de NH_4 , NO_2+NO_3 y NT (nitratos+nitritos y nitrógeno total) considerados como normales (11,0; 13,8; 15,5 μM , respectivamente); si estos valores se compararan con lo registrado 24 años después, se aprecia un incremento significativo en sus concentraciones (92,0; 89,9; 181,9 μM , respectivamente). La laguna de Alvarado también ha registrado un incremento notorio: en 1985, del NH_4 se cuantificaron contenidos de 0,1-7,1 μM , y entre 0,3-172 μM de NO_2+NO_3 , comparado con lo determinado

veinte años después (2015), cuando se registraron 15-24,2, 0,1-4,6, 35,7-314,3 μM , respectivamente.

El empleo de promedios de nutrientes se puede justificar cuando se intenta dar una idea general del incremento registrado en una laguna en un cierto periodo de tiempo sin precisar la fuente; pero algunos autores hasta elaboran gradientes de concentración con base en isolíneas sin considerar la distribución puntual, explicada previamente. En la laguna Chantuto Panzacola (Chiapas) se determinó entre 2015-2014 un incremento tanto en el valor máximo como también en el promedio de NH_4 , NO_2+NO_3 y NT, cuyo aumento fue atribuido a una alta contaminación (tablas 1a y 1b). En 2015, en la laguna de Alvarado (golfo de México) se cuantificaron contenidos de NO_2+NO_3 de 4,6 μM considerados normales, pero con una concentración de NT elevada de 314 μM . En ambos casos los incrementos fueron justificados por las descargas fluviales-poblacionales y de mayor densidad agrícola, consecuentemente considerados de un nivel de contaminación de origen antropogénico, cuando en el siglo pasado (1985) las concentraciones no mostraban este impacto (NT 0,1-179,0 μM), contenidos que fueron resultado de la distribución local geomorfológica o con una influencia ambiental externa normal. Al respecto, las concentraciones de nitrógeno total incluyen tanto las formas orgánicas como las inorgánicas, y se supone que en condiciones ideales la suma de NH_4 más NO_2+NO_3 y la diferencia con respecto al NT correspondería a la fracción orgánica pero frecuentemente no es el caso, en consecuencia, pueden ser errores de técnica analítica o del cálculo del promedio. El incremento del NT ha sido sustancial; en la laguna de Alvarado donde [Contreras, Castañeda, Torres y Gutiérrez \(1996\)](#) determinaron 4,9-25 μM (15 μM prom.); veinte años después (2015) se cuantificaron entre 36 y 314 μM (mínimo-máximo), es decir un incremento aproximado de 15 veces el máximo, lo que denotó una severa eutrofización; sin embargo, dada la distribución puntual de esta última concentración, pudo haber sido resultado de la ubicación

del punto de muestreo, razón por la cual hay que tomarlo en cuenta para calificar dicho contenido, lo que resalta la importancia de no referir únicamente los promedios.

Cualquier presentación de los resultados ambientales, ya sea en forma puntual (mínimo, máximo, promedio) puede ser azarosa o errónea, ya que hay que tomar en cuenta la variación de los factores: climáticos, condiciones fisicoquímicas acuáticas y biológicas que frecuentemente condicionan una distribución en forma de parches variables en espacio tiempo y que solamente puede ser observada en forma adecuada en series de tiempo. Frecuentemente, según los objetivos de la investigación, los registros se asocian con la presencia, ausencia o sucesión de alguna especie en el medio; sin embargo, también se requeriría contar con una base de datos amplia de algún parámetro y no únicamente datos puntuales. Para determinar el grado de contaminación y su procedencia, se requeriría contar con un monitoreo y red de estaciones de estudio adecuadamente planeadas. Si se decide hacer monitoreos de la calidad del agua para medir la influencia antropogénica, sería necesario que fueran los mismos sitios de muestreo, ya que los nutrientes, al ser no conservativos, no se repetirán en el tiempo. Cabe precisar la necesidad de incluir los análisis de las mismas variables químicas acuáticas pero en el sedimento, dado que esta fase cumple un papel importante en la absorción y almacenamiento de excesos de nutrientes de la columna de agua (De la Lanza y Arenas 1978), pudiendo posteriormente favorecer su difusión hacia el agua, según el tipo de sedimento y las remociones naturales (por ejemplo, tipos de circulación) o generadas por las actividades humanas (por ejemplo, dragados). Estudios de este tipo son escasos y no se contemplan dentro de las Normas Oficiales Mexicanas; por lo que en la presente contribución se recomienda que se incluyan evaluaciones en el sedimento cuando hay modificaciones en las lagunas costeras, como: deforestación, apertura de canales y caminos, asentamientos humanos marginales, entre otros.

El otro nutriente relevante y considerado en ciertos ambientes como limitante en la producción primaria es el fósforo (ortofosfatos), también llamado *fósforo reactivo soluble* (FRS), y el fósforo total (PT), que incluye a las fracciones inorgánica y orgánicas. Los compuestos de fósforo tienen un comportamiento más geoquímico, que los compuestos nitrogenados que son más biogeoquímicos. Las concentraciones máximas de ortofosfatos aceptables como normales corresponden a los determinados en el siglo pasado, cuando en general en el medio ambiente se empleaban menores cantidades de fertilizantes. Los intervalos de variación aparentemente normales han sido definidos por distintos autores y esto ha dado lugar a concentraciones restrictivas injustificadas y poco representadas por su distribución en parches y no toman en cuenta la variabilidad local y la complejidad de su ciclo. Sin embargo, actualmente el incremento del PO₄ en ambientes lagunares es notorio, dando como resultado procesos de eutrofización frecuentes en los cuerpos de agua costeros; por ejemplo, en la laguna de Tampamachoco (1996) se calcularon concentraciones de 0,1-1,4 (0,6 μM prom.) en el periodo 1979-1990; en 2009 se cuantificó un intervalo 0,3-3,6 μM (1,5 μM prom.) mientras que en 2012 los contenidos fluctuaron entre 1,9-88,7 μM (33,5 μM prom.). En la laguna de Mandinga en 1996 se tenían concentraciones entre 0,15 a 1,7 μM (1996) mientras que en 2016 se cuantificaron máximos de 38,8 (11,2 μM prom.), presentando ambas lagunas una condición de eutrofización después de treinta años. En la vertiente del Pacífico existen pocos estudios que abarquen varios periodos anuales que permitan estimar algún incremento durante cierto periodo; a pesar de esto, en 2003 se analizó en una sola ocasión la fisicoquímica de la laguna de Tres Palos y se registraron condiciones de hipoxia, concentraciones de NH₄ de no detectable a 41,4 μM, PO₄ con contenidos de 1,3 a 27,0 μM, PT 3,6 a 80,6 μM, y NT 21-250 μM en una serie de sitios de muestreo que permitió clasificar a esta laguna como hipertrófica, cuyos asentamientos humanos, descargas de aguas

residuales y actividades antropogénicas diversas, condujeron a su pleno deterioro, lo que sería recomendable continuar con las determinaciones para definir su persistencia y no fuera un estudio referido aun como promedios.

Desde el punto de vista biológico el fitoplancton presenta diversos pigmentos, principalmente la clorofila a, y sus concentraciones en las lagunas costeras son amplias y complejas, resultado de los distintos factores ambientales ya señalados anteriormente, entre ellos el efecto de la luz (calidad y cantidad incluso con variación estacional), cambios en la densidad del agua (temperatura y salinidad), geomorfología, concentraciones de nutrientes, viento y procesos de circulación que hacen que fitoplancton (evaluado como clorofila A) se distribuya en forma de parches, modificando, por tanto, el intervalo de variación que presenten, que puede ser amplio con o sin signos de contaminación, por lo que es difícil precisar los resultados a través de mínimos, máximos o promedios. Este parámetro ha sido cuantificado con mayor frecuencia, por lo que existe más información desde mediados de los años 1950, aunque en ocasiones con registros muy puntuales, por lo que existen escasas publicaciones que mantengan una continuidad de evaluación en un sitio en específico.

Para una interpretación adecuada y excluir concentraciones que aparentemente indiquen contaminación, es necesario no solo contar con una red de estaciones como lo han hecho algunos autores como [Conan et al. \(2017\)](#) y [Fichez et al. \(2019\)](#) en la laguna de Términos, sino de ser posible con una base de datos de registros por época e interanuales. Cuando se refieren resultados de clorofila A como mínimo, máximo y promedio, es difícil interpretar en qué estado trófico o de contaminación se encuentra una laguna costera. Efectuar interpretaciones es poco recomendable debido a la heterogeneidad espacial del pigmento, influenciado no solo por los factores ambientales mencionados, sino también de aquellos externos como los escurrimientos terrestres naturales (por ejemplo, ríos) o antropogénicos (urbanos o agrícolas) que

estimulan el crecimiento fitoplanctónico y en consecuencia los pigmentos en general.

Con la información recabada en el presente análisis, se observaron contenidos máximos de clorofila a extremadamente altos (248 mg/m^3) en una de las lagunas elegidas del Pacífico (Lagartero), mientras que en la mayoría de los casos los niveles mínimos fueron muy bajos ($0,1 \text{ mg/m}^3$); esto ha dado lugar a que cuando se emplean los promedios, se suavicen las grandes diferencias que existen entre los mínimos y máximos, siendo que en algunos casos los expertos los consideran dentro de una variación normal sin discriminar, por ejemplo, el nivel trófico en que se encuentra un cuerpo de agua. Para demostrar lo anterior, destacaron las lagunas del Pacífico: Lagartero, Tres Palos, Manialtepec y Chantuto Panzacola, con máximos de 248 , 155 , 256 mg/m^3 , respectivamente (tablas 1a) lo cual no diferenció la condición natural de la impactada con base en los máximos; en cambio, en las lagunas del golfo de México fueron menos extremas las diferencias ($1,6\text{-}56 \text{ mg/m}^3$) y esto puede ser resultado de diversos factores, como los fluvioclimáticos menos extremos, el aparentemente menor número de los asentamientos humanos y sus actividades económicas del área circundante ([Gutiérrez y De la Lanza 2019](#)).

El término *productividad primaria* se refiere al rendimiento fotosintético (por ejemplo, producción por unidad de clorofila a). [Wetzel \(1975\)](#) se refirió a la producción primaria como la elaboración de material orgánico nuevo en un periodo de tiempo (o incremento de biomasa) más las pérdidas en ese periodo, y productividad es el promedio de la tasa instantánea en un periodo de tiempo, usualmente día o año. Parte de la confusión surge en los primeros conceptos de productividad como máximo crecimiento y desarrollo de los organismos bajo condiciones óptimas ([Thienemann, 1931](#)).

Actualmente, se utilizan indistintamente los dos conceptos; por ejemplo, la medición de productividad ($\text{mgC/m}^3/\text{día}$), pero cuando es referida a una columna de agua a una profundidad X promediada, ha sido referida como producción

(mgC/m²//día), como la reportan [Gaxiola et al. \(1997\)](#). [Esteves \(1998\)](#) señala que generalmente los términos *producción* y *productividad primaria* son utilizados indistintamente en Limnología; sin embargo, debe señalarse que la gran mayoría de los trabajos existentes se refieren a la productividad y no a la producción primaria.

Hay escasos trabajos donde se estima la producción primaria a través del pigmento; por ejemplo, [Beltrán \(2016\)](#) la modela en un humedal a través de la concentración promedio mensual de clorofila A. [Arreola \(2003\)](#) observó un mismo patrón entre la clorofila y la producción primaria (0,664 p<0,05) ([figura 2a](#)) en la laguna de las Guásimas; al igual que lo referido por [Sosa et al. \(2013\)](#) en la laguna Cuyutlán ([figura 2b](#)). Por lo anterior, bajo esta diversidad de conceptos y formas de referir los dos términos, es más complicado aún emplear promedios sin comprender la dinámica de los ecosistemas acuáticos en sus particularidades espaciales y temporales, a menos de generalizar como un todo aparentemente repetible, que no debe ser el caso.

La producción primaria estimada en buen número de lagunas aquí elegidas a través de la concentración de la clorofila a y con base en [Ryther y](#)

[Yentsch \(1957\)](#) además de [Lara y Álvarez \(1975\)](#), se encontraron diferencias notorias entre el mínimo y el máximo que se suavizaron en el promedio sin tomar en consideración las variaciones estacionales o por épocas. A partir de los promedios, a pesar de los inconvenientes de utilizarlos, se observó que los resultados en ambas vertientes difieren visiblemente, siendo más regulares y menores las concentraciones en el golfo de México 0,3 a 11,6 gC/m³/d equivalente a 12,5 a 483 mgC/m³/h, respectivamente, así como mayores y heterogéneas en el Pacífico (0,02-41 g/m³/d equivalente a 0,8 y 1708 mgC/m³/h ([tablas 1a y 1b](#)), que pueden ser resultado de las concentraciones puntuales de la clorofila, de las variantes climáticas estacionales extremas, de las diferencias del manejo del agua ([De la Lanza y Gutiérrez 2019](#)) e incluso por el cambio en el uso del suelo adyacente con actividades agropecuarias con escorrentías hacia los cuerpos de agua. Comparativamente con otras lagunas y a pesar del empleo de otras metodologías, los presentes resultados oscilaron dentro de lo reportado por otros autores ([tabla 2](#)).

Con base en los resultados del contenido de clorofila a y del fósforo total en las lagunas costeras

Tabla 2. Producción primaria en las lagunas costeras del golfo de México* y Pacífico**

LAGUNA	mgC/m ³ /h	
Tampamachoco*	9,4-527	Contreras, 2010
Mandinga*	1,4-391,7	Contreras y Warner, 2004
Ostión*	2,1-133,3	Contreras y Warner, 2004
Carretas Pereyra**	34,2-809	Contreras y Warner, 2004
Carretas Pereyra**	nd-764	Lara et al., 2008
Mazatlán-Tehuantepec**	0,15-17,1	Lara y Bazán, 2005
Estero Urías**	0,1-666,5	Lara et al., 2008
Cuyutlán**	50-162	Sosa et al., 2013
Bahía de Navachiste**	140-308	Quiroz, 2014
Escobillita, Colombia	nd-339	Montoya y Aguirre, 2010
El Medio, Colombia	3,75-352,5	Robayo y Rodríguez, 2015
Bahía de Mejillones, Chile	930,7 octubre-noviembre	Marín y Olivares, 1999
Bahía de Mejillones, Chile	155,1 enero-marzo	Marín y Olivares, 1999
Bahía de Mochima, Venezuela	no surgencia 0 a 417 mgC/m ³ /h surgencia de 76-426	González, Zoppi de Roa y Montiel, 2006
Sauce Grande, Argentina	104-718	Cony, Ferrer y Cáceres, 2016

nd= no detectable

Fuente: elaboración propia.

tropicales de México y referidas a través de máximos, mínimos y su promedio comparadas con la propuesta de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 1982) (tablas 3a y 3b), los niveles tróficos señalaron que a pesar de que se registre una amplia oscilación, lo que ha predominado en las lagunas aquí analizadas del Pacífico ha sido un nivel general de hipertrofia que podría ser normal con variación espacial y temporal sin tener problemas de eutrofización, consecuencia de diferentes factores, como la ubicación y estacionalidad de las localidades de muestreo, sin que por ello pudieran considerarse contaminadas; por esta razón, es necesario no basarse en clasificaciones fisicoquímicas y tróficas de no ser las locales, como sucede incluso con lo establecido

por la Pulido y Pinilla (2017) quienes calculan y clasifican la laguna El Salitre (Colombia) en forma distinta a la propia OCDE incluyendo las distintas diferencias en las unidades. Lo anterior señala que la categorización trófica debe basarse latitudinal y localmente con una base de datos amplia.

Tabla 3a. Valores límite para la clasificación trófica de la OCDE 1982 (µg/l)

Categoría trófica	Pt(µg/L)	Clor A Media	mg/m3 Máxima
Ultraoligotrófico	<4.0	<1.0	<2.5
Oligotrófico	<10-35	2,5-8	8,0-25
Mesotrófico	10-35	2,5-8	8,0-25
Eutrófico	35-100	25-75	25-75
Hipertrófico	>100	>75	>75

Fuente: modificado de OCDE (1982).

Tabla 3b. Estado trófico del humedal El Salitre (Colombia) en tres puntos de muestreo según la concentración de nutrientes en mg/L y de clorofila A, equivalente a mg/m³

Sitio	Estado trófico basado en el amonio		Estado trófico basado en el nitrato		Estado trófico basado en el nitrato		Estado trófico basado en el fosfato		Estado trófico basado en la clorofila	
	[NH ₄]	Categoría	[NO ₂]	Categoría	[NO ₃]	Categoría	[PO ₄]	Categoría	[Chl A]	Categoría
Promedio S	0,025±0*	O	0,0163±0,006*	O	0,05±0*	O	0,045±0*	O	38,64±13,6*	E
Promedio L	0,453±0,005*	M	0,0035±0*	O	0,05±0*	O	0,193±0,065*	E	45,21±23,1*	E

S= época seca, L= época lluviosa, 1, 2, 3= puntos de muestreo

O= oligotrófico, M= mesotrófico, E= eutrófico. La clasificación se basa en los valores de referencia de OCDE (1982) para nitrógeno amoniacal (NH₄⁺), nitritos (NO₂) y nitratos (NO₃⁻), de Dabrowski (2014) para ortofosfatos (PO₄) y de Esteves (1998) para clorofila A (Chl A). Las concentraciones de los nutrientes se registran en mg L⁻¹ y la de clorofila A en mg m⁻³. *Desviación estándar de cada variable en cada época de muestreo.

Fuente: modificado de Pulido y Pinilla (2017).

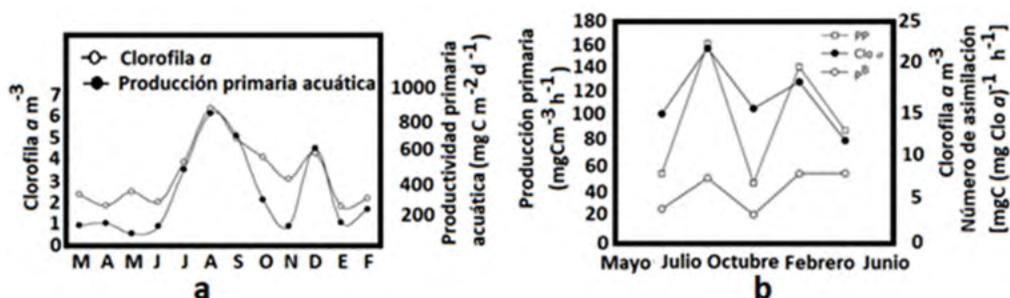


Figura 2. (a) Clorofila a y productividad primaria acuática durante marzo 1998-febrero 1999 en la laguna las Guásimas y (b) producción primaria, clorofila a y número de asimilación calculadas en la laguna Cuyutlán, México, 2004-2005

Fuente: tomadas de Arreola (2003) y Sosa et al. (2013).

CONCLUSIONES

Con base en lo expuesto, es recomendable que en cada estudio fisicoquímico del agua en lagunas costeras queden claros cuáles son los objetivos que los autores quieren perseguir: 1) hacer un registro único simple que solo aporta información de una posible condición de impacto puntual generalmente antropogénico, o para asociarlos con la aparición de ciertos organismos; o 2) efectuar un estudio del comportamiento espacio temporal a través de un monitoreo con base en redes de muestreo justificadas en forma ambiental que incluya dinámica física, fluvial, geomorfológica, biológica, actividades humanas acuáticas y terrestres adyacentes, entre otras; pero no referir los resultados como mínimos, máximos y promedios que en muchos casos el intervalo entre el primero y el último puede ser muy amplio y definir una característica errónea o incierta de la fisicoquímica o biología del agua que incluya un grado trófico incierto; además de no ser repetitivo o permanente y variar heterogéneamente tanto en forma espacial como temporal, con parámetros no conservativos distribuidos en parches que no se mantienen constantes, sino que modifican sus concentraciones por diversos factores locales climáticos, hidrológicos, físicos, químicos, entre otros, tanto internos como externos, como se pudo apreciar en las lagunas elegidas del golfo de México y Pacífico mexicano.

REFERENCIAS

- Arreola L., J. A. (2003). Bases de manejo costero: patrones ecológicos en la laguna costera Las Guásimas, territorio Yaqui, México. [Tesis doctoral en Ciencias]. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, México. Recuperado de http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/41/arreola_j.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Beltrán, V. J. E. (2016). Modelación de la producción primaria fitoplanctónica en el humedal Jaboque, Bogotá D. C. *Tecnura*, 20(47), 85-95. DOI: <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.1.a07>
- Bueno, S. E., Marcelaño, S., Nájera, O. y De Haro, R. (2019). Implementación del método de escasez en la determinación de la huella hídrica en la zona costera de San Blas, México. *Tecnura*, 23(62), 45-54. DOI: <https://doi.org/10.14483/22487638.15796>
- Chapman, D. (1996). *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. 2a. ed. Londres, Inglaterra: Unesco/WHO/UNEP. Recuperado de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41850/0419216006_eng.pdf;jsessionid=280BF2988888E7A3FECACF-00417B8510?sequence=1
- Conan, P., Pujo, P. M., Agab, M., Calva, B. L., Chifflet, S., Douillet, P., Dussud, C., Fichez, R., Grenz, C., Gutiérrez, M. F., Origel, M. M., Rodríguez, B. A., Sauret, C., Severin, T., Tedetti, M., Torres, A. R. y Ghiglione, J. F. (2017). Biogeochemical cycling and phyto- and bacterioplankton communities in a large and shallow tropical lagoon (Términos Lagoon, Mexico) under 2009–2010 El Niño Modoki drought conditions. *Biogeosciences*, 14, 959-975. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-14-959-2017>
- Contreras, E. F. (2010). *Ecosistemas costeros mexicanos una actualización*. México: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.
- Contreras, E. F. y Warner, B.G. (2004). Ecosystem characteristics and management considerations for coastal. Wetlands in Mexico. *Hydrobiologia*, 511, 233-245. Recuperado de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023%2FB%3AHYDR.0000014097.74263.54.pdf>
- Contreras, E. F., Rivera, G. E. y Segura, A. R. (2005). Nutrientes y productividad primaria fitoplanctónica en una laguna costera tropical intermitente (La Mancha, Ver.) del golfo de México. *Hidrobiológica*, 15(3), 299-310. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v15n3/v15n3a6.pdf>
- Contreras, E. F., Castañeda, O., Torres, R. y Gutiérrez, F. (1996). Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas. *Revista de Biología Tropical*, 44(2), 417-425. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/21626/21869>
- Cony, N. L., Ferrer, N. C. y Cáceres, E. J. (2016). Evolución del estado trófico y estructura de

- fitoplancton de un lago Somero en la región pampeana: laguna Sauce Grande. (Pcia. de Buenos Aires, Argentina). *Biología Acuática*, 30, 79-91. Recuperado de: https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/4168/11746_4168.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Dabrowski, J. M. (2014). Applying SWAT to predict ortho-phosphate loads and trophic status in four reservoirs in the upper Olifants catchment, South Africa. *Hydrology Earth System Science*, 18, 2629–2643, Recuperado de: <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/18/2629/2014/hess-18-2629-2014.html>
- De la Lanza, E. G. y Arenas, F. V. (1978). Naturaleza química de hojas y rizomas de los pastos marinos y su ambiente sedimentario. *Revista de Biología Tropical*, 26(2), 277-289. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/25706/26083>
- De la Lanza, E. G. y Lozano, M. H. (1999). Comparación fisicoquímica de las lagunas de Alvarado y Términos. *Hidrobiológica*, 9(1), 15-29. Recuperado de <https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/761/351>
- De la Lanza, E. G., Hernández, P. S. (1999). Informe final de fisicoquímica de la laguna Lagartero, Oax. En: Implementation of a Wave Driven Seawater Pump (SIBEO) to manage Fisheries and Coastal Management in Rural Communities (S. Czitrom, coord.) UNAM/North American Fund for Environmental Cooperation.
- De la Lanza, E. G., Hernández, P. S., Penié, R.I. y Gómez, R. J. C. (2006). Calidad del agua de las playas del municipio de Solidaridad Quintana Roo. *Revista del Medio Ambiente, Turismo y Sustentabilidad, Universidad del Caribe* 2(1), 25-44. Recuperado de https://data.nodc.noaa.gov/coris/library/NOAA/CRCP/other/other_crcp_publications/revista_medio_ambiente_turismo_sustentabilidad.pdf
- De la Lanza, E. G., Alcocer, D. J., Moreno-Ruiz, J. L. y Hernández, P. S. (2008). Análisis químico-biológico para determinar el estatus trófico de la Laguna de Tres Palos Guerrero, México. *Hidrobiológica* 18(1), 21-30. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v18n1/v18n1a3.pdf>
- De la Lanza-Espino, G., Carbajal-Pérez, J. L., Salinas-Rodríguez, S. A. y Barrios-Ordóñez, J. E. (2012). Medición del caudal ecológico del río Acaponeta, Nayarit; comparando distintos intervalos de tiempo. *Investigaciones Geográficas*, 78, 62-74. <https://doi.org/10.14350/rig.32470>
- De la Lanza, E.G., Hernández, P.S. y Carbajal, P.J.L. (2014). Diagnóstico de la calidad del agua de cuatro lagunas costeras de Veracruz. En V.A. Botello, et al. (eds.), *Golfo de México: contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias* (pp. 817-838). México: UAC, CFE, ICMYL, UNAM, EASAC, CINVESTAV. Recuperado de <https://epomex.uacam.mx/view/paginas/adjunt>
- De la Lanza, E. G. y Hernández, P. S. (2017). Physico-chemical changes of the water of Alvarado lagoon, Veracruz, Mexico in interrupted periods in middle Century. *Journal Aquaculture Marine Biology*, 5(4), 00118. DOI: 10.15406/jamb.2017.05.00118 <https://doi.org/10.15406/jamb.2017.05.00118>
- De la Lanza, E. G. y Hernández, P. S. (2018). Water quality in a complex geomorphological lagoon at the Gulf of Mexico, based in recent and compared with information 30 years ago. *Journal Aquaculture Marine Biology*, 7(5), 253-256. DOI: <https://medcraveonline.com/JAMB/JAMB-0700216.pdf.10.15406/jamb.2018.07.00216>
- De la Lanza, E. G. y Gutiérrez, M. F. (2019). Número y diversidad de sistemas costeros mexicanos, su fisicoquímica, comportamiento e impactos antropogénicos. En A. V. Botello, F.S. Villanueva y J. Gutiérrez (eds.). *Las costas mexicanas. Contaminación, impacto ambiental, vulnerabilidad y cambio climático* (pp. 1-24): México: UNAM, UAC. DOI: 10.26359.376639.
- Esteves F.A. (1998). *Fundamentos de limnología*. 2a. ed. Brasil: Interciência.
- Fichez, R., Linares, C., Chifflet, S., Conan, P., Contreiras, R., Esparza, A., Denis, L., Douillet, P. L., Grenz, C., Ghiglione, J. F., Gutiérrez, M. F., Origel, M. M., Muñoz, C. A., Pujo P. M. y Zavala H. J. (2019). Spatiotemporal variability in Terminos Lagoon (Mexico) Waters during the 2009–2010 drought

- reveals upcoming trophic status shift in response to climate change. *Regional Environmental Change*, 19, 1787-1799. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01519-2>
- Florencio, B. F. J., Huertas, R. M. J. y López, M. L. (2019). *¿Pueden las cianobacterias crecer igual en luz y oscuridad, cerrando el Ciclo de Krebs?* España: Universidad de Sevilla. Recuperado de https://investigacion.us.es/sisius/sis_proyecto.php?idproy=27079
- Gaxiola-Castro, G., Cepeda-Morales, J., Nájera-Martínez, S., Espinosa-Carreón, T. L., De la Cruz-Orozco, M. E., Sosa-Avalos, R., Aguirre-Hernández, E. y Cantú-Ontiveros, J. P. (1997). Biomasa y producción del fitoplancton. *Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California, 2007*, 59-85. Recuperado de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/642/biomasa.pdf>
- Gómez, O. R., De la Lanza, E. G., Tovilla, H. C., Barba, M. E., Valle, M. J., Castañeda, L. O. y Ramos, S. E. (2017). Cambios ambientales y tróficos a través de un análisis a largo plazo del sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas, México. *Ciencias Marinas y Costeras*, 9(2), 75-100. DOI: <https://doi.org/10.15359/revmar.9-2.4>
- González, F., Zoppi de Roa, E. y Montiel, E. (2006). Productividad primaria del fitoplancton en la bahía de Mochima, Venezuela. *Investigaciones Marinas*, 34(2), 37-45. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-71782006000200004>
- Gutiérrez, M. F. J. y De la Lanza, E. G. (2019). Physicochemical characterization of Mexican Coastal lagoons, current status, and future environmental scenarios. En A. L. Ibáñez (ed.), *Mexican aquatic environments. A general view from hydrobiology to fisheries*. (pp 77-92). México: Springer. Recuperado de https://www.springer.com/gp/book/9783030111250__https://doi.org/10.1007/978-3-030-11126-7_3
- Hernández, Á. I. y Gómez, G. A. (2014). Patrones de abundancia y composición del zooplancton costero a varias escalas temporales en un ciclo de surgencia estacional en la isla de Margarita, Venezuela. *Interciencia* 39(2), 122-128. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/339/33930068008.pdf>
- Land-Ocean Interaction in the Coastal Zone (LOICZ) Project of the IGBP (1998). *Towards integrated modelling and analysis in coastal zones: principles and practices*. International Geosphere Biosphere Programme University of Maryland Center for Environmental Science. Países Bajos. Recuperado de <https://s3-eu-west-2.amazonaws.com/futureearthcoasts/wp-content/uploads/2018/05/30150925/LOICZ-RS11.pdf>
- Lara, L. J. R. y Álvarez, B. S. (1975). Ciclo anual de clorofilas y producción orgánica primaria en Bahía San Quintín, B.C. *Ciencias Marinas*, 2(1), 77-97. Recuperado de <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/1991/1/116901.pdf> <https://doi.org/10.7773/cm.v2i1.266>
- Lara, L. J. R. y Bazán, G. C. (2005). Distribución de la clorofila y producción primaria por clases de tamaño en la costa del Pacífico mexicano. *Ciencias Marinas*, 31(1A), 11-21. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/480/48031102.pdf> <https://doi.org/10.7773/cm.v31i11.82>
- Lara, L. J. R., Arreola, L. J. A., Calderón, A. L. E., Camacho, I. V. F., De la Lanza, E. G., Escofet, G. A., Espejel, C. M. I., Guzmán, A. M., Ladah, L. B., López, H. M., Meling, L. E. A., Moreno, C. B. P., Reyes, B. H., Ríos, J. E. y Zertuche, G. J. A. (2008). Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. En *Capital natural de México. Vol. I Conocimiento actual de la biodiversidad* (pp. 109-134). México: Conabio. Recuperado de: https://www.biodiversidad.gob.mx/v_ingles/country/pdf/CapNatMex/Vol%20I/04_Losecosistemascos.pdf
- Mann, K. y Lazier, J. (1991). *Dynamics of marine ecosystems*. Boston, EE. UU.: Blackwell Scientific Publications. Recuperado de http://www.marineornithology.org/PDF/35_2/35_2_155.pdf
- Marín, V. H. y Olivares, G. R. (1999). Estacionalidad de la productividad primaria en Bahía Mejillones del Sur (Chile): una aproximación proceso-funcional. *Revista Chilena de Historia Natural*, 72, 629-641. Recuperado de http://rchn.biologiachile.cl/pdfs/1999/4/Marin_%26_Olivares_1999.pdf
- Montoya, Y. y Aguirre, N. (2010). Dinámica de la producción primaria fitoplanctónica en un lago

- tropical (ciénaga Escobillitas) a lo largo del pulso de inundación. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 55, 76-89. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n55/n55a08.pdf>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (1982). *The OCDE List of Social Indicators*. París.
- Pérez, C. A. G. y Rodríguez, A. (2008). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista Biología Tropical*, 56(4), 1905-1918. Recuperado de https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v56n4/art26v56n4.pdf_https://doi.org/10.15517/rbt.v56i4.5769
- Pirela, O. E., Troccoli, L. y Hernández, A. I. (2008). Hidrografía y cambios en la comunidad del microfitoplancton de la bahía de Charagato, isla de Cubagua, Venezuela. *Boletín del Instituto de Oceanografía*, 47(1), 3-16. Recuperado de https://www.academia.edu/22100067/Hidrograf%C3%ADa_y_cambios_en_la_comunidad_del_microfitoplancton_de_la_Bah%C3%ADa_de_Charagato_Isla_de_Cubagua_Venezuela
- Pulido, L. P. C. y Pinilla, A. G. A. (2017). Evaluación del estado trófico de El Salitre, último humedal urbano de referencia en Bogotá. *Revista Académica Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 41(158), 41-50. DOI: <http://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.411>
- Quiroz, C. N. N. (2014). *Variabilidad de la productividad fitoplanctónica en el sistema lagunar Navachiste*. [Tesis de maestría]. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa, México. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13164/Quiroz%20del%20Campo%20Nallely%20Nohem%C3%AC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Robayo, M. L. X. y Rodríguez, L. C. A. (2015). Evaluación de la productividad primaria fitoplanctónica a partir de la medición de oxígeno disuelto en tres lagunas del sistema lacustre de Chingaza. [Tesis doctoral]. Universidad Santo Tomás, Ingeniería Ambiental. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/622/Evaluacion%20de%20la%20productividad%20primaria%20fitoplanctonica%20a%20partir%20de%20la%20medicion%20de%20oxigeno%20disuelto%20en%20tres%20lagunas%20del%20sistema%20la%20cuestre%20de%20Chingaza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ryther, J. H. y Yentsch, C. S. (1957). The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data. *Limnology and Oceanography* 2(3), 281-286. DOI: <https://doi.org/10.1002/lno.1957.2.3.0281>
- Smith, S. V., Ibarra, O. S., Boudreau, P.R. y Camacho, I. V. F. (1997). *Comparisons of carbon, nitrogen and phosphorus fluxes in mexican coastal lagoon*. LOICS Reports and Studies, 10. Texel, Países Bajos. DOI: [10.13140 / RG.2.1.5134.5126](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5134.5126)
- Sosa, A. R., Millán, N. R. y Santamaría, A. E. (1997). Productividad primaria del fitoplancton estimada con los métodos de oxígeno y carbono catorce en una estación del estero de punta banda, México. *Ciencias Marinas*, 23(3), 361-375. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48023306>
- Sosa, A. R., Gaxiola, C. G., Olivos, O. A. e Iñiguez, L. S. (2013). Nutrientes inorgánicos y producción del fitoplancton en una laguna costera subtropical de México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 48(1), 143-154. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-19572013000100012>
- Thienemann A. (1931). Tropische Seen und Seetypen. *Archiv für Hydrobiologie, Supplement*, 9, 205-231. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0380133081720446>
- Wetzel, G. R. (1975). *Limnology. Lake and river ecosystem*. Cambridge, Massachusetts: Academic Press, Elsevier.
- Willmer, P., Stone, G. y Johnston, I. (2005). *Environmental physiology of animals*. 2a. ed. Reino Unido: Blackwell Publishing Company. Recuperado de <https://jajo66.files.wordpress.com/2010/10/environmental-physiology-of-animals.pdf>





Medida de la eficiencia de un colector solar de placa plana, mediante un montaje experimental desarrollado con instrumentación virtual

Measurement of the efficiency of a flat plate solar collector, by means of an experimental assembly developed with virtual instrumentation

Nelson Libardo Forero Chacón¹ , Paul David Garzón Castañeda²

Fecha de recepción: 12 de Diciembre de 2019

Fecha de aceptación: 6 de Mayo de 2020

Cómo citar: Forero–Chacón., N.L. y Garzón–Castañeda., P.D. (2020). Medida de la eficiencia de un colector solar de placa plana, mediante un montaje experimental desarrollado con instrumentación virtual. *Tecnura*, 24(65) 109-124. DOI: [10.14483/22487638.15929](https://doi.org/10.14483/22487638.15929)

Resumen

Objetivo: Medir la eficiencia instantánea de un colector solar de placa plana, empleando un arreglo experimental configurado en instrumentación virtual.

Metodología: A partir de un montaje experimental desarrollado bajo la arquitectura de instrumentación virtual, que emplea un colector solar, módulos Compac FieldPoint de la firma National Instruments, y sistemas de adquisición de datos, diseñados a partir del lenguaje de programación gráfica LabVIEW, para medir radiación solar global, temperatura ambiente y temperatura del fluido del sistema, se obtiene la eficiencia instantánea del colector solar.

Resultados: Se reportan medidas de eficiencia de un colector solar de placa plana, en función de la temperatura reducida del sistema, de la hora del día y de la radiación solar global para días caracterizados por la época de la medición y acorde con el flujo de radiación solar global que incide sobre el colector.

Conclusiones: El uso de un instrumento virtual y de dispositivos de alta rapidez y sensibilidad para la

adquisición de datos permite medir los parámetros de operación y la eficiencia instantánea de un colector solar de placa plana tipo aleta, obteniendo un valor de promedio del 36,6 %.

Financiamiento: El Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas financió el *software LabVIEW*, los módulos Compac FieldPoint y el sensor de radiación solar, en el marco de la realización del proyecto de investigación titulado “Desarrollo y prueba de prototipo de estación de medición de señales que dan información de variables ambientales”, por el grupo FMAES.

Palabras clave: radiación solar global, colector solar, eficiencia, instrumentación virtual.

Abstract

Objective: To measure the instantaneous efficiency of a flat plate solar collector, using an experimental arrangement configured in virtual instrumentation.

Methodology: The instantaneous efficiency of the solar collector is obtained from an experimental

1 Dr. Ciencias-Física. Docente investigador. Grupo de Investigación en Física del Medio Ambiente y Energía Solar (FMAES). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Contacto: nforero@udistrital.edu.co, fmaes@udistrital.edu.co

2 Licenciado en Física, Grupo de Investigación en Física del Medio Ambiente y Energía Solar (FMAES). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. Estudiante ingeniería electrónica Universidad Central. Bogotá Colombia. Contacto: fmaes@udistrital.edu.co, pgarzonc@ucentral.edu.co

setup developed with the virtual instrumentation architecture, which uses a solar collector, Compact FieldPoint modules of the National Instruments firm and data acquisition systems, designed from the LabVIEW graphic programming language, to measure solar radiation global, ambient temperature and system fluid temperature.

Results: Efficiency measures of a flat plate solar collector are reported, depending on the reduced temperature of the system, on the time of day and on global solar radiation for days characterized by the measurement time, and in accordance with the global solar radiation flow, that affects the collector.

Conclusions: The use of a virtual instrument and devices of high speed and sensitivity for the acquisition

of data allows measuring its operation parameters and the instantaneous efficiency of a solar collector of flat plate, obtaining a value of 36.6%.

Financing: The Research and Scientific Development Center of the Francisco José de Caldas District University financed the LabView software, the Compact FieldPoint modules and the solar radiation sensor, within the framework of the development of the research project called “prototype development and testing of signal measuring station that provides information on environmental variables”, which was developed by the FMAES group.

Keywords: Global solar radiation, solar collector, efficiency, virtual instrumentation.

INTRODUCCIÓN

Ante la creciente demanda energética por parte de la sociedad actual, tanto urbana como rural, generada a raíz del incremento de la necesidad de servicios, así como del aumento en los índices de contaminación ambiental (MADS, 2019), causado por las fuentes finitas fósiles y su impacto evidenciado en el cambio climático y destrucción del ambiente, se hace prioritario, en general, el buen aprovechamiento energético y de los recursos energéticos renovables, en particular el recurso solar (Ayompe y Duffy, 2013). Estas situaciones han puesto como uno de los temas fundamentales y de mucha importancia a nivel mundial y regional, el desempeño y la eficiencia de los sistemas de captación y transformación energética (Devrim, Zafer y Olcay, 2015), en particular la de los colectores solares (Esen y Esen, 2005), toda vez y sabiendo en particular que, ante las condiciones ambientales y necesidades energéticas actuales, el recurso solar como fuente limpia, es prácticamente ilimitado respecto a los recursos fósiles, lo que garantiza abastecimiento a largo plazo.

El desempeño y la eficiencia de estos dispositivos solares dependen de varios factores que van

desde sus características físicas, estructura, materiales empleados, configuración geométrica; pero también su ubicación y posicionamiento astronómico respecto a la incidencia de radiación solar, ya que en su conjunto, se optimiza la captación de energía, como se demuestra en innumerables investigaciones e informes recientes relacionados con características, aplicaciones y métodos para aumentar su eficiencia (Liqun, Yiping y Qunwu, 2019). Uno de los métodos actuales más efectivos de aumentar la eficiencia de estos dispositivos es reemplazar el fluido de trabajo, que convencionalmente ha sido agua, por fluidos que poseen alta conductividad térmica. En los últimos años, se han venido utilizando fluidos que contienen nanopartículas sólidas suspendidas en un fluido base y denominados nanofluidos, los que, se estima, presentan propiedades de transferencia de energía térmica en forma excepcional, comparados con fluidos de transferencia convencionales. En lo que conlleva al interés del presente trabajo, no puede dejarse tampoco, de lado, la capacidad y versatilidad de los sistemas de medición que permite el desarrollo tecnológico actual y como lo es la instrumentación virtual (Vestlund, Dalenba y Ronnelid, 2012), ya que cumple con precisión las

medidas y el continuo monitoreo de parámetros ambientales y de operación de dichos sistemas solares. En este trabajo se da evidencia de las ventajas y alcances de un desarrollo experimental con instrumentación virtual, que permite el monitoreo continuo del desempeño de un sistema colector solar, con la medida de su eficiencia instantánea. Se reportan medidas de eficiencia de un colector solar de placa plana (tipo aleta), en función de la temperatura reducida del sistema, de la hora del día y de la radiación solar global para unos días en particular, caracterizados por la época del año y acorde con el flujo de radiación solar global incidente G_i , con ayuda de sistemas de adquisición de datos vinculados a la estación de monitoreo de parámetros ambientales y atmosféricos del grupo de investigación en Física del Medio Ambiente y Energía Solar (FMAES), estación ubicada a $4,61^\circ$ de latitud norte $74,06^\circ$ de longitud oeste y a una altitud de 2657 msnm, sede Macarena B de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en Bogotá, Colombia.

METODOLOGÍA

Aspectos conceptuales y experimentales

Un colector solar transforma la energía solar global G_i , que incide sobre la placa en forma de radiación electromagnética en energía térmica (calor) útil q_{util} , transmitiéndola por conducción a un sistema de circulación de fluido que, a su vez, es calentado por convección (Duffie y Beckman, 2013). De esta forma es posible plantear una ecuación de balance energético entre el calor absorbido por la placa y el disipado en los procesos de convección y conducción; así es posible hallar el flujo de calor transmitido por convección en cualquier instante (o calor útil) por la superficie radiante. Existen diversos métodos para probar el rendimiento de colectores solares de diversos tipos, siendo de los más utilizados a nivel mundial, los establecidos por la Ashrae, (ASHRAE, 2003). La eficiencia η para el

colector solar de placa plana (denominado tipo de aleta), se define a través de la ecuación (1), como:

$$\eta = \frac{q_{util}}{q_{incidente}} \quad (1)$$

Para esto, se establece el balance de energía del dispositivo solar, en el que se iguala la energía incidente sobre el colector dada por $G_i A_c (\tau\alpha)$, con el calor útil q_{util} , las pérdidas totales de energía (q_{perd}) y la energía almacenada por el mismo colector dU/dt . La ecuación (2), expresa todo así:

$$G_i A_c (\tau\alpha) = q_{util} + q_{perd} + \frac{dU}{dt} \quad (2)$$

Donde: A_c es el área del colector y el producto $\tau\alpha$ corresponde al coeficiente producto de transmitancia-absorbancia con incidencia normal de radiación sobre la placa.

Las pérdidas de energía (calor) están dadas, como:

$$q_{perd} = U_L A_c (T_p - T_a) \quad (3)$$

Donde: U_L es el coeficiente de pérdidas globales del colector, A_c es el área del colector, T_p es la temperatura de la placa y T_a es la temperatura ambiente. Si se asume dentro del balance de energía que dU/dt tiende a cero cuando la temperatura interna del sistema es igual a la temperatura ambiente, y el sistema tiene el tiempo suficiente para que el calor útil corresponda a la energía que incide (constante de tiempo del sistema), y se aplican condiciones de frontera, obteniendo como parámetros de temperatura, la temperatura ambiente T_a , la temperatura del fluido a la entrada del colector T_e , la masa de agua que fluye por el colector \dot{m} , el calor específico del agua (C_p) y el coeficiente de pérdidas globales (U_L), entonces la eficiencia instantánea para el colector solar, tipo aleta, expresada en la ecuación (1), da como resultado:

$$\eta = \frac{q_{util}}{q_{incidente}} = \frac{\dot{m} C_p \Delta T}{G_i A_c} = F_r (\tau\alpha) - \frac{F_r U_L}{10} T_R \quad (4)$$

En la ecuación (4), el factor T_R es la temperatura reducida del sistema, dada por:

$$T_R = 10 \text{ W/m}^2 \left(\frac{T_f - T_a}{G_i} \right) \quad (5)$$

El término compuesto $F_r(\tau\alpha)$ es la fracción de irradiación que se trasmite a través de las cubiertas, el cual no incrementa la energía interna de la placa colectora y cuyo resultado es conocido como eficiencia óptica del dispositivo, valor que se obtiene cuando T_a y T_f son iguales. El producto ($\tau\alpha$) corresponde al producto entre los coeficientes de transmitancia-absorbancia.

El factor F_r en la ecuación (4), es conocido como factor de remoción y está dado por:

$$F_r = \frac{\dot{m}C_p}{A_c U_L} \left[1 - e^{\left[\frac{-A_c U_L F'}{\dot{m}C_p} \right]} \right] \quad (6)$$

Aquí, F' es el factor de eficiencia del colector, expresado a continuación en la ecuación (7) como:

$$F' = \frac{1/U_L}{W \left[\frac{1}{U_L [D + (W - D)F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{fi}} \right]} \quad (7)$$

Al utilizar el concepto de eficiencia de aleta, el resultado para la eficiencia estándar de aleta, para aletas rectas que se presenta en la ecuación (7) como el factor F , se puede expresar como:

$$F = \frac{\tanh[m(W - D)/2]}{m(W - D)/2} \quad (8)$$

Este es el factor de aleta. En las ecuaciones (7) y (8), D_i es el diámetro interno del tubo; C_b , la conductancia de la soldadura; m es un parámetro que reúne a U_L y otras constantes; h_{fi} es el coeficiente de transferencia de calor entre el fluido y la pared del tubo por convección; W es la distancia entre los tubos del colector, y D es el diámetro exterior de cada tubo.

La [tabla 1](#) presenta los parámetros técnicos estándar del colector solar utilizado, así como valores de las medidas directamente hechas sobre el arreglo experimental y empleados en la ecuación (4). Así, la función de eficiencia obtenida, está por:

$$\eta = 0.692 - 0.457T_R \quad (9)$$

La ecuación (9) representa la esencia del experimento, a partir de la cual y con el sistema de adquisición de datos desarrollado, esto es, el instrumento virtual IV, se calcula la eficiencia instantánea del colector de placa plana tipo aleta, en función de la temperatura reducida (Álvarez, Cabeza, Muñiz y Valera, 2010), con la que a su vez se determina el rendimiento en el tiempo y se obtienen las curvas características de eficiencia vs. temperatura reducida, y eficiencia vs. radiación solar incidente, y de estas se determina la eficiencia instantánea del dispositivo, que fue uno de los propósitos del estudio.

Tabla 1. Parámetros utilizados para medir la eficiencia instantánea en el colector utilizado

Masa de agua que fluye al colector (\dot{m})	0,010 kg/s
Calor específico del agua (C_p)	$4,18 \times 10^3$ J/kgK
Coefficiente de pérdidas globales (U_L)	5,14 W/m ² K
Área del colector (A_c)	1,22 m ²
Distancia entre tubos (W)	0,100 m
Diámetro externo de las tuberías (D)	0,015 m
Diámetro interno de las tuberías (D_i)	0,014 m
Conductancia de la soldadura (C_b)	58,0 W/m ² K
Conductancia de la placa (K)	51,7 W/mK
Espesor de la placa (δ)	6×10^{-4} m
Coefficiente de película entre las tuberías y el agua (h_{fi})	300 W/m ² K
Transmitancia a través de las cubiertas (τ)	0,875
Absorción de radiación de la placa colectora (α)	0,890

Fuente: cálculos y mediciones propias, algunas son valores estándar.

Descripción de la configuración experimental. Instrumento virtual

Un colector solar es un intercambiador de calor tipo aleta finita, que captura energía útil de la radiación solar global G_i que incide sobre la placa colectora del sistema y que presenta un margen de

pérdidas de energía típico de un sistema no ideal. La medición y monitoreo de los parámetros a medir para determinar la eficiencia del colector solar son la irradiación solar global G_i , la temperatura a la entrada del fluido T_f y la temperatura ambiente T_a .

En la **figura 1**, se representa el diagrama de bloques general del montaje experimental, para la medida de la eficiencia instantánea del colector solar, en conjunto con el diagrama de bloques del instrumento virtual desarrollado.

La medición y monitoreo se realizan a partir de sistemas de adquisición de datos diseñados bajo el concepto de *instrumento virtual (IV)*, mediante el lenguaje de programación gráfica *LabVIEW*, que emplea como componentes *hardware*, módulos compact Field Point (cFP), computador, sensores y dispositivos. Tanto *LabVIEW*, como los

cFP son desarrollados por la firma National Instruments. Los cFP están compuestos por un módulo compact Field Point-2020 (cFP-2020), que es un controlador de procesos de automatización programable y módulos I/O, cFP AI 100 y cFP TC 120, estos últimos para medir diferentes variables (señales) provenientes de los sensores utilizados. Las comunicaciones entre el sistema cFP-2020 y el PC se efectúan a través de puerto Ethernet y la configuración de los diferentes dispositivos es llevada a cabo con el *software Measurement & Automation Explorer (MAX)*, desarrollado por National Instruments. Los datos capturados siguen la estructura, secuencia y procesamiento establecidos a partir de cada instrumento virtual diseñado abiertamente en LabVIEW. En su caso, el *subinstrumento virtual (subIV)* diseñado para la medida de la

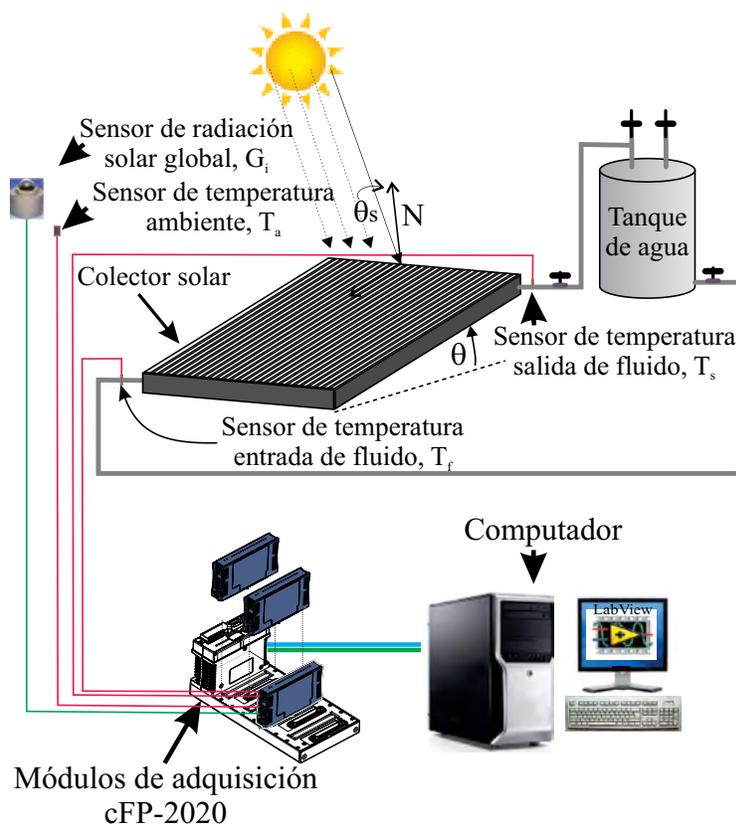


Figura 1. Diagrama de bloques del montaje experimental para la medida de la eficiencia instantánea de un colector solar e instrumento virtual

Fuente: elaboración propia.

radiación solar global G la cual incide sobre el colector, es adquirida a partir de un sensor de radiación global, que es un piranómetro tipo termopila de la firma Eppley ref. 8-48, Black & White nivelado horizontalmente, con sensibilidad de $10 \mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$ y tiempo de respuesta del orden de 4,2 segundos. En conjunto, el subIV tiene una resolución de $\pm 1,2 \text{ Wm}^{-2}$ y permite visualizar los resultados en una interfaz gráfica denominada panel frontal, como se muestra en las figuras 2 y 3.

En forma análoga, se desarrollaron subIV para las medidas de las temperaturas de entrada del fluido T_f y temperatura ambiente T_a y emplean como sensores de temperatura, en cada caso, un termistor NTC de $5,0 \text{ KOhm}$. Estos sensores poseen un rango de operación entre $233,16 \text{ K}$ a $573,16 \text{ K}$, con un error de $\pm 0,1 \text{ K}$ en un rango de $273,16 \text{ K}$ a $323,16 \text{ K}$. La resolución de todo el IV para la medida de temperatura en escala centígrada está dada por $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Cada 5 segundos el IV

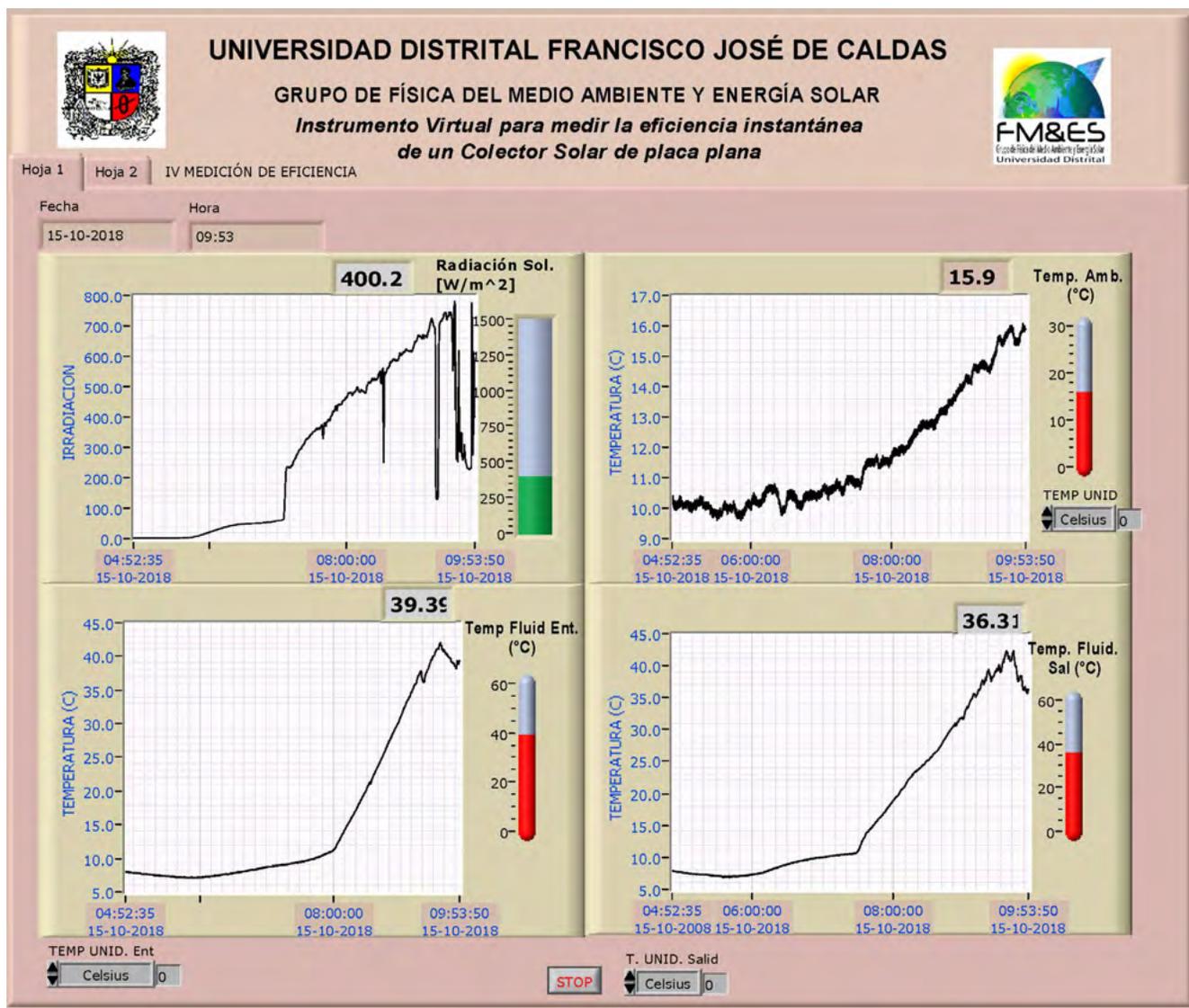


Figura 2. Panel frontal del IV que mide la eficiencia instantánea (hoja 1)

Fuente: elaboración propia a partir de LabVIEW.

realiza una adquisición de las señales de entrada en forma simultáneamente para cada parámetro a medir, el cual se transduce y transforma matemáticamente según el mecanismo o fenómeno físico que lo rige y genera el valor de la medida. El IV ejecuta 12 adquisiciones consecutivas y calcula el promedio, esto es el valor del promedio de la medida por minuto, luego lo exporta y guarda, en un archivo "dd-mm-AAA.xlsx" por día para generar la base de datos.

RESULTADOS

Uno de los resultados del arreglo experimental es el desarrollo del IV, el cual y a manera de ejemplo, la [figura 2](#), representa su panel frontal y que contiene dos hojas o páginas. La primera de ellas presenta luego de la ejecución de los procesos matemáticos necesarios dentro de la estructura y configuración que se realiza en el diagrama de conexiones del instrumento, los valores de las medidas de las variables de entrada al sistema, esto es,

la radiación solar global, la temperatura ambiente, la temperatura de entrada del fluido al colector y la temperatura de salida, tomando en cuenta la hora y día de registro de la medición.

En la hoja 2 del panel frontal, y simultáneamente al proceso de adquisición de las medidas de las variables de entrada visualizadas en la hoja 1, el instrumento virtual mediante la estructuración de los procesos matemáticos correspondientes ejecuta los cálculos y determina los valores de la temperatura reducida y la eficiencia instantánea cada 5 segundos, obteniendo igualmente con las doce adquisiciones, los promedios minuto de estos dos parámetros y se presentan sus valores, como se muestra en la [figura 3](#) a manera de ejemplo la imagen de la hoja 2 del panel frontal del IV.

En esta página se revela la evolución de la eficiencia instantánea en función de la hora del día (del tiempo). Estas observaciones son necesarias para hacer seguimiento del desempeño y comportamiento del colector durante las horas de sol (desde las 6:00 hasta las 18:00). A partir de allí el IV

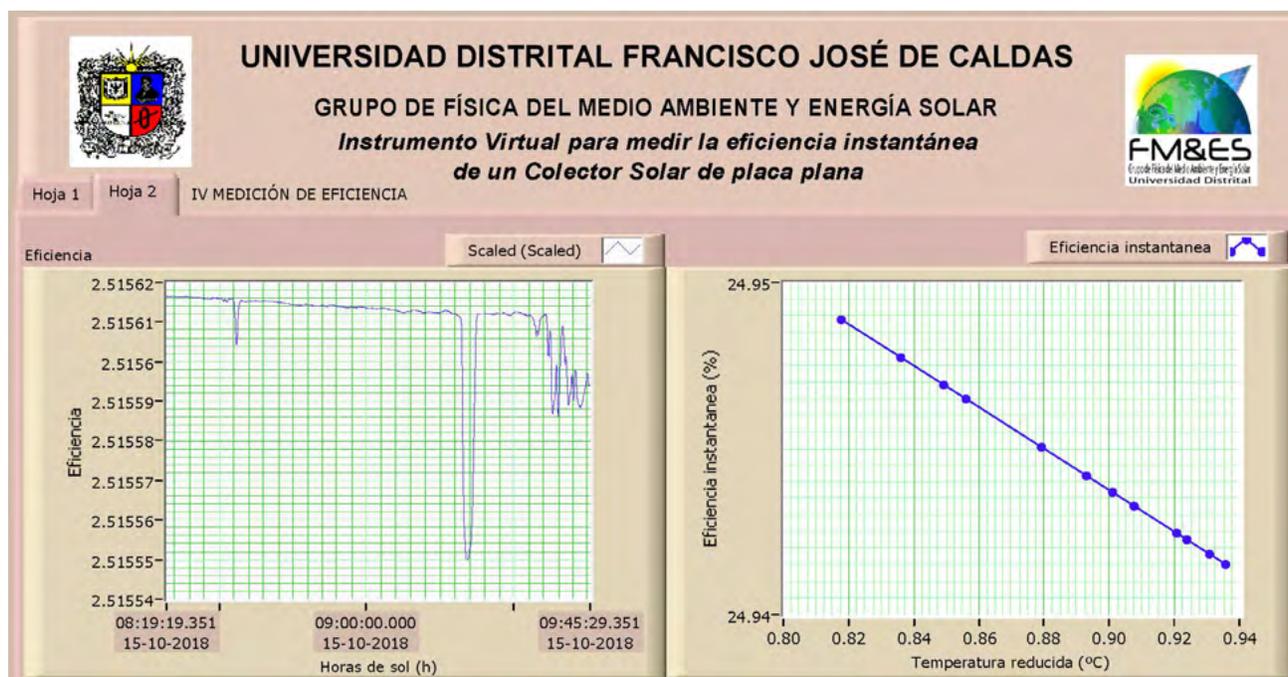


Figura 3. Panel frontal del IV que mide la eficiencia instantánea (hoja 2)

Fuente: elaboración propia a partir de *LabVIEW*.

arroja los valores estadísticos de las eficiencias mínima, máxima y media, e igualmente los valores correspondientes de la temperatura reducida del sistema. Los datos anteriores son salvados en bases de datos para la eficiencia y la temperatura reducida, ambas en función de la hora del día, con el fin de llevar a cabo el análisis del comportamiento del colector.

De otra parte, el diagrama de conexiones del IV en el que se estructuran cada una de sus funciones y cuyos resultados se visualizan en el panel frontal, se presenta en la figura 4. Cada ícono en particular representa y desempeña operaciones, funciones o tareas específicas, ligadas a través de líneas que a su vez representan el flujo de información y procesamiento de las señales (datos) y que de acuerdo con la secuencia fluyen de izquierda a derecha en dicho diagrama.

Con ayuda del IV desarrollado se obtiene la eficiencia de aleta del colector solar de placa plana, permitiendo a su vez calcular la eficiencia instantánea (η) del dispositivo, su desempeño en el tiempo y las curvas características: eficiencia contra temperatura reducida, eficiencia contra radiación incidente y eficiencia contra hora del día.

Análisis de resultados

Para establecer un panorama general del comportamiento de la eficiencia del colector solar y verificar el desempeño del IV desarrollado para determinarla, se han establecido tres rangos de G_i , siguiendo los criterios para las características del día, conforme a otras investigaciones del grupo FMAES (Forero, Caicedo y Gordillo, 2007):

- Días nublados:

$$0 < \bar{G}_i \leq 200 \text{ W/m}^2.$$

- Días parcialmente nublados:

$$200 \text{ W/m}^2 < \bar{G}_i \leq 400 \text{ W/m}^2.$$

- Días claros:

$$400 \text{ W/m}^2 < \bar{G}_i.$$

En la tabla 2, se presentan los resultados de los promedios para tres días característicos tomados al azar y siguiendo los criterios señalados anteriormente y a manera de ejemplo, de la irradiación promedio diaria \bar{G}_i , la eficiencia instantánea promedio \bar{H}_i y la temperatura máxima del agua a la salida del colector $T_{s-\text{máx}}$.

Las figuras 5, 6 y 7 representan el comportamiento y seguimiento de las medidas de radiación solar global (izquierda), temperatura ambiente y de temperatura de entrada del fluido (derecha), y desempeño del colector de placa plana, tipo aleta, conforme al montaje experimental desarrollado, para cada día característico establecido a partir de los criterios señalados en la tabla 2.

Al observar los resultados representados en las figuras 5, 6 y 7 se evidencia el seguimiento que hace la temperatura de entrada del fluido T_f (en color verde), al comportamiento de la radiación solar global G_i , con máximos coincidentes en el tiempo para ambas curvas entre las 12:00 y 13:30 horas, particularmente. La temperatura del fluido crece con rapidez y casi a la misma tasa en que la irradiación se incrementa, por tanto, cualquier cambio de la magnitud de la radiación genera cambios significativos en la temperatura del

Tabla 2. Días característicos, irradiación y eficiencia instantánea promedio y temperatura máxima del agua $T_{s-\text{máx}}$

Día característico	\bar{G}_i (Wm ⁻²)	$T_{\text{máx}}$ (°C)	\bar{H}_i (%)
Nublado	188,1	41,2	55,7
Parcialmente nublado	370,0	65,6	48,3
Claro	429,2	75,0	55,6

Fuente: elaboración propia.

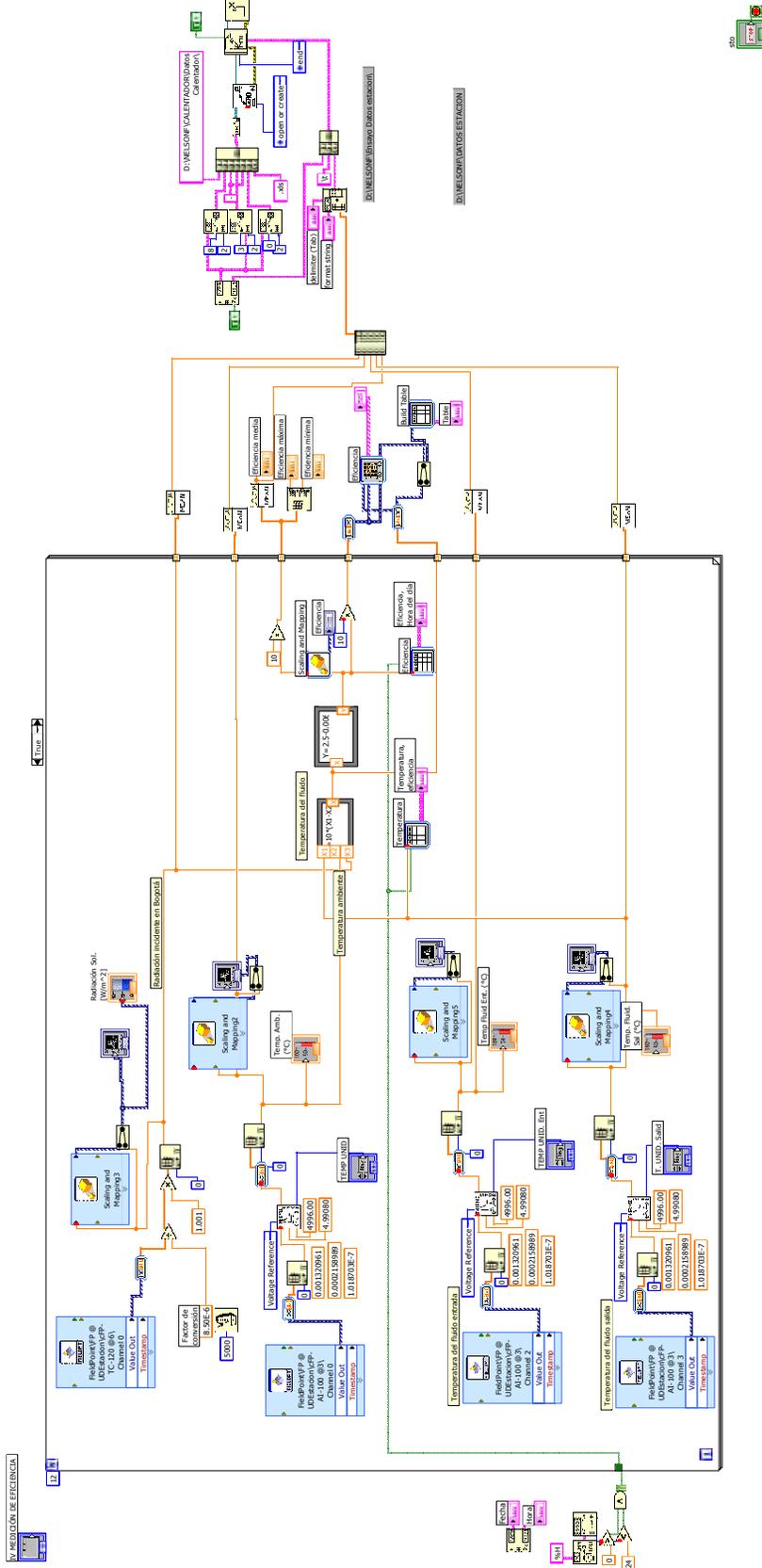
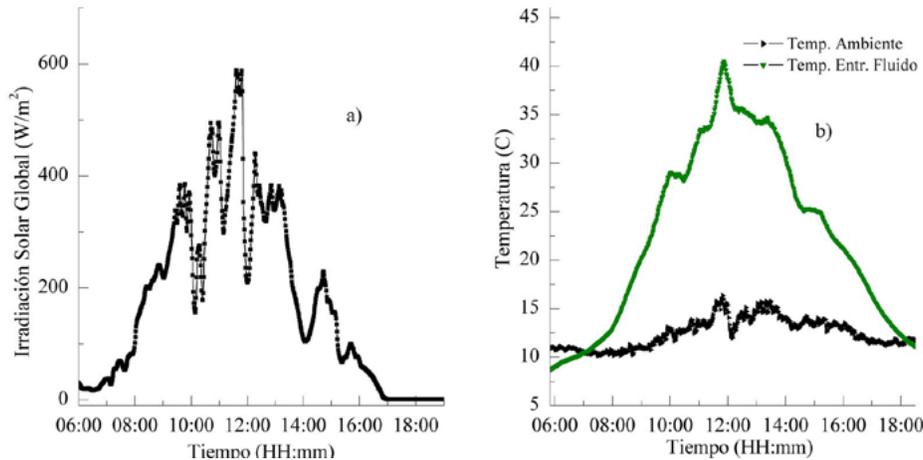


Figura 4. Diagrama de bloques del IV para la medición de eficiencia instantánea del colector solar de placa plana
 Fuente: Elaboración propia a partir de *LabVIEW*.

fluido T_f , demostrando que esta última caracteriza a su vez, el comportamiento de la radiación solar (o viceversa). En contraste, es menos significativo el seguimiento de la temperatura ambiente T_a , a los cambios de la radiación solar y, por tal razón, la dependencia que puede tener la temperatura del fluido T_f de la temperatura ambiente T_a , es baja,

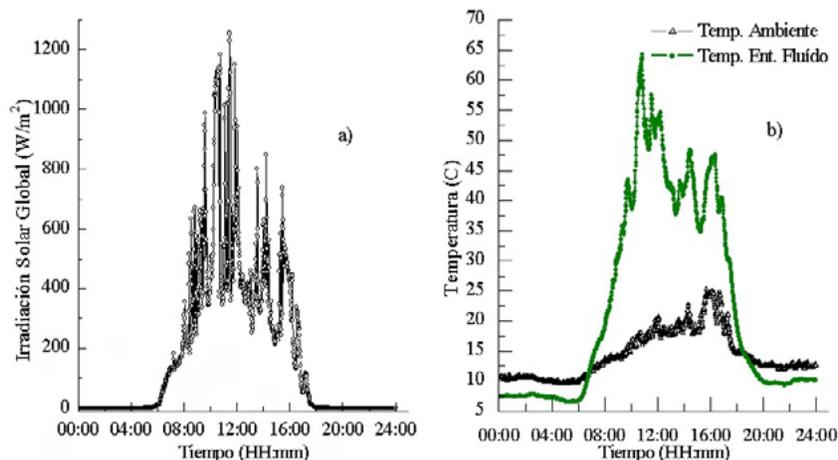
a pesar de que ambas alcanzan su máximo valor por lo general en la misma franja horaria. Un argumento al respecto de este comportamiento es que la temperatura ambiente, en aproximación, es constante bajo el mismo régimen de radiación solar. Nótese que, por ejemplo, para el día parcialmente nublado, el punto máximo de temperatura del



Se presenta en a) radiación solar global G_i y en b) temperatura ambiente T_a y temperatura entrada del fluido T_s .

Figura 5. Medidas a partir del IV desarrollado de las variables de entrada para determinar la eficiencia de un colector solar de placa plana tipo aleta, para un día caracterizado como nublado

Fuente: elaboración propia.



Se muestra en a) radiación solar global G_i y b) temperatura ambiente T_a y temperatura entrada del fluido T_f .

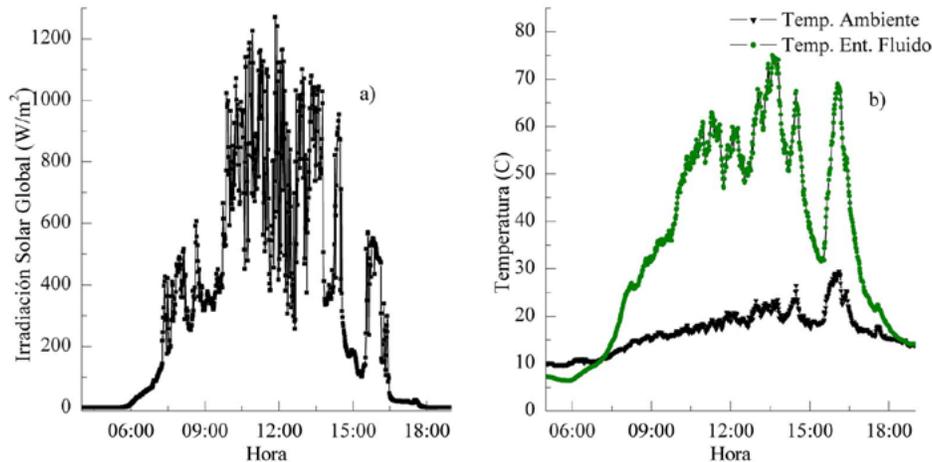
Figura 6. Medidas de variables de entrada para determinar la eficiencia de un colector solar de placa plana, durante un día caracterizado como parcialmente nublado

Fuente: elaboración propia.

fluido se obtiene cerca de las 11:00 horas, cuando la temperatura ambiente T_a , aún y con antelación de varias horas, no alcanza su máximo. Con esto se ratifica que el calentamiento del fluido se debe, en mayor proporción a la radiación solar que incide.

Para complementar el análisis sobre los resultados descritos anteriormente en torno al comportamiento

térmico del fluido, frente a la incidencia de radiación solar global en el colector, es necesario determinar la eficiencia de este, y analizar su comportamiento frente a la incidencia de radiación solar. Las figuras 8, 9 y 10 muestran los resultados de las medidas de la eficiencia del colector en función de la radiación solar global (izquierda) y de la eficiencia en función



a) Radiación solar global G_i y b) temperatura ambiente T_a y temperatura entrada del fluido T_f .

Figura 7. Medidas de las variables de entrada para determinar la eficiencia de un colector solar de placa plana, durante un día caracterizado como claro

Fuente: elaboración propia.

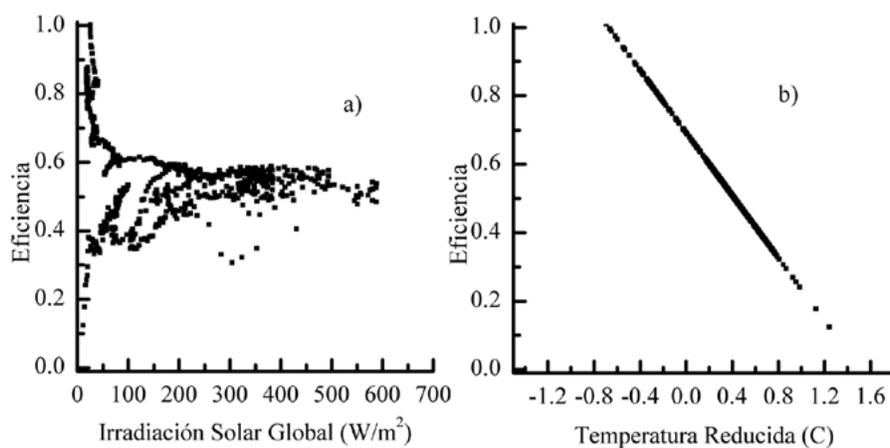


Figura 8. Eficiencia del colector solar correlacionada en función de a) irradiación solar global G_i y b) temperatura ambiente para un día caracterizado nublado

Fuente: elaboración propia.

de la temperatura reducida del sistema T_R (derecha), para los mismos días característicos, citados en el apartado anterior.

Es de notar, para estos días caracterizados como nublados y parcialmente nublados, que el resultado de correlacionar la eficiencia η del colector con la temperatura reducida del sistema T_R , da positiva, en contraste con los resultados para días de alta radiación, esto es claros, en los que se obtienen valores negativos, como muestra la [figura 10](#).

Se observa que, cuando la radiación es baja, en particular en las primeras horas de sol en la mañana, se obtienen valores elevados de eficiencia η . Este comportamiento se explica, al considerar que, en dichas franjas horarias, la temperatura del fluido es baja, por lo que el régimen de transferencia de energía radiante a través del sistema al fluido es mayor, incrementando rápidamente la temperatura de este.

Al aumentar la intensidad de radiación solar que incide en el colector, la eficiencia tiende a

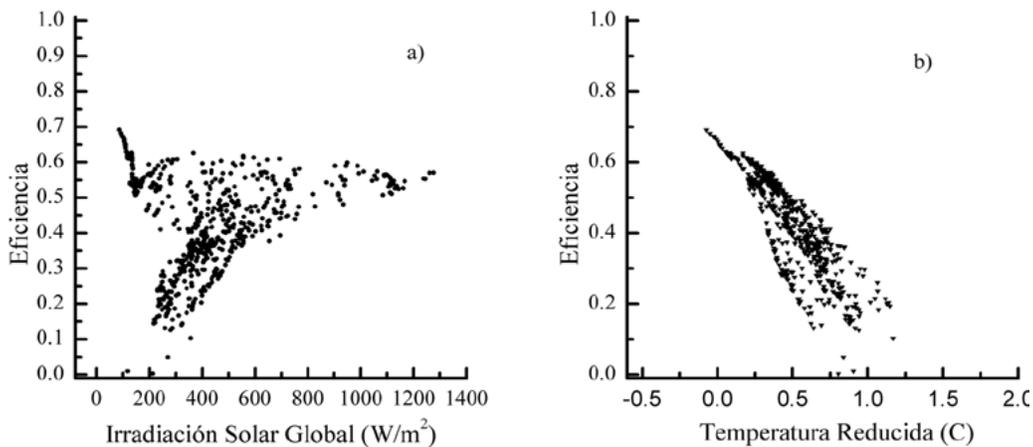


Figura 9. Eficiencia del colector solar de placa plana en correlación con: a) irradiación solar global G_i y b) temperatura reducida, para un día caracterizado como parcialmente nublado

Fuente: elaboración propia.

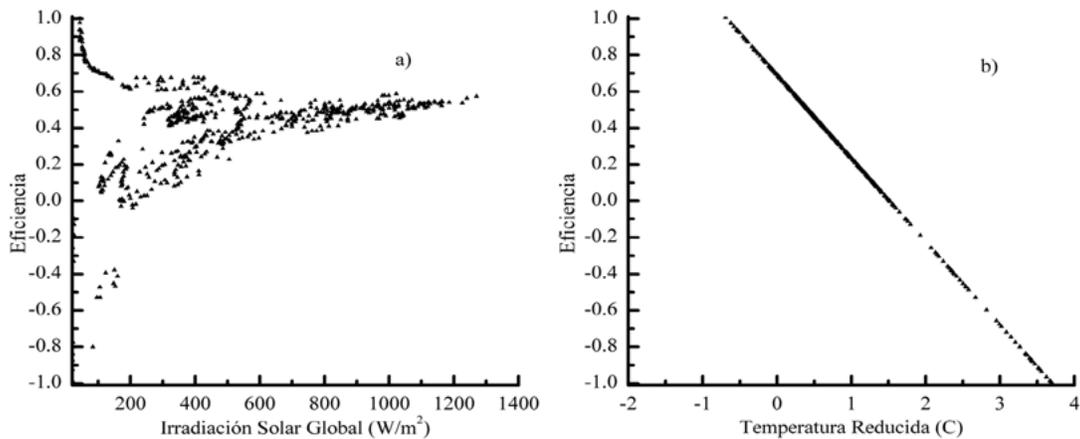


Figura 10. Eficiencia del colector solar de placa plana en correlación con: a) irradiación solar global y b) temperatura reducida, para un día caracterizado como claro

Fuente: elaboración propia.

mantenerse en una banda de valor constante, salvo por picos mínimos en el día nublado y en el día claro atribuidos a procesos de transferencia de energía en sentido contrario, esto es, en el que la energía se transfiere del fluido a la placa del colector. La banda ancha que se presenta en la correlación de la eficiencia η en función de la radiación solar global G_i para el día parcialmente nublado, se atribuye a las abundantes fluctuaciones de la radiación solar sobre el dispositivo, causadas por la presencia intermitente de nubes. Puede observarse que esos picos en sentido negativo son pocos en comparación con la franja de eficiencia promedio del sistema, esto significa que el régimen de trabajo del dispositivo permanece relativamente constante, de tal forma que el fluido siempre incrementa su temperatura hasta estabilizarse, a pesar de ser un día nublado o de baja radiación solar. Se evidencia que la eficiencia del dispositivo es mayor cuando la radiación solar permanece estable, situación que en particular se presenta en días totalmente nublados, o en su defecto, días totalmente claros.

Los resultados del comportamiento de la correlación de la eficiencia η en función de la temperatura reducida T_R , satisface lo reportado en la literatura, en cuanto a la tendencia lineal

con pendiente negativa (Saedodin et al., 2017). Es notable que existan instantes en los que la eficiencia instantánea es mayor al promedio (esto es, por encima del 60 %). No significa la inexistencia de pérdidas de energía, sino que el dispositivo transfiere energía en forma óptima al sistema, como consecuencia de la estabilidad de las condiciones climáticas. La pendiente negativa de la recta muestra que la eficiencia instantánea decae mientras la temperatura reducida aumenta, situación que se da cuando la temperatura del fluido es mayor a la del sistema colector, lo que significa que el fluido transfiere (cede) más energía al sistema de la que absorbe de él.

Otra forma de estudiar la eficiencia del colector es evidenciar su comportamiento en función de la hora del día, conforme al comportamiento de la radiación solar y de las condiciones de temperatura ambiente. La figura 11 muestra las curvas de eficiencia η en función de la hora del día, para un día caracterizado como nublado.

Se observa el comportamiento de la eficiencia sobre las 6:00 horas con valores altos, cercanos al 80 %, mientras que disminuye a medida que transcurre el día y se hace mínima, pasadas las 16:00 horas. Análogamente, en la figura 12, se presenta la curva de eficiencia η en función de

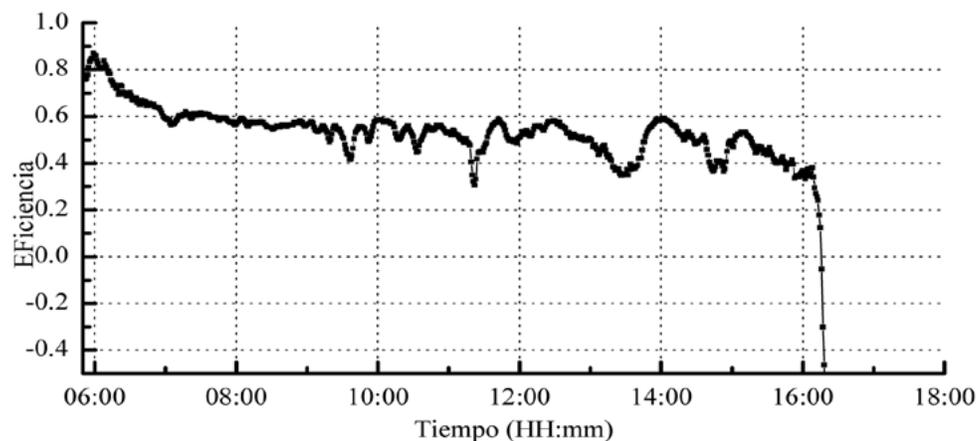


Figura 11. Comportamiento de la eficiencia η del colector solar de placa plana tipo aleta con respecto al tiempo, para un día caracterizado como nublado

Fuente: elaboración propia.

la hora del día, para un día caracterizado como parcialmente nublado.

Para días caracterizados como parcialmente nublados, como el mostrado en la [figura 12](#), sobre las primeras horas del día, es del orden del 60 %, disminuyendo a lo largo del día y haciéndose mínima sobre las 15:00 horas. De igual forma, para el día caracterizado como claro, con alta incidencia de radiación, la eficiencia η en las primeras horas del día es superior al 90 %, como muestra la [figura 13](#).

Todos estos resultados, presentados en las [figuras 11, 12 y 13](#), revelan que en las primeras horas de irradiación (entre las 6:00 y 8:00 horas) se obtienen los valores más elevados de eficiencia, con promedio del orden del 51 %, lo que se interpreta como el tiempo en el que el fluido (que se encuentra a la más baja temperatura del ciclo, cercana a los 5 °C como se puede evidenciar en las [figuras 5, 6 y 7](#)), recibe por transferencia de energía de la placa del colector, la mayor cantidad de energía captada de radiación solar, con la

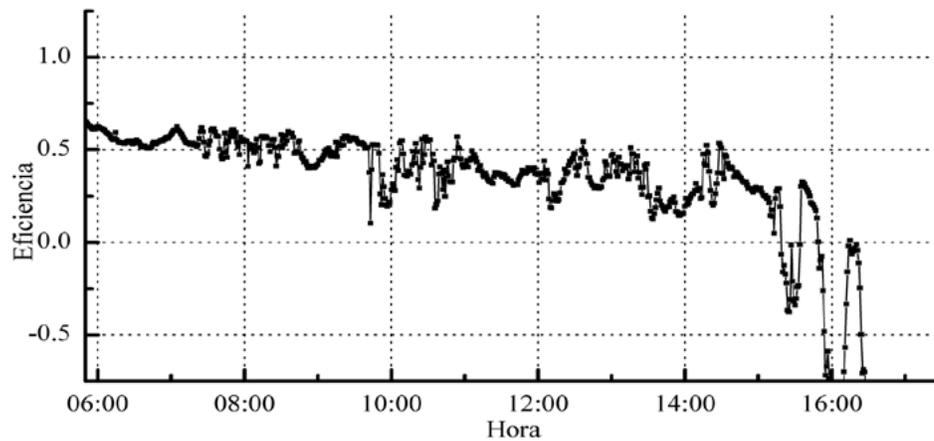


Figura 12. Comportamiento de la eficiencia η para el día caracterizado como parcialmente nublado

Fuente: elaboración propia.

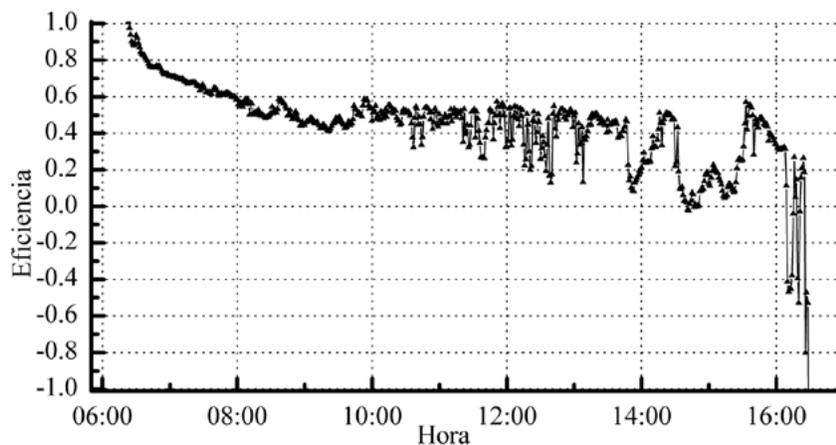


Figura 13. Comportamiento de la eficiencia η para el día caracterizado como claro

Fuente: elaboración propia.

que incrementa su temperatura. Es notable que, posterior a esta franja de tiempo, la eficiencia se mantiene prácticamente constante durante un amplio intervalo de horas, con un promedio cercano al 32 %, aunque la temperatura del fluido mantiene una tasa de incremento hasta horas del mediodía en todos los casos, tiempo en que se alcanzan las más altas temperaturas del fluido y en el que su promedio es de 36,1 °C. Luego de las horas del mediodía, la eficiencia en promedio se reduce al orden del 26 %, hasta llegar sobre las 16:00 horas, en el que se destaca el hecho de que la eficiencia se reduce drásticamente, inclusive obteniendo valores negativos, ya que el fluido comienza el proceso de enfriamiento, como consecuencia de la reducción en la intensidad de la radiación solar.

La [figura 14](#) muestra el promedio diario de eficiencia del colector solar para un periodo de 15 días consecutivos, en los que se obtiene una eficiencia promedio del 36,6 %.

Análogamente a los procesos descritos, se obtienen perfiles diarios de radiación solar global, temperatura ambiente, y las correlaciones correspondientes de eficiencia respecto a las temperaturas de entrada y salida del fluido, temperatura reducida del sistema cada día.

CONCLUSIONES

Un logro fundamental de este trabajo es el diseño y construcción de un instrumento virtual como arreglo experimental, para el monitoreo del desempeño de colectores solares de placa plana, a partir de sistemas de adquisición de datos de radiación solar global, temperatura ambiente, la temperatura de entrada y salida del fluido, en tiempo real, con el que se determina la temperatura reducida del sistema y la eficiencia instantánea.

Se ha hecho seguimiento del desempeño para días caracterizados en tres intervalos, de baja, media y alta radiación solar global, obteniéndose un promedio diario del 36,6 %, para los días analizados. Adicionalmente, se observa que el desempeño del dispositivo es óptimo, para días en los que el comportamiento climático, es estable, esto es, días nublados o claros, pero como era de esperarse, obteniéndose las más altas temperaturas del fluido, en días claros, inclusive superiores a 60 °C.

Para días claros, el aumento de radiación solar genera incremento de la eficiencia instantánea del colector solar, dado que, bajo estas condiciones, la temperatura reducida del sistema T_R disminuye tendiendo a cero. De esta forma se determina la eficiencia óptica del sistema que como resultado

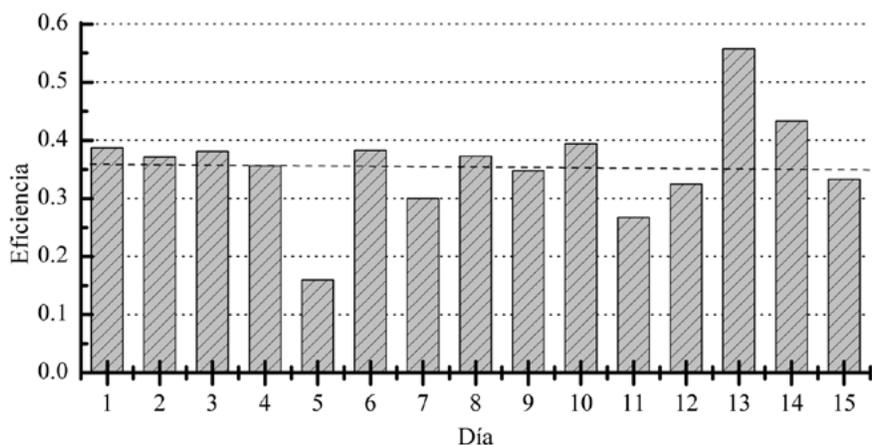


Figura 14. Promedios diarios de eficiencia de un colector solar de placa plana

Fuente: elaboración propia.

se obtiene del 69,2 %, parámetro de referencia de la eficiencia del colector solar de placa plana.

FINANCIAMIENTO

El Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá Colombia) financió el proyecto de investigación “Desarrollo y prueba de prototipo de estación de medición de señales que dan información de variables ambientales”, a partir del cual se adquirió el *software LabVIEW*, los módulos Compact FieldPoint y el sensor de radiación solar, con los que se desarrollaron originalmente los sistemas de adquisición de datos.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Igualmente, al ingeniero Fabio L. Roa, encargado del taller de mecánica fina de la Facultad de Ciencias y Educación, por el diseño del montaje experimental.

REFERENCIAS

- Álvarez, A., Cabeza, O., Muñoz, M. y Valera, L. M. (2010). Experimental and numerical investigation of a flat-plate solar collector. *Energy*, 35(9), 3707-3716. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.05.016>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) (2003). *Methods of testing to determine the thermal performance of solar collectors (ASHRAE Standard)*. Atlanta.
- Ayompe, L. y Duffy, A. (2013). Analysis of the thermal performance of a solar water heating system with flat plate collectors in a temperate climate. *Applied Thermal Engineering*, (58), 447-454. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.04.062>
- Devrim, A., Zafer, U. y Olcay, K. (2015). Thermal performance analysis of a solar energy sourced latent. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1213-1225. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.195>
- Duffie, J. y Beckman, W. (2013). *Solar engineering of thermal processes*. 4a. ed. Nueva Jersey, EE. UU.: John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781118671603>
- Esen, M. y Esen, H. (2005). Experimental investigation of a two-phase closed thermosyphon solar water heater. *Solar Energy*, 79, 459-468. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2005.01.001>
- Forero, N., Caicedo, L. M. y Gordillo, G. (2007). Correlation of global solar radiation values estimated and measured on an inclined surface for clear days in Bogotá. *Renewable Energy*, 32, 2590-2602. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.12.012>
- Liqun, Z., Yiping, W. y Qunwu, H. (2019). Parametric analysis on the performance of flat plate collector with transparent insulation material. *Energy*, 174, 534-542. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.168>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (18 de noviembre de 2019). *Impacto del cambio climático en Colombia*. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/457-plantilla-cambio-climatico-13>
- Saedodin, S., Zamzaman, S. A. H., Nimvari, M. E., Wongwises, S. y Jouybari, H. J. (2017). Performance evaluation of a flat-plate solar collector filled with porous metal foam: Experimental and numerical analysis. *Energy Conversion and Management*, 153, 278-287. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.09.072>
- Vestlund, J., Dalenba, J.-O. y Ronnelid, M. (2012). Thermal and mechanical performance of sealed, gas-filled, flat plate solar collectors. *Solar Energy*, 86, 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.08.023>





UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Revista *TECNURA*
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica

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

1. 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>

2. 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.

Artículos de reflexión: documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico y recurriendo a fuentes originales.

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.

3. FORMATO DEL ARTÍCULO

3.1 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.

3.2 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.

3.3 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.

3.4 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.xxxxxxxx
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 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

4. 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.

4.1 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.

4.2 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.

4.3 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.

5. 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.

6. 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.

6. 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>



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Tecnura journal District francisco José de caldas university Faculty of technology

CONTENT

- **Scope and editorial policy of the journal**
- **Type of accepted articles**
- **Article format**
- **Article submission**
- **Publication procedure**
- **Article arbitration**
- **Contact**

SCOPE AND EDITORIAL POLICY OF THE JOURNAL

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.xxxxxxx

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 ARBITRATION 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>