

Presentación

Presentation

Editorial

Aproximaciones al futuro de la robótica en Colombia

Approaches to the future of robotics in Colombia

PhD Julio Cesar Correa Rodriguez

Artículos de Investigación Científica y Tecnológica

Bloques de concreto con emulsión de parafina

Concrete blocks with paraffin wax

PhD Cesar Echavarría, MSc Hemán Darío Cañola

Efecto del cultivo de palma de aceite sobre las propiedades físicas del suelo y su relación con la producción y la pudrición de cogollo

Effect of the oil palm plantations on the physical properties of the soil and his relation with the production and the bud rot disease

MSc Geiber Norberto Gutiérrez Palacio

Ecobloque Estructural para Vivienda de Interés Rural: Un Aporte Para las Comunidades en el Alto Magdalena, Colombia

Structural Eco-block for Rural Housing: A Contribution for Communities in the hi Magdalena, Colombia

Ancizar Barragán Alturo, Karen Alexandra Figueroa González, Nixon Guillermo Duran Slachoque, María Ximena Robayo Novoa

Prototipo de Bicicleta para Transporte Urbano Individual Sostenible

Bike Prototype for Sustainable Individual Urban Transportation

PhD Gabriel Jaime Correa Henao, MSc Álvaro Andrés Ramírez Piñeros

Análisis de componentes principales para caracterización estructural de pymes manufactureras de Cartagena de Indias, Colombia

Analysis of main components for structural characterization of manufacturing SMES of Cartagena de Indias, Colombia

Elias Alberto Bedoya Marrugo, Luz Elena Elena Vargas Ortiz, Hannia Karime González Urango, Carlos Alberto Severiche Sierra

Artículos de Revisión y Estado del Arte

Innovación imitativa: Un acercamiento desde múltiples perspectivas

Imitative innovation: An approach from multiple perspectives

PhD Miguel David Rojas López, Manuela Pérez Rodriguez

Construcción de un repositorio de activos de software para el desarrollo ágil de aplicaciones aplicando un método para el reuso

Construction of a repository of assets agile development software for applying a method of applications for reuse

MSc Javier Darío Fernández Ledesma, Yeimar Alonso Castro, MSc Eder Acevedo Marin, Julián Alberto Rivera

Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica

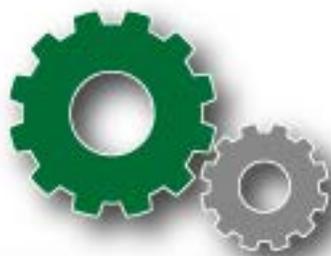
Application of organic amendments for the recovery of physical properties of the soil associated to water erosion

MSc Diana María Delgado Londoño

Pruebas de seguridad: Estudio de herramientas

Testing security: Studies tools

PhD Vianca Vega, MSc Yahima Hadfeg



UNIVERSIDAD
CATÓLICA

Facultad de
Ingenierías



©Universidad Católica Luis Amigó

Lámpsakos

N°. 17, enero-junio de 2017

ISSN (En línea): 2145-4086

Rector

Pbro. José Wilmar Sánchez Duque

Vicerrectora de Investigaciones

Isabel Cristina Puerta Lopera

Director de la facultad de Ingeniería y Arquitectura

Ramiro Antonio Giraldo Escobar

Coordinadores de Programas

Ingeniería de Sistemas

Ramiro Antonio Giraldo Escobar

Ingeniería Civil

Daniel Rojas Rodríguez

Ingeniería Industrial

Lucy Ocampo

Arquitectura

Amilkar David Álvarez Cuadrado

Jefe Departamento de Fondo Editorial

Carolina Orrego Moscoso

Diagramación y diseño

Arbey David Zuluaga Yarce

Corrector de estilo

Jorge Andrés Cock Ramírez

Traductor

Jorge Andrés Cock Ramírez

Contacto editorial

Universidad Católica Luis Amigó.

Cra 67A #51 14, Of.205. Medellín, Antioquia, Colombia.

Tel: (574) 460 71 04 (Departamento de Fondo Editorial).

www.funlam.edu.co-fondoeditorial@funlam.edu.co

Órgano de divulgación de la Facultad de Ingenierías y Arquitectura de la Universidad Católica Luis Amigó.

Hecho en Colombia / Made in Colombia.

Financiación realizada por la Universidad Católica Luis Amigó.

DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/issn.2145-4086>



La revista y los textos individuales que en esta se divulgan están protegidos por las leyes de copyright y por los términos y condiciones de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden encontrarse en <http://www.funlam.edu.co/modules/fondoeditorial/>

Derechos de autor. El autor o autores pueden tener derechos adicionales en sus artículos según lo establecido en la cesión por ellos firmada.

LÁMPSAKOS

Director de la revista

Jorge Andrés Cock Ramírez, MSc.
Universidad Católica Luis Amigó, Medellín, Colombia

Comité Científico

Marcelo Becker, Ph.D
Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, Brasil
José María Yusta-Loyo, Ph.D
Universidad de Zaragoza (Unizar), España
Gustavo Alejandro Schweickardt, Ph.D
Universidad Tecnológica Nacional, Concepción del Uruguay, Argentina
Bizuyayehu Abebe-Worke, Ph.D
Universidade da Beira, Covilhã, Portugal
Aldo Pardo-García, Ph.D.
Universidad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia
Marta Silvia Tabares-Betancur, Ph.D
Universidad EAFIT, Medellín, Colombia
Yuri Ulianov-López, Ph.D
Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia
Andrés Felipe Agudelo-Santamaría, Ph.D
Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Comité Editorial

Rubén Ángel Galindo-Aires, Ph.D
Universidad Politécnica de Madrid (UPM), España
Giner Alor-Hernández, Ph.D
Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México
Óscar Sapena-Vercher, Ph.D
Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España
Amit Chaudhry, Ph.D
Institute of Engineering and Technology, Panjab University, Chandigarh, India
Luis Fernando Garcés-Giraldo, Ph.D
Corporación Universitaria Lasallista, Caldas (Ant), Colombia
Nazly E. Sánchez-Peña, Ph.D
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayán, Colombia
Nourou Khalidou Dia, Ph.D
Université des Sciences, Technologies et de Médecin, Nouakchott, Mauritania
Henry Alonso-Colorado, Ph.D
Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia
Julián Alberto Patiño-Murillo, Ph.D(c)
Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia

Comité de Árbitros de la Edición

Marcela Bernal-Palacio, MSc
Fundación Universitaria Agraria de Colombia, Bogotá, Colombia
María Isabel Domínguez-rave, Ph.D(c)
Universidad Católica de Oriente, Rionegro, Colombia
Yamile Valencia-González, Ph.D
Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia
Alveiro Alonso Rosado-Gómez, MSc,
Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña, Norte de Santander, Colombia
Marisol Osorio-Beltrán, MSc
Sena, Itagúí, Colombia
Diego Zuluaga-Vidal, MSc
Innovación y Competitividad S.A.S., Bogotá, Colombia
Adriana Sánchez-González, MSc
Corporación Universitaria Minuto de Dios, Medellín, Colombia
Carlos Palacio-Gómez, Ph.D
Universidad Antonio Nariño, Tunja, Colombia
Catalina Álvarez-López, Ph.D
Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia
José Luis Tristanchó-Reyes, Ph.D
Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia
Orlando Emilio Acevedo-Sarmiento, Ph.D
Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia
Diana Marcela Escobar-Sierra, Ph.D
Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia
Alejandro Posada, Ph.D
Institución Universitaria Pascual Bravo, Medellín, Colombia
Jorge Velásquez-Cock, Ph.D
Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia
Victor Daniel Gil-Vera, MSc
Universidad Católica Luis Amigó, Medellín, Colombia
Francisco Javier Arias-Vargas, MSc
Corporación Universitaria Lasallista, Caldas, Colombia
Romel Gallardo Amaya, MSc
Francisco de Paula Santander
Edwan Ariza Echeverry, Ph.D
Universidad Técnica de Pereira
Jaime Andrés Pérez Taborda, Ph.D
Universidad de los Andes
Alfredo Montaña Bello, MSc
Universidad Tadeo Lozano
Gloria Vélez Saldarriaga, Ph.D
Universidad de los Andes

Presentación de la revista

La revista Lámpsakos es una publicación adscrita a la Facultad de Ingenierías y Arquitectura de la Universidad Católica Luis Amigó, Medellín, Colombia. Tiene por objetivo divulgar artículos originales e inéditos como resultados de investigación científica y tecnológica de las áreas de ingenierías. Fundada en 2009, la revista tiene una periodicidad semestral (se publica en junio y diciembre) con alcance nacional e internacional, tiene circulación en línea de libre acceso, bajo estándares de rigor científico y de calidad editorial.

Los temas tratados en la revista se dirigen a todas las personas de los espacios académicos, investigativos, científicos y profesionales de los diferentes sectores educativos, productivos y empresariales que desarrollan sus actividades en torno a la ingeniería.

Los trabajos que publica corresponden a aspectos de desarrollo científico, profesional y tecnológico en áreas como ingeniería informática, sistemas de información, ingeniería de requerimientos, ingeniería electrónica, ingeniería eléctrica, sistemas inteligentes, control, automatización y robótica, ciber-seguridad, ingeniería ambiental, gestión de recursos hidráulicos, gestión del agua, eficiencia energética, simulación de sistemas, investigación de operaciones, gestión del conocimiento en ingeniería, educación en ingeniería, gerencia de proyectos, control de procesos, química, desarrollo de materiales, termodinámica, mercados de la energía, física, nanotecnología, estrategias de mantenimiento industrial, modelos computacionales, urbanismo y paisajismo arquitectónico.

El proceso de publicación es gratuito y no tiene costo alguno para el autor.

Introduction to the Journal

Lámpsakos journal is a publication ascribed to the Faculty of Engineering and Architecture of the Luis Amigó Catholic University, in the city of Medellín, Colombia. It aims to divulge original and unpublished articles as a result of scientific and technological research in the areas of engineering. It is published twice a year (issued in June and December) with national and international coverage.

The journal is a free access online magazine, published under standards of scientific rigor and editorial quality.

Topics covered in the journal are addressed to all persons in academic, researching, scientific and professional areas from different educational and productive sectors and firms whose activities are performed on engineering.

The journal publishes papers of scientific, professional and technological fields such as: computer science, information systems, software requirements, electronics engineering, electrical engineering, intelligent systems, control, automation and robotics, cyber security, environmental engineering, water resources management, water management, energy efficiency, system simulation, operations research, engineering knowledge management, education, engineering, project management, process control, chemistry, materials development, thermodynamics, energy markets, physics, nanotechnology, industrial maintenance strategies, computational models, urbanism and architecture.

The publication process is free and do not demand any payment to the author.

Edición

Universidad Católica Luis Amigó.

Solicitud de canje

Biblioteca Vicente Serer Vicens. Universidad Católica Luis Amigó. Medellín, Antioquia, Colombia.

Para sus contribuciones

lampsakos@amigo.edu.co

<http://www.funlam.edu.co/lampsakos>

Facultad de Ingenierías y Arquitectura.

Universidad Católica Luis Amigó.

Cra 67A #51 14, Of.205.

Medellín, Antioquia, Colombia.

Los autores son moral y legalmente responsables del contenido de sus artículos, así como del respeto a los derechos de autor. Por tanto, estos no comprometen en ningún sentido a la Universidad Católica Luis Amigó.

La reproducción de los artículos se regirá conforme a lo descrito en Creative Commons Colombia.

<http://co.creativecommons.org>

CONTENIDO

Presentación	6
Editorial	
Aproximaciones al futuro de la robótica en Colombia	9
<i>Julio Cesar Correa-Rodríguez</i>	
Artículos de Investigación Científica y Tecnológica	13
Bloques de concreto con emulsión de parafina	14
<i>Cesar Echavarría, Hernán Darío Cañola</i>	
Efecto del cultivo de palma de aceite sobre las propiedades físicas del suelo y su relación con la producción y la pudrición de cogollo	20
<i>Gelber Norberto Gutiérrez-Palacio</i>	
Ecobloque Estructural para Vivienda de Interés Rural: Un Aporte Para las Comunidades en el Alto Magdalena, Colombia.....	29
<i>Ancizar Barragán-Alturo, Karen Alexandra Figueroa-González, Nixon Guillermo Duran-Siachoque, María Ximena Robayo-Novoa</i>	
Prototipo de Bicicleta para Transporte Urbano Individual Sostenible.....	40
<i>Gabriel Jaime Correa-Henao, Álvaro Andrés Ramírez-Piñeros</i>	
Análisis de componentes principales para caracterización estructural de pymes manufactureras de Cartagena de Indias, Colombia.....	52
<i>Elias Alberto Bedoya-Marrugo Luz Elena Vargas-Ortiz Hannia Karime González-Urango Carlos Alberto Severiche-Sierra</i>	
Artículos de Revisión y Estado del Arte	59
Innovación imitativa: Un acercamiento desde múltiples perspectivas	60
<i>Miguel David Rojas-López Manuela Pérez-Rodríguez</i>	
Construcción de un repositorio de activos de software para el desarrollo ágil de aplicaciones aplicando un método para el reuso	69
<i>Javier Darío Fernández-Ledesma, Yeimar Alonso Castro, Eder Acevedo-Marín, Julián Alberto Rivera</i>	
Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica.....	77
<i>Diana María Delgado-Londoño</i>	
Pruebas de seguridad: Estudio de herramientas.....	84
<i>Vianca Vega, Yahima Hadfeg</i>	
Guía para los autores	92

CONTENTS

Presentation	7
Editorial	
Approaches to the future of robotics in Colombia	9
<i>Julio Cesar Correa-Rodríguez</i>	
Artículos de Investigación Científica y Tecnológica	13
Concrete blocks with paraffin wax.....	14
<i>Cesar Echavarría, Hernán Darío Cañola</i>	
Effect of the oil palm plantations on the physical properties of the soil and his relation with the production and the bud rot disease	20
<i>Gelber Norberto Gutiérrez-Palacio</i>	
Structural Eco-block for Rural Housing: A Contribution for Communities in the hi Magdalena, Colombia.....	29
<i>Ancizar Barragán-Alturo, Karen Alexandra Figueroa-González, Nixon Guillermo Duran-Siachoque, María Ximena Robayo-Novoa</i>	
Bike Prototype for Sustainable Individual Urban Transportation.....	40
<i>Gabriel Jaime Correa-Henao, Álvaro Andrés Ramírez-Piñeros</i>	
Analysis of main components for structural characterization of manufacturing SMES of Cartagena de Indias, Colombia.....	52
<i>Elias Alberto Bedoya-Marrugo Luz Elena Elena Vargas-Ortiz Hannia Karime González-Urango Carlos Alberto Severiche-Sierra</i>	
Artículos de Revisión y Estado del Arte	59
Imitative innovation: An approach from multiple perspectives.....	60
<i>Miguel David Rojas-López Manuela Pérez-Rodríguez</i>	
Construction of a repository of assets agile development software for applying a method of applications for reuse.....	69
<i>Javier Darío Fernández-Ledesma, Yeimar Alonso Castro, Eder Acevedo-Marín, Julián Alberto Rivera</i>	
Application of organic amendments for the recovery of physical properties of the soil associated to water erosion.....	77
<i>Diana María Delgado-Londoño</i>	
Testing security: Studies tools.....	84
<i>Vianca Vega, Yahima Hadfeg</i>	
Guide for authors	96

Presentación

Para la Universidad Católica Luis Amigó es muy grato presentar el volumen 17 de la revista de la facultad de ingenierías y arquitectura, *Lámpsakos*, publicación semestral que tiene como propósito difundir conocimiento científico en todas las ramas de la ingeniería, en un contexto académico, científico y empresarial, a nivel nacional e internacional.

En el presente número contamos cinco artículos de resultados de investigación y cuatro artículos de revisión y estado del arte.

En la editorial el investigador del grupo A+D, de la Universidad Pontificia Bolivariana UPB, **Julio Cesar Correa Rodríguez**, PhD, habla de lo que se espera en el campo de la robótica en Colombia.

En el primer artículo de resultados de Investigación, **Cesar Echavarría**, PhD, de la Universidad Nacional de Colombia y **Hernán Darío Cañola**, MSc. de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, presentan los resultados de una investigación donde se evalúan probetas cilíndricas de concreto - cemento con diferentes cantidades de emulsión de parafina, para poder comparar el efecto respecto a la resistencia, absorción capilar y resistencia a la penetración del agua, algo muy útil en la construcción de muros.

En el segundo artículo, **Gelber Gutierrez**, MSc, de la Universidad Nacional de Colombia, expone el resultado de la medición de la afectación de los suelos para determinar la relación con la productividad y con una enfermedad de la palma de aceite, conocida como Pudrición del Cogollo, en una plantación en el Meta dedicada a su cultivo.

En el tercer artículo, **Ancizar Barragán**, MSc, **Karen Figueroa**, **Nixon Durán**, y **María Robayo**, del semillero SENTRAM de la Universidad Piloto de Colombia, presentan el proceso de diseño de un bloque de construcción a partir de material reciclado PET, comparando costos y pensando en viviendas de interés social, particularmente en el Alto Magdalena.

En un cuarto artículo, **Gabriel Correa**, PhD y **Alvaro Ramírez**, MSc, describen el diseño y construcción de un prototipo de bicicleta hecha a partir de Guadua/Bambú, como material amigable con el medio ambiente, resaltando la importancia de la bicicleta como una gran

solución a los problemas actuales de movilidad, particularmente en la ciudad de Medellín, y destacando la importancia de los materiales livianos en el diseño debido a la topografía de la ciudad.

En el último artículo de resultados de investigación, **Elias Bedoya**, **Hannia González**, **Luz Elena Vargas** y **Carlos Severiche**, de la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, presentan la comparación de once empresas manufactureras de Cartagena de Indias. Se ha considerado interesante por el tipo de análisis multivariado de componentes principales realizado además de que temas relacionados con la industria manufacturera son importantes para la ingeniería industrial.

En el primer artículo de revisión, **Miguel Rojas**, PhD, y **Manuela Pérez**, exponen las posiciones de diversos autores sobre estrategias de innovación imitativa, y como estas estrategias varían entre las diferentes organizaciones, resaltando la necesidad de profundizar en investigaciones en el tema.

En un segundo artículo de revisión, **Javier Fernández**, MSc, **Eder Acevedo**, MSc, **Yeimar Castro** y **Julián Rivera**, se expone la experiencia de construcción de repositorio de activos de software para el desarrollo ágil, luego de una revisión de antecedentes, arquitectura de reglas, enfoques en minería de datos y propósitos de reúso.

En un tercer artículo, **Diana Delgado**, MSc, hace una mirada a diferentes estudios realizados acerca de los factores que intervienen en los procesos de erosión del suelo y como la materia orgánica permite la mejora de las propiedades y la resistencia del mismo.

En el último artículo de revisión, **Yahima Hadfeg**, MSc, y **Viaca Vega**, PhD, efectúan un estudio y revisión de herramientas útiles para realizar pruebas de seguridad en el software, desde el 2010 a la fecha.

Con estos artículos tenemos la confianza de que estamos generando espacios para el debate investigativo y académico. Les invitamos a su lectura.

Jorge Andrés Cock Ramírez
Editor de la Revista

Presentation

For the Luis Amigó Catholic University is a pleasure to present the 17 issue of the Lámpsakos journal, a biannual publication of the engineering and architecture faculty, that have the purpose of broadcast the scientific knowledge in whole areas of the engineering, in an academic, scientific and business environment, at national and international level.

In the editorial, the researcher of the group A + D, of the UPB Pontifical Bolivarian University, **Julio Cesar Correa Rodríguez**, PhD, talks about what is expected in the field of robotics in Colombia.

In the first article of research results, **Cesar Echavarría**, PhD, of the National University of Colombia and **Hernán Darío Cañola**, MSc, of the Colegio Mayor of Antioquia University Institution, present the results of a research where cylindrical concrete-cement samples with different amounts of paraffin emulsion are evaluated. This is in order to be able to compare the effect with respect to the resistance, capillary absorption and resistance to the penetration of the water. That is very useful in the construction of walls.

In the second article, **Gelber Gutierrez**, MSc, of the National University of Colombia, presents the result of the measurement of the affectation of soils to determine the relationship with productivity and with an oil palm disease, known as Decay of the Heart, in a plantation in the Meta region, dedicated to its cultivation.

In the third article, **Ancizar Barragán**, MSc, **Karen Figueroa**, **Nixon Durán** and **María Robayo**, from the SENTRAM group of the Colombian Pilot University, present the process of designing a building brick from recycled PET material, comparing costs and thinking of cheap housing, particularly for the Upper Magdalena.

In a fourth article, **Gabriel Correa**, PhD and **Alvaro Ramirez**, MSc, describe the design and construction of a bicycle prototype, made from Guadua/Bambú, a friendly material to the environment. They highlight the importance of the bicycle as a great solution to current mobility problems, particularly in the city of Medellín, and the importance of light materials in design, due to the topography of the city.

In the last article of research results, **Elias Bedoya**, **Hannia González**, **Luz Elena Vargas** and **Carlos Severiche**, from the Comfenalco University Technology Foundation, present the comparison of eleven manufacturing companies in Cartagena de Indias. It has been considered interesting by the type of multivariate analysis of main components made, in addition to issues related to the manufacturing industry are important for industrial engineering.

In the first review article, **Miguel Rojas**, PhD, and **Manuela Pérez** expose the positions of various authors on strategies of imitative innovation, and how these strategies vary among different organizations, highlighting the need to deepen research on the subject.

In a second review article, **Javier Fernández**, MSc, **Eder Acevedo**, MSc, **Yeimar Castro** and **Julián Rivera**, expose the experience of building repository of software assets for agile development, after a background check, rules architecture, approaches in data mining and reuse purposes.

In a third article, **Diana Delgado**, MSc, takes a look at different studies carried out on the factors that intervene in the processes of soil erosion and how organic matter allows the improvement of the properties and the resistance of the same.

In the last review article, **Yahima Hadfeg**, MSc, and **Viaca Vega**, PhD, carry out a study and review of useful tools to perform security tests on the software, from 2010 to date.

With these articles, we are confident that we are generating spaces for the research and academic debate. We invite you to read it.

Jorge Andrés Cock Ramírez
Editor of the Journal

EDITORIAL





Aproximaciones al futuro de la robótica en Colombia

Approaches to the future of robotics in Colombia

Julio Cesar Correa, PhD.
Universidad Pontificia Bolivariana UPB
Medellín, Colombia
jcorrea@upb.edu.co

(Recibido el 15-07-2016, Aprobado el 18-08-2016, Publicado el 17-01-2017)

Estilo de Citación de Artículo:

J. Correa, "Aproximaciones al futuro de la robótica en Colombia", Lámpsakos, no. 17, pp 10-13, 2017
DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.2398>

La robótica es un campo que ha tenido un desarrollo continuado durante las últimas décadas a nivel mundial. A continuación se hace un breve recuento de los diferentes campos de acción en los que puede aplicarse la robótica y luego se presenta un panorama general de las posibilidades en Colombia. Para la primera parte del artículo se ha hecho uso de la información presentada en el reporte Robotics 2020 (SPARC, 2015). Más que afirmaciones categóricas, se busca abrir un espacio para la discusión y la búsqueda de respuestas. Además, todos los casos se referirán a aplicaciones en el ámbito civil, más que al militar.

Existen diversas formas de clasificar los robots. Si se considera el entorno de trabajo en el que se desenvuelven estos dispositivos, se encuentra que se pueden desempeñar en la tierra, en el aire, sobre o bajo el agua, en el espacio o incluso en el interior del cuerpo humano. Esta forma de agrupar los robots es muy utilizada y permite tener una visión general muy amplia, sin embargo, en este artículo se optará por clasificar los robots según los dominios del mercado. De acuerdo con esta clasificación, los robots pueden utilizarse en los sectores de manufactura, salud, agricultura, civil, transporte y logística, comercial y orientados al consumidor.

La gran mayoría de los robots existentes se encuentran en el sector de la manufactura y dentro de estos los manipuladores robóticos, también conocidos como brazos robóticos, son los dispositivos con mayor presencia y crecimiento. Aunque pueden ser utilizados en distintas industrias, es la automotriz la que concentra la mayor cantidad de estos dispositivos. Su utilización se ha venido incrementando año tras año y a nivel mundial. Algunos estudios (Brown, 2015) estiman que para el 2018 se tendrán alrededor de 1.4 millones de unidades instaladas en Asia y Australia, unas 450 mil en Europa y alrededor de 343 mil en el continente americano.

Ha sido común que los robots interactúen en ambientes aislados con materiales sólidos, sin embargo, aparecen nuevas exigencias, como manipular materiales blandos en la industria de alimentos o en la industria textil. Estas tareas son especialmente exigentes tanto desde el punto de vista de la programación, como del diseño de los actuadores finales, es decir, del dispositivo montado en el brazo que entra en contacto con el material a manipular. El trabajo cooperativo con humanos se hace cada vez más importante. Tradicionalmente, por motivos de seguridad, los robots trabajan en espacios aislados, pero cada vez será más común que tanto

operarios como robots puedan estar localizados en el mismo espacio de trabajo. Para lograrlo se requiere de dispositivos muy refinados en su hardware y software que puedan identificar la presencia de personas, adaptarse a nuevas situaciones y detenerse instantáneamente en caso de que haya algún contacto físico, para no causar daños.

El sector de la salud es uno de los dominios del mercado donde los robots van ganando mayor presencia. Esto es en parte debido al creciente envejecimiento de la población y a la necesidad de mejores procedimientos para un amplio rango de condiciones médicas. En este dominio se puede distinguir la robótica clínica, robots para rehabilitación y para la asistencia. En el campo de la robótica clínica se encuentran dispositivos capaces de asistir a los médicos en distintos tipos de intervenciones quirúrgicas. Al poder corregir por software el temblor de las manos, pueden extender las posibilidades de los cirujanos. Facilitan las cirugías mínimamente invasivas, se generan menos traumas y se facilita la recuperación del paciente. Son robots operados por personal especializado de las instituciones de salud y desde el punto de vista del diseño se enfrentan a numerosos retos, como son trabajar en espacios reducidos, ambientes hostiles y naturalmente el riesgo que conllevan estas intervenciones para las vidas humanas. La rehabilitación se concentra en el cuidado post-operatorio o después de la lesión con un sistema robótico capaz de facilitar la recuperación o servir de reemplazo para la función perdida. La ortopedia se proyecta como la principal área de aplicación. Finalmente, en la asistencia robótica la función principal es suministrar ayuda al paciente, normalmente en tareas de rutina. En todos los casos, además de los asuntos técnicos, hay aspectos legales y éticos que considerar.

La agricultura es un dominio muy amplio que contiene la producción de plantas y animales incluyendo los peces. El crecimiento de la población, las limitaciones en el área disponible para cultivar en algunos países y factores asociados con el cambio climático, generan nuevas exigencias sobre este sector. En este campo los robots pueden ser utilizados para sistemas de ordeño automatizados, en dispositivos que apliquen la cantidad apropiada de fertilizante dependiendo del estado de cada planta, lo que además contribuye al buen manejo del suelo, el seguimiento del estado de individuos en criaderos de peces, entre otras aplicaciones.

El dominio civil hace referencia a las aplicaciones manejadas por las autoridades civiles, como pueden ser los gobiernos locales o nacionales y agencias o contratistas involucrados en obras públicas. El

espectro de aplicaciones de los robots es muy amplio y se encuentra que los vehículos autónomos juegan un papel muy importante en este dominio. A manera de ejemplos se pueden citar el mantenimiento y limpieza urbana, las tareas de vigilancia, los servicios ambientales para monitoreo de la calidad del aire, el estado de ríos y costas, así como la investigación oceánica, vulcanológica o geológica. Al suministrar información oportuna sobre los cambios se pueden tener alertas tempranas para actuar más rápida y efectivamente frente a dichos cambios en el entorno. En el caso de desastres naturales los vehículos de emergencia pueden acercarse más al lugar del siniestro o sostener operaciones por períodos más largos. Tareas sencillas como llevar agua a víctimas atrapadas después de un terremoto en espacios inaccesibles, pueden incrementar significativamente las posibilidades de supervivencia.

En este contexto, el dominio comercial se refiere al uso de los robots como parte de un proceso comercial diferente a los ya presentados. Se pueden identificar aplicaciones en mercadeo, minería y servicios públicos. El uso de robots para mercadeo tiene un potencial interesante, pueden servir de máquinas vendedoras ambulantes en recintos de ferias y suministrar información. Los robots pueden contribuir con la seguridad en la minería. La concentración en niveles peligrosos de ciertos gases podría ser detectada en forma temprana. En los servicios públicos la tecnología robótica juega un papel clave al suministrar capacidades de inspección en forma continua, de modo que se pueda predecir una posible falla. Cuando un proceso comercial se suspende por esta razón, las pérdidas son enormes, por lo que el uso de robots se justifica plenamente.

El dominio del transporte y la logística incluye métodos y procesos involucrados en el movimiento de personal, materias primas y bienes a lo largo de una cadena de suministros. Es un dominio en el que los robots tendrán cada vez mayor cabida. Se espera que los robots del futuro estén en condiciones de llevar a cabo tareas complejas como desempacar, escoger ítems individuales, ensamblar kits, cargar vehículos y manipular materiales deformables. Son tareas muy complejas, pues al día de hoy los humanos nos desenvolvemos mucho mejor en velocidad de manipulación en ambientes no estructurados.

Finalmente los robots para el dominio del consumidor se caracterizan porque su interacción con el usuario es mínima. Aquí se pueden incluir electrodomésticos, sistemas para la asistencia a la educación, los robots en parques de diversiones y los juguetes especializados. Estos últimos han implementado

tecnología robótica de bajo nivel y se espera que sigan refinándose.

Una vez se ha dado una mirada muy general al panorama de la robótica a nivel mundial, es importante presentar el estado en Colombia. Desafortunadamente, aunque se conoce de trabajos muy valiosos tanto en la industria como en la academia, la información es muy dispersa. El mismo estudio (Brown, 2015) que estimaba en unos 343 mil el número de robots en el continente americano, indica que en Brasil se tendrán unos 18.300; en Estados Unidos, México y Canadá 323.000 y en el resto de los países del continente, tan sólo 1.700. Se concluye que la penetración de estos dispositivos en Colombia aún es muy baja. Aunque no se conocen cifras oficiales, se sabe que algunas industrias como la automotriz y la de cerámicos han implementado exitosamente estas tecnologías.

Aunque los datos en el sector académico del país tampoco están recopilados en una sola fuente, sí se puede inferir que existe un interés creciente en la robótica que se evidencia en concursos, congresos, trabajos de grupos de investigación y proyectos entre el sector productivo, la universidad y el Estado. Son numerosas las instituciones educativas en el país que han realizado concursos de robótica en diferentes modalidades y en distintos momentos. También se evidencia que muchas de estas competencias no tienen continuidad en el tiempo, sin embargo, siempre resultan atractivas para el público en general. Los congresos son otro indicador interesante. Existen congresos que han logrado mantener la continuidad y en los cuales se presentan trabajos realizados en las comunidades académicas del país. Es también evidente que existen varios grupos de investigación trabajando en el campo de la robótica. Aunque existe una herramienta de dominio público conocido como el GrupLac, en la cual los grupos registran sus trabajos, no es fácil hacer una clasificación detallada de los temas relacionados con la robótica en los que se está investigando y los avances logrados. Se infiere sí, que hay una actividad importante y que muchos de los trabajos realizados han sido publicados en revistas especializadas de alto nivel. Aunque es claro que existe una comunidad interesada en el tema, todavía es necesario valorar cuál es su impacto en términos de aportes al conocimiento en el entorno mundial.

Algunos grupos han participado en convocatorias generadas por el sector productivo y el Estado a través de Colciencias. Los desarrollos que aquí se generan son de especial importancia, pues además de ayudar a resolver problemas específicos, permiten efectivamente la cualificación de investigadores y

estudiantes para abordar problemas relacionados con la robótica en el futuro y ayudan a mejorar la infraestructura de las instituciones involucradas. Como ejemplo de lo anterior está el Programa de Robótica Submarina desarrollado por la Universidad Pontificia Bolivariana, la Universidad Nacional sede de Medellín y financiado por Ecopetrol y Colciencias. Se trata de un trabajo para ser ejecutado en cuatro años y que tiene por objetivos desarrollar un vehículo subacuático operado remotamente, capaz de alcanzar los 500 metros de profundidad y formar capacidades en esta área en el país. La experiencia alcanzada durante este proceso es un activo muy valioso que puede extenderse a otros programas de investigación donde participen también actores del Estado y de la industria.

La robótica es un campo muy activo a nivel mundial, tanto en lo relativo a investigación, como en lo que tiene que ver con aplicaciones prácticas. Por tanto, hay un potencial interesante de crecimiento en el país. Sin embargo, se presentan algunas dificultades que se observan y que deben ser superadas para que el acceso a estas tecnologías sea mayor. En ocasiones se piensa que se trata de una tecnología inalcanzable porque se considera que es muy compleja. En este sentido las universidades y sus grupos de investigación pueden aportar para facilitarle al usuario la comprensión de las capacidades tecnológicas de los robots y, por tanto, la forma como estos dispositivos puede aportar a la solución de sus necesidades. Sin duda, el costo de los equipos y el retorno de la inversión son otros temas que deben revisarse con detenimiento, así como la flexibilidad de adaptación del sistema a necesidades cambiantes. Otro aspecto importante a tener en cuenta es cuál es el soporte con el que se contará para el mantenimiento y reparación de los equipos en caso de fallas.

Como se mostró, la robótica ofrece un potencial muy interesante, dados los múltiples campos de aplicación que tiene, pero para poder aprovechar en profundidad estas posibilidades, se requiere de conocimiento y, por tanto, de personal suficientemente preparado. Es necesario encontrar oportunidades a partir de la relación con los distintos tipos de usuarios, estar al tanto de los desarrollos que se hacen en el mundo y detectar nichos interesantes en el país.

Una de las grandes ventajas de los robots es su flexibilidad para poder realizar diferentes tareas con un mismo dispositivo. Esto facilita la integración de otras tecnologías. Un campo muy prometedor y que amplía enormemente las posibilidades de los robots,

es cuando se incluye el reconocimiento de imágenes. A manera de ejemplo, esta integración permite que un manipulador robótico pueda llevar a cabo tareas en ambientes cambiantes y tomar decisiones a partir del procesamiento de las imágenes que recibe.

Además de las tareas industriales, las posibilidades de aplicación de la robótica en Colombia son múltiples. El fondo marino colombiano es muy extenso y mucho de él está aún sin explorar. La investigación para encontrar nuevas especies y recursos requerirá robots que apoyen estas labores. Por su ubicación geográfica, el país es vulnerable a los desastres naturales. Tener robots que apoyen labores de salvamento brindaría una ayuda significativa. En el campo de la salud los dispositivos

de rehabilitación que se importan son muy costosos. Sería muy valioso hacer desarrollos adecuados al medio, con menos recursos y por tanto más accesibles a la población en general. La calidad del aire de algunas ciudades es crítica y debe monitorearse adecuadamente. Robots móviles aéreos podrían aportar a esta tarea. En todos los casos es necesario detectar las necesidades que pueden ser resueltas con dispositivos robóticos, establecer el diálogo entre los usuarios y el personal especializado y buscar la manera de resolver los problemas de la manera más eficiente posible, teniendo en cuenta que el conocimiento es la clave para lograrlo.

Artículos de resultados de investigación





Bloques de concreto con emulsión de parafina

Concrete blocks with paraffin wax

Cesar Echavarría, PhD.
Universidad Nacional de Colombia
Medellín, Colombia
caechavarrial@unal.edu.co

Hernán Darío Cañola, MSc.
Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia
Medellín, Colombia
hernan.canola@colmayor.edu.co

(Recibido el 25-04-2016, Aprobado el 10-06-2016, Publicado el 17-01-2017)

Estilo de Citación de Artículo:

C. Echavarría, H. Cañola, "bloques de concreto con emulsión de parafina", Lámpsakos, no. 17, pp 14-19, 2017
DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.2346>

Resumen

Los muros de las edificaciones presentan frecuentemente problemas de humedad como consecuencia de la exposición a la lluvia y la absorción de agua del suelo. Infortunadamente, los bloques de concreto convencionales adquiridos en el mercado tienen coeficientes de absorción capilar altos y resistencias a la penetración de agua bajas. En esta investigación, se produjeron y analizaron experimentalmente bloques y probetas cilíndricas, se fabricaron con arena de concreto lavada, cemento Portland tipo 1, emulsión de parafina y una relación agua-cemento de 0,40 en peso. Se estudiaron bloques y cilindros sin emulsión de parafina y con 10%, 20%, 30% y 40% de adición de emulsión de parafina respecto al peso del cemento. Se ejecutaron ensayos de absorción capilar, de resistencia a la penetración de agua y se realizó un análisis comparativo de los resultados obtenidos para determinar la proporción óptima de adición de emulsión de parafina.

Se determinó que los bloques con emulsión de parafina presentan mejores propiedades que los bloques convencionales sin aditivos y que podrían reducir los problemas de humedad en los muros pues tienen un coeficiente de absorción capilar bajo.

Palabras clave: Absorción capilar, bloque de concreto, muro, emulsión de parafina, penetración de agua.

Abstract

The walls of the building often exhibit moisture problems as a result of exposure to rain and water absorption in the soil. Unfortunately, conventional concrete blocks purchased on the market have a high coefficient of capillary suction and a low resistance to water penetration.

In this research, concrete blocks and cylinders were produced and analyzed experimentally. They were manufactured with washed concrete sand, type I Portland cement, paraffin wax and a 0,40 water-to-cement (w/c) ratio by weight. Blocks and cylinders were analyzed first without the addition of paraffin wax and then with the addition of 10 %, 20 %, 30 % and 40 % of paraffin wax by weight of the cement. Capillary water absorption test and resistance to water penetration test were completed. A comparative analysis of the results was performed in order to determine the optimum addition of paraffin wax. It was determined that the blocks with paraffin wax have better properties than conventional blocks without additives. Furthermore, it was concluded that the blocks with paraffin wax reduce moisture problems in the walls since these blocks have a low coefficient of capillary suction.

Keywords: Capillary suction, concrete block, wall, paraffin wax, water penetration.

1. INTRODUCCIÓN

La humedad provoca daños en los muros (fabricados con bloques de concreto, ladrillos, bahareque, tierra comprimida, madera, etc.) que requieren elevadas inversiones económicas para su reparación. Particularmente, los bloques de concreto utilizados hasta ahora en las edificaciones son inapropiados para estar en contacto directo con el agua ya que tienen una absorción capilar alta y una resistencia a la penetración de agua baja.

Con el fin de evitar los problemas de durabilidad ocasionados por la presencia de humedad en las

edificaciones y para mejorar las características de absorción capilar de los muros, se han desarrollado diversas investigaciones en el área de los concretos y de los morteros.

Bołtryk et al. [6] realizaron un análisis experimental con mezclas con emulsión asfáltica para obtener un mortero impermeabilizado que protegiera cubiertas y elementos estructurales expuestos a las afectaciones del suelo. En esta investigación se utilizó cemento Portland y una emulsión asfáltica resistente a los álcalis y a la mayoría de ácidos. La emulsión asfáltica fue adicionada con los siguientes porcentajes según la masa del cemento: 0%, 2% y 4%. Se estableció que el uso de las emulsiones mejoraba la impermeabilidad del concreto pero generaba reducciones en sus propiedades mecánicas. Esta solución es bastante eficaz pero los porcentajes de adición de emulsión asfáltica se aseveran bajos.

Książek [10] realizó un análisis experimental para determinar la penetración de agua en concretos. Se utilizó azufre polimerizado como aditivo (una de las ventajas de este material era su reutilización a nivel industrial). Se determinó que los concretos con adiciones de azufre polimerizado lograban una disminución considerable en la penetración de agua y reducía la absorción capilar del concreto. Arrojó igualmente altas propiedades de resistencia a la compresión pero baja rigidez con módulos de elasticidad bajos. En nuestro medio, sería relativamente oneroso utilizar estos aditivos.

Lanzón et al. [11] estudiaron el uso de jabones metálicos en polvo y siliconas para controlar la absorción de agua en los morteros. En este trabajo se analiza la eficacia de varios tipos de impermeabilización después de 7, 14 y 28 días de curado. Los efectos sobre las muestras fueron verificados y cuantificados a través de los ciclos de curado. Infortunadamente, esta investigación estudia exclusivamente los morteros.

Mukhopadhyaya et al. [12] realizaron un estudio sobre el efecto de la temperatura y la absorción de humedad en materiales de construcción. Determinaron un coeficiente de absorción capilar promedio de $0,184 \text{ (kg/(s}^{1/2} \text{ m}^2))$ en los concretos estudiados a temperatura ambiente.

Roels et al. [13] estudiaron la absorción de humedad en un medio poroso fracturado y estimaron un coeficiente de absorción capilar en concretos de $0,018 \text{ (kg/(s}^{1/2} \text{ m}^2))$.

Díaz et al. [7] efectuaron un análisis experimental para determinar la resistencia mecánica y la

durabilidad de mezclas ternarias de cemento Portland, escoria de alto horno y piedra caliza. Se determinó el coeficiente de absorción capilar de las muestras a los 90 días y se hallaron valores entre $0,010$ y $0,021 \text{ (kg/(s}^{1/2} \text{ m}^2))$.

Estos y otros autores encuentran generalmente un coeficiente de absorción capilar que varía entre $0,010$ y $0,200 \text{ (kg/(s}^{1/2} \text{ m}^2))$ en concretos. Sería sin embargo conveniente fabricar un bloque de concreto para usar en los muros con coeficientes de absorción capilar más pequeños. Zürcher *et al.* [16] indican que un material de construcción con un coeficiente de absorción capilar menor que $0,030 \text{ (kg/(s}^{1/2} \text{ m}^2))$ se considera repelente al agua y con un coeficiente de absorción capilar menor que $0,008 \text{ (kg/(s}^{1/2} \text{ m}^2))$ se considera hidrófugo.

De otro lado, Zanchet *et al.* [15] estudian la penetración y las fugas de agua en paredes de mampostería y determinan una velocidad de absorción capilar entre $0,09 \times 10^{-4}$ y $0,27 \times 10^{-4} \text{ (m/s}^{1/2})$ en los bloques de concreto estudiados.

Badogiannis et al. [5] determinaron, en su investigación sobre la durabilidad del metacaolín en concretos autocompactantes, una velocidad de absorción capilar entre $0,13 \times 10^{-4}$ y $0,31 \times 10^{-4} \text{ (m/s}^{1/2})$.

Gopalan [9] estudió la velocidad de absorción capilar como parámetro de durabilidad en concretos con y sin adiciones de cenizas volantes. Determinó para los concretos sin cenizas volantes una velocidad de absorción capilar entre $2,01 \times 10^{-4} \text{ (m/s}^{1/2})$ y $2,35 \times 10^{-4} \text{ (m/s}^{1/2})$ y con adiciones de cenizas volantes entre $2,55 \times 10^{-4} \text{ (m/s}^{1/2})$ y $3,15 \times 10^{-4} \text{ (m/s}^{1/2})$.

Wilson et al. [14] investigaron también la absorción capilar en materiales de construcción porosos y estimaron una velocidad de absorción capilar para morteros entre $0,89 \times 10^{-4}$ y $1,86 \times 10^{-4} \text{ (m/s}^{1/2})$. Los valores de velocidad de absorción capilar en morteros y concretos con y sin adiciones son disímiles, según los autores citados, en un rango de $0,09 \times 10^{-4} \text{ (m/s}^{1/2})$ y $3,15 \times 10^{-4} \text{ (m/s}^{1/2})$.

Las investigaciones previas tratan los morteros, los elementos de protección de cubiertas y las mezclas de concreto estructurales pero no han estudiado específicamente el comportamiento de los bloques de concreto.

En este artículo se estudia entonces un bloque de concreto con un coeficiente de absorción capilar y una velocidad de absorción capilar más bajos que los encontrados usualmente en los bloques convencionales que se encuentran en el mercado. Es evidente que un bloque de concreto con un

coeficiente de absorción capilar pequeño y una resistencia a la penetración de agua grande, Fig.1, sería más durable que uno de concreto convencional porque dificulta la penetración de agentes agresivos que producirían su degradación.



Fig. 1. Bloque de concreto con emulsión de parafina

2. METODOLOGÍA

En este artículo se estudia la porosidad efectiva, la resistencia a la penetración de agua, el coeficiente de absorción capilar y la velocidad de absorción capilar de bloques de concreto con emulsión de parafina. Se produjeron y analizaron experimentalmente 100 bloques y 100 probetas cilíndricas. Todos los bloques y las probetas cilíndricas se fabricaron con arena de concreto lavada, cemento Portland tipo 1, emulsión de parafina y una relación agua-cemento de 0,40 en peso. La relación agua-cemento escogida en esta investigación es frecuentemente utilizada en la industria de los bloques de concreto porque permite desmoldarlos sin dificultad y garantiza una resistencia a la compresión adecuada.

El desarrollo experimental se dividió en tres etapas: una primera etapa de caracterización de la granulometría del árido para la fabricación de las mezclas de concreto de acuerdo con la norma ASTM D422 [2]; una segunda etapa de análisis de succión capilar en las probetas bajo parámetros de la norma UNE PrUNE 83.982 [8] y la norma ASTM C1585-04 [3]; y en la tercera etapa se hicieron ensayos de penetración de agua en los bloques mediante la utilización del método RILEM CPC 11.2 [1].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el análisis granulométrico se utilizó una muestra de 1000 g de arena de concreto lavada. Se obtuvo un módulo de finura de 2,98 y se estimó entonces que el material analizado pertenece a una arena media.

Con el estudio de succión capilar se evaluó la porosidad, la resistencia a la penetración del agua, el coeficiente de absorción capilar y la velocidad de absorción capilar de las muestras. Para este análisis se utilizaron probetas cilíndricas por cada tipo de mezcla de concreto con y sin adición de emulsión de parafina. Se definió el tamaño de la muestra experimental con la norma ASTM D2915-10 [4]. Se realizaron entonces 20 ensayos por cada grupo de muestras de concreto con y sin adición de emulsión de parafina. Se usaron muestras cilíndricas de 50 mm de altura y 100 mm de diámetro cortadas con sierra diamantada de cilindros de concreto de 200 mm de altura y 100 mm de diámetro. Las muestras cortadas se sometieron a un proceso de curado y se secaron en el horno a una temperatura constante de 105°C hasta alcanzar un peso invariable. Posteriormente, fueron enfriadas en un desecador para ser impermeabilizadas en su cara lateral con un hidrófugo comercial, garantizando así una impermeabilización lateral completa. Después se colocaron sobre un recipiente con 5 mm de agua durante todo el ensayo. Las muestras se pesaron inicialmente antes de ser puestas en contacto con el agua y después se pesaron cada 10 segundos para registrar la cantidad de agua absorbida. Todos los ensayos se realizaron con una temperatura ambiente promedio de 25°C y una humedad relativa promedio de 65%. Mediante el análisis de succión capilar establecido en la norma UNE PrUNE 83.982 [8] se determinó para cada probeta:

La resistencia a la penetración del agua:

$$m = \frac{t_n}{h^2} \quad (1)$$

El coeficiente de absorción capilar:

$$k = \frac{Q_n - Q_0}{\sqrt{t_n}} \frac{1}{A} \quad (2)$$

La porosidad efectiva:

$$\varepsilon = \frac{Q_n - Q_0}{A h \rho} \quad (3)$$

Además, la velocidad de absorción capilar S se estimó como la pendiente de una recta entre el origen y el punto crítico de saturación en la gráfica definida por la ecuación (4), según la norma ASTM C1585-04 [3]:

$$\frac{Q_t - Q_0}{\rho A} \text{ vs } \sqrt{t} \quad (4)$$

El cambio de masa de la probeta en el tiempo fue constante hasta llegar al punto crítico de saturación y una vez superado este punto de inflexión, el cambio de masa de la probeta disminuyó gradualmente hasta llegar a 0, Fig. 2.

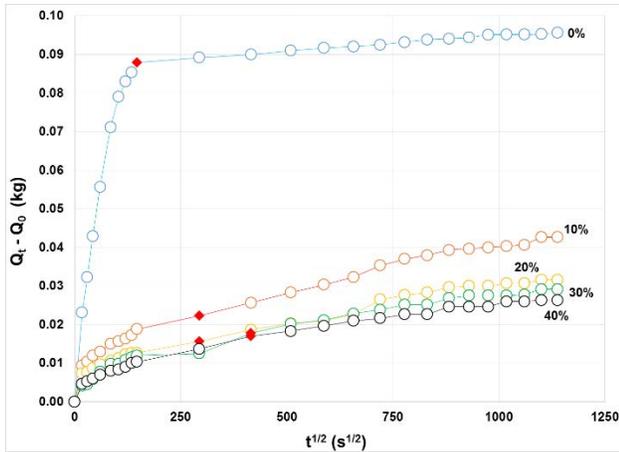


Fig. 2. Absorción capilar de las muestras en función del tiempo (0, 10, 20, 30 y 40% de adición de emulsión de parafina)

Donde,

- m : Resistencia a la penetración del agua (s/m^2)
- k : Coeficiente de absorción capilar ($kg/(s^{1/2} m^2)$)
- ζ : Porosidad efectiva (%)
- S : Velocidad de absorción capilar ($m/s^{1/2}$)
- t : Tiempo de saturación de la probeta (s)
- t_n : Tiempo en el punto crítico de saturación de la probeta (s)
- h : Altura o espesor total de la probeta (m)
- Q_t : Masa de la probeta en el tiempo t (kg)
- Q_n : Masa de la probeta en el punto crítico (kg)
- Q_0 : Masa de la probeta al inicio (kg)
- A : Área de succión de la probeta (m^2)
- ρ : Densidad del agua (kg/m^3)

Para cada muestra ensayada, se determinó la porosidad, la resistencia a la penetración del agua, el coeficiente de absorción capilar y la velocidad de absorción capilar, Tabla 1.

Se evidencia que la adición de emulsión de parafina reduce drásticamente la absorción capilar de las muestras. Hay una disminución de la porosidad efectiva mayor que 80%, una disminución del coeficiente de absorción capilar mayor que 87% y una disminución de la velocidad de absorción capilar mayor que 90% para todas las probetas con adición de emulsión de parafina respecto a las probetas sin adición. Los mejores resultados se obtienen entonces con al menos un 10% de adición de emulsión de parafina. La incorporación de emulsión de parafina contribuye notablemente a disminuir la absorción capilar en los morteros y concretos que los incorporan.

Como se había mencionado previamente, diversos autores encuentran un coeficiente de absorción capilar entre 0,010 y 0,200 ($kg/(s^{1/2}m^2)$) y determinan una velocidad de absorción capilar entre $0,09 \times 10^{-4}$

$3,15 \times 10^{-4} (m/s^{1/2})$ en varios tipos de morteros y concretos. En este estudio, si la adición de emulsión de parafina es superior al 10%, los bloques exhiben coeficientes de absorción capilar y velocidades de absorción capilar pequeños. Específicamente, los bloques de concreto con 20% de adición de emulsión de parafina presentan un coeficiente de absorción capilar menor que $0,007 (kg/(s^{1/2}m^2))$ y se clasifican entonces como un material hidrófugo (ver Zürcher et al. [16]).

Tabla 1
RESULTADOS DEL ENSAYO DE SUCCIÓN CAPILAR

Adición de emulsión de parafina respecto al peso del cemento (%)	Porosidad efectiva ζ (%)	Resistencia a la penetración del agua M ($10^6 S/m^2$)	Coeficiente de absorción capilar K ($kg/(s^{1/2}m^2)$)	Velocidad de absorción capilar S $10^{-4} (m/s^{1/2})$
0	25	9,30	0,076	0,60
10	5	28,56	0,010	0,06
20	4	30,76	0,007	0,04
30	4	61,52	0,005	0,04
40	4	59,26	0,005	0,04

Se hicieron también ensayos de penetración de agua con el método RILEM CPC 11.2 [1] para determinar la penetración de agua en los bloques de concreto. Todos los bloques fabricados en esta investigación son aligerados con perforación vertical y tienen una anchura de 120 mm, una altura de 200 mm y una longitud de 400 mm. Se estudiaron 20 bloques sin adición de emulsión de parafina y 80 bloques con 10%, 20%, 30% y 40% de adición de emulsión de parafina respecto al peso del cemento. En la fabricación de los bloques y de las probetas, la emulsión de parafina es mezclada con el agua y posteriormente es incorporada a la mezcla de cemento y arena. Para los ensayos de penetración de agua se utilizó una pipeta de Karsten de 1 cm^2 de área transversal y una capacidad volumétrica de 5 cm^3 . La pipeta se adhiere a la superficie de los bloques de concreto usando una masilla impermeable. Inicialmente, se garantiza que la superficie de los bloques se encuentre seca y limpia y se verifica la ausencia de fugas entre la pipeta, la masilla impermeable y la superficie de contacto del bloque. También se evaluó la penetración de agua en 20 bloques convencionales, de una marca reconocida, adquiridos en el mercado. Se cuantifica la penetración de agua durante 10 minutos, se registran y grafican los resultados, Fig. 3.

Donde,

- t : Tiempo de penetración (s)
- P_t : Penetración de agua en el tiempo t (m^3)

En la Tabla 2 se muestran los valores promedio de máxima penetración de agua después de 10 minutos de ensayo en cada muestra. Se estima una

disminución de la penetración de agua de 98% para los bloques de concreto con 40% de adición de emulsión de parafina, de 96% para los bloques con 30% de adición, de 85% para los bloques con 20% de adición y de 75% para los bloques con 10% de adición respecto a las probetas sin adición de emulsión de parafina. La penetración de agua promedio en los bloques convencionales, adquiridos en el mercado, es idéntica a la penetración de agua en los bloques sin adición de emulsión de parafina fabricados en esta investigación. Los mejores resultados se obtienen nuevamente con al menos un 10% de adición de emulsión de parafina.

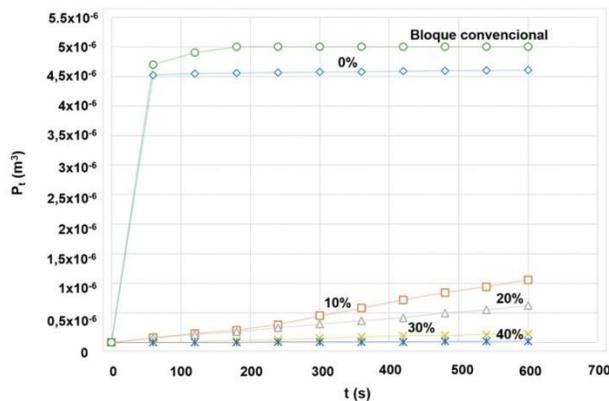


Fig. 3. Penetración de agua método RILEM (Bloque convencional, 0, 10, 20, 30 y 40% de adición de emulsión de parafina)

TABLA 2
RESULTADOS DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN DE AGUA

Muestra	Adición de emulsión de parafina respecto al peso del cemento (%)	Penetración de agua promedio Pt (10^{-6} m^3)
Bloque convencional	0	4,50
1	0	4,22
2	10	1,06
3	20	0,63
4	30	0,18
5	40	0,09

4. CONCLUSIONES

En esta investigación, se produjeron y analizaron experimentalmente bloques y probetas cilíndricas, se fabricaron con arena de concreto lavada, cemento Portland tipo 1, emulsión de parafina y una relación agua-cemento de 0,40 en peso.

Se estudiaron bloques y cilindros sin adición de emulsión de parafina y con 10%, 20%, 30% y 40% de adición de emulsión de parafina respecto al peso del cemento. Se ejecutaron ensayos de absorción capilar y de resistencia a la penetración de agua y se realizó un análisis comparativo de los resultados obtenidos para determinar la proporción óptima de adición de emulsión de parafina. Se encuentra que el porcentaje óptimo de adición de emulsión de parafina es 20% ya que presenta valores ideales de absorción capilar y de penetración de agua.

Específicamente, los bloques de concreto con 20% de adición de emulsión de parafina presentan un coeficiente de absorción capilar menor que 0,007 ($\text{kg} / (\text{s}^{1/2} \text{ m}^2)$) y se clasifican como un material hidrófugo.

Los bloques aligerados con perforación vertical y con una anchura de 120 mm, una altura de 200 mm y una longitud de 400 mm fabricados en esta investigación y con una adición de emulsión de parafina de 20% reducirían drásticamente la absorción capilar y eliminarían los posibles daños en los muros por la humedad del suelo o la lluvia.

En una investigación futura, se debe estudiar la durabilidad y la variación en el tiempo de la resistencia a la compresión de los bloques con las adiciones de emulsión de parafina.

REFERENCIAS

- [1] Absorption of water by concrete by capillarity, RILEM CPC 11.2, 1982.
- [2] American Society for Testing and Materials (ASTM), D 422. Standard test method for particle - Size analysis of soils. ASTM Annual book of standards, West Conshohocken, Pa, 2007.
- [3] American Society for Testing and Materials (ASTM), C 1585-04. Standard test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic-cement concretes. ASTM Annual book of standards, West Conshohocken, Pa, 2007.
- [4] American Society for Testing and Materials (ASTM), D2915-10. Standard practice for sampling and data-analysis for structural wood and wood-based products. ASTM Annual book of standards, West Conshohocken, Pa, 2003.
- [5] E. Badogiannis, I. Sfikas, T. Voukia, S. Tsivilis, "Durability of metakaolin self-compacting concrete", *Construction and Building Materials*, vol. 82, no. 5, pp. 133-141, 2015. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.023>

- [6] M. Bołtryk, D. Małaszkiwicz, "Application of anionic asphalt emulsion as an admixture for concrete", *Construction and Building Materials*, vol. 40, no. 3, pp. 556-565, 2013. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.110>
- [7] J. Díaz, S. Izquierdo, "Mezcla ternaria de cemento portland, escoria de alto horno y piedra caliza: resistencia mecánica y durabilidad", *Revista de la Construcción*, vol. 12, no. 3, pp. 53-60, 2013. doi: <http://doi.org/10.4067/S0718-915X2013000300006>
- [8] Durabilidad del hormigón. Determinación de agua por capilaridad del hormigón endurecido, Método Fagerlund, UNE PrUNE 83.982., 2007.
- [9] M. Gopalan, "Sorptivity of fly ash concretes", *Cement and Concretes Research*, vol. 26, no. 8, pp. 1189-1197, 1996. doi: [http://doi.org/10.1016/0008-8846\(96\)00105-6](http://doi.org/10.1016/0008-8846(96)00105-6)
- [10] M. Książek, "The biocorrosion of city sewer collector impregnated special polymer sulfur binder - Polymerized sulfur applied as the industrial waste material", *Construction and Building Materials*, vol. 68, no. 10, pp. 558-564, 2014. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.077>
- [11] M. Lanzón, R. García, "Effectiveness and durability evaluation of rendering mortars made with metallic soaps and powdered silicone", *Construction and Building Materials*, vol. 22, no. 12, pp. 2308-2315, 2008. doi: <http://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.10.001>
- [12] P. Mukhopadhyaya, K. Kumaran, N. Normandin, P. Goudreau, "Effect of surface temperature on water absorption coefficient of building materials", *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, vol. 26, no. 2, pp. 179-195, 2002.
- [13] S. Roels, K. Vandersteen, J. Carmeliet, "Measuring and simulating moisture uptake in a fractured porous medium", *Advances in Water Resources*, vol. 26, no. 3, pp. 237-246, 2003. doi: [http://doi.org/10.1016/S0309-1708\(02\)00185-9](http://doi.org/10.1016/S0309-1708(02)00185-9)
- [14] M. Wilson, W. Hoff, C. Hall, "Water movement in porous building materials - XI. Capillary absorption from a hemispherical cavity", *Building and Environment*, vol. 29, no. 1, pp. 99-104, 1994. doi: [http://doi.org/10.1016/0360-1323\(94\)90058-2](http://doi.org/10.1016/0360-1323(94)90058-2)
- [15] P. Zanchet, M. Cheriaf, R. Cavalcante, N. Mustelie, "Measurements of water penetration and leakage in masonry wall: experimental results and numerical simulation", *Building and Environment*, vol. 61, no. 3, pp. 18-26, 2013. doi: <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.017>
- [16] C. Zürcher, T. Frank, *Physique du bâtiment: construction et énergie*. Zürich, Vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2014.



Efecto del cultivo de palma de aceite sobre las propiedades físicas del suelo y su relación con la producción y la pudrición de cogollo

Effect of the oil palm plantations on the physical properties of the soil and his relation with the production and the bud rot disease

Gelber Norberto Gutiérrez Palacio, MSc.

Universidad Nacional de Colombia

Bogotá, Colombia

ggutierrezp@ucentral.edu.co

(Recibido el 07-05-2016, Aprobado el 02-08-2016, Publicado el 17-01-2017)

Estilo de Citación de Artículo:

G. Gutierrez, "Efecto del cultivo de palma de aceite sobre las propiedades físicas del suelo y su relación con la producción y la pudrición de cogollo", Lámpsakos, no. 17, pp 20-28, 2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.2390>

Resumen

La investigación tuvo como objetivo cuantificar la afectación física que se presenta en los suelos dedicados al cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis*), para lo cual se llevó a cabo una campaña de mediciones, observaciones y muestreos en la plantación Guaicaramo Ltda., ubicada en el municipio de Barranca de Upía, departamento del Meta, Colombia, sobre un área cultivada de aproximadamente 1890 hectáreas.

El análisis cualitativo y cuantitativo de las propiedades físicas de los suelos en las zonas características del cultivo (calle, plato y palera) sirvió como base para la determinación de su estado físico y para establecer las relaciones que se pueden presentar entre estas propiedades, la productividad del cultivo y la enfermedad conocida como pudrición de cogollo (PC). Los resultados obtenidos permitieron identificar el desarrollo de fenómenos de compactación en las distintas zonas del cultivo, los cuales determinaron como consecuencia la reducción de la porosidad, de la capacidad de intercambio gaseoso y de la capacidad de infiltración del suelo; todos ellos, factores determinantes de las condiciones observadas de drenaje inapropiado, excesos de agua, encharcamiento de lotes y en algunos casos de escorrentía superficial excesiva; condiciones que restringen el aprovechamiento eficiente de los nutrientes por parte de las plantas. También se pudo observar la relación existente entre la compactación de los suelos y la PC, donde el suelo actúa como un agente que predispone la planta a contraer la enfermedad y no como un agente causante de la misma.

Palabras clave: Labores culturales, compactación, *Elaeis guineensis*, *Phytophthora palmivora*.

Abstract

The research was to objective quantify physical affectation that occurs in soils for the cultivation of oil palm (*Elaeis guineensis*), for which it carried out a comprehensive campaign of measurements, observations and sampling in the plantation Guaicaramo Ltda., located in the municipality of Barranca de Upía, department of Meta, Colombia, on a cultivated area of approximately 1890 hectares. The qualitative and quantitative analysis of the physical properties of the soils in the zones typical of the crop (street, plate, and zone sticks) served as the basis for the determination of their physical condition and to establish that can be present between these properties, the productivity of the crop and the disease known as bud rot (BRD). The obtained results allowed to identify the development of compaction phenomena in different zones of the crop, which determined as a consequence the reduction of the porosity, the reduction of the capacity of gaseous exchange and the reduction of the capacity of infiltration of the soil; all of them, determinant factors of the conditions observed of inappropriate drainage, water excesses, flooding of lots and in some cases of excessive surface runoff; conditions that restrict the efficient utilization of nutrients by plants. Also it was possible to observe the existing relation between the compaction of the soils and the BRD, where the soil acts as an agent who predisposes the plant to contract the disease and not as a causative agent of the same one.

Key words: Cultural practices, compaction, *Elaeis guineensis*, *Phytophthora palmivora*.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Oil World [1], Colombia es el país líder en la producción de aceite de palma en América participando con cerca del 2% de la producción mundial; la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma, reportó para el año 2015, 465.985 hectáreas sembradas en 125 municipios y 20 departamentos. La pudrición de cogollo (*Phytophthora palmivora*) o PC, como comúnmente se le conoce, es la enfermedad más devastadora de cultivos de palma de aceite en Centroamérica y Suramérica, se caracteriza por el amarillamiento de las hojas jóvenes y la pudrición de la flecha [2]. Solo en Colombia, se estima que ésta enfermedad ha afectado cerca de 72.587 hectáreas en los municipios de Tumaco (Nariño), Puerto Wilches (Santander) y sur de Bolívar; las cuales han tenido que ser sometidas progresivamente a procesos de erradicación y renovación [3].

La vulnerabilidad del suelo a una amenaza dada se determina a partir de las características inherentes del suelo y del sitio, así como de los factores climáticos que influyen en las características del suelo, mientras que la estimación de la exposición se basa en una evaluación de las tensiones causadas por la gestión del suelo y el clima [4]. La compactación es una forma de degradación física del suelo que se puede propagar a través de todo su perfil y que se manifiesta en el incremento de su densidad aparente y en la reducción de la porosidad como resultado de la aplicación de cargas [5], además se constituye como una consecuencia degenerativa del suelo, producto de su vulnerabilidad y exposición.

La persistencia de la compactación se considera particularmente grave y se le asocian una serie de efectos adversos tales como la reducción en el rendimiento de los cultivos y la productividad del suelo [6]; el incremento en los costos de gestión [7]; el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la mala aireación del suelo [8], [9]; la mayor vulnerabilidad de los cultivos a las enfermedades [10], [11], y la disminución de la infiltración del agua en el suelo, lo que incrementa la escorrentía y el riesgo de erosión [12]-[14]. La intensificación de la producción y la creciente tendencia a utilizar maquinaria pesada, son factores que ha determinado que el tráfico de tractores y de equipos autopropulsados sea uno de los principales causantes de la compactación en explotaciones mecanizadas modernas; siendo mayor su efecto en cuanto más suelto y húmedo se encuentre el terreno [14]-[16]. Según Bowen [17], el riesgo de compactación es mayor en la medida en que la carga sobre la llanta, el tiro, la presión de inflado, el

número de pases y el contenido de humedad se incrementan; de igual manera, la compactación también se puede presentar por la acción del ganado y su magnitud depende de la "carga ganadera"; desarrollándose en la medida que los esfuerzos aplicados por la maquinaria o el ganado excede la estabilidad mecánica del suelo [18], [19].

Tanner & Mamaril (1959), citados por Chancellor [20], identificaron que la densidad aparente se incrementó de 1,22 a 1,43 g/cm³ a causa del pisoteo del ganado, presentándose una disminución de la porosidad de 17,3 a 7,2%, en tanto que la resistencia a la penetración aumento de 0,32 a 1,97 MPa; por su parte Greenwood & McKenzie (2001) encontraron que la compactación inducida por el pisoteo de animales puede limitarse a los primeros 20 cm del perfil del suelo en función del peso de los animales y el contenido de humedad, mientras que las tensiones inducidas por la maquinaria agrícola pesada se puede extender mucho más profundamente y causar la compactación del subsuelo. Por otro lado, la impedancia mecánica en suelos compactos dificulta la penetración de las raíces, constituyéndose ésta como la principal limitación de la elongación radicular [21]; se ha encontrado una estrecha relación entre el índice de cono (I.C) a una determinada profundidad, definido éste como el valor medio de la resistencia a la penetración dividida por la superficie de la base del cono del instrumentos de medida [22], y el crecimiento radicular; estudios realizados por diferentes investigadores coinciden en establecer la frontera de desarrollo de las raíces entre los 3,0 y 3,5 MPa del I.C [15]; Busscher [23] reporta un valor de 3,0 MPa mientras que Threadgill [24] encontró que 2,0 MPa es el límite que empieza a influir en el rendimiento de los cultivos; Hakanson [25] establece un rango de 2,0 a 5,0 MPa; de la misma manera Rowse & Goodman [26] definen 3,0 MPa como el valor mínimo de resistencia del suelo que indica un estado severo de compactación.

El tráfico intensivo de maquinaria autopropulsada, búfalos y zorrillos de carga en el cultivo de palma de aceite, obedece a labores rutinarias de cosecha, fumigación, fertilización y control sanitario; por lo cual la compactación se constituye como un factor determinante de daño físico de los suelos que provoca potenciales desbalances en los procesos nutricionales de las plantas y condiciones de microclima que afecta su crecimiento, disminuyen la productividad e incrementan la vulnerabilidad al ataque de enfermedades; por lo anterior, se presentan a continuación los resultados de un estudio de investigación realizado sobre un cultivo de 1890 hectáreas con afectación de PC establecido en el departamento del Meta, Colombia; a través del

cual se establece la relación existente entre las condiciones del suelo, más exactamente de su compactación y las propiedades físicas, hidráulicas y mecánicas asociadas; con la predisposición de las plantas a contraer la enfermedad y su incidencia en la productividad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización, selección y ubicación de lotes. El estudio se llevó a cabo en jurisdicción del municipio de Barranca de Upía, departamento del Meta, Colombia sobre un área de 1890 hectáreas a 250 msnm. El área de estudio se distribuye en 94 lotes que, a su vez, se agrupan en siete programas de siembra de acuerdo a la época en que fueron establecidos los cultivos. Teniendo en cuenta estos aspectos y considerando los niveles de incidencia de PC en los diferentes lotes, se realizó la distribución de los puntos de muestreo en 42 lotes tomando un punto cada 45 hectáreas, de manera tal que se contemplara toda el área cultivada, todos los programas de siembra y los diferentes niveles de incidencia de PC, Fig. 1. De igual manera los programas de siembra, las edades del cultivo y los lotes considerados en el desarrollo de la investigación se presentan en la Tabla 1.

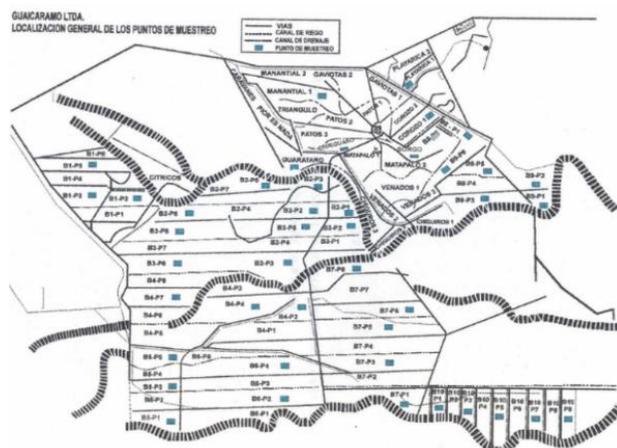


Fig.1. Localización general de lotes para muestreo

TABLA 1
PROGRAMAS DE SIEMBRA, EDADES DE CULTIVO Y LOTES

Programa de siembra	Edad del cultivo (años)	Lotes
I	15 - 17	Playarica 1, Manantial 1, Corozo 1, Chiriguaro, Sorgo, Guarataro
II	10	B9-P1, B9-P2, B9-P3, B9-P4, B9-P5, B9-P6, B8-P1
III	9	B1-P2, B2-P1, B2-P2, B2-P3, B2-P4, B2-P5, B2-P6, B3-P2, B3-P3, B3-P6, B3-P8,
IV	7	B4-P2, B4-P4, B4-P7, B5-P1, B5-P3, B5-P5, B6-P2, B6-P4
V	8	B7-P1, B7-P3, B7-P5, B7-P6, B7-P8
VI	3	B1-P3, B1-P5, B10-P1, B10-P3, B10-P5, B10-P7, B10-P9

2.1 Localización de los puntos de muestreo

Los ensayos y la toma de muestras se realizaron en las zonas características del cultivo como son la calle de cosecha, el plato y la palera o encalladura, Fig. 2, aproximadamente en el centroide de cada uno de los 42 lotes seleccionados.



Fig. 2 Localización de puntos de muestreo

2.2 Determinación de las propiedades físicas

Las propiedades físicas e hidráulicas determinadas así como los métodos utilizados fueron:

- Densidad aparente - Dap (cilindro Umland).
- Densidad real - Dr (picnómetro).
- Porosidad - η (relación de Dap y Dr).
- Contenido de humedad gravimétrica- θ_g (método gravimétrico).
- Textura (hidrómetro de Bouyoucos y triángulo textural).
- Velocidad de infiltración - I (infiltrómetro de doble anillo).
- Retención de humedad (recipiente de tensión hídrica y membrana a presión).
- Índice de cono - I.C (Penetrómetro de cono).

2.3 Determinación de niveles de incidencia de PC

El grado de afectación del cultivo por incidencia de PC se determinó para cada uno de los lotes a partir de la relación existente entre el número de palmas enfermas y el número total de palmas sembradas de acuerdo a los niveles de incidencia bajo, medio, alto y muy alto para los siguientes porcentajes de palmas enfermas respectivamente: 0 a 10%, 10% a 20%, 20% a 40% y mayor al 40%.

2.4 Análisis estadístico

Para la evaluación de las condiciones actuales de los suelos por programas de siembra, los valores obtenidos de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas fueron sometidos a un análisis estadístico, mediante el cual se calcularon medidas descriptivas tales como promedios, porcentajes, coeficientes de variación, desviaciones y errores estándar, mediante la utilización del paquete de análisis estadístico SAS (statistical analysis system).

TABLA 2
MAGNITUD DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS

Programa de siembra	Ubicación	D _{ap} (g/cm ³)		D _r (g/cm ³)		η (%)		θ _g (%)		CC (%)	PMP (%)	θ _{Aprov} (%)				
		DE		LAS		PROPIEDADES		FÍSICAS					DE		LOS	
		0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60				0-30	30-60	0-30	30-60
I	Calle	1,62	1,65	2,5	2,52	34,87	34,28	19,83	18,33	18,28	10,96	7,32				
	Plato	1,62	1,61	2,45	2,51	33,69	35,83	20,33	19,35	18,28	10,96	7,32				
	Palera	1,60	1,61	2,42	2,50	33,71	35,8	20,99	20,18	18,28	10,96	7,32				
II	Calle	1,67	1,70	2,49	2,48	33,42	31,39	17,21	19,74	15,77	9,57	6,20				
	Plato	1,62	1,64	2,48	2,56	34,82	36,05	17,63	16,9	15,77	9,57	6,20				
	Palera	1,63	1,69	2,42	2,52	32,48	32,93	18,77	18,00	15,77	9,57	6,20				
III	Calle	1,60	1,63	2,44	2,51	34,64	34,95	19,30	19,24	24,72	14,44	10,28				
	Plato	1,58	1,65	2,45	2,46	35,36	32,84	18,21	17,08	24,72	14,44	10,28				
	Palera	1,57	1,62	2,44	2,5	35,75	35,16	20,37	19,98	44,97	34,69	10,28				
IV	Calle	1,59	1,65	2,5	2,56	36,37	35,64	20,31	19,24	25,63	15,00	10,63				
	Plato	1,62	1,64	2,54	2,56	90,14	36,07	19,08	17,82	25,63	15,00	10,63				
	Palera	1,56	1,6	2,52	2,55	37,97	37,15	19,79	20,12	25,63	15,00	10,63				
V	Calle	1,57	1,62	2,45	2,53	35,93	36,04	23,45	21,01	23,53	13,79	9,74				
	Plato	1,64	1,70	2,47	2,52	33,58	32,49	19,03	17,86	23,53	13,79	9,74				
	Palera	1,55	36,08	2,45	2,51	36,75	35,26	22,57	19,52	23,53	13,79	9,74				
VI	Calle	1,47	1,59	2,46	2,53	40,57	37,16	24,35	19,08	25,25	14,73	10,52				
	Plato	1,58	1,66	2,5	2,52	36,79	34,07	19,75	16,18	25,25	14,73	10,52				
	Palera	1,45	1,57	2,48	2,53	41,61	38,13	23,46	20,24	25,25	14,73	10,52				

3.1 Densidad aparente

Para casi la totalidad de los puntos de muestreo pertenecientes a los diferentes programas de siembra se conserva como regla general que la densidad aparente es inferior en los primeros 30 cm de profundidad, lo cual indica que hay un empaquetamiento más denso de las partículas de 30 a 60 cm. En general los suelos con nivel de incidencia baja de PC presentan la menor D_{ap} (1,59 g/cm³), seguida por los de nivel de incidencia media (1,61 g/cm³) y aquellos con nivel de incidencia alta a muy alta que presenta una D_{ap} media similar de (1,64 g/cm³); observándose que el incremento en la D_{ap} tanto en la primera como en la segunda profundidad va asociado con un incremento en el nivel de incidencia de la enfermedad. En general se puede afirmar que los suelos dedicados al cultivo de la palma de aceite en la plantación de profundidad, presentan densidades aparentes del orden de 1,59 – 1,61 - 1,57 g/cm³ y 1,64 – 1,65 – 1,62 g/cm³ para las zonas de calle, plato y palera a las profundidades 0-30 y 30-60 cm respectivamente; a ambas profundidades los valores de densidad aparente fueron superiores en la zona de calle y plato e inferiores en la zona de palera.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se presentan los resultados promedio obtenidos de las propiedades físicas de los suelos en las zonas de calle de cosecha, plato y palera para los programas de siembra establecidos en la totalidad del cultivo.

De igual manera en la Tabla 3 se presenta los resultados obtenidos entre los niveles de incidencia de PC y las propiedades físicas promedio de los suelos para las zonas de calle, plato y palera.

TABLA 3
PROPIEDADES FÍSICAS PROMEDIO VS. NIVELES DE INCIDENCIA DE PC

Propiedad física	Ubicación	Profundidad (cm)	Nivel de incidencia de PC			
			Bajo	Medio	Alto	Muy alto
D _{ap} (g/cm ³)	Calle	0 - 30	1,54	1,58	1,63	1,64
		30 - 60	1,61	1,63	1,66	1,67
	Plato	0 - 30	1,62	1,58	1,62	1,64
		30 - 60	1,64	1,66	1,68	1,67
	Palera	0 - 30	1,54	1,58	1,59	1,59
		30 - 60	1,58	1,63	1,64	1,64
D _r (g/cm ³)	Calle	0 - 30	2,44	2,49	2,49	2,46
		30 - 60	2,51	2,59	2,52	2,50
	Plato	0 - 30	2,48	2,52	2,50	2,44
		30 - 60	2,49	2,53	2,55	2,49
	Palera	0 - 30	2,45	2,50	2,48	2,41
		30 - 60	2,51	2,54	2,52	2,51
η (%)	Calle	0 - 30	38,46	37,16	34,82	33,52
		30 - 60	35,83	36,87	34,11	33,25
	Plato	0 - 30	34,78	37,79	35,16	32,70
		30 - 60	34,17	34,44	34,22	32,48
	Palera	0 - 30	37,10	37,35	35,92	33,71
		30 - 60	37,25	35,81	34,97	34,78
θ _g (%)	Calle	0 - 30	23,21	19,33	19,03	22,91
		30 - 60	19,36	18,79	18,42	21,93
	Plato	0 - 30	18,32	19,04	18,83	22,16
		30 - 60	15,98	17,96	17,30	22,20
	Palera	0 - 30	21,66	20,01	20,31	24,36
		30 - 60	20,28	19,56	19,11	21,91

3.2 Densidad real

La densidad real de los suelos a la profundidad 0–30 cm fue inferior en la zona de palera para la mayoría de los lotes muestreados, lo cual es debido a que los aportes de materia orgánica y su descomposición a nivel superficial incrementa el contenido orgánico que hace parte de los suelos disminuyendo la densidad real de los mismos.

Las mayores diferencias entre las densidades reales de las zonas de calle y palera se presentan en los suelos de los programas de siembra I y II, los cuales son los más antiguos y por lo tanto los que mayores aportes de materia orgánica han recibido en la zona de palera; los demás programas de siembra presentan diferencias menos significativas entre las dos zonas mencionadas.

A La misma profundidad (0 – 30 cm) se notan valores superiores de densidad real en la zona de plato, especialmente de los programas de siembra III, IV, V y VI debido esto básicamente a que el aporte de fertilizantes y productos químicos densos (líquidos o granulados) se hace en esta zona, provocando un incremento en la misma.

La densidad real de los suelos a la segunda profundidad (30–60cm) es superior a la reportada en los primeros 30 cm, lo cual indica que los suelos a esta profundidad presentan altos contenidos minerales y bajo contenido orgánico.

Para las distintas clases texturales de los suelos es notable que el aporte de materia orgánica ha repercutido en la disminución de la densidad real, especialmente en la zona de palera, ya que se encontraron densidades reales inferiores a las esperadas para cada clase textural de acuerdo a valores reportados por varios investigadores. En general los suelos dedicados al cultivo de la palma de aceite en la plantación presentan densidades reales del orden de 2,47 y 2,52 g/cm³ para las profundidades de 0-30 y 30-60 cm respectivamente.

3.3 Porosidad

Para la mayor parte de los puntos de muestreo los valores de porosidad a las profundidades 0-30 y 30-60 cm fueron superiores en la zona de palera, dado que esta es la que menos expuesta está al tráfico de maquinaria y animales de tracción, presentando las mejores condiciones de aireación y el menor grado de compactación, mientras tanto la calle y el plato presentan porosidades bajas y más o menos

homogéneas, debido a que estas zonas son las que directamente están expuestas al tráfico de maquinaria y animales como al impacto ofrecido por los racimo durante la cosecha.

Para las tres zonas (calle, plato y palera) de la mayoría de los puntos de muestreo se reportan valores de porosidad inferiores a la profundidad (30 - 60cm) comparativamente con las encontradas en los primeros 30cm; de esta manera se determinaron porosidades del orden del 35,88%, 35,00 % y 36,00% para las zonas de calle, plato y palera respectivamente en los primeros 30 cm de profundidad; en los siguientes 30 cm la porosidad disminuyó a 34,87%, 34,55% y 35,60% para las mismas zonas.

En términos generales la porosidad total de los suelos hasta los 60cm de profundidad, presenta una distribución inconveniente que restringe la proliferación de raíces, dificulta la circulación del agua, la difusión de los gases a través del suelo e incrementa la succión que deben ejercer las raíces para sustraer el agua y los nutrientes; debido a que los suelos presentan un mayor porcentaje de micro poros (mp) con respecto al de macro poros (Mp) los cuales han sido distribuidos por procesos de daño físico como la compactación. Lo anterior se presenta de manera más crítica en los suelos de los programas III, IV, V y VI.

3.4 Contenido y retención de humedad

En la mayoría de los puntos de muestreo el contenido de humedad fue superior en la zona de palera y disminuye con la profundidad en las tres zonas (calle, plato y palera). Se reportaron contenidos de humedad aprovechable (θ_{Aprov}) inferiores en los programas de siembra I y II comparativamente con los que se presentaron los suelos de los programas III, IV, V y VI, lo cual es debido a que en estos últimos programas la cantidad de macroporos es muy pequeña y por lo tanto la porosidad total está conformada su mayor parte por meso y microporos que retienen mayor cantidad de humedad a tensiones bajas, cercanas a 0,3 bar (que es la tensión que determina la humedad a capacidad de campo) y por lo tanto en estos suelos con pocos macroporos el porcentaje de retención de humedad a CC (capacidad de campo) es superior, incrementándose de esta manera el contenido de humedad aprovechable que se encuentra entre la CC y el PMP (punto de marchitez permanente).

3.5 Índice de Cono

Como se muestra en la Tabla 4, en la mayoría de los puntos de muestreo los valores de índice de cono hasta los 30 cm de profundidad fueron superiores en las zonas de calle y plato e inferiores en la zona de palera; aproximadamente en el 50% de los puntos muestreados la resistencia a la penetración fue superior en la zona de calle y en el otro 50% en la zona de plato; por lo cual no se puede indicar claramente cuál de las dos zonas presentan mayor resistencia a la penetración hasta los 30 cm de profundidad. En el perfil del suelo que va de 30-60 cm la resistencia a la penetración en la mayor parte de los puntos de muestreo fue superior en la zona de plato, seguida por la de la calle e inferior en la zona de palera.

TABLA 4
 ÍNDICE DE CONO PROMEDIO SEGÚN PROGRAMAS DE SIEMBRA (MPa)

Ubicación	Profundidad (cm)	Programas de siembra					
		I	II	III	IV	V	VI
Calle	10	2,34	3,28	3,00	2,72	2,68	2,16
	20	2,37	2,92	3,00	2,73	2,83	2,17
	30	2,44	2,61	2,9	2,60	2,96	2,08
	40	2,46	2,58	2,80	2,52	2,85	1,98
	50	2,41	2,58	2,76	2,56	2,86	1,96
	60	2,40	2,58	2,77	2,92	2,85	1,93
Plato	10	1,84	2,98	2,82	2,12	2,73	3,01
	20	2,15	3,06	3,12	2,71	3,32	3,12
	30	2,35	3,07	3,08	2,96	3,50	3,16
	40	2,40	2,97	3,18	3,12	3,47	3,04
	50	2,44	2,89	3,14	3,14	3,50	2,79
	60	2,57	2,88	3,12	3,10	3,66	2,70
Palera	10	1,77	2,11	1,81	1,69	1,61	2,33
	20	2,09	2,24	2,25	1,86	1,81	2,30
	30	2,05	2,15	2,25	1,88	1,8	2,19
	40	2,07	2,07	2,23	1,99	1,88	2,50
	50	2,09	2,06	2,25	2,08	2,02	2,11
	60	2,12	2,07	2,29	2,27	2,10	2,12

Para la zona de calle los programas de siembra II, III, IV y VI el mayor valor de índice de cono se presentó a nivel superficial hasta los 20 cm de profundidad, mientras que en los programas I y V el mayor valor se presenta aproximadamente alrededor de los 30 cm de profundidad, lo cual indica que para la zona de calle las capas endurecidas por efecto del tráfico alcanzan profundidades de aproximadamente 30 cm. En la zona de plato se presenta un incremento el índice de cono con la profundidad, reportándose valores iguales o superiores a los 3,0 MPa alrededor de los 30 cm de profundidad para todos los programas de siembra a excepción del programa de siembra I.

En general para todos los programas de siembra en la zona de palera a nivel superficial se presenta la menor resistencia a la penetración dado que el suelo se encuentra suelto debido a la interacción de la materia orgánica con sus constituyentes minerales. Aunque con la profundidad la resistencia a la penetración aumenta, no se alcanzan valores muy elevados que puedan ser restrictivos para el crecimiento radicular.

3.6 Infiltración

Para los ensayos realizados en los diferentes puntos de muestreo se presenta como regla general que la velocidad de infiltración y la lámina infiltrada son inferiores en la zona de calle comparativamente con la de palera para un tiempo cualquiera; dado que en esta última la disposición de la capa superficial del suelo y las condiciones físicas a lo largo del perfil del mismo garantizan una circulación más rápida y continua del agua, Tabla 5.

TABLA 5
 INTERPRETACIÓN DE LA INFILTRACIÓN BÁSICA PROMEDIO SEGÚN PROGRAMAS DE SIEMBRA

Programa de siembra	Ubicación ensayo	Ib (cm/hr)	Clasificación
I	Calle	1,16	Media
	Palera	1,76	Media
II	Calle	0,34	Muy baja
	Palera	1,40	Media
III	Calle	1,33	Media
	Palera	2,48	Alta o buena
IV	Calle	0,40	Muy baja
	Palera	2,48	Alta o buena
V	Calle	0,28	Muy baja
	Palera	3,84	Alta o buena
VI	Calle	1,76	Media
	Palera	2,72	Alta o buena

La formación de agregados relativamente estables en el horizonte superior de la zona de palera debido a los procesos de interacción de las partículas elementales del suelo y los materiales orgánicos en descomposición producto de la poda garantizan una estructura del suelo que mejora la infiltración evitando el encharcamiento superficial que se presenta generalmente en la zona de calle debido a que el tráfico continuo forma capas endurecidas y costras superficiales que evitan la infiltración adecuada del agua que en la mayoría de los casos no escurre debido a la poca pendiente del terreno. La velocidad de infiltración básica (Ib) fue muy baja en el 38% de los puntos donde se realizaron los ensayos, baja en el 19%, media en el 29% y alta o buena en el 14%.

En la zona de palera ocurre lo contrario; la infiltración básica fue muy alta en el 19% de los puntos donde se realizaron los ensayos, alta o buena en el 38%, media en el 17%, baja en el 14% y muy baja en el 12%. Para la zona de calle de los programas de siembra II, IV y V se presentaron velocidades de infiltración básica muy bajas, los programas I, III y IV velocidades de infiltración básicas medias; mientras que en las zonas de palera los programas I y II presentaron infiltraciones básicas medias y los programas III, IV, V Y VI infiltraciones básicas altas o buenas, lo cual indica mejores condiciones del suelo para la infiltración en estos últimos programas.

3.7 Pudrición de Cogollo (PC)

Como se muestra en la Tabla 3, Mediante relaciones hechas entre la densidad aparente de los suelos y el nivel de incidencia de PC, se pudo establecer que en general para los lotes muestreados se puede observar que en los primeros 30 cm de profundidad incidencias de PC bajas se asocian a suelos con D_{ap} menores o iguales a $1,54 \text{ g/cm}^3$ y valores de $1,58 \text{ g/cm}^3$ pueden ser críticos para que las palmas se predispongan fácilmente a contraer la enfermedad, incrementándose la incidencia hasta niveles muy altos; para la segunda profundidad (30 a 60 cm) se pueden admitir densidades aparentes un poco superiores, de esta manera valores menores o iguales a $1,58 \text{ g/cm}^3$ se asocian a incidencias bajas y $1,63 \text{ g/cm}^3$ es el valor crítico a partir del cual la enfermedad puede difundirse incontrolablemente por todo el cultivo.

Mediante relaciones hechas entre la porosidad de los suelos y el nivel de incidencia de PC, se pudo observar que el comportamiento de la porosidad en los lotes muestreados indica que para la primera profundidad, niveles de incidencia bajos se asocian a porosidades mayores o iguales al 39%, que la disminución gradual de la porosidad en pequeños rangos conlleva un incremento en la incidencia de la enfermedad, siendo peligroso llegar a valores menores o iguales al 35% a los que se asocian niveles de incidencia altos a muy altos; para la segunda profundidad valores de porosidad mayo o igual al 38% según las relaciones establecidas pueden garantizar de cierta manera una menor disposición de la palma a contraer la enfermedad y valores de menos del 35% se pueden asociar a niveles de incidencia altos a muy altos.

No se pudo observar un comportamiento claro que indique alguna relación directa entre la variación del

I.C y el nivel de incidencia de la enfermedad, son bastante variables los valores medios que toma el I.C en las zonas de calle, plato y palera a los diferentes niveles de incidencia sin hacerse claro un comportamiento que defina alguna relación existente. Mediante relaciones hechas entre la infiltración de los suelos y el nivel de incidencia de la enfermedad en general para los lotes muestreados se encontró que niveles de incidencia bajos se asocian a infiltraciones básicas altas o buenas para la zona de palera e infiltraciones básicas medias ($0,84$ a $2,0 \text{ cm/h}$) para la zona de calle. Mientras tanto los niveles de incidencia altos y muy altos se asocian a infiltraciones básicas bajas ($0,40$ - $0,84 \text{ cm/h}$) y muy bajas ($<40 \text{ cm/h}$) en la zona de calle e infiltraciones básicas medias, bajas o muy bajas en la zona de palera.

4. CONCLUSIONES

No existe un patrón definido que generalice un comportamiento claro de la productividad y la incidencia de PC respecto a las propiedades físicas reportadas cuando este análisis se hace sobre la base de clasificación por programas de siembra; no obstante, existen lotes dentro de los programas cuya baja producción o alta incidencia se relacionan directamente con suelos cuyas propiedades físicas son inconvenientes o deficientes para el sano y rentable desarrollo del cultivo.

No se encontró relación alguna entre la incidencia de la enfermedad y la producción del cultivo, sobre la base de dos tipos de análisis: por programas de siembra y por niveles de incidencia; de la misma manera existen casos en que niveles de incidencia altos se asocian a altas productividades y niveles de incidencia bajos a productividades similares o inferiores, lo cual dificulta tener claridad en este aspecto.

5. RECOMENDACIONES

Entre los métodos a corto plazo para reducir la compactación de los suelos, se recomienda el uso de implementos mecánicos como el subsolador.

A más largo plazo se puede realizar: la siembra de cultivos de cobertura perennes de raíces profundas especialmente en cultivos jóvenes, así mismo durante la preparación de suelos para el establecimiento de nuevos cultivos es una buena práctica hacer la incorporación al terreno de cascarilla de arroz, cascarilla de la almendra del fruto de la palma o cualquier otro elemento orgánico

de características similares; adicionar en las paleras los residuos del procesamiento de los racimos utilizados para la extracción de aceite (raquis); hacer una mejor planeación de las labores de riego con el fin de obtener una mejor distribución de la lámina de agua sobre la superficie del terreno para evitar el encharcamiento excesivo de los lotes por periodos muy prolongados de tiempo.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Ing. José Manuel Chaparro (q.e.d), al Ing. Jorge E. Páez, al palmar Guaicaramo y a Marta Victoria por su apoyo incondicional.

Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado por el autor, quien declara ser el único autor y que no existe conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

- [1] "OIL WORLD ISTA Mielke GmbH: Independent Global Market Analyses & Forecasts Since 1958." [Online]. Available: <https://www.oilworld.biz/>. (Con Acceso: 01-Sep-2015).
- [2] P. L. Gómez C., Á. Acosta G., L. A. Guevara y L. E. Nieto P., "Pudrición de cogollo en Colombia: Importancia, investigación y posibilidades de manejo", *Palmas*, Fedepalma, vol. 16, n° especial, pp. 198-210, 1995. Recuperado de: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/512/512>
- [3] FEDEPALMA, CENIPALMA, "Plan de mitigación de la PC para la zona central y Tumaco 2013", Disponible desde internet en: <http://fito.portalpalmero.com/plan-de-manejofitosanitario> (con acceso 06/06/2015).
- [4] M. Troldborg, I. Aalders, W. Towers, P. D. Hallett, B. M. McKenzie, A. G. Bengough, A. Lilly, B. C. Ball, and R. L. Hough, "Application of Bayesian Belief Networks to quantify and map areas at risk to soil threats: Using soil compaction as an example", *Soil Tillage Res.*, vol. 132, pp. 56–68, 2013. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.05.005>
- [5] W. A. Jury, W. R. Gardner, and W. H. Gardner, "Soil physics. John Wiley & Sons, New York.", *Soil physics*. John Wiley Sons, 5 ed., New York., 1991.
- [6] I. Hakansson y R. C. Reeder, "Subsoil compaction by vehicles with high axle load—extent, persistence and crop response", *Soil & Tillage Research*, vol. 29, no. 2–3, pp. 277–304, 1994. doi: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(94\)90065-5](https://doi.org/10.1016/0167-1987(94)90065-5)
- [7] T. Chamen, L. Alakukku, S. Pires, C. Sommer, G. Spoor, F. Tjink, and P. Weisskopf, "Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review: Part 2. Equipment and field practices", *Soil Tillage Res.*, vol. 73, no. 1, pp. 161–174, 2003. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00108-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00108-9)
- [8] B. C. Ball, A. Scott, and J. P. Parker, "Field N 2 O, CO 2 and CH 4 fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland", *Soil Tillage Res.*, vol. 53, no. 1, pp. 29–39, 1999.
- [9] R. Horn, H. Domzzal, A. Slowinska-Jurkiewicz, y Van Ouwerkerk, "Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment", *Soil Tillage Res.*, vol. 35, no. 1–2, pp. 23–36, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(95\)00479-C](https://doi.org/10.1016/0167-1987(95)00479-C)
- [10] R.R. Allmaras, V.A. Fritz, F.L. Pflieger, S.M. Copeland, "Common root rot of pea (*Pisum sativum* L.): oat pre-crop and traffic compaction effects in fine-textured mollisols", J.E. Box Jr. (Ed.), *Root Demographics and Their Efficiencies in Sustainable Agriculture, Grassland, and Forest Ecosystems*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. pp. 285–294, 1998.
- [11] T. Batey, "Soil compaction and soil management--a review", *Soil use Manag.*, vol. 25, no. 4, pp. 335–345, 2009. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00236.x>
- [12] M. A. Fullen, "Compaction, hydrological processes and soil erosion on loamy sands in east Shropshire, England", *Soil tillage Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 17–29, 1985. doi: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(85\)90003-0](https://doi.org/10.1016/0167-1987(85)90003-0)
- [13] H. Lundekvam and S. Skoien, "Soil erosion in Norway. An overview of measurements from soil loss plots," *Soil use Manag.*, vol. 14, no. 2, pp. 84–89, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1998.tb00620.x>
- [14] DEFRA, "Cross compliance in England: soil protection standards". Department for Environment, *Food & Rural Affairs*, 2015. Disponible desde internet en: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/397046/CCSoilPS_2015_v1_WEB.pdf (con acceso 05/06/2015).

- [15] O. Cañavate, J. L. J. Hernanz, E. L. Worthen, S. R. Loma, T. N. Ferreira, P. Candelon, y Otros, Técnica de la mecanización agraria, no. 631.372 O77. Proyecto de Mecanización Agrícola en Honduras, Tegucigalpa (Honduras) Secretaría de Recursos Naturales, Tegucigalpa (Honduras) Cooperación Suiza al Desarrollo, Tegucigalpa (Honduras), 1989.
- [16] H. D. Kutzbach, "Trends in power and machinery", *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 76, no. 3, pp. 237–247, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1006/jaer.2000.0574>
- [17] G. F. Arkin and H. M. Taylor, Modifying the root environment to reduce crop stress. American Society of Agricultural Engineers St. Joseph, Mich., pp. 21-53, 1981.
- [18] A. C. Bailey, R. L. Raper, C. E. Johnson, y E. C. Burt, "An integrated approach to soil compaction prediction", *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 61, no. 2, pp. 73–80, 1995. doi: <https://doi.org/10.1006/jaer.1995.1033>
- [19] M. Lebert y R. Horn, "A method to predict the mechanical strength of agricultural soils", *Soil & Tillage Research*, vol. 19, no. 2–3, pp. 275–286, 1991. doi: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(91\)90095-F](https://doi.org/10.1016/0167-1987(91)90095-F)
- [20] W. J. Chancellor, "Compaction of soil by agricultural equipment", Division of agricultural science, University of California, Bulletin 1881. p. 53, 1976.
- [21] A. G. Bengough, B. M. McKenzie, P. D. Hallett, y T. A. Valentine, "Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits", *J. Exp. Bot.*, vol. 62, no. 1, pp. 59–68, 2011. doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erq350>
- [22] G. H. Montenegro, C. D. Malagón, "Propiedades físicas de los suelos". Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, Subdirección Agrológica. Bogotá. p. 813, 1990.
- [23] W. J. Busscher and R. E. Sojka, "Enhancement of subsoiling effect on soil strength by conservation tillage", *Trans. ASAE*, vol. 30, no. 4, pp. 888–892, 1987. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.30493>
- [24] E. D. Threadgill, "Residual tillage effects as determined by cone index," American Society of Agricultural and Biological Engineers, Trans. ASAE, vol. 25, no. 4, pp. 859–863, 1982.
- [25] I. Hakansson, "Machinery-induced compaction of arable soils", Reports from the division of soil management no 109. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil Sciences, 2005.
- [26] H. R. Rowse and D. Goodman, "Axial resistance to water movement in broad bean (*Vicia faba*) roots", *J. Exp. Bot.*, vol. 32, no. 3, pp. 591–598, 1981. doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/32.3.591>



Ecobloque estructural para vivienda de interés rural: Un aporte para las comunidades del Alto Magdalena-Colombia

Structural ecobloque for rural housing: A contribution for communities of the Alto Magdalena-Colombia

Ancizar Barragán Alturo, MSc

Tutor del Semillero SENTRAM
Semillero SENTRAM
Universidad Piloto de Colombia
g-abarragan@unipiloto.edu.co

Nixon Guillermo Durán Siachoque

Semillero SENTRAM
Universidad Piloto de Colombia
nixondurans@gmail.com

Karen Alexandra Figueroa González

Semillero SENTRAM
Universidad Piloto de Colombia
guatakaren@hotmail.com

María Ximena Robayo Novoa

Semillero SENTRAM
Universidad Piloto de Colombia
xime.robyn18@gmail.com

(Recibido el 01-04-2016, Aprobado el 18-08-2016, Publicado el 17-01-2017)

Estilo de Citación de Artículo:

A. Barragán, K. Figueroa, N. Duran, M Robayo, "Ecobloque estructural para vivienda de interés rural: Un aporte para las comunidades del Alto Magdalena-Colombia", Lámpsakos, no. 17, pp 29- 39, 2017
DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.2214>

Resumen

El objetivo del presente proyecto de investigación de ingeniería civil, fue el diseño de un bloque elaborado en concreto con un nuevo componente del entorno: las botellas de polietileno tereftalato, (más conocido por sus siglas en inglés PET *polyethylene terephthalate*). Dicho material perjudica el medio ambiente, por eso se reutilizan y se ligan con materiales de la industria de la construcción, dando como resultado un bloque que puede ser utilizado en mampostería no estructural, con proyección en la mampostería estructural; así mismo, esta investigación analizó cómo reducir los costos que causa un bloque convencional a la hora de ser elaborado, a través de la comparación con un ecobloque confeccionado con botellas PET: material reutilizado de los residuos que el ser humano genera a diario. Otro objetivo de esta investigación consistió en darle un enfoque hacia la construcción de viviendas de interés social, con el fin beneficiar a las comunidades de escasos recursos que habitan en las zonas rurales de la provincia del Alto Magdalena- Colombia. El propósito del proyecto siempre estuvo enmarcado en el desarrollo sostenible, es decir, en el manejo eficiente de los recursos a través del reciclaje y la reutilización de materiales de desecho, que propicien la restauración del entorno y, por ende, el acceso a una mejor calidad de vida.

Palabras claves: Estructural, reutilización, Botellas PET, ambiental, económico.

Abstract

The objective of the present research project of civil engineering was a block design developed specifically with a new component of the environment: the polietileno tereftalato bottles, (Better known by its initials in English PET). This material harms the environment, why are they reused and are linked with the industry of construction materials, resulting in a block that can be used in non-structural masonry, with projection in the structural masonry; Likewise, this research looked at how to reduce the costs caused by a block of conventional when it comes to be elaborated through comparison with an ecobloque made with PET bottles: reused material from waste generated by human beings on a daily basis. Another objective of this research consisted in giving a focus on the construction of social interest housing, in order to benefit the communities of poor who live in rural areas of the province of the Alto Magdalena-Colombia. The purpose of the project was always framed in the sustainable development, i.e., in the efficient management of resources through recycling and reuse of waste materials, which lead to the restoration of the environment and, thus, access to a better quality of life.

Keywords: Structural, Reuse, PET bottles, Environmental, Economic.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, tanto los países desarrollados como en vía de desarrollo se encuentran ante una gran problemática, la contaminación del medio ambiente. Situación que, desde el punto de vista ambiental, ha generado por décadas desequilibrio en el planeta y por ende en nuestro país, debido a que el ser humano arroja materiales no biodegradables como botellas PET, plásticos, bolsas y empaquetados, entre otros, ocasionando un sinnúmero de dificultades. Además, desde una óptica social, las comunidades más vulnerables de las diferentes regiones de Colombia, se han enfrentado a problemas de desplazamiento y falta de oportunidades.

Dicha realidad propició una reflexión en torno de la urgencia de sensibilizar a la población respecto a la importancia de tomar conciencia acerca del uso que se debe hacer de los recursos renovables y de los reutilizables como el plástico. Además, la situación en el campo de la economía informal, que hoy por hoy está afectando al país, se constituye como un vector de violencia, y falta de oportunidades que no permiten satisfacer las necesidades básicas de la vida diaria.

Así mismo, en el campo de la construcción se evidencia un exceso en el costo de los materiales utilizados en el campo de la construcción; incrementando así, un amplio espectro de necesidades en las comunidades, que van cerrando las oportunidades y por tanto las expectativas de jóvenes y adultos, con respecto a su vida futura. Dicha realidad margina a las comunidades y no les permite el acceso a una vivienda digna; por el contrario, los obliga a optar por una vivienda informal, que los vuelve vulnerables frente a los fenómenos climáticos como las lluvias torrenciales, las avalanchas, las inundaciones, además porque “la construcción de vivienda es responsable del 30% del impacto ambiental negativo del planeta” [1].

Así mismo, Acevedo, et al consideran que “La construcción, además de ser indispensable para el desarrollo de la sociedad, es también uno de los principales responsables de la generación de residuos, contaminación, transformación del entorno y uso considerable de energía. Estas razones no le permiten ser indiferente a la actual problemática ambiental” [1].

Lo anterior nos obliga, en términos de sostenibilidad, a pensar en una construcción más limpia; de tal forma que mejore el entorno de las futuras

generaciones. “La producción más limpia y la construcción sostenible son dos conceptos que difícilmente son aplicados en las diferentes industrias del país. Estos dos conceptos impulsan de forma significativa el desarrollo sostenible, tal como lo mencionan en el informe de Brundtland en 1987, como un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades” [2].

Así, una mirada al campo internacional, sobre la problemática ambiental y económica, ubica algunos proyectos que, a nivel mundial, se han desarrollado para dar solución a los problemas de contaminación que ocasiona la gran cantidad de materiales no biodegradables tirados como basura al entorno. Tal es el caso de “las novedades para la industria del mueble y la madera, con las que 13 empresas brasileñas buscan cautivar el mercado nacional, con innovaciones que han tomado la reutilización como bandera [2].

Estas experiencias motivadoras que promueven el cuidado del medio ambiente y que cumplen con los objetivos para un desarrollo sostenible; inspiraron el presente proyecto: Soluciones de vivienda ecosostenible de interés rural con ecobloques pet, para mampostería estructural en el Alto Magdalena-Colombia.

Este proyecto fue fruto del trabajo de un semillero de investigación denominado SENTRAM, en la Universidad Piloto de Colombia-Seccional del Alto Magdalena; que propende por ligar botellas PET a la mezcla de concreto que se utiliza para confeccionar los ecobloque, usando distintos materiales como enlace entre la mezcla y las botellas. Esta es la esencia de la unidad estructural de este ejercicio investigativo, creado con materiales bioconstructivos.

En una primera aproximación a la solución de la pregunta de investigación: ¿Cuáles son las características de la mezcla de un ecobloque PET, que cumpla con las normas de mampostería estructural?, se diseñó un primer ensayo que involucró varias acciones: reciclar y reutilizar las botellas PET (politereftalato de etileno), adhiriéndolo a la mezcla de concreto con base en un encofrado de acero (malla para pollos). Para este ensayo se trabajó con creatividad y economía con el fin de que, en el campo de la ingeniería civil, se construyera de manera sostenible este primer producto.

Por otro lado, para la elaboración de este primer ecobloque se hizo el diseño siguiendo las normas de mampostería estructural y con el método empírico-analítico; con el objeto de recrear los resultados en el campo científico, tanto en el análisis de variables cualitativas como cuantitativas con pruebas de laboratorio.

2. MARCO TEÓRICO

Son innumerables las ideas de investigación que suelen esbozarse en los programas de ingeniería civil, acerca de la generación de productos que persigan los objetivos del milenio, en cuanto al desarrollo sostenible. Entre ellos están los procesos para la construcción limpia que propenden por ciudades y comunidades sostenibles, con innovaciones que logren reducir la pobreza en Colombia y en América latina. Es el caso del proyecto ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para autoconstrucción, en el que se alcanzaron objetivos tecnológicos, de igualdad de género, ecológicos, sociales y económicos, “aplicando técnicas de reciclaje con procedimientos de elaboración que no son contaminantes del medio ambiente, por lo cual es una tecnología sustentable” [3].

Las experiencias que se han preocupado por el reciclaje de plásticos como el teraftalato de polietileno, y los empaques plásticos de las frituras; han comenzado a impactar la conciencia de las empresas de químicos, que promueven el diseño de ladrillos usando en su núcleo, estos recipientes macizos, considerados basura no biodegradable. Su población objetivo fueron los niños de las escuelas públicas y privadas que impulsaban dichos programas. En este orden de ideas, “El plástico recolectado, que es enviado a los tres centros de acopio de Agrequima, ubicados en Teculután, Zacapa; Los Aposentos, Chimaltenango, y Masagua, Escuintla, es triturado y se entrega a la empresa Maderplast, la cual se encarga de reciclarlo y transformarlo en tablas, postes de servicio eléctrico, muebles, basureros y bancas” [4].

En los afanes de la sociedad de consumo por desbordar su preocupación por comprar artículos de manera compulsiva y cuya obsolescencia es inmediata; trae como consecuencia la proliferación de cantidad de materiales de desecho, que son escudriñados por animales y personas que buscan obtener algún sustento. Simultáneamente contaminan el agua, el suelo y el aire, con millares de materiales que tardan entre 50 y 500 años por degradarse.

Situación contraria se da en otro grupo de personas que tratan de erradicar la pobreza extrema y mejorar la calidad de vida de los habitantes en las diferentes ciudades del país. En consecuencia, hoy en día existe un gran número de personas que opta por apostarle al desarrollo sostenible y ejecutar proyectos que, de una u otra forma, beneficien a los más necesitados. Así, la tecnología entra a jugar un papel de gran importancia, pues la gran mayoría de estos proyectos implementan sistemas innovadores, amables con el medio ambiente, que buscan mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Los creadores Fernando Llanos y Oscar Méndez lograron encontrarle utilidad al material reciclado, creando viviendas adaptables, hechas con ladrillos de plástico, que se pueden armar, sobre cualquier superficie, observando en el plástico reciclado una potencial solución para un nuevo modelo de vivienda digna y ecológica” [5].

Desde hace varios años se han desarrollado elementos para la construcción (bloques, adoquines, placas, cordones, entre otros) a los que, en reemplazo de sus agregados, se les ha adicionado materiales inertes (vidrio, cerámica, papel, caucho, PET, entre otros) que puedan darle una estructura interna al concreto sin perjudicar notablemente las propiedades del producto terminado [6]. Desafortunadamente muchos de estos materiales no responden a las necesidades de la construcción ecológica actual.

El campo de la construcción limpia es relativamente nuevo y de rápida expansión, por tanto es natural que el proyectista se enfrente con materiales y técnicas que no les son familiares. Razón por la que se hace necesario conocer a fondo todos los beneficios y técnicas que trae el material consigo. Es importante tener en cuenta que a los plásticos se les llama así generalmente por su textura, color, plasticidad, o por sus comportamientos frente al fuego, donde arden con facilidad, destruyendo el vínculo eléctrico de las cadenas hidrocarbonadas etc. Por otro lado, sus beneficios son utilizados para innovaciones respecto a las edificaciones y materiales de construcción que los llevan a identificarse también como resistentes a cargas o maleables, reduciendo proporcionalmente las cantidades de residuos sólidos contaminantes generados por la humanidad [7].

En Santafé de Bogotá, la empresa Conceptos plásticos se dedica a producir viviendas, pero no de ladrillo y cemento, sino de plástico. La planta queda cerca al embalse del Muña y emplea a 12 personas. Pueden armar 20 unidades al mes, pero gracias a

varios premios internacionales, está poniendo a punto su infraestructura para llegar a las 50.

Óscar Méndez, director de la compañía, cuenta que ésta nació en el año 2010 con la idea de ayudarle a varias empresas de plástico a reutilizar sus excedentes, vinculando a personas de zonas vulnerables de Bogotá, [8].

Después del análisis de las experiencias existentes en latinoamerica y Colombia sobre el manejo de los residuos no biodegradables, se hizo necesario reflexionar sobre las bases teóricas que respaldarían el proyecto. Un fundamento teorico imprescindible en la meta de esta investigacion fue la caracterización de las botellas PET, desde el conocimiento de la molécula hasta sus propiedades fisico-quimicas.

El teraftalato de polietileno es un polímero termoplástico que tiene una estructura inestable y cuyas cadenas hidrocarbonadas no estan ligadas por enlaces quimicos fuertes, Fig. 1 [9]. Al microscopio su composicion da la apariencia de un tejido de lana. En presencia de calor se descompone formando un estado viscoso con características de elasticidad. Sus propiedades lo ubican como un recipiente ideal en el envasamiento de liquidos para el uso industrial y para refrescos y gaseosas.

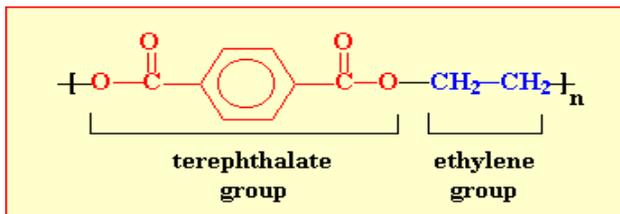


Fig. 1. Molécula del Teraftalato de polietileno
 Fuente: <http://www.eis.uva.es/~macromol/> [9]

Se podría enumerar múltiples bondades del teraftalato de polietileno, que para el sector industrial son de altísima utilidad, como la dureza, la rigidez, altísima resistencia, indeformidad ante el calor, estabilidad frente al intemperie. Sus propiedades fisicoquimicas quedan perfectamente definidas en la Tabla 1 [10].

La sociedad moderna en su afán por consumir, olvidó que la naturaleza le provee muchas de las materias primas necesarias para su desarrollo, pero que a su vez, estas se agotan.

Así, “en el mundo actual, lamentablemente la gente vive sumergida en una cultura del envase, utilizamos más y más plástico el cual muchas veces termina en los océanos y contamina la vida marina. Para tener una idea, se estima que para el año 2050 tendremos más plástico que peces en el mar” [11].

Otro de los fundamentos teóricos del producto de esta investigación, indudablemente fue el concreto, un ingrediente esencial. Este es un elemento fundamental para la construcción, además se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales: el cemento, los agregados pétreos y el agua.

TABLA 1
 PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DEL TERAFTALATO DE POLIETILENO

PROPIEDAD	VALOR	
COEFICIENTE DE VOLUMEN DE EXPANSIÓN	DE 30 A 60°C	1.6*10 ⁻⁴ GRADOS-1
	DE 90 A 190°C	3.7*10 ⁻⁴ GRADOS-1
DENSIDAD ESPECÍFICA A 25°C	AMORFO	1.335G/CC
	CRISTAL ORIENTADO	1.390G/CC
TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VÍTREA (T _G)	AMORFO	67°C
	CRISTALINO	81°C
	CRISTALINO Y ORIENTADO	125°C
PUNTO DE DERRETIMIENTO	PET COMERCIAL	265°C
	PET PURO	271°C
ABSORCIÓN DE HUMEDAD (INMERSIÓN EN AGUA A 25°C DURANTE UNA	0.80%	
RESISTIVIDAD	A 25°C	1*10 ⁻⁴ OHMIOS*CM
	A 150°C	1*10 ⁻⁴ OHMIOS*CM
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	3.36*10 ⁻⁴ CAL(CM*°S*° C)	

Fuente: Barón W y Palacios J. [10].

“Su función es la de resistir esfuerzos a compresión. A estos elementos básicos se le incorpora un cuarto componente denominado aditivo, que para esta investigación es una fibra. Esto con el fin de optimizar el nivel de seguridad en las construcciones, contribuir al desarrollo para el mejoramiento del concreto, bajando costos, brindando manejabilidad y resistencia” [12].

Otro componente de esta mezcla son los agregados pétreos: “En el sentido general de la palabra, los agregados, también llamados áridos, son aquellos

materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento Portland en presencia de agua conforman un todo compacto (piedra artificial) conocido como concreto u hormigón" [13].

La mezcla de cemento, agregados pétreos, botellas PET, fibra sintética, dentro de un molde de madera para realizar un ecobloque; puede ser para la comunidad una buena solución a los problemas que aquejan a la sociedad, tal como lo asegura Gerardo Gran Scheu, en su proyecto sobre la transformación de PET en ladrillos, cuando afirma: "La verdad siempre había querido hacer un trabajo que tuviera valor agregado y que fuera un aporte para el desarrollo de la construcción en Chile.

Fue así como me puse a investigar y leí un artículo en un medio de comunicación argentino que daba cuenta de ladrillos de plástico y de impacto en la construcción. Así que no lo pensé dos veces, me puse en contacto con las personas indicadas y aquí estoy, haciendo ladrillos en base a plástico triturado, agua y cemento" [14].

El proceso de elaboración de los mampuestos es similar al de los bloques de mortero de cemento, reemplaza la arena gruesa por los plásticos triturados. "Los plásticos que se utilizan son: PET (polietileno - tereftalato), procedentes de envases descartables de bebidas (residuo post-consumo); PE (polietileno), BOPP (polipropileno biorientado) y PVC (cloruro - 910 - de polivinilo), estos últimos procedentes de envoltorios de alimentos (residuo de fábrica por problemas de espesor o entintado)", [15].

En el país existen diversos ejemplos de proyectos que dan testimonio de la preocupación por solucionar, al menos en parte, la gran problemática ambiental que aqueja al mundo. Prueba de esto, es el trabajo de Severiche J., quien afirma: "Venimos trabajando el Ecoladrillo hace un año. Debíamos hacer algo que impactara positivamente el medio ambiente y donde pudiéramos aplicar lo aprendido en el semestre. Creamos el Ecoladrillo para reducir el impacto ambiental producido por los desechos de plásticos". [16].

3. METODOLOGÍA

Esta investigación surgió a partir de dos problemáticas que se presentan en la actualidad. La primera, con respecto a los desechos plásticos que el hombre genera a diario afectando de manera negativa al medio ambiente y la segunda, referente al incremento poblacional en las comunidades vulnerables con escasos recursos económicos. Por

otro lado, esta investigación se fundamentó y analizó teniendo en cuenta la teoría empírico-analítica a partir de la observación del área de aplicación, y la utilización de material científico, que determinaron cuantitativa y cualitativamente, las pruebas experimentales de laboratorio.

Posteriormente se efectuaron una serie de estudios que facilitaron la recopilación de datos estadísticos, además se hizo un reconocimiento de los tipos de fallas que más se presentan en la construcción del ecobloque; situación que provocó un cambio en el diseño tanto a nivel estético como de la mezcla misma. Por esto, se dio mayor enfoque a la profundidad en la modificación de los diferentes tipos de materiales que se emplearon para un óptimo diseño de mezcla; pasando de un ladrillo no estructural a uno de mampostería estructural.

El desarrollo de esta investigación tuvo como objetivo el diseño de una mezcla para un ecobloque PET, que cumpliera con las características de un bloque de mampostería estructural. Lo anterior, dio como resultado la producción de un documento que circunscribiera el estado del arte del uso del ecobloque PET tanto a nivel universal como continental y regional. Partiendo de lo anterior, se caracterizaron los materiales utilizados en las diferentes mezclas con base en sus propiedades físicas y químicas, y finalmente se diseñó una mezcla con dichos materiales en diferentes composiciones porcentuales, para obtener la mezcla óptima del ecobloque PET.

Productos: Descripción general. Tomando como base la información recopilada, se llevó a cabo el diseño y la construcción del ecobloque que fue creado con materiales bioconstructivos, ya que una de las metas fue disminuir tanto los costos a nivel ambiental como económico.

Descripción económica: Esta investigación realizó un análisis para determinar cómo el ecobloque propuesto podía ayudar a reducir los costos con respecto a un ladrillo o bloque convencional; teniendo en cuenta que la utilización de las botellas PET no acarrearía ningún costo adicional en su obtención. Lo anterior, porque se sabe de antemano que entre los desechos se suelen encontrar materiales que pueden ser reutilizados y por tanto transformados en elementos útiles. Además de encontrar una forma más económica de implementar la construcción de una vivienda de interés rural más limpia y económica; se colabora con el medio ambiente y su conservación.

Materiales: Peso de la gravilla. En la elaboración de la mezcla se utilizó un agregado muy fino y una gravilla de 3/8, material muy pequeño que es usado para la preparación de mezclas. Se escogió este material por las dimensiones y características del prototipo que favorecieron el tamaño y la forma del ecobloque, además se calcularon 4.500 kg por ecobloque.

Peso arena de peña. Otro ingrediente utilizado fue la arena de peña. Dicho material cuenta con un alto índice de sílice, característica que lo hace más resistente; razón por la cual se optó por este; además por ser excelente para las mezclas por su color y textura. Se adicionaron 4.000 kg por ecobloque.

Peso del cemento. El tercer ingrediente utilizado fue el cemento de color gris, químico que ayudó a dar la resistencia propuesta. Se adicionaron 2.0 kg por ecobloque.

Peso de macrofibra sintética. Otro componente de gran importancia fue el aditivo, la microfibra sintética, Fig. 2. Este material se utilizó gracias a sus características especiales, pues favoreció el proceso al darle mayor adherencia a la mezcla de las botellas PET; situación que ayudó a lograr una resistencia mucho mayor en comparación con los ensayos realizados previamente. Se adicionaron 340 gr. por ecobloque.



Fig. 2. Microfibra sintética estructural. Recuperado en: www.clasf.co.ve/q/macro-fibra-concreto/ [18]

3.1 Fibra sintética *TUF-STRAND SF*. Descripción general

“Son macro fibras sintéticas de una mezcla autofibrilante polipropileno/polietileno, que se encuentran patentadas y se utilizan para reemplazar exitosamente las fibras de acero, el refuerzo de malla de acero electro soldada y las varillas de refuerzo convencionales en una amplia variedad de aplicaciones como la del concreto lanzado que

recubre los techos de los túneles, en el proceso constructivo de piscinas, la estabilización de taludes, pavimentos, pisos de concreto en áreas de flujo vehicular y peatonal.

El concreto reforzado con *TUF-STRAND SF*, cuyas propiedades se muestran en la Tabla 2, tendrá refuerzo tridimensional con características de tenacidad a la flexión mejoradas, así como de resistencia al impacto y a la abrasión, igualmente ayudó a mitigar la formación del agrietamiento por contracción plástica en el concreto”, [17].

3.2 Aplicación

Las fibras *TUF-STRAND SF* se pueden adicionar a la mezcla de concreto. Generalmente se recomienda adicionar la fibra en la planta de producción del concreto. Una vez adicionadas las fibras al concreto, se debe mezclar por un mínimo de 3 a 5 minutos a la máxima velocidad para asegurar la completa dispersión y homogeneización de las fibras en la mezcla.”, [18].

3.3 Proceso constructivo

El proceso inició con el llenado de las botellas PET con material no biodegradable seguido de la preparación del molde, Fig. 3.

TABLA 2
PROPIEDADES FÍSICAS DEL ADITIVO

Material	Descripción
Fibra TUF STRAND SF	Mezcla de polipropileno/polietileno
Gravedad específica	0,92
Resistencia a tensión	600-650 megapascales
Módulo de elasticidad	9,5 Gigapascales
Punto de llama	330°C-625°F
Longitud de la fibra	50mm
Aspect Ratio	74
Color	Blanco
Absorción del agua	Despreciable
Resistencia al Alcalis	Excelente
Resistencia a ácidos	Excelente
Resistencia a moho y hongos	Excelente
Dosis típica	1,8-1,2 kg/m ³
Denier	3000

Nota: Tomado de <http://www.toxement.com.co> [19]

Previamente se hizo el análisis del material de la botella PET y las bolsas o empaques plásticos de frituras. Posteriormente se introdujeron las bolsas

plásticas dentro del envase PET hasta dejarlo completamente compacto, teniendo en cuenta que estas debían tener un peso uniforme. A continuación se humectó el molde del ladrillo con aceite quemado buscando que la mezcla no se adhiriera a la madera.



Fig. 3. Ilustración del proceso constructivo. Archivo de los autores.

3.3.1 *Peso de botellas PET con material*

Posteriormente, y luego de llenar las botellas PET en su máxima capacidad, fueron pesadas, Fig. 4. Seguidamente fueron compactadas con una varilla con el fin de lograr uniformidad en cuanto a la cantidad de material utilizado en cada una de ellas; en seguida se amarraron en grupos de 3 botellas con una malla (galpón) para luego ser pesadas en una báscula.



Fig. 4. Ilustración del peso de las botellas PET. Archivo de los autores.

3.3.2 *Preparación de mezcla del ecobloque*

En este proceso se hizo una mezcla en la que se utilizó grava, arena de peña y cemento, Fig. 5. En esta fase se empleó un compuesto químico-físico adicional llamado fibra TUF STRAND (macro fibra sintética), con el fin de lograr una mayor resistencia y que las moléculas se adhirieran más fácilmente a las botellas PET.



Fig. 5. Proceso de mezclado. Mezcla para fundir el ecobloque. Archivo de los autores.

3.3.3 *Fundición del ecobloque*

Luego de obtener la mezcla, se procedió a fundir el ecobloque con las botellas PET debidamente acomodadas en su interior; inmediatamente después se fue agregando la mezcla al molde para luego proceder a sacarle los vacíos a cada una de ellas respectivamente con ayuda de una varilla, Fig. 6.



Fig. 6. Moldeado del ecobloque. Archivo de los autores.

3.3.4 *Curado del ecobloque*

Luego de la fundición del ecobloque se procedió a humedecerlos con agua para el proceso de curado, Fig. 7, para luego realizarles las pruebas de laboratorio a los 7, 14 y 28 días, respectivamente.



Fig. 7 Fundición y curado del ecobloque. Archivo de los autores.

3.3.5 Secado en el horno

En esta etapa se sometió el ecobloque a un proceso de secado en el horno, Fig. 8, con el fin de iniciar la detección de fallas en el material.



Fig. 8. Secado del ecobloque en el horno. Archivo de los autores.

3.4 Pruebas de laboratorio

3.4.1 Peso húmedo del prototipo ecobloque

En esta fase se pesó el ecobloque húmedo, Fig. 9, y se obtuvo como resultado 12.946 Kg.



Fig. 9. Peso del ecobloque húmedo. Archivo de los autores.

3.4.2 Peso seco del prototipo ecobloque

En este proceso se sometió al ecobloque a un secado en el horno para después proceder a realizar las pruebas de laboratorio. Se obtuvo como resultado 12.472 Kg, Fig. 10.



Fig. 10. Peso del bloque seco. Archivo de los autores.

3.4.3 Prueba de compresión para el ecobloque (Tiempo de 7 días)

Posteriormente de la toma del peso seco del ecobloque, se realizó una prueba de compresión, Fig. 11, en la que se observaron fisuras en sus costados, arrojando como resultado en la primera prueba de 76,5 KN fuerza.



Fig. 11. Pruebas de compresión. Resultados de la prueba. Archivo de los autores.

3.4.4 Prueba de compresión para el ecobloque (Tiempo de 14 días)

Al realizar la segunda prueba de compresión se observó que la resistencia fue duplicada, situación que favoreció el desarrollo de la investigación pues se obtuvo un resultado de 138 KN fuerza, Fig. 12.

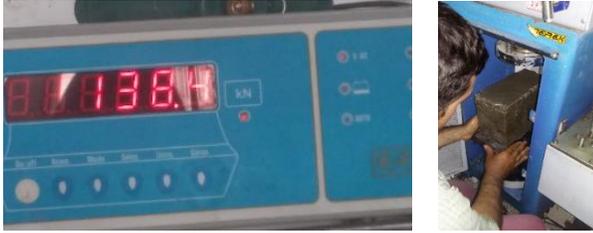


Fig. 12. Prueba de ecobloque - 14 días. Resultados de la prueba. Archivo de los autores.

3.4.5 Prueba de compresión para el ecobloque (Tiempo de 28 días)

Al realizar la última prueba de laboratorio, Fig. 13, se compararon los resultados obtenidos en los ensayos previos con la etapa en la que se adicionó fibra a la mezcla, alcanzando un aumento en la resistencia del ecobloque. Se obtuvo como resultado 195,0 KN.



Fig. 13. Prueba de compresión a los 28 días. Resultados de la prueba. Archivo de los autores.

3.4.6 Tipo de falla obtenida

En el transcurso de los tres ensayos preliminares se observó una falla columnar, producto de la distribución heterogénea de las fibras, Fig.14, aspecto que se fue mejorando en las posteriores pruebas con el fin de alcanzar un resultado favorable con respecto al factor resistencia; de tal forma que se lograra superar lo exigido por la NSR10-NTC 4026 que oscila entre 9 megapascales (91,77kgf/cm²) y 15 megapascales (153 kgf/cm²); resultado que se empezó a evidenciar en esta etapa.



Fig. 14. Resultados de la prueba. Archivo de los autores.

TABLA 3

4. PRESUPUESTO GENERAL DEL ECOBLOQUE

El presupuesto general es presentado en la Tabla 3.

5. CONCLUSIONES

La producción del ecobloque se constituye en una alternativa eficaz para la construcción de vivienda, gracias a las características y propiedades del plástico de las botellas PET.

La producción de ecobloque con tecnología más limpia trae como resultado la reutilización de materiales de desecho como las botellas PET, de tal forma que se colabore con la obtención de un entorno menos contaminado y por tanto más saludable.

Se ha probado la compresión del ecobloque, basada en la modificación de la mezcla del ecobloque no estructural en estructural; para obtener mayor resistencia, atendiendo a las normas colombianas NSR10-NTC 4026.

Durante la primera fase de la segunda prueba, se modifica la mezcla del ecobloque no estructural, agregando fibra sintética que ayuda a la adherencia y refuerzo del concreto, donde se observó un cambio favorable en la curva de la compresión para el ecobloque estructural.

La tecnología y los materiales utilizados son una alternativa en pro del bienestar de las comunidades y por tanto de desarrollo sostenible.

La contaminación acelerada del planeta puede ser detenida si las comunidades cambian las formas de vida que van en contra del desarrollo natural del medio ambiente.

Reutilizar los materiales de desecho como las botellas PET, favorece la conservación de entornos más saludables y menos contaminados.

Los ecobloques fueron diseñados y elaborados como alternativa en la construcción de vivienda de interés social, con el fin de favorecer a las comunidades más vulnerables de la provincia del Alto Magdalena.

El incremento en los costos de producción de materiales tradicionales para la construcción, posibilitaron la producción de un ecobloque que satisficiera las necesidades y por tanto la demanda en la construcción de vivienda con menos costos.

PRESUPUESTO DEL PRODUCTO

PRESUPUESTO POR ECOBLOQUE						
PROYECTO:	SOLUCIONES DE VIVIENDA ECOSOSTENIBLE DE INTERES RURAL CON BASE EN ECO-BLOQUE PET PARA MAMPOSTERIA ESTRUCTURAL EN EL ALTO MAGDALENA COLOMBIA					
ACTIVIDAD:	ELABORACIÓN DEL ECOBLOQUE					
1. MATERIALES						
ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL		
CEMENTO	KG	2.7	500	1350		
ARENA	KG	6.35	27	171.45		
GRAVA	KG	7.2	33	237.6		
FIBRA TUF STRAND	GR	15	37.65	564.75		
AGUA	LTS	1.3	30	39		
SUBTOTAL			\$2,362.80			
1,2 . FIBRA TUF STRAND - PRECIO DE FABRICA						
ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR TOTAL			
FIBRA TUF STRAND	KG	2.27	\$85.435			
2. MANO DE OBRA						
TRABAJADOR	CANTIDAD	VALOR*HORA	% PRESTACIONES	RENDIMIENTO: actividad/cu	VALOR PARCIAL	
GLOBAL	1	5% MATERIAL	0	\$118.14	\$118.14	
TOTAL			\$118.14			
TOTAL COSTO DIRECTO			\$2,480.94			

Fuente: Los autores.

REFERENCIAS

- <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16488356>
- [1] H. Acevedo A., A. Velásquez H., and D. A. Ramírez. C. "Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia". *Gesti n y ambiente*. Universidad Nacional de Colombia, vol. 15, no. 1, pp. 105-118. ISSN 2357-5905, 2012. Disponible en <http://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/30825/39307>
- [2] L. M. Varón, D. C. Sierra, y L. Y. Bedoya, "INDURAL: un aporte significativo a la producción más limpia y la construcción sostenible". *Producción + Limpia*, vol. 6, no.1, pp. 128-135, 2011. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4330070.pdf>
- [3] R. Gaggino, "Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción", *Revista INVI*, vol. 23, no. 63, pp. 137-163, 2008, Recuperado en 10 de sept. 10 de 2016, de <http://www.www.redalyc.org/articulo.oa?id=25806306>
- [4] R. Gaggino, R. Arguello, y H. Berretta. "Encuentro de comunidades sustentables". (2006, ag.). Obtenido de e-mail: areatecnica@ceve.org.ar de http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2007/2007_artigo_026.pdf.
- [5] E. Medina, "Colombianos crean casas con ladrillos de plástico reciclado", *El tiempo*, [En línea], (2006, ag. 22). Disponible en <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16488356>
- [6] J. C. Rincón. (2013, febr.) Proyecto 2 (061) Ecoplacas, Placas moduladas, amigables con el medio ambiente y de fácil instalación. [En línea]. Disponible en <http://ecoplacas.blogspot.com.co/2013/02/estado-del-arte.html>
- [7] J. Marroquin. "Sector químico-agricola impulsa reciclaje de plástico". *Noticias financieras*, pp. 45-67. (2010, sept. 2). Recuperado el 05 de jun. de 2016. Disponible en <http://ezproxy.unipiloto.edu.co/docview/749402035?accountid=50440>
- [8] Plásticos para arquitectos y constructores. (2016, oct. 3) Barcelona: reverté S. A. *Portafolio*. Disponible en <http://www.portafolio.co/negocios/empresas/la-empresa-que-se-dedica-a-hacer-casas-de-plastico-500779>
- [9] Teraftalato de polietileno. Disponible en <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/>
- [10] W. Barón, J. Palacios, J. en Ramírez, D. 2001 Recuperado de: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/2169/2/139221.pdf>
- [11] R. Mannise. "Empresa transforma el plástico de los océanos en ladrillos". *News Letters*, [En línea]. (2016, sept. 2). Disponible en <http://www.inthenewsletter.com/newsletter/ecocosas.com/5758>

- [12] R. Mannise. "Empresa transforma el plástico de los océanos en ladrillos". *Ecocosas*. [En línea]. (2016, sept. 2). Disponible en <http://ecocosas.com/arq/empresa-transforma-plastico-los-oceanos-ladrillos/>
- [13] D. Sánchez, "Los agregados o áridos" en *Tecnología del concreto y el mortero*; Bhandar eds. 2001. Cap. 4, p.65.
- [14] Ladrillos de plástico para la construcción de viviendas, una innovación que surge desde la universidad. *La segunda online*. [En línea]. (2012, ag. 8). Disponible en http://www.lasegunda.com/Noticias/Nacional/2012/08/7_70974/ladrillos-de-plastico-para-la-construccion-de-viviendas-una-innovacion-que-surge-desde-la-universidad
- [15] Bloques de concreto y plástico. *Otroatardecer*. [En línea]. (2011, sep. 1) Disponible en <https://otroatardecer.wordpress.com/2011/09/01/bloques-de-concreto-y-plastico/>
- [16] C. L. Urbina. "Bumangueses fabrican ladrillo con plástico para la construcción". *Vanguardia*. [En línea]. (2015, my. 14). Disponible en <http://www.vanguardia.com/mundo/ciencia/311514-bumangueses-fabrican-ladrillo-con-plastico-para-la-construccion>
- [17] Euclid Group Eucomex. TUF-STRAND SF. Micro fibra sintética. [En línea]. Consultado (2016, my.). Disponible en <http://www.eucomex.com.mx/PDF/Tuf%20Strand.pdf>
- [18] Toxement. Fibras sintéticas estructurales. [En línea]. p.2. (2011, nov. 2) Disponible en http://www.toxement.com.co/pdfs/Tuf_Strand_SF.pdf
- [19] Toxement. Propiedades físicas del aditivo. Disponible en <http://www.toxement.com.co>



Prototipo de Bicicleta para Transporte Urbano Individual Sostenible

Bike Prototype for Sustainable Individual Urban Transportation

Gabriel Jaime Correa Henao, PhD

*SEDIC S.A. Ingenieros Consultores
Medellín, Colombia
gjcorreah@gmail.com*

Álvaro Andrés Ramírez Piñeros, MSc

*Profesional Autónomo
Medellín, Colombia
alvar_ra@yahoo.com*

(Recibido el 27-05-2016, Aprobado el 31-08-2016, Publicado el 17-01-2017)

Estilo de Citación de Artículo:

G. Correa-Henao, A. Ramírez-Piñeros, "Prototipo de Bicicleta para Transporte Urbano Individual Sostenible", Lámpsakos, no. 17, pp 40-51, 2017
DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.2055>

Resumen

La movilidad en las ciudades centra la atención de las políticas promulgadas por gobiernos locales en países de todo el mundo, teniendo en cuenta el crecimiento exponencial de automóviles y motocicletas con motores de combustión interna durante el siglo XXI. En esa medida, la adaptación de las infraestructuras que permitan la circulación de dichos medios de transporte (calles, avenidas, autopistas, puentes, etc.) ha sido muy limitada. Como consecuencia, algunas propuestas para aportar en la optimización del transporte de los ciudadanos al interior de las ciudades, consideran una mayor promoción de los medios de transporte público, así como el impulso en modalidades de transporte sostenibles y económicas, como las bicicletas. En este artículo se presenta un caso de estudio derivado de la concepción, construcción y puesta en marcha de un prototipo de bicicleta construida con materiales amigables con el medio ambiente, cuyo impulso responde a la combinación de potencia generada por la fuerza humana y una rueda eléctrica motorizada, adaptable a diferentes condiciones geográficas vigentes en la ciudad de Medellín, Colombia.

Palabras Clave: Bicicleta Urbana, Sostenibilidad Energética, Movilidad Ciudadana

Abstract

Nowadays inner-city transportation focuses the attention of local government policies among countries around the world, due to the exponential growth of vehicles with internal combustion engines (automobiles, motorcycles) during the XXI century. Nevertheless, adaptation of infrastructure that allow circulation of such transportation vehicles (avenues, streets, bridges, highways, etc) has

been very limited. As a result, some proposals have arisen in order to promote citizen's transportation optimization in the cities, including a better promotion of public transport, as well as encouragement of economic and sustainable ways of urban moving, for example bicycles. In this paper, authors show a case-of-study derived from a project containing both design, construction and commissioning of a bike prototype made up of environmental friendly materials, whose locomotion is based on the power combination of both human force and a motorized electric wheel, adaptable to different geographic conditions existing in the City of Medellín, Colombia.

Keywords: Urban Bikes, Energetic Sustainability, City Transportation.

1 INTRODUCCIÓN

Los ciudadanos de Medellín reciben con preocupación la noticia según la cual el aire que se respira en dicha localidad es uno de los más contaminados de Colombia, como consecuencia de la combinación de factores meteorológicos, dentro de la orografía montañosa, así como la emisión de gases contaminantes desde fuentes estacionales (industrias) y móviles (parque automotor) [1]. Durante el año 2016, las autoridades ambientales han emitido alarmas periódicas con el reporte de mediciones de 2.5 ppm de material contaminado en el aire de la ciudad, en donde la polución de los vehículos representa cerca del 80% de los contaminantes que se miden en la calidad de éste [2].

Estas condiciones han propiciado la acción de las autoridades para crear un plan de descontaminación aplicable a los municipios que conforman el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, cuyas políticas contemplan la promoción de construcciones sostenibles, así como la producción y consumo responsable, lo cual involucra planes de movilidad empresarial, reacción ante episodios de contingencia ambiental, integración del transporte público, asesoría al transporte de carga, reforestación arbórea y pacto común por la calidad del aire, además de la gestión de un modelo de gobierno abierto para entregar información a la ciudadanía. Dichas políticas están consignadas en el plan Metrópoli [3], vigente a la fecha, donde se plantea la necesidad de privilegiar las inversiones en optimización y eficiencia de los sistemas de transporte público y masivo, al igual que la difusión y estímulo de medios alternativos de transporte, como los sistemas de bicicleta.

Precisamente, la coordinación en la ejecución de dichas políticas de planeación entre las diferentes entidades gubernamentales, constituye una fuente de innovación para mejorar la calidad de vida de los habitantes de la ciudad de Medellín y los demás municipios que conforman el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, al punto que en el año 2012 se otorgó el premio mundial de ciudad más innovadora a Medellín [4]. Se destaca también la construcción de vías exclusivas para el transporte en bicicleta, así como la implementación de sistemas de bicicletas públicas para el transporte intraurbano [5,6], actualmente vigente en los municipios de Medellín y Sabaneta.

En concordancia con la problemática descrita previamente, y conscientes de la necesidad de generar soluciones creativas, innovadoras y adecuadas para el contexto local, los autores documentan en este artículo su experiencia para el diseño, construcción y puesta en marcha de un prototipo de bicicleta para el transporte individual urbano, que se puede adaptar al contexto local, teniendo en cuenta las condiciones de la ciudad de Medellín, relacionadas con su geografía, clima, limitaciones de infraestructura y tráfico vehicular. Para el efecto, se presenta el procedimiento de diseño y construcción de una bicicleta con materiales de menor impacto ambiental (guadua/bambú), con componentes y accesorios disponibles comercialmente. Adicionalmente, el prototipo de bicicleta incluye la disposición de una rueda motorizada eléctrica, cuya respuesta de

torque se adapta a la frecuencia y fuerza de pedaleo del usuario, optimizando el consumo eléctrico y garantizando la mejor asistencia para cubrir distancias con trayectos inclinados, propios de la geografía de la ciudad de Medellín.

La primera parte de este artículo presenta una revisión en torno a las políticas de estímulo para el uso de los medios alternativos de transporte urbano individual (aplicable a la ciudad de Medellín y su área Metropolitana) y la importancia de asumir la construcción del prototipo de bicicleta. La segunda parte del artículo proporciona una descripción del diseño y construcción del prototipo de bicicleta, su tecnología y materiales, así como la documentación del proceso constructivo. La tercera parte del artículo presenta un análisis de datos sobre el desempeño del prototipo en diferentes condiciones de uso en la ciudad de Medellín, así como las oportunidades que puede representar como método de transporte, frente a los medios tradicionales (vehículos con motor de combustión interna). Algunas conclusiones y futuros trabajos relacionados con esta área de investigación se presentan al final del artículo.

2 LA BICICLETA COMO MEDIO DE TRANSPORTE URBANO

2.1 Diagnóstico Internacional

La movilidad en bicicleta se promueve actualmente en diferentes países occidentales, como un modelo efectivo de transporte en áreas urbanas. Desde mediados del siglo XX, la planeación urbana en la mayoría de países ha enfatizado en la transformación de las ciudades para facilitar el uso de los vehículos privados; como resultado, el uso masivo y la tasa de crecimiento del uso del automóvil ha alcanzado valores máximos en las primeras décadas del siglo XXI, cuyos valores (vehículos por 1000 habitantes) pueden observarse en la Figura 1 [7], destacándose el caso de países como Estados Unidos (797), Italia (679), Canadá (662), España (593), Argentina (314), Rusia (293), México (275), Brasil (249), Colombia (148), China (128), India (18). El caso particular de los países BRICS, aunque se cuentan entre los mayores productores mundiales de automóviles, su tasa per cápita de automóviles por habitante aún es relativamente equilibrada.

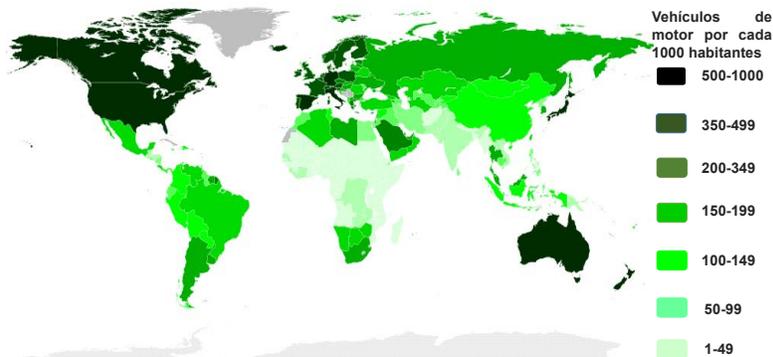


Fig. 1. Número per-cápita de vehículos de motor de combustión interna por cada 1000 habitantes, sin incluir motocicletas. Fuente: [7]

Bajo este panorama, los cambios requeridos para incrementar la capacidad de vías, avenidas y autopistas utilizadas por vehículos privados es cada vez más cara y exige mayores sacrificios ambientales, económicos y sociales [8]. En áreas densamente pobladas, con distancias cortas, el automóvil constituye un modo de transporte ineficiente e insostenible. Sin embargo, en muchos casos el transporte público no puede satisfacer las necesidades de movilidad de los ciudadanos, debido a su complejidad, variedad y limitación de rutas.

Este tipo de problemáticas constituye una de las mayores preocupaciones de la ciudadanía y gobiernos en zonas urbanas. Lo anterior, ha impulsado la generación de planes de movilidad sostenible, los cuales suelen adaptarse a las condiciones particulares de cada ciudad. Estas acciones tienen un denominador común: los usuarios quienes como peatones o ciclistas acceden a estos medios, con características de transporte intermodal que tiene como eje a la bicicleta. Promover el uso de la bicicleta genera beneficios sociales al mejorar la salud pública por la actividad física; ambiental al disminuir la contaminación atmosférica y acústica y económica al favorecer costos de viaje de los usuarios y mantenimiento de infraestructura; entre otros [9].

Numerosos estudios en el ámbito de la planeación urbano-regional sugieren la implementación de políticas que permitan masificar el uso de la bicicleta como medio de transporte en las ciudades. Algunas investigaciones han generado recomendaciones para implementar modelos de préstamos de bicicletas urbanas, dentro de un esquema de movilidad intermodal a partir de la experiencia de ciudades como Ámsterdam [10,11], París [12,13], Madrid [14] y Barcelona [15,16]. De esta manera, es posible formular nuevos aplicativos que permiten optimizar la instalación de puntos operativos para los modelos de bicicletas públicas [17], los cuales también se replican en ciudades asiáticas [18].

Actualmente, el modelo de préstamo de bicicletas urbanas está ampliamente difundido en numerosas ciudades europeas, con un gran éxito [19]. Algunas ciudades norteamericanas (Vancouver, Toronto, Portland, Austin, etc.) también están empezando a implementar dicho modelo, con resultados aceptables [20,21], así como en centros urbanos en China [22].

2.2 Entorno Local

En el ámbito latinoamericano, algunas ciudades también han acogido el modelo de masificación del transporte mediante el uso de la bicicleta. Específicamente el uso de bicicletas públicas se ha institucionalizado en algunas ciudades mediante programas como: Encicla en Medellín y su Área Metropolitana (Colombia), Samba en Río de Janeiro, Bike Samba en São Paulo, Bike en Brasilia, MaisBici en Curitiba (Brasil), Ecobici en Buenos Aires (Argentina), Bike en Santiago (Chile) y Ecobici en México D.F, con resultados muy satisfactorios, dado que en cada sistema se reportan más de 5000 viajes individuales diariamente [23,24].

La promoción de la bicicleta como medio de transporte, también se ha acompañado de la adaptación de infraestructura para uso exclusivo de la misma. Esta característica siempre ha estado presente en las ciudades europeas, cuyo ejemplo se ha reproducido en ciudades de todo el mundo [8,10]. En el ámbito latinoamericano se destacan los casos de ciudades como Curitiba (Brasil) y Bogotá (Colombia), donde se ha brindado prioridad al transporte masivo y a los medios no motorizados [25]. Específicamente en Colombia, las políticas de planeación urbana fueron adoptadas inicialmente en la ciudad de Bogotá, donde se dio prioridad a la infraestructura vial exclusiva para bicicletas, conocida como ciclo-ruta. Dichas políticas posteriormente fueron acogidas en otras ciudades intermedias colombianas, con la finalidad de incentivar el uso de las bicicletas [6,9].

Particular atención toma el plan de desarrollo adoptado por la ciudad de Medellín 2016-2019 [26], el cual dedica la dimensión estratégica “Movilidad sostenible: una tarea de todos”, a partir de recomendaciones y experiencias articuladas de gobiernos previos [3,9], así como a la participación ciudadana en torno a la solución de sus necesidades de transporte y movilidad. Dicha dimensión se concibe teniendo en cuenta las realidades de la ciudad, en cuanto a su crecimiento poblacional, su integración regional, sus limitaciones geográficas, las características de las vías, y el aumento del parque automotor (automóviles y motocicletas), que en sólo 7 años creció un 61%. Por esa razón, se ha establecido el desarrollo e integración de la infraestructura existente con los diferentes sistemas de la ciudad de manera que su funcionamiento sea sostenible, incluyente, fluido y cómodo para los ciudadanos, al tiempo que se proporciona a los ciudadanos el acceso a los sistemas de transporte que se caractericen por ser seguros, de calidad y sostenibles, dirigidos a la población de Medellín y su área metropolitana. En ese sentido, se fortalece el sistema de movilidad multimodal y del transporte público como vía de mejoramiento de las condiciones de accesibilidad de la población para el disfrute de la ciudad, así como la gestión integral para la movilidad no motorizada [26].

Para finales del año 2016, la ciudad de Medellín cuenta con 21 Km de Carriles exclusivos para bicicletas o ciclorrutas [26], las cuales están concentradas especialmente en la zona plana del valle de Aburrá, y en los barrios perimetrales al centro de Medellín (La Candelaria, Laureles, Belén, Los Colores, etc). Aunque un porcentaje significativo de la población tiene su residencia en dichas áreas, existe un amplio porcentaje de comunas ubicadas en las laderas de las montañas que rodean a la ciudad de Medellín, donde se estima que residen más de 1 millón de habitantes. Las características del terreno montañoso, la distribución urbana de los barrios y las dificultades para trazar las vías en los barrios de ladera (El Poblado, Robledo, San Javier, Manrique, Aranjuez, Castilla, Belén, Santa Cruz, Santo Domingo, Buenos Aires, La Milagrosa, entre otros), conllevan a dificultades en la consideración de la bicicleta como medio de transporte. En dichos barrios, se impone el transporte público con autobuses, colectivos, así como las motocicletas y los vehículos particulares [9]. En algunos barrios, también se puede acceder a través del Metrocable (Línea J, Línea H, Línea E y Línea K) o a través del Tranvía.

3 PROPUESTA DE PROTOTIPO DE BICICLETA PARA CONDICIONES DE MOVILIDAD EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN

Las características propias de la ciudad de Medellín, y sus condiciones geográficas particulares, dado que está enclavada en los terrenos montañosos de la cordillera de los Andes, pueden constituir una restricción para garantizar una movilidad sostenible para todos sus habitantes. Por tal motivo, se deben considerar oportunidades de mejora que generen bienestar social, económico y ambiental al momento de proponer ideas innovadoras [27], especialmente cuando se aplican al sector de la movilidad.

3.1 La Bicicleta como Medio de Locomoción

La realización de un prototipo de bicicleta adaptable a las condiciones de la ciudad de Medellín, se fundamenta en las siguientes características:

- Se trata de un medio de transporte que no genera emisiones.
- El uso de la bicicleta reporta mejora en la salud de sus usuarios.
- Es compatible con vías, rutas y andenes actualmente disponibles en la ciudad de Medellín, a pesar de las limitaciones vigentes en infraestructura.
- Los diseños de bicicletas son aceptados internacionalmente y suelen contar el beneplácito de sus usuarios.
- Los marcos de bicicleta y sus componentes están disponibles comercialmente, en diferentes gamas de precios, adaptados a los gustos de sus usuarios.
- Las bicicletas se pueden ajustar ergonómicamente a la necesidad de cada usuario.
- Las bicicletas se pueden personalizar fácilmente, según los gustos y necesidades de sus usuarios.
- La bicicleta constituye un medio de transporte aceptado en zonas urbanas (a pesar que aún no es ampliamente incluido).
- Los deportes que involucran el uso de las bicicletas (ciclismo ruta, ciclismo de montaña, ciclismo pista, downhill, BMX, etc.) tienen alto grado de popularidad y son practicados cada vez por más personas en todo el mundo.
- Según se ha enunciado en secciones previas, los gobiernos de varias ciudades del mundo consideran que el uso de la bicicleta constituye una oportunidad para facilitar la movilidad masiva, con inversiones mínimas, facilitando la

calidad de vida en los centros urbanos para todos sus habitantes.

- Se expiden políticas para apoyar la movilidad urbana fundamentada en bicicletas [28].
- La masificación de la movilidad mediante el uso de bicicletas constituye un renglón económico en crecimiento, y constituye una oportunidad de nuevos negocios en los ámbitos locales y nacionales.
- La industria de fabricación de bicicletas y sus componentes genera mínimos impactos ecológicos en las regiones donde se asientan [29].

En regiones montañosas, el uso de la bicicleta puede verse restringido, debido a la limitación de las personas que requieran pedalear para vencer la fuerza de gravedad, al desplazarse por vías con variación en su altimetría. La bicicleta eléctrica no contamina, no emiten monóxido de carbono (CO), ni dióxido de carbono (CO₂), tampoco óxido nítrico (NO). Este medio de transporte no usa combustibles fósiles, por lo tanto no genera emisiones, y evita la contaminación acústica, esto lo convierte en una de las mejores opciones a la hora de un desplazamiento limpio y ecológico [30].

3.2 Prototipo para Movilidad Urbana

Las oportunidades enunciadas previamente, permiten dilucidar las características de un prototipo para movilidad, que está constituido por una bicicleta con pedaleo asistido:

- Personalización: Se construirá un prototipo de bicicleta con pedaleo asistido que consta de un marco, ruedas y demás componentes, los cuales deben estar disponibles comercialmente, y adaptarse al gusto del usuario, con un diseño sobrio.
- Costos asequibles: El prototipo de bicicleta con pedaleo asistido completo y terminado debe costar menos de 2500 dólares, equivalente al costo de bicicletas en gamas medias y altas.
- Materiales: Se eligen materiales de fácil consecución, sobrios y de bajo impacto ambiental. El prototipo debe ser liviano (≤ 15 Kg) y estructuralmente resistente, de manera que soporte el uso diario y que se adapte a los espacios disponibles para tránsito y parqueo.
- Pedaleo asistido: Esta característica ha permitido popularizar el uso de las bicicletas como medio de transporte, dado que facilita el pedaleo por parte del usuario. Tradicionalmente, se han utilizado motores de combustión interna de 1HP, adaptados en las bicicletas, pero en los últimos años, también se ha extendido la

combinación de motores eléctricos con baterías. Para el prototipo de movilidad, se incorpora tecnología de pedaleo asistido con mínimo gasto energético y de carga eléctrica rápida. En el pedaleo asistido, al momento que el usuario activa los pedales de la bicicleta, la acción es captada por un sensor inductivo, que envía una señal al control del conjunto batería-motor. Este proceso es inmediato, de manera que el motor responde a la fuerza aplicada sobre los pedales al instante. Si no se ejerce fuerza de pedaleo con el sistema conectado el motor permanece inactivo [30].

- Adaptación al Medio Local: Dadas las características geográficas de la ciudad de Medellín, se exige que el prototipo facilite el pedaleo por parte del usuario, facilitando el ascenso por vías empinadas, propias de las montañas.
- Ajuste a las políticas locales: El Ministerio de Transporte de Colombia estableció a través de la resolución 160 de 2017, los vehículos automotores tipo ciclomotor, tricimoto y cuadríciclo de combustión interna o eléctrica, no podrán transitar por andenes, ciclovías, ciclorrutas o cualquier tipo de cicloinfraestructura destinada al tránsito de peatones o bicicletas [28].

3.3 Construcción del Prototipo

El prototipo de bicicleta se construye con las siguientes características de diseño y funcionalidad

3.3.1 Fabricación del Marco

El marco de la bicicleta soporta toda la estructura de la misma. En la actualidad, los ciclistas profesionales suelen adaptar marcos construidos en fibra de carbono, cuyo peso oscila entre 1kg y 5kg, y son ideales para bicicletas de alta gama para competición. El valor de dichos marcos puede superar los 2000 dólares por unidad.

Para el prototipo propuesto, se diseña un marco de bicicleta con medidas personalizadas, para uso en rutas, siguiendo recomendaciones de tutoriales comerciales [31]

- Distancia de Entrepierna = 90cm
- Distancia de Antebrazo = 49cm
- Distancia del Tronco = 55cm
- Tipo de Rueda = 700cm * 28"
- Equivalente comercial de las medidas del marco = 19" a 20"

Para el prototipo propuesto, se prefiere la construcción del marco en material de bambú o guadua, pues constituye un elemento ligero, fuerte, fácil de trabajar manualmente y renovable. El bambú es una gramínea (pasto) que crece rápidamente con cientos de variedades y diferentes propiedades físicas. A diferencia de la madera, el bambú está compuesto por fibras muy largas y fuertes a lo largo de todo su tallo. Esta estructura es muy similar a la fibra de vidrio y fibra de carbono unidireccional. Por esta razón se dice que el bambú es un “compuesto natural” [32,33].

El bambú es un material muy fuerte. Su fuerza con relación al peso es equivalente a la del acero. Siendo un material tubular su uso es ideal para propósitos estructurales. Los marcos para bicicletas en bambú son más flexibles que los fabricados en acero o aluminio, absorben muy bien las irregularidades y vibraciones del terreno. Las varillas de bambú se pueden flectar sin fracturarse ni astillarse. El bambú es un material renovable, que cumple con los requerimientos para la fabricación marcos de bicicletas, con mínima huella ecológica en su utilización [33]

La Fig. 2 proporciona una vista del marco tipo Gallardo BEAT elaborado totalmente a mano, en bambú seleccionado manualmente de parcelas colombianas con medidas entre 38mm y 45mm de diámetro, inserto del tubo del asiento en fibra de carbono y uñas en acero inoxidable. Los triángulos del marco se elaboran con bambú de 22mm de diámetro. Las uniones en hilo de fique natural con fibra de carbono y recubierto con poliuretano [33]. El marco pesa aproximadamente 4Kg y su costo oscila en 400 dólares, lo que lo convierte en una interesante alternativa económica frente a los marcos de fibra de carbono presentes en las bicicletas de alta gama.



Fig. 2. Vista del marco de bambú tipo Gallardo BEAT, con medida comercial equivalente de 19” a 20”. Fuente: Autores

3.3.2 Componentes y Ensamble de la Bicicleta

A nivel comercial están disponibles todos los elementos requeridos para realizar el ensamblaje y puesta en operación de la bicicleta, entre los que se pueden contar los componentes señalados en la Tabla 1.

El conjunto de componentes y elementos tiene un valor estimado de 200 dólares, cuya adquisición se realiza a partir de la oferta comercial vigente. El ensamblaje de la bicicleta se realiza con los procedimientos estándar. En la Fig. 3 se aprecia el resultado final en diseño y funcionalidad del prototipo de bicicleta, con un peso total de 9Kg. Al momento de realizar la prueba de la bicicleta, ésta ha demostrado un desempeño excepcional en viajes individuales urbanos, gracias a su resistencia, diseño y peso ligero.

Tabla 1

Listado de componentes requeridos para el ensamble del prototipo de bicicleta. Fuente: Autores

Componentes a la Vista	Componentes Ocultos	Componentes Adicionales
Llantas (par)	Neumáticos (par)	Abrazadera poste del asiento
Rines (par)	Protector neumáticos (par)	Centro en acero
Radios y Rines	Caja de dirección (Oversized externa)	Tornillos bielas (par)
Tenedor (llantas 700x30 ó 700x28)	Cinta manubrio o grips	Guayas frenos (par)
Plato y Pacha de 9 velocidades	Fundas guayas (3 metros)	Terminales o topes para guayas (par)
Frenos de ruta	Uniones Extensoras	Potencia
Pedales	Manzana delantera	Terminales o topes para fundas (x4)
Asiento	Manzana trasera	Manillares de freno
Cadena		Luces de Seguridad
Manubrio		
Poste sillín		



Fig. 3. Vista del prototipo de bicicleta totalmente ensamblado y comisionado. Fuente: Autores

3.3.3 Pedaleo Asistido

Teniendo en cuenta las distancias, diseño de vías y geografía existente en la ciudad de Medellín, la movilidad urbana exige la apropiación de innovaciones para el prototipo de bicicleta, con el fin de facilitar una mejor adaptación al entorno y a los usuarios. Con el propósito de finalizar la construcción de la bicicleta urbana, es necesario guiar la toma de decisiones respecto a la tecnología actualmente disponible, aplicable al modelo de

movilidad requerido en una ciudad como Medellín y su área metropolitana. La Tabla 2 proporciona un marco comparativo de los actuales desarrollos, y que están disponibles comercialmente. Dicha tabla también contiene los conceptos consignados por comunidades de usuarios, manifestando su concepto sobre instalación y mantenimiento [34,35].

De acuerdo con cuadro el comparativo de la Tabla 2 se dice que las bicicletas pueden tener autonomía

de entre 30 a 80 km en terreno plano, con velocidades que varían entre los 25 a 50km/h según el modelo. Las ruedas para pedaleo asistido generan suficiente potencia para impulsar a un ciclista a una velocidad máxima de 60Km/h, pero se han implementado desarrollos de seguridad en cada rueda para respetar la normativa de velocidad exigida por autoridades en Europa y en Norteamérica, por cuanto el motor se desconecta cuando llega a 32Km/h.

Tabla 2

Cuadro comparativo de tecnologías disponibles para pedaleo asistido en bicicletas urbanas. Fuente: Autores con información de [34–39].

Característica/ Tipo de Rueda	Copenhagen	Centinel Hycore	FlyKly	Kit de conversión genérico	Bicicleta eléctrica genérica
Símbolo					
Potencia Motor	350W	360W	250W	350W	350W
Costo aproximado	1000USD	700USD	1000USD	900USD	1800USD
Cableado	Sin cables	Sin cables	Sin cables	Cableada	Cableada
Conectividad	Bluetooth	Bluetooth	Bluetooth	No disponible	No disponible
Posición y Tamaño	Trasera (26"-28")	Trasera (28")	Trasera (20"-28")	Frontal o Trasera (16"-28")	Trasera (20"-28")
Tipo Motor	Paso a paso sin escobillas	Paso a paso sin escobillas	Paso a paso sin escobillas	Paso a paso sin escobillas	Paso a paso sin escobillas
Tipo Batería	48V/6Ah/300Wh	24V/7Ah/168Wh	36V/6Ah/200Wh	36V/9Ah/300Wh	36V/13Ah/468Wh
Autonomía en terreno plano	55Km	55Km	40Km	24-32Km	44-88Km
Peso	6Kg	8Kg	3Kg	7.5Kg	26.3Kg (completa)
Velocidad máxima	32Km/h	25Km/h	25Km/h	32Km/h	32Km/h
Tiempo Carga 120V/220V ac	4 h	4 h	3 h	6 h	6 h
Batería desmontable	No	Si	No	Si	Si
Sensores de torque	Si	Si	Si	No	No
Carcasa rotativa y engranajes	No	Si	No	Disponible	No
Freno regenerativo	Si	No	Si	No	No
Compatibilidad con pacha de 9 velocidades	Si	Si	Si	Si	Si
Facilidad de instalación	Alta	Alta	Alta	Baja	Baja
Mantenibilidad	Baja	Alta	Baja	Media	Baja
Adaptación en pendientes	Alta	Baja	Baja	Media	Media
Modo de Operación	Asistencia de pedaleo	Asistencia de pedaleo y aceleración	Asistencia de pedaleo	Asistencia de pedaleo y aceleración	Asistencia de pedaleo y aceleración

Obsérvese que la mayoría de soluciones tecnológicas se adaptan favorablemente en terrenos planos, pero la construcción del prototipo de bicicleta requiere mayor innovación para permitir la cobertura de distancias en trayectos con pendientes pronunciadas. Se requiere la adaptación de características como buena potencia del motor ($\geq 350W$), alta capacidad de la batería ($\geq 6Ah$), ejes rotativos con pivote para torque, sensor de torque, facilidad de instalación y compatibilidad con pacha trasera en la bicicleta. Dichas características se incorporan al modelo de bicicleta presentado en la Fig. 3, a través de la adaptación de una rueda eléctrica motorizada, de control adaptativo en función del torque requerido en el pedaleo [40]. Mediante el acoplamiento de elementos mecánicos y eléctricos se busca reducir el esfuerzo físico que ejerce el ciclista y es una opción viable para avanzar en terrenos empinados y solventar deficiencias de rendimiento físico del usuario. Dicha autonomía

dependerá del tipo de bicicleta, peso de la bicicleta, peso del ciclista, tipo de batería instalada y potencia del motor eléctrico [30].

Para el prototipo se elige el acoplamiento con una Rueda Copenhagen, correspondiente a un elemento de tracción para bicicleta que puede ser adaptada fácilmente [36]. Su éxito se basa en que todos los componentes (motor, baterías y sistema de engrane interno) se embalan en un solo armazón que se encuentra en la rueda trasera, además cuenta con sensores de localización y monitoreo de condiciones ambientales, que proporcionan datos para aplicaciones móviles relacionadas con el ciclismo. Sin cables externos o baterías a la vista, la rueda se convierte en un dispositivo que transforma fácilmente cualquier bicicleta normal en un híbrido eléctrico inteligente [36,40]. La Fig. 4 presenta el esquema de composición interna de la Rueda Copenhagen.

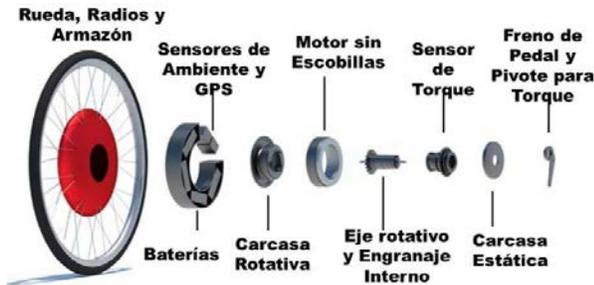


Fig. 4. Composición de la Rueda Copenhagen. Fuente: [36,40]

Al tratarse de un bloque ensamblado y calibrado, se hace muy difícil que el usuario pueda abrir una Rueda Copenhagen, por cuanto su mantenibilidad es baja, pero la comunidad de usuarios destaca la buena confiabilidad en el funcionamiento de la rueda. Dentro hay un motor sin engranajes de 350 W con desempeño similar al motor paso a paso, que permite impulsar hacia adelante, de manera suave y silenciosa. El armazón está instalado con una configuración de transmisión directa lo que significa que no tiene rueda libre. En la Fig. 5 se observa el prototipo de bicicleta urbana con el dispositivo de pedaleo asistido correctamente instalado.



Fig. 5. Vista del prototipo de bicicleta con asistencia de pedaleo instalada. Fuente: Autores.

El sistema también cuenta con un mecanismo electrónico de frenado dinámico, que recupera parte de la energía que se pierde cuando se frena y se almacena en la batería, para que después se pueda liberar. Cuando el ciclista empieza a pedalear hacia atrás, la energía cinética del frenado es capturada por la máquina eléctrica rotativa, la cual genera energía eléctrica almacenable en la batería [36]. Esta Rueda Copenhagen utiliza tecnología KERS - Kinetic Energy Recuperación System- [30].

4 PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA DEL PROTOTIPO DE BICICLETA

La evaluación del prototipo se enfoca específicamente en la realización de pruebas en condiciones dinámicas, en trayectos específicos de la ciudad de Medellín, con observación en las condiciones de planimetría comunes en la ciudad. Básicamente se consideran dos escenarios de prueba, tanto en terreno semiplano (Avenida el Poblado), como en terreno de montaña (Lomas de San Julián, El Tesoro y Los Balsos), cuyos perfiles se presentan en la Fig. 6. Las características antropométricas del ciclista se resumen en una persona con estatura de 1,88m, peso de 83Kg y edad menor de 40 años, con buena salud física y mental. La relación de transmisión en la bicicleta con pedaleo asistido, se ajusta según sean las necesidades de cada recorrido.

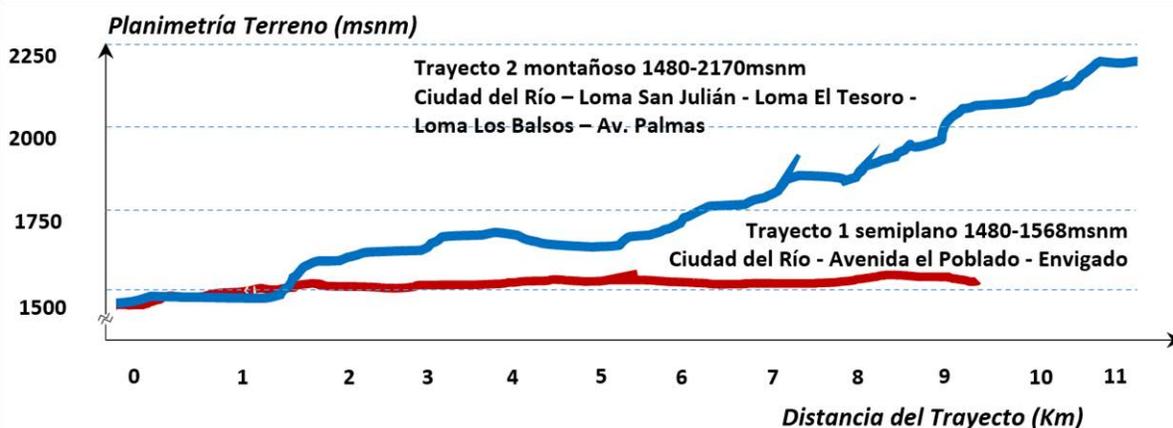


Fig. 6. Perfiles topográficos de los trayectos para prueba del prototipo de bicicleta. Fuente: Autores.

En la prueba dinámica el trayecto 1 (semiplano), el punto de partida se ubica en altura planimetría de 1480msnm y finaliza en 1568msnm, con pendiente promedio del 3% y longitud de 9.3Km, en tanto que en el trayecto 2 (montaña), el punto de partida se

ubica en altura planimetría de 1480 y finaliza en 2170msnm, con pendiente promedio del 10% y longitud de 11Km. Los trayectos de prueba se monitorean mediante la aplicación móvil "My Superpedestrian Wheel", la cual es compatible con

sistemas IOS y Android [36]. El usuario puede controlar el pedaleo asistido a través de la aplicación móvil, incluyendo el ajuste del motor, el modo de asistencia (alto, normal), el bloqueo de la rueda, así como la captura de información sobre las condiciones del trayecto y revisión de recorridos, que puede compartirse con una comunidad de usuarios para interacciones sociales. La aplicación también estima la cantidad de calorías consumidas por el ciclista.

En la Fig. 7 se proporciona información sobre el monitoreo que se realiza al pedaleo asistido en instantes específicos de los recorridos de prueba en ambos trayectos, con énfasis en el desempeño del recorrido en puntos de máxima pendiente de ambas rutas (5% y 15% respectivamente). También se puede visualizar el recorrido realizado en cada uno de los trayectos.

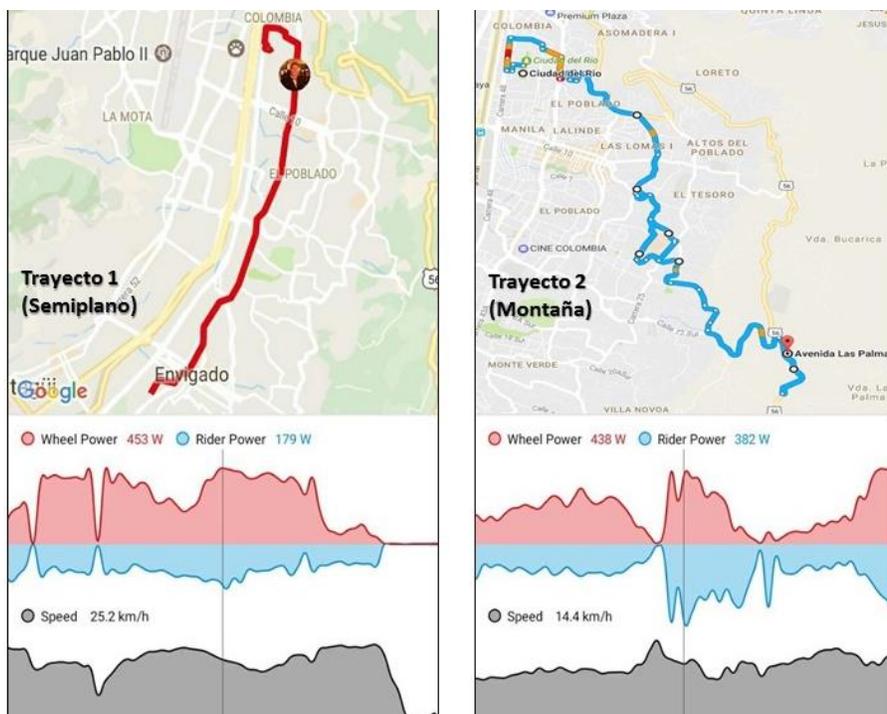


Fig. 7. Monitoreo al pedaleo asistido en puntos de máxima pendiente de los trayectos de prueba (5% y 15%). Fuente: Autores con datos de aplicación "My Superpedestrian Wheel" [36]

Por su parte, la Tabla 3 proporciona un compendio de las mediciones más significativas al momento de realizar la prueba del prototipo de bicicleta con pedaleo asistido, en los trayectos previamente descritos.

Tabla 3
 Resumen de las condiciones de prueba del prototipo de bicicleta con pedaleo asistido. Fuente: Autores

Descripción	Trayecto 1	Trayecto 2
Recorrido	Ciudad del Río – Av. El Poblado - Envigado	Ciudad del Río – Loma El Tesoro - Los Balsos
Altitud	1480 a 1568msnm	1480 a 2170msnm
Pendiente Promedio	3%	10%
Duración	32min	47min
Distancia	9,3Km	11Km
Velocidad Promedio	17Km/h	14Km/h
Profundidad Descarga Batería	25%	90%
Calorías consumidas por ciclista	124cal	393cal

Aunque la potencia nominal del motor paso a paso es de 350W, el mismo puede proporcionar mayor potencia durante instantes de exigencia de mayor torque, especialmente en terrenos con mayor pendiente. Lo anterior implica un considerable consumo energético, y menor autonomía de la batería. En caso que las pendientes sean muy extensas, se percibe pérdida de rendimiento en la asistencia de torque, por cuanto la experiencia de usuario con el prototipo de bicicleta, ha permitido deducir que pendientes sean muy pronunciadas (>15%) en trayectos largos (>500m), el ciclista deberá tomar pausas breves para permitir la estabilización en las capacidades de asistencia de la rueda motorizada. Lo anterior, dado que los sensores en el interior de la rueda Copenhagen permiten detectar y regular la temperatura, limitando el rendimiento en caso de sobrecalentamiento.

La exigencia al límite del prototipo de bicicleta con pedaleo asistido, ha sido registrada según los valores presentados en la Tabla 4. Obsérvese el notable esfuerzo del pedaleo asistido (motor+usuario) en condiciones de pendiente extrema. Particularmente, el punto de máxima pendiente del trayecto 2 se ha recorrido con la realización de breves pausas, para permitir la recuperación de eficiencia del motor, y de las condiciones físicas del ciclista, pues se ha requerido 3 veces más torque que en el trayecto semiplano (54N*m vs. 17N*m).

Tabla 4

Datos puntuales de desempeño del prototipo de pedaleo asistido en condiciones de máxima pendiente. Fuente: Autores con datos de aplicación "My Superpedestrian Wheel" [36]

Descripción	Trayecto 1	Trayecto 2
Ubicación	Av. Poblado con Calle 15	Av. Palmas con Loma Los Balsos
Pendiente Máxima	5%	15%
Longitud Trayecto	150m	850m
Potencia Motor	453W	438W
Potencia Usuario	179W	382W
Torque Usuario	17N*m	54N*m
Consumo Energético	59Wh/Km	62Wh/Km
Descripción	Trayecto 1	Trayecto 2

Vale la pena destacar que en el recorrido de regreso en el trayecto 2, en condiciones de bajada, se realizó frenado dinámico en la Rueda Copenhagen, lo cual permitió transformar la energía cinética de la velocidad de descenso, para transformarla en energía eléctrica almacenada en la batería. En dicho recorrido, se logró una recarga en la capacidad de la batería equivalente al 10%.

El prototipo de bicicleta que incluye la rueda Copenhagen permite marcar el inicio de un nuevo tipo de transporte que es asumible, eficiente, inteligente y adaptable para una ciudad enclavada en las montañas, como es el caso de Medellín y municipios aledaños, cumpliendo con las reglamentaciones establecidas por las autoridades locales [28].

5 CONCLUSIONES

En esta contribución técnica se han recopilado algunas experiencias públicas relacionadas con la utilización de medios de transporte individual (e.g. bicicleta), lo cual ha inspirado la realización de un prototipo de bicicleta con materiales ecológicamente sostenibles (e.g. bambú), integrada con tecnologías de locomoción mediante pedaleo asistido. De esta manera, la construcción del prototipo de bicicleta urbana permite adaptarse a las condiciones geográficas de ciudades de montaña, como ocurre

en algunos centros urbanos de un país como Colombia. Se evidencia que bicicleta presentada en esta contribución técnica proporciona una alternativa útil e innovadora para el transporte individual en una ciudad como Medellín, la cual se encuentra en proceso de adaptación de su infraestructura y medios de movilidad, al tiempo que cumple con la reglamentación de autoridades locales para la utilización de andenes, ciclovías, ciclorrutas o cualquier tipo de cicloinfraestructura destinada al tránsito de peatones o bicicletas.

Al incorporar una tecnología de pedaleo asistido, con respuesta de torque adaptable a la fuerza de pedaleo del usuario, se optimiza el consumo energético y con cobertura de distancias con trayectos inclinados, propios de la geografía de una ciudad como Medellín. En ese sentido, se ha documentado la construcción de un prototipo de una bicicleta de costos inferiores a los 1800 dólares, que integra características de diseño esbelto, con materiales resistentes a las condiciones ambientales y a los esfuerzos mecánicos, con un peso liviano del conjunto equivalente a 15Kg, y una tecnología de asistencia de pedaleo potente con autonomía suficiente para asumir recorridos en terrenos inclinados con pendientes aproximadas al 10%, los cuales son comunes en la ciudad de Medellín y en municipios aledaños.

La elección de la tecnología para pedaleo asistido ha tenido en cuenta variables de decisión como el precio, adaptabilidad al marco, potencia, características eléctricas y mecánicas, monitoreo y control electrónico, así como su compatibilidad con las condiciones de operación en zonas urbanas, en rangos de distancias para usuarios promedio (10 - 30Km).

El prototipo de movilidad individual presentado en esta contribución técnica, puede ser tenido en cuenta en la promoción de políticas de los gobiernos locales, quienes han priorizado la mejora en condiciones de infraestructura en zonas comerciales y residenciales en ciudades colombianas, al tiempo que promocionan la utilización de medios de transporte diferentes a los vehículos individuales de combustión interna.

Se propone complementar las políticas de movilidad, mediante estímulos al uso del transporte público, favoreciendo su integración con bicicletas (incluyendo la del modelo del prototipo), mediante la expansión en la infraestructura para circulación en calles y avenidas, así como la adaptación de zonas de parqueo y la acomodación de estaciones de recarga eléctrica, al tiempo que se garantice la seguridad, vigilancia y tranquilidad de todos los usuarios de bicicletas.

6 REFERENCIAS

- [1] D. Echeverri-Restrepo, A. Pareja-López, E.A. Meneses-Ramírez, Toxicidad in vitro del material particulado (MP) del área urbana de Medellín., Universidad CES, Medellín, 2017. <http://hdl.handle.net/10946/4447>, (consultado el 12 de diciembre de 2016).
- [2] M.V. Toro-Gómez, D.M. Quiceno-Rendón, "Estimación de la demanda energética y de las emisiones vehiculares en el Valle de Aburrá durante el periodo 2000-2010, usando el modelo LEAP", *Dyna.*, vol. 82, pp. 45–51, 2015, doi: <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v82n189.41991>
- [3] AMVA, Plan Metrópoli 2008-2020, Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2008) 280. http://www.metropol.gov.co/Planeacion/Documentos/AreaPlanificada/Plan_Metropoli_2008_2020.pdf, (consultado el 12 de diciembre de 2016).
- [4] Urna_Cristal, ¿Por qué Medellín es la ciudad más innovadora del mundo?, Urna de Cristal: Gobierno Visible. (2013). <http://www.urnadecristal.gov.co/gestion-gobierno/por-qu-medell-n-es-ciudad-m-s-innovadora-mundo>, (consultado el 12 de diciembre de 2016).
- [5] D. Molano, ¿Por qué no un servicio de bicis públicas?, *Revista_Semana.* (2016). <http://www.semana.com/opinion/articulo/diego-molano-bogota-ciudadanos-usan-bicicleta-como-transporte-publico/480627>, (consultado el 9 de septiembre de 2016).
- [6] Área Metropolitana Valle de Aburrá, Encicla - Sistema de Bicicletas Públicas del Valle de Aburrá, Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2016). <http://www.encicla.gov.co/>
- [7] Wikipedia, List of countries by vehicles per capita, Wikipedia. (2015) 1–7. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_vehicles_per_capita, (consultado el 12 de diciembre de 2016).
- [8] H. Gonzalo-Orden, A. Linares, L. Velasco, J.M. Díez, M. Rojo, Bikeways and Cycling Urban Mobility, *Procedia - Social and Behavioral Sciences.* 160 (2014), pp. 567–576, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.12.170>
- [9] STTM, Plan Estratégico de la Bicicleta de Medellín, Secretaría de Transportes y Tránsito de Medellín. (2011) 69. <http://documentosmovilidad.blogspot.com.co/2013/10/plan-estrategico-de-la-bicicleta-de.html>
- [10] L. Bertolini, F. Le Clercq, "Urban development without more mobility by car? Lessons from Amsterdam, a multimodal urban region", *Environment and Planning A.*, Vol. 35 pp. 575–589, 2003, doi: <http://dx.doi.org/10.1068/a3592>
- [11] J.P.L. Renne, "Rural mobility and mode choice: Evidence from the 2001 National Household Travel Survey", *Transportation*, vol. 32, no.2, pp. 165–186, 2005, doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11116-004-5508-3>
- [12] P. Midgley, Bicycle-Sharing Schemes: Enhancing Sustainable Mobility in Urban Areas, en: Commission on Sustainable Development, 2011: p. 24. http://www.un.org/esa/dsd/resources/res_pdfs/csd-19/Background-Paper8-P.Midgley-Bicycle.pdf
- [13] P. Midgley, The Role of Smart Bike-sharing Systems in Urban Mobility, *Journeys.* 2 (2009) 23–31. http://www.ltaacademy.gov.sg/doc/ISO2-p23_Bike-sharing.pdf
- [14] J.C. García-Palomares, J. Gutiérrez, M. Latorre, Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: A GIS approach, *Applied Geography.* 35 (2012) 235–246. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.07.002>
- [15] A. Kaltenbrunner, R. Meza, J. Grivolla, J. Codina, R. Banchs, Urban cycles and mobility patterns: Exploring and predicting trends in a bicycle-based public transport system, *Pervasive and Mobile Computing.* 6 (2010) 455–466. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmcj.2010.07.002>
- [16] D. Rojas-Rueda, A. de Nazelle, O. Teixidó, M.J. Nieuwenhuijsen, Replacing car trips by increasing bike and public transport in the greater Barcelona metropolitan area: A health impact assessment study, *Environment International.* 49 (2012) 100–109. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2012.08.009>
- [17] J.-R. Lin, T.-H. Yang, "Strategic design of public bicycle sharing systems with service level constraints", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 47, pp. 284–294. 2011, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2010.09.004>
- [18] Z. Liu, X. Jia, W. Cheng, Solving the Last Mile Problem: Ensure the Success of Public Bicycle System in Beijing, *Procedia - Social and Behavioral Sciences.* 43 (2012) 73–78. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.04.079>
- [19] Comisión Europea, EU Policy on the Urban Environment, DFata & Publications. (2016). http://ec.europa.eu/environment/urban/index_en.htm, (consultado el 8 de diciembre de 2016).
- [20] J. Larsen, Bike-Sharing Programs Hit the Streets in Over 500 Cities Worldwide, *Earth Policy Institute.* 25 (2013) 1. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- [21] E. Fishman, S. Washington, N. Haworth, "Bike share's impact on car use: Evidence from the United States, Great Britain, and Australia", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 31, pp. 13–20, 2014, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2014.05.013>
- [22] J. Zhao, W. Deng, Y. Song, "Ridership and effectiveness of bikesharing: The effects of urban features and system characteristics on daily use and turnover rate of public bikes in China", *Transport Policy.*, vol. 35, (2014), pp. 253–264. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.06.008>

- [23] D. Hidalgo, C. Huizenga, "Implementation of sustainable urban transport in Latin America", *Research in Transportation Economics.*, vol. 40, pp. 66–77, 2013 doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.retrec.2012.06.034>
- [24] SIEMENS, Ciudades Verdes Latinoamericanas, (2010) 51. https://www.siemens.com/press/pool/de/events/corporate/2010-11-lam/Study-Latin-American-Green-City-Index_spain.pdf
- [25] R. Montezuma, The Transformation of Bogotá, Colombia, 1995-2000: Investigating In Citizenship and Urban Mobility, *Global Urban Development.* 1 (2005) 1–10. [http://www.globalurban.org/Issue1PIMag05/Montezuma article.htm](http://www.globalurban.org/Issue1PIMag05/Montezuma%20article.htm)
- [26] Alcaldía de Medellín, Alcaldía de Medellín: Cuenta con vos, Datos de la ciudad. (2016) 635p. <https://www.medellin.gov.co/irj/portal/medellin?NavigationTarget=navurl://6488ef50a6787e1fdb4e42e62a46a67>
- [27] Ruta_N, Ruta N: Innovación en Medellín, Ruta N: Centro de Innovación y Negocios. (2015). <http://rutanmedellin.org/es>
- [28] MinTransporte, Resolución 160 de 2017: Por la cual se reglamenta el registro y la circulación de los vehículos automotores tipo ciclomotor, tricimoto y cuadríciclo y se dictan otras disposiciones, Colombia, 2017. <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=68085>
- [29] C. Álvarez, Lo que contamina una Bicicleta, Blogs El País Semanal. (2012). <http://blogs.elpais.com/ecolab/2012/03/lo-que-contamina-una-bicicleta.html>, (consultado el 2 de febrero de 2017).
- [30] J.G. Chunchi-Uguña, M.C. Espinoza-González, Diseño y construcción del sistema de regeneración de energía y acumulación por supercondensadores para una bicicleta, Universidad del Azuay, 2015. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4866>
- [31] G. Lemond, T.C. Book, T. Lemond, F. Stik, F. Kit, Competitive Cyclist Fit Calculator, Fit Calculator Tutorial. (2004) pp. 2–6, <http://www.competitivecyclist.com/Store/catalog/fitCalculatorBike.jsp?>, (consultado el 10 de octubre de 2016).
- [32] C.A. Grajales-López, "Administración científica de aprovechamientos forestales de guadua", *Lámpsakos.* 0, pp. 62–70, 2014, www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/article/view/1341%0A
- [33] J. Suárez-Gallardo, Marcos de Bicicleta en Bambú, Gallardo Bikes. (2012). <http://www.gallardobikes.co>, (consultado el 12 de diciembre de 2016).
- [34] P. Cohan, MIT-Designed Smart Wheel to Boost Bike Commuting, *FORBES Contributions.* (2014). <http://www.forbes.com/sites/petercohan/2013/12/03/mit-designed-smart-wheel-to-boost-bike-commuting/#11f609865890>
- [35] D. Perry, Reinventing the Wheel, *SolidSmack.* (2014). <http://www.solidsmack.com/design/reinventing-wheel-smart-wheel-vs-copenhagen-wheel-part-13/>, (consultado el 1 de enero de 2017).
- [36] Copenhage Wheel, Copenhage Wheel, Superpedestrian. (2016). <http://superpedestrian.com/the-copenhagen-wheel>, (consultado el 9 de septiembre de 2016).
- [37] Electromaps, Catálogo de Bicicletas Eléctricas Urbanas, Electromaps. (2017). <https://www.electromaps.com/bicicletas-electricas>, (consultado el 2 de febrero de 2017).
- [38] Hycore, Centinel Wheel Hycore, Hycore's Centinel Wheel. (2016). <http://hycore.com/product>, (consultado el 1 de enero de 2017).
- [39] FlyKly, FlyKly Smartwheel, Flykly Smart Move. (2016). <http://www.flykly.com/en/smart-wheel.html>, (consultado el 10 de octubre de 2016).
- [40] C. Outram, C. Ratti, A. Biderman, The Copenhagen Wheel: An innovative electric bicycle system that harnesses the power of real-time information and crowd sourcing, *Exhibition & Conf. on Ecologic Vehicles & Renewable Energies*, 2010. (2010), http://senseable.mit.edu/papers/pdf/2010_Outram_et_al_EVER_conference.pdf



Análisis de componentes principales para caracterización estructural de PYMES manufactureras de Cartagena de Indias, Colombia

Analysis of main components for structural characterization of manufacturing SMES of Cartagena de Indias, Colombia

Elias Alberto Bedoya Marrugo

Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco
Cartagena de Indias, Colombia eabedoya8@gmail.com

Hannia Karime González Urango

Universitat Politècnica de València
Valencia, España
levargaso13@gmail.com

Luz Elena Vargas Ortiz

Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco
Cartagena de Indias, Colombia
levargaso13@gmail.com

Carlos Alberto Severiche Sierra

Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco
Cartagena de Indias, Colombia cseveriches@fgmail.com

(Recibido el 11-05-2016, Aprobado el 15-06-2016, Publicado el 17-01-2017)

Estilo de Citación de Artículo:

E. Bedoya, L. Vargas, H. Gonzalez, C. Ceveriche, "Análisis de componentes principales para caracterización estructural de pymes manufactureras de Cartagena de Indias, Colombia", Lámpsakos, no. 17, pp 52-59, 2017
DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.2361>

Resumen

Se caracterizó por análisis de componentes principales a 11 empresas pymes manufactureras (excepto maquinaria y equipo) de Cartagena de Indias, relacionadas con los códigos CIU 1011, 2011 y 2511 con respecto a las variables patrimonio, ventas, activos, pasivos, utilidades y tiempo en el mercado; posteriormente se realizó un análisis de cluster combinando el método factorial y el análisis de conglomerados. Los resultados muestran con respecto a los activos, se observan empresas que superan los 96 millones de pesos, mientras que algunas están por debajo de los \$1,500,000, los valores para el patrimonio de encuentran entre \$243,432 y \$43,198,363; valores superados por los máximos y mínimos de las ventas. Las utilidades promedio de las empresas superan los pasivos promedio de las mismas. Los coeficientes de correlación entre las variables indican una asociación entre las variables Patrimonio y ventas (correlación de 0,652); al igual que entre las variables activos, pasivos y utilidades.

Palabras clave: Análisis de componentes principales, estructura empresarial, manufactura, pequeña empresa, Pymes.

Abstract

It was characterized by analysis of main components of 11 manufacturing SMEs (except machinery and equipment) of Cartagena de Indias, related to codes ISIC 1011, 2011 and 2511 with respect to equity, sales, assets, liabilities, profits and time in the market; Later a cluster analysis was performed combining the factorial method and cluster analysis.

The results show with respect to assets, companies that exceed 96 million pesos are observed, while some are below the \$ 1,500,000, the values for the wealth of find between \$ 243,432 and \$ 43,198,363; Values surpassed by the highs and lows of sales. The average profits of the companies surpass the average liabilities of the same ones. The correlation coefficients between the variables indicate an association between the variables Patrimony and sales (correlation of 0.652); As well as between the active variables, liabilities and profits.

Keywords: Analysis of main components, business structure, manufacturing, small business, SMEs.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las Pymes constituyen un sector importante para el desarrollo de la mayoría de países, dado el papel clave que desempeñan en la economía, especialmente en la generación de empleo y en el desarrollo y bienestar de la comunidad donde se ubican. Por otra parte, las debilidades de carácter estructural de las Pymes disminuyen su competitividad y condicionan su capacidad de supervivencia y crecimiento [1], [2]. Las pymes manufactureras se ven inmersas en cambios derivados del entorno globalizado, los cuales exigen incesantes esfuerzos por incrementar la calidad y la productividad, y por reducir los costos y los tiempos de entrega a fin de lograr posiciones ventajosas en el mercado [3], [4], [5].

A nivel internacional más del 90% de las empresas son micro, pequeñas y medianas; representan el sector de la economía que aporta el mayor número de unidades económicas y más del 50% del empleo. En América Latina este estrato representa entre el 60 y 90% de todas las unidades económicas. A pesar de que la Pyme tiene importancia en el nivel internacional y nacional, en general, carece de una estructura formal en la mayoría de sus áreas [6], [7]. Debido a su tamaño y la escasez de recursos económicos es común que los empleados realicen varias actividades para muchas de las cuales no son especialistas; suele observarse que las mismas personas que dirigen sean quienes también ejecuten funciones de planeación financiera, producción, administración de personal y comercialización, entre otras [8].

De acuerdo con Hernández et al. [9], Colombia define la Pyme según sus activos totales en salarios mínimos mensuales vigentes y el número de empleados, según la Ley 905 de 2004. Una empresa mediana de 51 a 200 empleados y activos entre 5.001 y 15.000, empresa pequeña de 11 a 50 y activos entre 501 y 5.000 y microempresa hasta 10 empleados y activos inferiores a 500. Se estima que existen más de un millón de micros y pequeñas empresas que contribuyen a la producción nacional con una cifra superior al 50% y generan más del 70% del empleo, en los sectores de industria, comercio y servicios. Del total, 300.000 son formales, de las cuales el 75% son microempresas, 24% PYMES y 1% gran empresa. Su distribución en diferentes áreas se concentra en el comercio, con un 54,66%, servicios con un 31,60%, industria con un 12,22% y otros con un 1,52%.

La innovación se ha convertido en un factor clave para los resultados empresariales, los cuales son el resultado de la evolución de un entorno cada vez más competitivo [10]. En el estudio sobre análisis

estadísticos para una caracterización estructural organizacional, desarrollado por Polanco en 2016, se explica que el análisis de componentes principales (ACP) es una de las técnicas estadísticas multivariantes más populares y antiguas en el análisis de datos entendido que el proceso de estructuración corporativa, en conjunto con las elecciones estratégicas, es determinante de las acciones de transformación organizacional, surge la inquietud de identificar cuál ha sido el grado de apropiación en las organizaciones [11]. En los diferentes sectores de la economía se hace necesario realizar inversiones en infraestructura para asumir el aumento de la demanda en el servicio; siendo conveniente incentivar la inversión privada debido a la eficiencia en la construcción y operación, dichas inversiones se realizan en su mayoría para aumentar la capacidad y la calidad del servicio, por lo tanto, no son una fuente directa de ingresos [12].

Antes de presentar una definición formal y describir sus principales características matemáticas, podemos mencionar que el ACP es un tipo de transformación lineal aplicada a un conjunto de datos multivariantes habitualmente correlacionados entre sí, para convertirlos en un menor número de variables no correlacionadas y ortogonales entre sí, esto es, expresar la información contenida en un conjunto de datos, con un número menor de variables. Los principales objetivos del análisis de componentes principales, es extraer la información más importante de un conjunto de datos multivariantes, comprimir un conjunto de datos multivariantes manteniendo solo la información que se considere importante (reducir la dimensionalidad de los datos), simplificar la descripción de un conjunto de datos y analizar la estructura de las observaciones y de las variables [13]. Evaluar el nivel de gestión en una empresa es una tarea compleja y llena de subjetividades; sin embargo, existen mecanismos de fácil manejo como el Balance Scorecard y la lógica difusa, los cuales posibilitan realizar análisis de la información para una posible toma de decisiones [14].

Teniendo como referencia lo anterior, se hizo necesario realizar un análisis de componentes principales para la caracterización estructural de Pymes manufactureras de Cartagena de Indias-Colombia.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Población

Debido a que el estudio involucra información que la mayoría de las empresas se reservan, el estudio fue realizado en 11 empresas pertenecientes a los

subsectores más representativos de las pymes en la industria manufacturera (excepto maquinaria y equipo) de la ciudad de Cartagena relacionadas con los códigos CIIU 1011, 2011 y 2511 que estuvieron dispuestos a proporcionar la información. En la Tabla 1, se muestran las empresas consideradas.

TABLA 1.
EMPRESAS CONSIDERADAS EN EL ESTUDIO

Empresa	Alunalpes	Serboomerang s.a.s	Emiro León Rodríguez	Sanitizantes Industriales de Colombia	Química Amfer	Productos Dipsol
Sigla	Alunalpes	Serboomerang	EmiLeonRodri	SanitiIndust	QuimAmfer	ProdDipsol
Empresa	Tres Metales	Aluminios y Accesorios El Amparo	Alarcol s.a.s - Aluminios Arquitectonicos del Caribe Colombiano	Celvi Metales Ltda	Dobladora P y L	
Sigla	Tresmetales	AluyAccesEI Amp	Alarcolc	Celvi	Dobladora	

TABLA 2.
DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES EN EL ESTUDIO

Variable	Definición
Tiempo	Tiempo en años de la empresa en el mercado.
Activos	Valor de todas las propiedades de la misma
Pasivos	Deudas de la empresa
Patrimonio	Bienes, derechos y obligaciones de la empresa
Ventas	Ingresos obtenidos a partir de las ventas de la empresa.
Utilidades	Utilidades netas de la empresa

2.3 Análisis Estadístico

Para las variables asociadas a la estructura de la empresa, se realizaron los siguientes análisis estadísticos:

- Estadísticas Descriptivas:** Se calculan algunas estadísticas como lo son los valores promedio, máximos y mínimos para las distintas variables.
- Análisis de Correlación:** Por medio de la obtención de la correlación de Pearson se determinan asociaciones entre las distintas variables.
- Análisis de componentes principales (ACP):** Se realiza un ACP [9].
- Para complementar la relación entre las variables y caracterizar estructuralmente a las empresas.
- Análisis de Clúster:** De acuerdo con lo obtenido en el Análisis de Componentes Principales se realizó un análisis de Clúster entre las empresas para identificar grupos similares dentro de las mismas, con respecto a las variables consideradas. El análisis de Clúster es un método multivariado que consiste en la formación de grupos (Clúster) con las características que dentro de ellos los individuos son parecidos

2.2 Etapa de Campo

Se aplicó un instrumento a las empresas consideradas en el estudio, donde se solicitó información relacionada con su estructura de acuerdo con las variables que se describen a continuación en la Tabla 2.

(Empresas) y entre ellos los individuos son diferentes, en particular el método de clúster utilizado en el presente artículo combina el método factorial (ACP) y el análisis de conglomerados [15].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los datos obtenidos en el instrumento aplicado, se tienen los siguientes resultados.

3.1 Estadísticas Descriptivas

La Tabla 3 muestra las estadísticas descriptivas para las variables asociadas a la Estructura de la empresa.

TABLA 3.
ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS PARA LAS VARIABLES ASOCIADAS A LA ESTRUCTURA DE LA EMPRESA

	Tiempo	Activo	Pasivo	Patrimonio	Ventas	Utilidades
Mínimo	2	1150000	150000	243432	234532	140000
Máximo	16	961537706	776473712	43198363	372662677	88387807
Media	8,27	143980918	124307410	9693857,6	70785414	20762514

Se observa que las empresas consideradas tienen entre 2 y 16 años en el mercado, con un tiempo promedio de 8,27 años; indicando que la muestra está constituida por empresas no muy antiguas en el mercado.

Con respecto a los activos, se observan empresas que superan los 96 millones de pesos, mientras que algunas están por debajo de los \$1500000, los valores para el patrimonio de encuentran entre \$243432 y \$43198363; valores superados por los

máximos y mínimos de las ventas (\$234532 y \$372662677 respectivamente). Las utilidades promedio de las empresas superan los pasivos promedio de las mismas.

3.2 Análisis de Correlaciones

De acuerdo con la matriz de correlaciones, evidenciada en la Tabla 4, se observa una correlación importante y positiva entre las utilidades y las ventas (0,652), lo cual indica que empresas con alto patrimonio, poseen altas ventas. Existe una asociación directa y positiva entre las utilidades y los activos y pasivos (0,644 y 0,526 respectivamente), indicando que en las empresas las utilidades aumentan a medida que aumentan los activos y los pasivos.

TABLA 4.
MATRIZ DE CORRELACIONES PARA LAS VARIABLES ASOCIADAS A LA ESTRUCTURA DE LA EMPRESA

	Tiempo	Activos	Pasivos	Patrimonio	Ventas	Utilidades
Tiempo	1,00	0,094	0,367	0,24	0,249	0,241
Activos		1,00	0,295	-0,216	0,249	0,644
Pasivos			1,00	-0,274	-0,279	0,526
Patrimonio				1,00	0,652	0,283
Ventas					1,00	0,239
Utilidades						1,00

3.3 Análisis de Componentes Principales

Se realiza el análisis de componentes principales para las empresas en consideración, a partir de las 6 variables relacionadas a la estructura de la empresa; de acuerdo con este se tienen la inercia acumulada y el histograma de valores propios como criterio de selección de los ejes a considerar.

De acuerdo con los criterios del salto del histograma de valores propios y del porcentaje de inercia acumulado, se toman los tres primeros ejes que acumulan el 82,3% de la información, como se muestra en la Tabla 5, así, se procede a observar la calidad de representación de las variables en estos tres ejes e identificar cuáles son los planos apropiados para su interpretación.

TABLA 5.
VALORES PROPIOS Y PORCENTAJE

Eje	Valor propio	Inercia Acumulada	Porcentaje Acumulado
1	24671.1	2467.1	41.1
2	1618.4	4085.5	68.1
3	852.0	4937.6	82.3
4	417.8	5355.3	89.3
5	357.3	5712.6	95.2
6	287.4	6000.0	100.0

La Tabla 6 muestra la calidad de representación de las variables, en ella se observa que las variables

patrimonio, ventas y tiempo tienen una buena representación en el primer plano factorial (Ejes 1 y 2); mientras que las variables Activos, Pasivos y Utilidades poseen una buena representación en el plano 13, por lo cual se analizan los planos 12 y 13.

TABLA 6.
CALIDAD DE REPRESENTACIÓN DE LAS VARIABLES ASOCIADAS A LA ESTRUCTURA DE LAS EMPRESAS

	COMP 1	COMP 2	COMP 3
TIEMPO	2.0	-87.0	13.4
ACTIVOS	48.0	-4.3	-36.9
PASIVOS	-36.9	-10.9	20.0
PATRIMONIO	-41.8	-33.7	-3.7
VENTAS	-39.8	-35.6	-4.6
UTILIDADES	65.3	-10.3	-6.5

A continuación en la Fig. 1, se observan las asociaciones entre las variables de acuerdo con los círculos de correlaciones asociados al plano 12 y al plano 23 respectivamente.

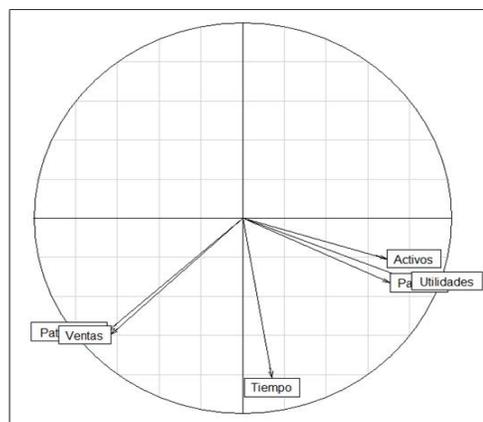


Fig. 1. Círculos de correlaciones para las variables (a. Círculo de correlaciones para el plano 12 b. Círculo de correlaciones para el plano 13)

En las Figuras a y b se observa la asociación existente entre las variables patrimonio y ventas; así como entre Activos, pasivos y utilidades, lo cual indica que aquellas empresas con altos activos y pasivos, poseen altas utilidades; mientras que para empresas con altas ventas se observa un alto patrimonio. Los anteriores resultados son coherentes con obtenido en la matriz de correlaciones. Este resultado es coherente con lo encontrado en la matriz de correlaciones, donde se evidencian dichas asociaciones.

La Tabla 7, muestra la calidad de representación de las empresas consideradas, donde se observa que las empresas "Dobladora, Serboomerang, Tresmetales, Sanitilindust, QuinAmfer, ProDipsol, Alarcolc y Dobladora", se encuentran bien

representadas en el primer plano factorial (plano 12); mientras que las empresas “Celvi, Alunalpes y AluyAccesEIamp”, se encuentran bien representadas en el plano 13.

TABLA 7.

CALIDAD DE REPRESENTACIÓN DE LAS EMPRESAS

	Comp 1	Comp 2	Comp 3
Alunalpes	67.0	-3.3	-15.3
Serboomerang	-9.6	85.9	-0.2
Tresmetales	-7.7	38.6	19.7
AluyAccesEIAm	68.8	-0.3	-12.8
EmiLeonRodri	68.8	-0.3	-12.8
SantiIndust	-36.9	-23.3	-0.5
QuimAmfer	-49.2	-34.1	-6.1
ProdDipsol	-51.5	-1.9	0.0
Alarcolc	-7.5	89.6	0.0
Celvi	36.1	-9.1	46.8
Dobladora	-7.6	88.0	-0.3

Lo anterior indica que se puede tener una buena representación de todas las empresas en los tres primeros ejes factoriales que finalmente se consideran en el estudio.

A continuación, se observa en la Fig. 2, la agrupación de variables mediante el Dendograma realizado para las 11 empresas teniendo en cuenta las características asociadas a la estructura de las mismas y los resultados del análisis de componentes principales (ACP).

De acuerdo con la Fig. 3, las 11 empresas constituyen 4 grupos, donde la empresa Celvi posee características diferentes al resto de las empresas. La clasificación realizada a partir del análisis de componentes principales es dada por los grupos mostrados en la Tabla 8.

TABLA 8

GRUPOS DE EMPRESAS SEGÚN EL DENDOGRAMA.

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Celvi	Alunalpes	Tresmetales	QuimAmfer
	AluyAccesEIamp	Dobladora	EmilenRodri
		Serboomerang	SantiIndust
		Alarcolc	ProDipsol

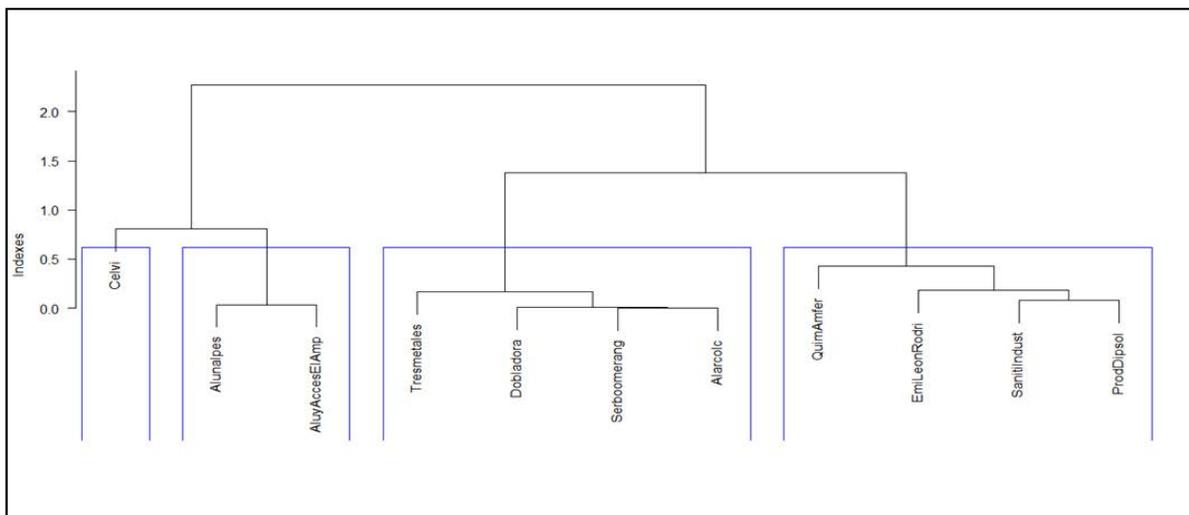


Fig. 2. Dendograma para la agrupación de las empresas, según las variables asociadas a la estructura empresarial

A continuación, se muestran la Fig. 3 y Fig. 4 que corresponden a los planos factoriales 1-2 y 1-3 respectivamente, donde se observan las características de cada una de las empresas.

La Fig. 3, muestra el primer plano Factorial (1-2), los grupos 3 y 4 poseen una buena representación en este plano, por lo cual se observan sus características en el mismo. Las empresas que pertenecen al grupo 3 poseen bajos pasivos, activos y utilidades; mientras que las empresas correspondientes al grupo 4 poseen altos

patrimonios y ventas. La empresa Celvi posee bajo patrimonio y ventas, esta empresa constituye sola un grupo, ya que no se asemeja al resto de las empresas con respecto a sus características estructurales. Las empresas pertenecientes al grupo 2, se caracterizan por tener altas utilidades y activos. De acuerdo con la Tabla 7, estos dos grupos poseen una buena representación en el plano 1-3. Los anteriores resultados muestran que el ACP y el análisis de clúster son metodologías adecuadas para la caracterización de PYMES y obtención de grupos para la posterior mejora de las mismas.

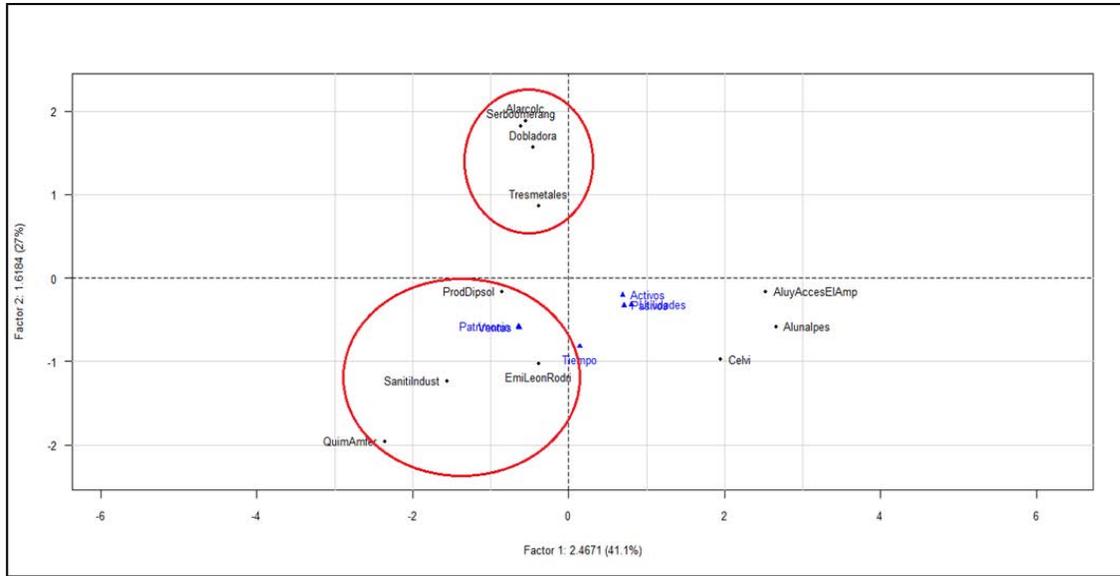


Fig. 3. Plano factorial 12

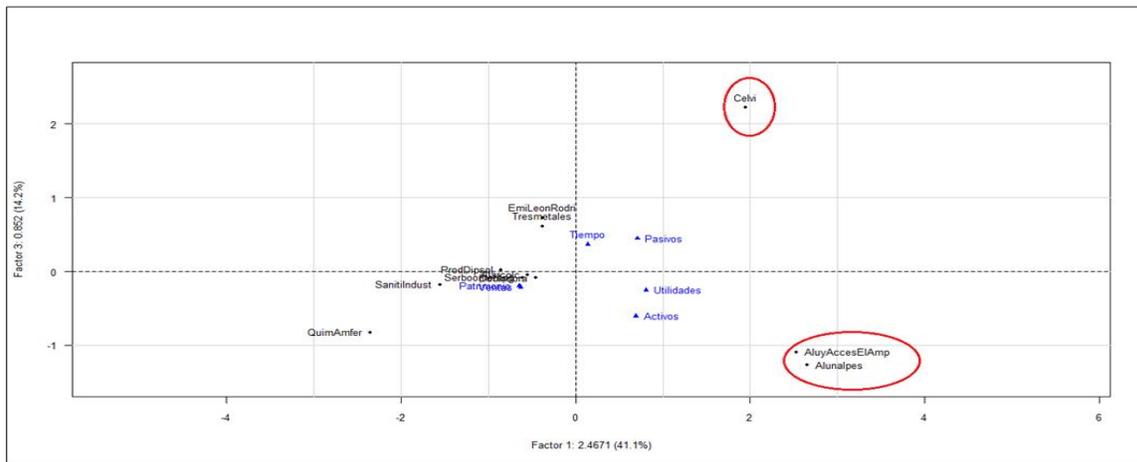


Fig. 4. Plano factorial 1-

4. CONCLUSIONES

Se evidencia que las empresas consideradas tienen entre 2 y 16 años en el mercado, con un tiempo promedio de 8,27 años; indicando que la muestra está constituida por empresas no muy antiguas en el mercado. Con respecto a los activos, se observan empresas que superan los 96 millones de pesos, mientras que algunas están por debajo de los \$1500000, los valores para el patrimonio de encuentran entre \$243432 y \$43198363; valores superados por los máximos y mínimos de las ventas (\$234532 y \$372662677 respectivamente). Las utilidades promedio de las empresas superan los pasivos promedio de las mismas. El Análisis de Componentes Principales permitió identificar

asociación entre las variables Utilidades, Activos y pasivos; al igual que entre patrimonio y Ventas. Por otro lado, el tiempo de la empresa en el mercado no influye en las ventas ni en las utilidades; así como tampoco en sus activos y pasivos. El análisis de clasificación permite obtener cuatro grupos homogéneos de empresas, siendo uno de estos grupos conformado por solo por la empresa Celi Metales Ltda, la cual no posee características en común con las otras, esta empresa se caracteriza por poseer bajo patrimonio y ventas. El segundo grupo es conformado por las empresas Aluminios y Accesorios El Amparo y Alunalpes, las cuales se caracterizan por poseer altas utilidades y activos.

REFERENCIAS

- [1] J. Toro, y R. Palomo. "Análisis del riesgo financiero en las PYMES – estudio de caso aplicado a la ciudad de Manizales". *Revista Lasallista de Investigación*, ISSN: 1794-4449, vol. 11, no. 2, pp. 78-88, 2014. [En línea], Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1794-44492014000200010
- [2] L. Mantilla, M. Ruiz, C. Mayorga, y A. Vilcacundo. "La competitividad de las Pymes manufactureras de Ambato – Ecuador". *Revista Panorama Económico*. vol. 22, pp. 17-30, 2014. [En línea], Disponible en: <http://revistas.unicartagena.edu.co/index.php/panoramaeconomico/article/view/1371>
- [3] J. Pérez, D. La Rotta, K. Sánchez, Y. Madera, G. Rodríguez, M. Vanegas, y C. Parra. "Identificación y caracterización de mudas de transporte, procesos, movimientos y tiempos de espera en nueve pymes manufactureras incorporando la perspectiva del nivel operativo". *Ingeniare, Revista chilena de ingeniería*, vol. 19, no. 3, pp. 396-408, 2011. [En línea], doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052011000300009>
- [4] E. Buchelli, y P. Ruiz. "Las pymes del sector servicios en Bogotá. Aproximaciones para una caracterización". *Gestión & Sociedad*, vol. 5, no.1, pp. 73-81, 2012.
- [5] S. Astudillo, y A. Briozzo. "Innovación en las mipymes manufactureras de Ecuador y Argentina". *Semestre Económico Universidad De Medellín*, vol. 19, no. 40, pp. 117-144, 2016.
- [6] J. Gómez, F. Arrieta y R. Fernández. "Análisis multivariado de la productividad y rendimientos financieros de empresas industriales en Cartagena, Colombia". *Apuntes del Cenes*, vol. 32, no. 55, pp. 213-238, 2013. [En línea], doi: <https://doi.org/10.19053/22565779.2074>
- [7] M. Saavedra, B. Tapia, y M. Aguilar. "La gestión financiera en las pymes del Distrito Federal, México". *Revista Perspectiva Empresarial*, vol. 3, no. 2, pp. 55-69, 2016. [En línea], doi: <http://dx.doi.org/10.16967/rpe.v3n2a5>
- [8] P. Cano, F. Orue, J. Martínez, Y. Mayett, y G. López. "Modelo de gestión logística para pequeñas y medianas empresas en México". *Contaduría y administración*, vol. 60, no.1, pp. 181-203, 2015. [En línea], doi: [https://doi.org/10.1016/S0186-1042\(15\)72151-0](https://doi.org/10.1016/S0186-1042(15)72151-0)
- [9] A. Hernández, C. Marulanda, y M. López, "Análisis de capacidades de gestión del conocimiento para la competitividad de pymes en Colombia". *Información Tecnológica*, vol. 25, no. 2, pp. 111-122, 2014. [En línea], doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642014000200013>
- [10] M. Valencia-Rodriguez, "Capacidades dinámicas, innovación de producto e aprendizaje organizacional en pymes del sector cárnico". *Ingeniería Industrial*, vol. 36, no. 3, pp. 287-305, 2015. [En línea], Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59362015000300007&script=sci_arttext&lng=en
- [11] J. Polanco, "El papel del analisis por componentes principales en la evaluacion de redes de control de la calidad del aire". *Comunicaciones en Estadística*, 9(2), pp. 271–294, 2016. [En línea], doi: <http://dx.doi.org/10.15332/s2027-3355.2016.0002.06>
- [12] J. C. González-Ruiz, S. Echeverri-Gaviria, D. A. Ospina-Rendón, "Propuesta de un Modelo Financiero para la Evaluación de la Inversión en un Aero-puerto Bajo Asociación Público-Privada", *Lámpsakos*, no. 11, pp. 29-41, 2014. [En línea], Disponible en <http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/article/view/1184>
- [13] D. Marín. "Estructura organizacional y sus parámetros de diseño: análisis descriptivo en pymes industriales de Bogotá". *Estudios Gerenciales*, vol. 28, no. 123, (2012, abr.), pp. 43-63, 2012. [En línea], doi: [https://doi.org/10.1016/S0123-5923\(12\)70204-8](https://doi.org/10.1016/S0123-5923(12)70204-8)
- [14] M. Arango, C. Serna, G. Ortega, "La gestión de indicadores empresariales con lógica difusa para la toma de decisiones". *Lámpsakos*, No. 8, pp. 47 – 53, 2012. [En línea], Disponible en <http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/article/view/678>
- [15] C. E. Pardo y P. Del-Campo. "Combinación de métodos factoriales y de análisis de conglomerados en R: el paquete FactoClass", *Revista Colombiana de Estadística*, vol. 30, no. 2, pp. 231-245. 2007. [En línea], Disponible en <http://www.emis.ams.org/journals/RCE/V30/v30n2a06PardoDelCampo.pdf>

Artículos de revisión y estados del arte





Innovación imitativa: un acercamiento desde múltiples perspectivas

Imitative innovation: an approach from multiple perspectives

Miguel David Rojas López, PhD

Universidad Nacional
Medellín, Colombia
mdrojas@unal.edu.co

Manuela Pérez Rodríguez

Universidad Nacional
Medellín, Colombia
mapero735@hotmail.com

(Recibido el 01-06-2016, Aprobado el 31-08-2016, Publicado el 17-01-2017)

Estilo de Citación de Artículo:

M. Rojas, M. Pérez, "Innovación imitativa: un acercamiento desde múltiples perspectivas", Lámpsakos, no. 17, pp 60-68, 2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.2025>

Resumen – La estrategia de innovación imitativa es utilizada por algunas organizaciones como una fuente de ventaja competitiva en un mercado que evoluciona día a día y de forma veloz. El objetivo del presente artículo, es realizar un acercamiento y estudio de las posiciones de diversos autores, y revisar argumentos que posibiliten un espacio para generar el desarrollo de nuevas contribuciones. Se realiza un análisis comparativo entre las hipótesis identificadas, y posteriormente se relacionan dichas hipótesis utilizando algunas variables. Finalmente, se concluye que las estrategias pueden variar en gran medida de una organización a otra, principalmente por el hecho de que las dinámicas y relaciones en materia de tecnología y mercado son singulares dentro de cada compañía, pero es necesario que se preparen para enfrentar los cambios del entorno con estrategias de innovación estructuradas y acordes con su cultura organizacional; además se evidencia la necesidad de profundizar en investigaciones y realizar más estudios prácticos referentes al tema, sobre todo en Latinoamérica.

Palabras clave: competencia, estrategia, innovación imitativa, organizaciones, políticas.

Abstract – Imitative innovation strategy is used by some organizations as a source of competitive advantage in a growing market. The objective of this article is to approach the positions of various authors and review their arguments, allowing a space to generate new contributions. A comparative analysis between scenarios identified and a relationship with certain variables is performed. The conclusion is that strategies can vary greatly from one organization to another and is required a further research and practical studies, especially in Latin America.

Keywords: competition, imitative innovation, organizations, policies, strategy.

1 INTRODUCCIÓN

La innovación tecnológica es un tema que se fortalece a través del tiempo y que se desarrolla desde diferentes panoramas con fines económicos, sociales y académicos; es a raíz de la versatilidad que posee, que sirve como base para estudios en áreas que anteriormente no se creía tuvieran relación, pero que con los análisis que se despliegan al respecto, se obtienen resultados teóricos y prácticos que evidencian el significativo papel que juega. La literatura actualmente se centra en temas determinantes de la innovación como la estructura de mercado, el tamaño de la organización, la cantidad de conocimiento, investigación y desarrollo, condiciones para la apropiación de los beneficios de innovar, entre otros [1], lo que evidencia que la innovación adquiere un rol clave en la organización, lo que evidencia la necesidad de estudiar la gestión estratégica de la innovación, como un tema particular de influencia en las empresas [2].

La perspectiva estratégica se vincula de diversas formas con la actividad empresarial, y es la organización quien en determinado momento debe evaluar las oportunidades que posee para sobrevivir en un medio dinámico, y debe estar en la capacidad de valorar cuáles oportunidades significan un futuro éxito que esté alineado a la consecución de los objetivos estratégicos planteados. La competencia es un factor que sufre cambios, en la actualidad, dicho elemento se posiciona en niveles muy superiores, lo que se constata con el aumento de productividad e innovaciones tecnológicas que

intensifica la rivalidad entre las firmas a nivel nacional e internacional, la reducción de barreras arancelarias para aumentar las exportaciones e importaciones e indirectamente afectar el crecimiento económico de los países, y un sin número de elementos que se compaginan para ver que es necesario adoptar estrategias de innovación que sitúen a la organización en una posición aventajada competitivamente [3].

Según Freeman [4], las opciones estratégicas de una compañía determinan la aparición y posterior éxito o fracaso de una innovación, por lo cual sugiere ciertas estrategias de innovación: ofensiva, defensiva, imitativa, dependiente, tradicional y oportunista.

La estrategia imitativa de innovación, es particularmente, una estrategia muy utilizada en la actualidad dado que algunos piensan que la imitación es, en sí misma, algo más que una simple copia, y puede representar a menudo un paso a la innovación [5], y por esta razón existen diversas posiciones al respecto, algunas avaladas por resultados obtenidos luego de la utilización de la estrategia; otras basadas en la observación del alcance que le otorga la estrategia a la organizaciones que la emplean; y finalmente existen posiciones fundamentadas exclusivamente en los aportes teóricos de conocedores del tema, entre los cuales se afirma que las organizaciones que se valen de la imitación como estrategia de innovación no buscan deliberadamente patentar, aunque en determinada instancia esto pueda llegar a ocurrir. Como lo expone Robledo, las empresas imitativas se caracterizan por introducir innovaciones con un retraso significativo frente a los líderes, esperando que las patentes se vuelvan de dominio público o si están vigentes, utilizan mecanismos como el licenciamiento para explotar los beneficios que puedan ofrecer; así mismo, se satisfacen con ser simplemente seguidores tecnológicos y aprender de los fracasos de otras organizaciones [6].

Lo anterior, puede sumarse a los argumentos de quienes están en contra de aplicar la estrategia de imitación para lograr objetivos estratégicos y de innovación. La importancia de esta temática radica en la necesidad que experimentan hoy en día las organizaciones de utilizar estrategias de innovación como un mecanismo clave para enfrentar la competencia. La estrategia imitativa de innovación tiene entonces diversos beneficios y a su vez limitaciones, que es imprescindible conocer para determinar qué tan conveniente es o no, su aplicación.

Luego de identificar el problema o discusión relativo al conocimiento limitado sobre la estrategia de innovación imitativa, especialmente en una base de datos especializada como Scopus, se presenta una posición personal y posteriormente se realiza un reconocimiento de diferentes hipótesis propuestas por autores versados en la temática, que junto con las fuentes de evidencias permiten un acercamiento al estado del arte de la estrategia, y posibilitan un análisis que relaciona algunas variables con las diferentes posiciones estudiadas. Finalmente, se exponen las conclusiones y recomendaciones.

2 ¿DE QUÉ SE TRATA LA DISCUSIÓN?

La problemática se centra en el conocimiento limitado de la estrategia de innovación imitativa, y en la necesidad que surge de identificar las posiciones que abordan los autores para contribuir en el tema, tomando como un rango de búsqueda, en términos temporales, los aportes realizados entre los años 1996 y 2015, usando como herramienta Scopus, una base de datos bibliográfica de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas. La discusión se consolida en una serie de posiciones, las cuales servirán para conocer cómo se encuentra el estado actual de la literatura, dado que es indispensable reconocer diferentes perspectivas, para buscar dónde surgen oportunidades para nuevas contribuciones.

3 POSICIÓN PERSONAL

La innovación es un elemento esencial que se traduce en la adquisición de ventaja competitiva y proporciona la posibilidad de enfrentar contingencias propias de un entorno cambiante y globalizado. El ajuste a una cultura organizacional enfocada a la innovación y al fortalecimiento de iniciativas de I+D, es clave para aprovechar al máximo las oportunidades y afrontar las amenazas, por lo cual la adecuada elección de estrategias que permitan afianzar las fortalezas internas y, reconocer y atacar las debilidades, es crucial para subsistir en medio de estas dinámicas.

Usar estrategias imitativas es una opción comúnmente elegida por las organizaciones una vez conocen sus ventajas, relativas principalmente al incremento de la competitividad, dependiendo de su utilización y la industria dónde se apliquen; un costo de inversión menor comparado con la generación de innovación, menor riesgo con relación al asociado a seguir otras estrategias de innovación (ofensivas o defensivas), en las cuáles está presente la incertidumbre propia del logro de nuevos desarrollos; conllevan a que se considere una

opción apropiada. Sin embargo, el tema del fortalecimiento del patentamiento que se afianza con el paso del tiempo, y en donde los descubrimientos y desarrollos tecnológicos van de la mano con la protección de los derechos de propiedad intelectual que rigen a la mayoría de los países, es una limitación para la aplicación de estrategias de imitación, que empleadas fuera de la ley, implican la imputación de sanciones que incrementan sus costos asociados, por lo cual es importante la intervención del gobierno con políticas en materia de innovación. En apartados posteriores se presenta una postura personal, y análisis de hipótesis planteadas por diversos autores.

4 AUTORES Y ARGUMENTOS

4.1 Ventajas y desventajas de implementar innovación imitativa

Según Zhang & Zheng [7], las estrategias de imitación le permiten a una organización acceder rápidamente a otras áreas de negocio, reduciendo los costos asociados, sin desvíos e incluso ayudándola a conocer la demanda del mercado de forma rápida y precisa. Sin embargo, luego de analizar el comportamiento imitativo de varias compañías chinas, estos autores fundamentan su posición en que para destacarse entre los imitadores, se requieren métodos más eficaces que imitar velozmente; se necesita una "imitación creativa", simplemente perfeccionando y posicionando un producto o servicio. Por otra parte, las regulaciones y apoyo gubernamental no son suficientes, lo que es apoyado por Cheng & Tao (1999), desde su posición en la cual piensan que las dinámicas entre innovación e imitación se ven influenciadas por las políticas gubernamentales.

Adicionalmente, Zhang & Zheng, conciben que copiar resulta menos costoso; evidenciándose que el plagio ayuda a las compañías a ser rápidamente aceptadas en el mercado, dejando a un lado la innovación original, la cual requiere mayor inversión de tiempo y recursos, e implica un riesgo alto. Concluyen que la innovación exitosa comienza desde la imitación, ya que evidentemente la innovación imitativa no deja de ser una forma de innovación.

No obstante, Zeng enmarca su posición en la afirmación de que el crecimiento económico es impulsado por la innovación por medio de sus interacciones con la imitación, específicamente por la posibilidad de que surjan innovaciones e imitaciones en el mismo sector al mismo tiempo, pero es el cambio en la política uno de los factores más relevantes dado que afecta la dinámica con los

incentivos que promueva en términos de innovación; subsidiar la innovación no es necesariamente equivalente a los gravámenes que exige la imitación, por lo que, lo primero, acelera el crecimiento económico, mientras que los subsidios a la imitación hacen lo contrario, los efectos sobre el bienestar en ambos casos son ambiguos [8].

Así mismo, Kale & Little, sostienen que en India las firmas con capacidades bajas y medias de innovación, encuentran en el aprendizaje por imitación una sólida base para el desarrollo de la competitividad, en términos de una innovación avanzada. Las organizaciones en este tipo de países comienzan como imitadoras y usando esta estrategia, crean productos innovadores y sobresalen en mercados consolidados a nivel mundial. La imitación, si es legal, se convierte en una estrategia sagaz en la temprana industrialización, con la cual es más sencillo conseguir tecnología que no se creía posible utilizar. La adopción de patentes se fortalece con el paso del tiempo, lo que para los autores, afecta la aplicación de estrategias de imitación, reduciendo la oportunidad de algunos países de usar los conocimientos adquiridos con esta [9].

Kremen, concibe que la estrategia de imitación consta de dos componentes esenciales: el seguimiento estratégico (compañías que se demoran en adoptar un producto o práctica) y el aprendizaje por observación (actividades dirigidas a compartir el conocimiento externo, como el *Benchmarking*); y que ambas ayudan a las empresas a beneficiarse de la experiencia de los pioneros y reducir las incertidumbres que acompañan la innovación. Pero para que la estrategia de innovación imitativa tenga éxito en su aplicación, se requiere una experiencia considerable para transferir una tecnología "prestada" a un entorno diferente de su origen, lo que implica que los resultados que se esperan sean lentos y conlleven un gasto considerable. Otra limitación en la aplicación de esta estrategia se relaciona con lo selectivos que son los países en adoptar prácticas que se ajusten a las circunstancias y a la cultura, las cuales difieren de las que posee el pionero de la innovación. Adicionalmente, son necesarias grandes inversiones en sistemas de información estratégica, que no son comprados fácilmente, sino que son desarrollados con paciencia y compromiso; por lo que el cálculo del costo real de una estrategia de este tipo es engañoso. Por medio del análisis, el autor determina que es una astuta estrategia bajo el aumento de competitividad [10].

Dependiendo de la aplicación, el *Benchmarking*, es considerado por algunos autores como una forma de innovación imitativa; como lo menciona Drew, “*Is the art of finding out, in a perfectly legal and aboveboard way, how others do something better than you do, so you can imitate and perhaps improve upon their techniques*” [11]. Es una herramienta que permite desarrollar estrategias para obtener ventaja sobre los competidores. Pero los beneficios de ser una compañía pionera implican ventajas como liderazgo tecnológico, patentes, efectos por la curva de aprendizaje, la capacidad de adelantarse en la consecución de activos clave y evadir altos costos de transferencia relacionados. Las empresas que innovan son capaces de reinventar sistemas empresariales y de convertir el ambiente industrial en una ventaja, en lugar de aceptar pasivamente lo que les ofrece la competencia. La imitación tiene como limitación que quienes la desarrollan a veces no son conscientes de lo que hacen, o de cómo están contribuyendo al éxito; el autor concluye que existen problemas complejos, por lo que esta estrategia no es igualmente efectiva para todas las organizaciones. Específicamente, el *Benchmarking* no es siempre una solución de bajo costo y útil para una rápida adquisición de conocimientos y generación de cambio organizacional [11].

4.2 Posiciones complementarias

En países desarrollados como China surge el debate acerca de la conveniencia entre aplicar estrategias imitativas o usar la innovación para el desarrollo de la competitividad en diferentes campos; las posiciones varían acorde al período histórico; pero luego de la apertura de China, la academia comenzó a inclinar la balanza a favor de los beneficios que ofrece la innovación. Zhenghong Chen, expone que la estrategia imitativa se acepta en las etapas tempranas del desarrollo de un país, ya que es una manera de complementar las debilidades que posee, en materia de ciencia y tecnología. Pero cuando el país cuenta con la tecnología para apostarle a la innovación es un reto que se elige, dejando a un lado la imitación. Sin embargo, este autor mantiene una postura en la que considera que la imitación es una buena forma de comprar tecnologías comunes, que reducen de manera radical el costo de la investigación y desarrollo experimental, aunque desafortunadamente esto no aplique a campos donde se desarrolla alta tecnología [12].

Comparando la innovación original con la innovación imitativa, según Yang & Ji, esta última es eficiente en la introducción de productos de firmas que entran al mercado, dado que se observa un éxito

considerable, se incrementa la satisfacción de los clientes y es necesaria una menor inversión. Hay casos en los que por medio de la imitación, se logran mejoras significativas en la calidad de los productos [13], lo cual es un punto a favor de esta estrategia.

Ahora bien, Gemser & Wijnberg, entienden la imitación como la acción de copiar al innovador, que ejecutan los otros competidores en una misma industria. Esta imitación puede ir desde copiar los más sencillos detalles, hasta inspirarse por el ejemplo de otros o seguir una tendencia de moda. Sin embargo, estos autores opinan que la imitación no siempre perjudica la posición competitiva del innovador, en ocasiones sirve como una manera de transferencia tecnológica para quien es imitado. La estrategia de imitación por competidores resulta ser particularmente beneficiosa para un innovador, en el caso de mercados en los que la utilidad se deriva del consumo de cierto producto y en el cual el número de consumidores aumenta respecto al número de otros consumidores que usan ese mismo producto o con la presencia de otros competidores que ofrecen productos similares o adaptaciones del producto. Estos autores se enfocan en la existencia de una barrera, adicional a los derechos de propiedad intelectual, llamada “*The reputation mechanism*” o “Mecanismo de Reputación”, la cual se basa en la reputación que desarrollan las organizaciones como elemento diferenciador, en este caso con la innovación; cuando una compañía percibe que el éxito se relaciona con la reputación de ser innovadora, esto provee un incentivo de innovar verdaderamente y no usar estrategias, como la imitación, para adquirir dichas innovaciones. Lógicamente, en compañías que no le otorgan tanto valor a la reputación como innovadoras, no tendrán dicho limitante para un comportamiento imitativo. Del estudio concluyen que la copia no es perjudicial para la imagen o reputación del innovador, incluso contribuye a la reputación de este, desde el punto de vista de que la firma es aceptada como líder del mercado, dado que las firmas que usualmente copian son competitivas en segmentos más pequeños [14].

Ulhøi, piensa que el costo asociado a dicha estrategia es variable de unas industrias a otras. Por ejemplo en el caso de los imitadores farmacéuticos, estos se enfrentan a costos relativamente altos en comparación con imitadores en otras industrias, debido a que están sujetos a los mismos procedimientos rigurosos de aprobación reglamentaria a los que están expuestos los innovadores en la industria. Adicionalmente, el autor hace una diferenciación entre imitación cognitiva e imitación por observación; divide también las estrategias imitativas en réplica, mimetismo,

analógica y emulación, siendo en ocasiones legales, por ejemplo cuando se emplean licencias. Concibe que algunos sectores se beneficiarían más si las estrategias innovadoras y de imitación estuvieran mejor sincronizadas, pero considera que las industrias con bajas barreras de entrada en términos de capacidades y *know-how*, son más propensas a desarrollar estrategias de imitación a diferencia de otras industrias con barreras de entrada más altas relacionadas con el conocimiento científico y/o tácito. Las ventajas de ser pionero, logran que muchos países elijan este tipo de estrategias, sobre todo aquellos que no están interesados en realizar tratados de libre comercio o seguir los estándares de los tratados de derechos de propiedad intelectual, si no que prefieren manejar sus propias reglamentaciones y aprovechar los beneficios que éstas les brindan [15]. Comparando los efectos de la innovación y estrategias de imitación en el desarrollo de nuevos productos, las estrategias de innovación imitativa tienden a mejorar el rendimiento del

producto, y que en un mercado con demandas inciertas y rápido cambio en las tecnologías, dichas estrategias favorecen las estrategias de innovación [15].

5 FUENTES DE EVIDENCIAS

Para la realización de este documento se efectuó una revisión de literatura, utilizando la herramienta Scopus.

En la Fig. 1 se puede observar el número de documentos relativos al tema de innovación imitativa, que han aportado autores entre los años 1996 y 2015; el mayor número de documentos, se sitúa en los años 2010 y 2013, en los cuáles se visualiza un total de 13 documentos, seguidos por 6 documentos en el año 2006.

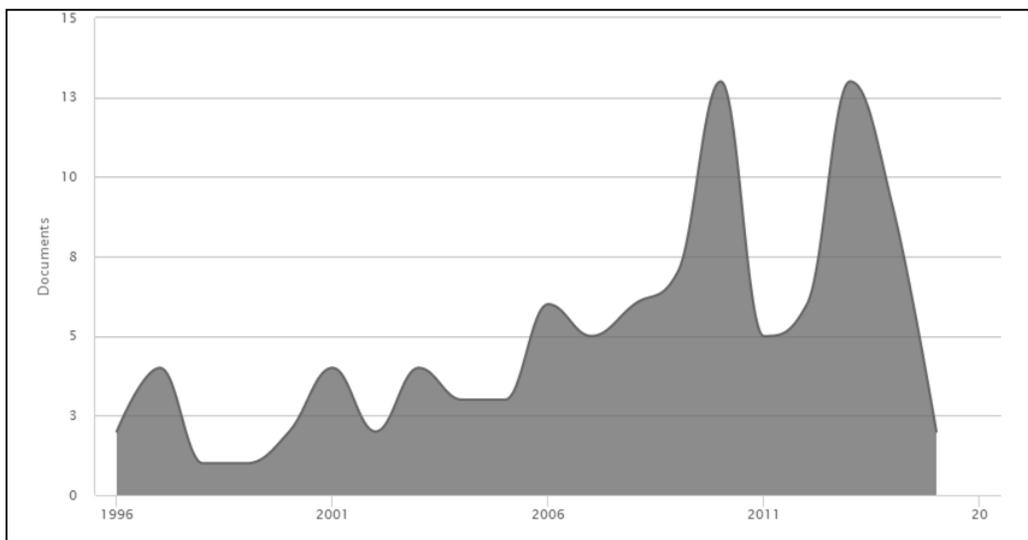


Fig1. Documentos por año. Fuente: [16].

Por otra parte las Fig. 2 y Fig. 3, evidencian el número de documentos por año de acuerdo a la fuente y autor, respectivamente. En primer lugar, se observa que el mayor número de publicaciones corresponde a las realizadas por el *Journal Technology Analysis and Strategic Management*. Seguidamente, el número de publicaciones por autor es semejante, mientras que los números más altos de publicaciones son principalmente de instituciones como *Cranfield University* y *The University of Warwick*.

De la Fig. 4 se puede concluir que Estados Unidos y China encabezan la lista de países con más publicaciones en Scopus, sobre innovación imitativa;

publicando en este rango temporal, 22 y 16 documentos, respectivamente. Seguidas por Reino Unido e Italia, con 15 y 10 publicaciones.

La mayor cantidad de información para la realización de este paper provino de artículos de conferencias del área de Ciencias Sociales y Humanidades.

La Tabla 1, presenta en síntesis las ideas más representativas de las posiciones anteriores, se construye para realizar un análisis de las evidencias encontradas, para facilitar el estudio de los resultados.

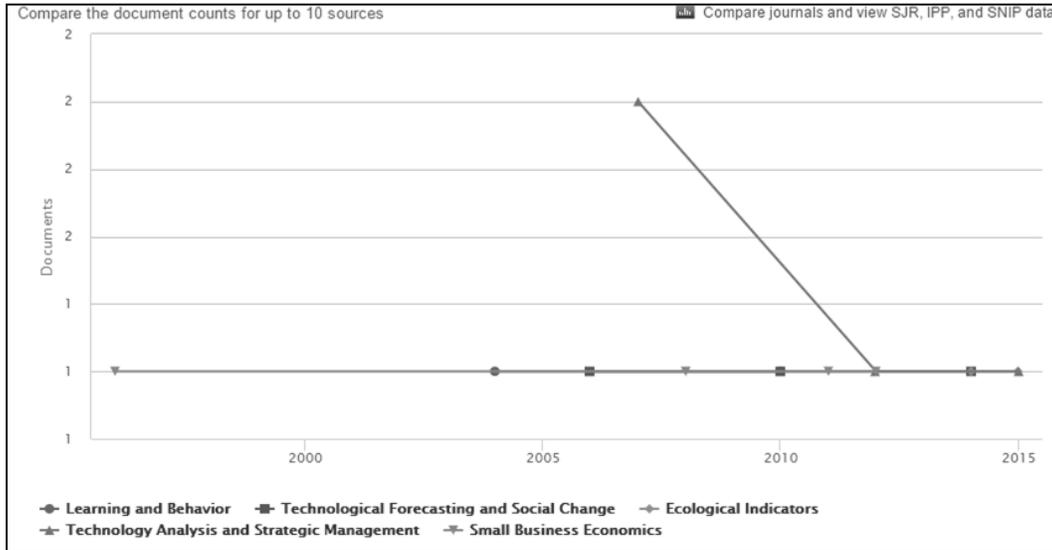


Fig. 2. Documentos por año según la fuente. Fuente: [16].

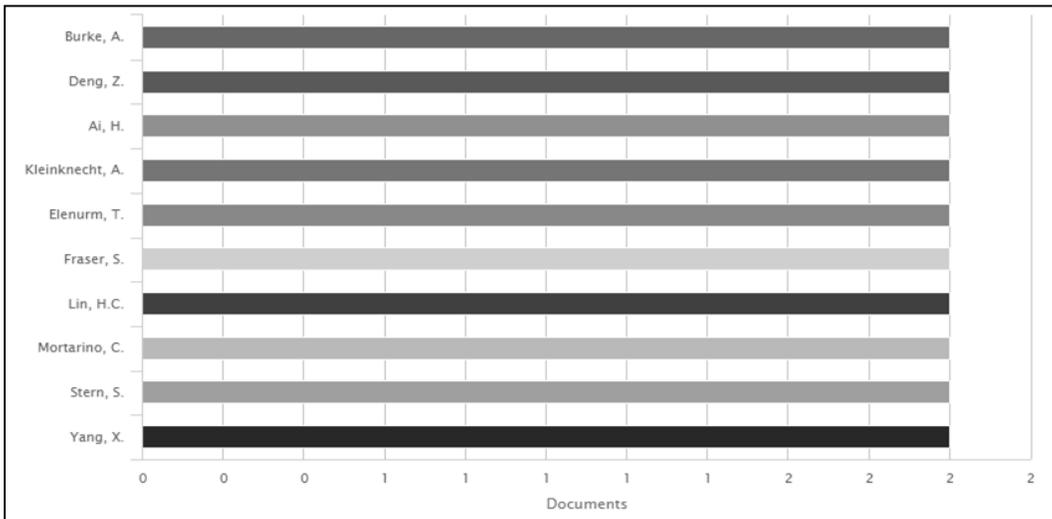


Fig. 3. Documentos por autor. Fuente: [16].

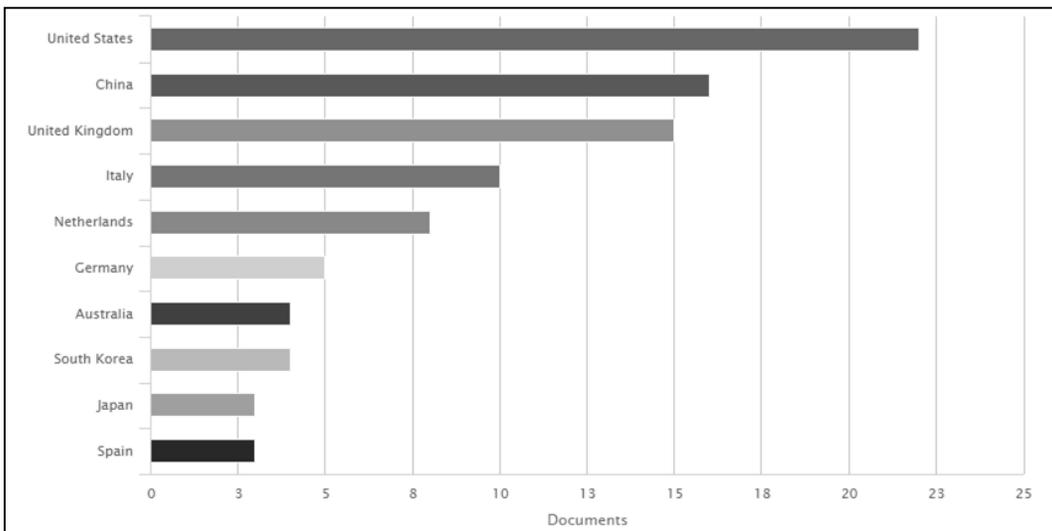


Fig. 4. Documentos por año según el país. Fuente: [16].

Tabla 1.

POSICIONES DE AUTORES.

Zhenghong Chen (2009)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La estrategia imitativa se acepta con mayor frecuencia en las etapas tempranas del desarrollo de un país, es una manera de complementar las debilidades que posee, en materia de ciencia y tecnología. ✓ La imitación es una buena forma de comprar tecnologías comunes, que reducen de manera radical el costo de I+D.
Zhang & Zheng (2013)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Las estrategias de imitación le permiten a una organización acceder rápidamente a otras áreas de negocio, reduciendo los costos asociados, sin desvíos y ayudándola a conocer la demanda del mercado de forma más rápida y precisa. ✓ "Imitación creativa", simplemente perfeccionando y posicionando un producto o servicio. ✓ Falta de regulaciones y apoyo gubernamental en temas de innovación. ✓ El plagio ayuda a las compañías a ser rápidamente aceptadas en el mercado. ✓ La innovación exitosa a menudo comienza desde la imitación.
Cheng & Tao (1999)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dinámicas entre innovación e imitación se ven influenciadas por las políticas gubernamentales.
Kale & Little (2007)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Imitación como sólida base para el desarrollo de la competitividad, creando al final productos innovadores que sobresalen en mercados establecidos a nivel mundial. ✓ Imitación como estrategia para usar tecnología que se pensaba no sería posible utilizar. ✓ Patentes como limitación para el desarrollo de estrategias de imitación.
Yang & Ji (2012)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La innovación imitativa es eficiente para firmas que estén entrando a nuevos mercados, hay satisfacción en los clientes, requiere una menor inversión, mejorando la calidad de sus productos.
Gemser & Wijnberg (2001)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La estrategia de imitación no siempre perjudica la posición competitiva del innovador, en ocasiones puede servir como una manera de transferencia tecnológica para quien es imitado. ✓ Otra barrera para la imitación es "<i>The reputation mecanismo</i>" o "Mecanismo de Reputación", el cual se basa en esa reputación que desarrollan las organizaciones como elemento diferenciador, percibiendo que su éxito se relaciona con la reputación de ser innovadora, esto provee un incentivo de innovar verdaderamente, y no imitar. ✓ La imitación contribuye a la reputación del innovador, de forma que es considerado líder del mercado, mientras que los imitadores se desenvuelven en segmentos más pequeños.
Kremen (1996)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Componentes de la estrategia de imitación: seguimiento estratégico y aprendizaje por observación (<i>Benchmarking</i>). ✓ Imitación para aprovechar la experiencia de los pioneros y reducir incertidumbre. ✓ La imitación implica a su vez experiencia para reproducir la tecnología copiada y un gasto considerable asociado, el cual puede ser engañoso. ✓ Quién use dicha estrategia debe estar consciente de que las circunstancias y cultura pueden variar considerablemente con relación a quien están imitando. ✓ Estrategia astuta para el aumento de competitividad.
Zeng (2001)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Crecimiento económico impulsado por innovación a través de sus interacciones con la imitación. ✓ El cambio en la política es un factor relevante dado que puede afectar la dinámica por medio de los incentivos que promueva en términos de innovación. ✓ Efectos ambiguos en el bienestar, tanto cuando se usan estrategias de innovación como de imitación.
Drew (1997)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Benchmarking</i> considerado como una forma de innovación imitativa. ✓ La imitación permite una ventaja competitiva. ✓ Ser pionero implica ventajas como liderazgo tecnológico, patentes, efectos por la curva de aprendizaje, capacidad de adelantarse en la obtención de activos clave y evadir altos costos de transferencia relacionados. Están en la capacidad de reinventar sus sistemas empresariales y de convertir su ambiente industrial en una ventaja. ✓ Una limitación de la estrategia de imitación es que quienes la desarrollan en ocasiones no son conscientes de lo que hacen, o de cómo están contribuyendo al éxito. ✓ Las estrategias de imitación tienen un considerable gasto asociado, y no siempre son útiles para una rápida adquisición de conocimientos y generación de cambio organizacional.
Ulhøi (2012)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El costo asociado a las estrategias de innovación imitativa, es variable de una industria a otra. ✓ Diferenciación entre imitación cognitiva e imitación por observación. ✓ Divide las estrategias imitativas en réplica, mimetismo, analógica y emulación. ✓ Mejor sincronización entre estrategias de innovación e imitación proporcionaría mayor beneficio. ✓ Las estrategias de innovación tienden a mejorar el rendimiento del producto, sobretudo en un mercado con demandas inciertas y rápido cambio en las tecnologías.

Fuente: elaboración propia.

6 ANÁLISIS

Para el interés del presente documento, la problemática se centra en la identificación de diversas perspectivas de autores que aportan a la temática, con el objetivo de hallar oportunidades para la generación de nuevas contribuciones. Cabe resaltar, que los argumentos encontrados en la literatura, apoyan puntos relevantes de la postura personal que se expuso previamente, los cuales en su mayoría están basados en casos de éxito, la observación y conocimiento de expertos en el tema. Los argumentos descritos, se diferencian unos de otros por la interpretación que le dan los autores a

cuestiones como el origen de la estrategia, justificación del porque emplear el proceso imitativo, o la forma de explicación de dicho proceso de acuerdo a experiencias propias, consideraciones que a su vez originan actitudes específicas sobre asuntos como las ventajas o limitaciones vinculadas a dicha estrategia. Por lo anterior, se desarrolló en la Tabla 2 un análisis de algunas dimensiones con relación a las posiciones, utilizando como criterios el concepto de estrategia imitativa de innovación, las ventajas asociadas a su utilización y las limitaciones y barreras que obstaculizan su desarrollo.

Tabla 2.

ANÁLISIS DE DIMENSIONES VS POSICIONES.

Criterio	Análisis
Concepto	El concepto de innovación imitativa es entendido, por varios autores, como la acción de copiar al innovador, que ejecutan los otros competidores en una misma industria. Kremen y Ulhøi proponen ciertas divisiones de dicha estrategia, sobretudo con relación a cómo se lleve a cabo la imitación.
Ventajas	Las ventajas son variables dependiendo el punto de vista de los autores; Kale & Little, Kremen, Drew y Ulhøi, conciben las estrategias imitativas como una base para el desarrollo de la competitividad, por medio del mejoramiento del rendimiento del producto; mientras que Zhang & Zheng y Yang & Ji, consideran que la competitividad que proporcionan dichas estrategias se relaciona con el rápido acceso a ciertas áreas de negocio, reduciendo los costos asociados, sin desvíos, ayudándola a conocer la demanda del mercado de forma más rápida y precisa, lo que a su vez se refleja en un aumento de la satisfacción del cliente. Chen, expone que dentro de las ventajas de utilizar estrategias imitativas de innovación se encuentra el hecho de que son una manera de complementar las debilidades que se posean en materia de ciencia y tecnología, lo que, apoyado por Zhang & Zheng, significa una aceptación más fácil dentro del mercado.
Limitaciones	Para autores como Zhang & Zheng, Cheng & Tao y Zeng, las dinámicas entre innovación e imitación se ven influenciadas por las políticas gubernamentales; según Kale & Little, ya que en la medida en que fortalecen el patentamiento refuerzan las barreras para la utilización de estrategias de imitación. Kremen, Drew y Ulhøi, manifiestan que otra barrera es el costo asociado a estas estrategias, el cual puede variar de una industria a otra y engañar, en la medida en que lleva implícitos costos relativos al entrenamiento de personal y experiencia para el manejo adecuado de las tecnologías copiadas. Drew, también evidencia que otra limitación es que quienes desarrollan innovación imitativa, no son conscientes de lo que hacen, o de cómo están contribuyendo al éxito. Gemser & Wijnberg, consideran que otra barrera es posiblemente <i>"The Reputation Mechanism"</i> , el cual se basa en la reputación que desarrollan las organizaciones como elemento diferenciador, percibiendo que el éxito se relaciona con la reputación de ser innovadora y dejando a un lado el empleo de estrategias imitativas dentro de las decisiones estratégicas.

Fuente: elaboración propia.

7 CONCLUSIONES

Es importante considerar que las estrategias de innovación varían significativamente de una organización a otra, principalmente por el hecho de que las dinámicas y relaciones en materia de tecnología y mercado son singulares dentro de cada compañía, ya que involucran personal, recursos y conocimientos específicos, diferentes. Como lo menciona Robledo (2013), toda empresa aplica de alguna manera estrategias de innovación, aunque en ocasiones no esté plenamente consciente de ello.

Partiendo del problema planteado de conocimiento limitado, se evidencia que las posturas analizadas sirven como base para planteamientos futuros, ya que es indispensable reconocer los diferentes puntos de vista desde los cuales se aborda la temática, para buscar dónde surgen oportunidades para nuevas contribuciones, que complementen y reduzcan la limitación en dicho conocimiento. Sin embargo, la revisión de la literatura evidencia la necesidad de una investigación más considerable del tema en la herramienta bibliográfica Scopus, dada la falta de artículos relacionados con las estrategias de innovación imitativa desde un panorama de aplicación, sobretudo en Latinoamérica.

Se encontró que algunos de los puntos sugeridos en la posición personal, como que el uso de estrategias imitativas propicia el incremento de la competitividad dependiendo de su utilización y la industria dónde se apliquen, son argumentos reafirmados por las

posturas de autores como Kale & Little, Kremen, Drew y Ulhøi. Con relación a la afirmación de que la innovación imitativa asocia un costo de inversión menor comparado con la generación de innovación, es visible la concordancia con los aportes de Chen, Zhang, Zheng, Yang & Ji. Finalmente, el tema del fortalecimiento del patentamiento como limitante para el desarrollo de estas estrategias, se relaciona puntualmente con los aportes de los autores Kale & Little. Es recomendable que las compañías se preparen para enfrentar los cambios del entorno con estrategias de innovación estructuradas, y que estén acordes con la cultura organizacional, ya que la determinación de una buena estrategia es un elemento diferenciador que genera ventaja competitiva y posibilita supervivencia en el mercado.

8 TRABAJOS FUTUROS

Para profundizar acerca de la innovación imitativa, se sugiere motivar a investigadores que sitúen sus argumentos, análisis, demostraciones y conclusiones en la reconocida herramienta Scopus; para que continúen aportando publicaciones referentes al tema, complementando el estado actual de la literatura con investigaciones y desarrollos prácticos, especialmente en países latinoamericanos, en donde se hace visible la falta de información. A partir de lo anterior, se establecerán fundamentos mediante los cuales se generen otro tipo de contribuciones al respecto, que probablemente sustentarán análisis posteriores.

9 REFERENCIAS

- [1] H. Zhou, R. Dekker, and A. Kleinknecht, "Flexible labor and innovation performance: evidence from longitudinal firm-level data," *Ind. Corp. Chang.*, vol. 20, no. 3, pp. 941–968, Apr. 2011 [Online]. Available: <http://icc.oxfordjournals.org/cgi/content/long/20/3/941>
- [2] Á. R. P. Zapata and S. O. Cantú, "Gestión estratégica de la tecnología en el predesarrollo de nuevos productos," vol. 3, no. 3, pp. 112–122, 2008.
- [3] J. Robledo, "Introducción a la Gestión de la Tecnología y la Innovación," 2013.
- [4] J. M. R. Devis, *La dinámica de la innovación tecnológica. Modelo HIPER 666*. Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia, 2006 [En línea]. Disponible en <https://books.google.com/books?id=kdqJkuvnS3oC&pgis=1>.
- [5] W. J. Baumol, "Difusión y adaptación de la tecnología: el crecimiento a través de la innovación imitativa," *ICE. Economía internacional: nuevas aportaciones*, pp. 5–16, Mar-2004 [En línea]. Disponible en http://www.revistasice.info/cache/pdf/ICE_814_5-16__75808D60CEE51C2C553F6CB7619B8192.pdf.
- [6] M. Peltoniemi, "Cluster, Value Network and Business Ecosystem: Knowledge and Innovation Approach," *Institute of Business Information Management; Tampere University of Technology, Finland*, 2014 [Online]. Available: <http://www.cse.tkk.fi/fi/opinnot/T-109.4300/2014/luennot-files/Peltoniemi.pdf>.
- [7] T. Zhang and W. Zheng, "Explore the driving factors behind the imitation and innovative imitation of Chinese Internet companies: A perspective of institutional theory," in *2013 6th International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, 2013, vol. 2, pp. 450–455 [Online]. Available: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84893689852&partnerID=tZOtx3y1>.
- [8] J. Zeng, "Innovative vs. imitative R&D and economic growth," *J. Dev. Econ.*, vol. 64, no. 2, pp. 499–528, Apr. 2001 [Online]. Available: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0035047958&partnerID=tZOtx3y1>.
- [9] D. Kale and S. Little, "From Imitation to Innovation: The Evolution of R&D Capabilities and Learning Processes in the Indian Pharmaceutical Industry," *Technol. Anal. Strateg. Manag.*, vol. 19, no. 5, pp. 589–609, Sep. 2007 [Online]. Available: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-34548562016&partnerID=tZOtx3y1>.
- [10] M. Kremen, "Imitation versus innovation: Lessons to be learned from the Japanese," *Organ. Dyn.*, vol. 21, no. 3, pp. 30–45, Dec. 1996 [Online]. Available: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-43949166520&partnerID=tZOtx3y1>.
- [11] S. A. W. Drew, "From knowledge to action: The impact of benchmarking on organizational performance," *Long Range Plann.*, vol. 30, no. 3, 1997 [Online]. Available: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0001516005&partnerID=tZOtx3y1>
- [12] Z. Chen, "A brief history of China's Y-10: Imitation versus innovation," *Technol. Soc.*, vol. 31, no. 4, pp. 414–418, Nov. 2009 [Online]. Available: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-70449526069&partnerID=tZOtx3y1>.
- [13] G. Yang and G. Ji, "Effects of strategic customer behavior on imitative innovation supply chain performance," in *ICSSM12*, 2012, pp. 800–803 [Online]. Available: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84866655845&partnerID=tZOtx3y1>.
- [14] G. Gemser and N. M. Wijnberg, "Effects of reputational sanctions on the competitive imitation of design innovations," *Organ. Stud.*, vol. 22, no. 4, pp. 563–591, 2001 [Online]. Available: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0039784064&partnerID=tZOtx3y1>
- [15] J. P. Ulhøi, "Modes and orders of market entry: revisiting innovation and imitation strategies," *Technol. Anal. Strateg. Manag.*, vol. 24, no. 1, pp. 37–50, Jan. 2012 [Online]. Available: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84855913898&partnerID=tZOtx3y1>
- [16] Scopus, "Análisis de resultados," 2015.



Construcción de un repositorio de activos de software para el desarrollo ágil de aplicaciones aplicando un método para el reuso

Construction of a repository of assets agile development software for applying a method of applications for reuse

Yeimar Alonso Castro

Grupo SODA, Universidad Cooperativa de Colombia
Medellín, Colombia

yeimar.castro@campusucc.edu.co

Javier Darío Fernández Ledesma, MSc.

Grupo SODA, Universidad Cooperativa de Colombia
Medellín, Colombia

javier.fernandez@ucc.edu.co

Julián Alberto Rivera

Grupo SODA, Universidad Cooperativa de Colombia
Medellín, Colombia

julian.riverao@campusucc.edu.co

Eder Acevedo Marin, MSc.

Grupo SODA, Universidad Cooperativa de Colombia
Medellín, Colombia

ederaam@gmail.com

(Recibido el 24-05-2016, Aprobado el 20-09-2016, Publicado el 17-01-2017)

Estilo de Citación de Artículo:

Y. Castro, J. Rivera, J. Fernández, E. Acevedo, "Construcción de un repositorio de activos de software para el desarrollo ágil de aplicaciones aplicando un método para el reuso", Lámpsakos, no. 17, pp 69-76, 2017
DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.1967>

Resumen – En este artículo de investigación se expone el estudio y la construcción de un repositorio de activos de software para el desarrollo ágil de aplicaciones aplicando un método para el reuso que permite manejar, manipular, crear, almacenar, recuperar y reutilizar diversas fuentes de códigos y activos de software para la agilización de procesos sistemáticos con el fin de crear cimientos en procesos industriales que requieran la intervención directa de un software.

Este software ha sido desarrollado luego de una amplia investigación y recopilación de antecedentes, una amplia arquitectura de reglas de manejo, enfoque en minería de datos y propósitos de promover el reuso de activos de software como una importante metodología dentro de la ingeniería, así con dicha implementación de esta herramienta se busca explorar, ayudar, fundamentar y respaldar en etapas tempranas de formación de un software, donde el campo de interés radica en pequeñas y medianas empresas de software que necesitan una metodología y una herramienta elástica para la mejora de procesos en sus instalaciones sin escatimar la calidad que del producto final que definitiva es el intangible "software".

Palabras clave: Activos, metaproceso, repositorio, reuso, software

Abstract - In this research paper the study and construction of a repository of software assets for agile development of applying a method to reuse that allows you to manage, manipulate, create, store, retrieve and reuse various sources of codes and active applications exposed software for streamlining systematic processes in order to create foundations in industrial processes requiring direct intervention of a software.

This software has been developed after extensive research and gathering background, a wide architecture management rules, focus on data mining and purposes of promoting the reuse of software assets as an important methodology in engineering, and with that implementation of this tool seeks to explore, help, inform and support in the early stages of forming a software, where the field of interest lies in small and medium software companies that need a methodology and an elastic tool for process improvement in their without skipping quality facilities that the final product is the ultimate intangible "software".

Keywords: Assets, metaprocess, repository, reuse, software

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del ámbito de la industria del desarrollo de software han existido relevantes inconvenientes a la hora de hablar de la reutilización de software. Para esto, con el transcurrir de los tiempos, se han venido investigando y adecuando cierta serie de metodologías para la planeación, construcción y retroalimentación de los proyectos de software, llegando a obtener resultados dentro del desarrollo basado en componentes.

En este artículo se relacionan antecedentes referentes a los repositorios de software propios del reúso y el manejo de activos, dentro de la composición de proyectos de software y la utilización de un método de reúso de activos que facilita y clarifica el proceso de desarrollo de un nuevo proyecto, siendo construido con artefactos de fases de proyectos disponibles para el reúso.

En este artículo se presenta desde los antecedentes la problemática central del reúso de activos de software, que se centra en la forma inadecuada para la recuperación de los artefactos de software que se requieren. Seguidamente en el marco conceptual se expone el análisis, diseño, metodología usada y el modo en el que se desarrolló un repositorio de activos de software, desde su investigación hasta los resultados de su desarrollo para dar solución a la problemática analizada.

2. ANTECEDENTES

La creación de un repositorio de activos de software para el desarrollo ágil de aplicaciones, aplicando un método para el Reuso a priori, suena como un concepto de nueva era o distante a esta época, pero realmente no lo es. Existen varios antecedentes en la historia que muestran la evolución, reinención y adecuación del concepto actual, el cual se redefine para dar solución a un medio creciente como lo es el de la industria del software y a sus procesos. Todo data desde la década de los setenta cuando se hablaba de la reutilización de componentes de software en los procesos.

Inspirado en la forma en que se desarrollan y construyen los módulos en la ingeniería de sistemas, muchos autores de hoy en día, consideran que el software actualmente permea en gran medida las actividades del hombre, llegando a niveles de complejidad que han originado la llamada “crisis del software” [1].

Gracias a dicha “crisis” nacida en los 70’s, se crearon diversas metodologías para el desarrollo de software tales como: Programación estructurada SOL (años 70s), que básicamente era “la idea básica de que todo comportamiento secuencial puede modelarse por medio de un autómata finito”; Ingeniería de la información (años 80s); Programación orientada a objetos (años 90s) el cual se basa en las interacciones de objetos representado de la vida real; y Proceso Unificado Ágil (RUP), del nuevo milenio, que consiste en describir de una forma simple y sencilla de entender el proceso de desarrollo de aplicaciones de software de negocio usando técnicas ágiles.

La reutilización de activos y el uso de componentes en el entorno de la ingeniería de sistemas, consiste en la capacidad de una herramienta o producto, de ser reciclada en lo posible, para el desarrollo de sistemas y aplicaciones. Algunos ejemplos de reutilización de activos se ven reflejados en algoritmos, patrones de diseño, artefactos, esquemas de base de datos, arquitecturas de software, especificaciones de requerimientos, de diseño y de prueba, entre otros. En este contexto surgen propuestas como UML, BPMN y tecnologías como XML, que soportan enfoques de desarrollo orientados a la transformación de modelos como es el caso de Model Driven Architecture (MDA) [3], hacia la producción en masa de software o el enfoque de líneas de productos de software.

En el pasado siglo, difícilmente se podía representar en un repositorio, artefactos de software por su contenido, lo cual no permitía que cualquiera pudiese acceder a ellos sin conocimiento previo de su existencia. Por este motivo, para el reúso se realizó el proceso inverso: primero detener la organización para ver qué podía ser reutilizable y después hacerlo reutilizable. Lo siguiente era obligar a que todos en la organización conocieran lo que existe para reutilizar (puesto que si no se hacía esto, no sabrían que cosa existe), y luego intentar obligar a que reutilizaran lo existente, bien sea en forma de patrones, líneas de producto o Frameworks.

Para el reúso, en la actualidad se procede de manera mucho más flexible, evitando restricciones en lo concerniente (requisitos, diagramas UML, pruebas, manuales, código fuente, riesgos, planificaciones de proyectos, experiencias post-mortem, reglas de negocio, personas, etc.), hasta el punto de usar artefactos reutilizables solamente cuando se sabe que se van a reutilizar al menos una vez. Así que cada vez que se habla de reúso de software y de diseños de software enseguida se nos vienen a la cabeza los patrones de diseño.

“La idea de los patrones fue introducida por Christopher Alexander [ALEX] en el dominio de la arquitectura, aunque hace ya años que la idea ha sido acogida en el diseño de software. “Cada patrón describe un problema que ocurre una y otra vez en un entorno dado, describiendo el núcleo de la solución al problema de tal forma que pueda ser empleada un millón de veces sin hacerlo dos veces de la misma forma” [4], en donde hacen una clasificación en patrones creacionales, estructurales y de comportamiento.

En la actualidad se han dado cambios influyentes en la industria del software a la hora de hablar de costo y tiempo de desarrollo de sistemas y aplicaciones. Gracias a esto ha surgido a vista de la ingeniería un nuevo activo reutilizable denominado componente de Software.

Esta breve reseña refleja importancia la reutilización de activos de software en nuestro entorno cotidiano.

3. METODOLOGIA

La investigación previa a la elaboración y presentación del resultado del producto bautizado “**Activos**”, Fig. 1, contó con una secuencia de recopilación de información y documentación de fuentes valiosas y confiables con renombre y amplio campo de acción en el modelado y desarrollo de este tipo de software especializado. En particular, se estudiaron las metodologías y métodos de reuso y los componentes tecnológicos de los repositorios de activos de software. Esto dio paso para obtener las bases conceptuales del reuso y el uso de los repositorios de activos de software para el desarrollo ágil de aplicaciones desde sus etapas más tempranas.



Fig. 1. Pantalla de bienvenida al aplicativo

Como siguiente medida se optó por observar una problemática específica de un sector en particular como lo es la industria. Seguidamente se halló una

solución adecuada a partir de la ingeniería de sistemas, independiente de ser interdisciplinaria. El foco de esta investigación y su posterior resultado y/o aplicativo está enfocado netamente al desarrollo de un software que atendiera las necesidades para lo que fue creado.

Dentro del proceso de construcción de “**Activos**”, luego de haber obtenido un conocimiento más amplio acerca del reuso de artefactos y las técnicas utilizadas para el desarrollo de métodos de gestión de activos de software, se procedió a definir el diseño de la herramienta haciendo uso del lenguaje notacional UML y BPMN.

Teniendo definido el diseño de la herramienta se hizo la elección del lenguaje de programación que se utilizó en la codificación de las herramientas de apoyo para las pruebas del método y la construcción del repositorio teniendo en cuenta factores de compatibilidad y rendimiento.

Seguidamente, se procedió a la construcción del prototipo el cual consistió en la integración de herramientas CASE (Computer-Aided Software Engineering) para el diseño de sistemas con el módulo de reuso diseñado en el proyecto y el método propuesto. Como paso siguiente se hizo una búsqueda de los mecanismos de prueba más utilizados para aplicárselos al método propuesto y el repositorio desarrollado, y se realizó un esquema de resultados y se compararon con sistemas similares.

“**Activos**” cumple básicamente tres necesidades: La recopilación de artefactos para solucionar un problema; la manipulación y reciclaje o reuso en diversos contextos; y ser duraderos en el tiempo, transformables y personalizable en ejecución. Estas tres necesidades son fundamentales para entender el proceso de negocio que en otras palabras son las reglas que establecen el control y la realización de los requisitos los cuales está dirigido el aplicativo.

Para entender el modelado de procesos de negocio en este contexto se necesita ser realmente muy gráfico, didáctico y pragmático. Normalmente se recurre a los diagramas de flujo, representación de nodos o actividades a ejecutar, lo que en “**Activos**” es recurrente y habitual. Se somete a una serie de reglas que posteriormente serán explicadas y desglosadas debidamente. Dichas reglas permiten que los elementos, dominio, fases, y patrones, interactúen, donde el dominio es una materia específica o contexto específico (por ejemplo medicina, biología, fisiología, química, informática, robótica, o automatización), siendo este contexto

especifico el eje y el engranaje para el reutilización de múltiples y variables dominios para la construcción de un procesos adyacente, proponen Pérez et al. [2].

Este paradigma combina los siguientes conceptos:

- a) Lenguajes de dominio específico (DSL) usados para formalizar la estructura de la aplicación, el comportamiento y los requisitos dentro de un dominio particular. Los DSL son descritos usando metamodelos, que definen relaciones entre elementos dentro de un dominio.
- b) los Motores de transformación y generadores, que analizan ciertos aspectos de los modelos, que después crean varios tipos de artefactos, tales como código fuente, entradas de simulación, descripciones de uso o documentos XML, o representaciones alternativas de dicho modelo [2].

Por su parte las fases hacen parte integral del proceso de construcción de los metaprosesos. Estas fases, están compuestas de patrones conectados con un orden lógico y semántico, supeditados a unas respectivas reglas definidas para estos. Para la organización de cada uno de los modelos, cada una de las fases está referenciada por eventos de iniciación, eventos intermedios o eventos de finalización, y conectadas por medio de una relación de asociación, los cuales son los que darán pie para la correcta conexión entre patrones según las reglas definidas para el funcionamiento del proceso.

Cada fase debe de estar asociada a un metaproseso y poseer una descripción sobre la función que cumple dentro de un procedimiento, asimismo lleva un indicativo "TYPE" el cual es verificado y cotejado con el archivo adjuntado a un repositorio. Las fases que actúan dentro del repositorio, ya han sido analizadas y procesadas desde su estructuración por medio de la modelación BPMN. Cada uno de los procesos representados en las fases, fueron previamente evaluados y con estados previos de éxito dentro de los demás proyectos.

Los patrones por su parte, conceptualmente permiten que en un modelo no exista ambigüedad porque estos son específicos, dado a que pueden ser representados en un diagrama de clases o de objetos donde se captura semánticamente exactamente tal y como lo es en la vida real con sus atributos y operaciones que este posee. En el prospecto de la construcción del software (Aplicación) tal como lo es "**Activos**" se han tenido

en cuenta variables como: modelos, reuso y activos de software, las cuales han planteado la necesidad de generar un aplicativo que permita el análisis, la medición, la evaluación de calidad del software, aspectos claves para la producción de alta factura y de impacto industrial.

Para todo lo anterior "**Activos**" ha sido desarrollado con base en metaprosesos que parten de la experiencia del Modelo de Referencia Promoter (PRM) que está precedido de cuatro reglas básicas tales como son: el análisis de tareas, la provisión de tecnologías, la realización y la ejecución de los procesos de software.

Greenwood et al. reconocen la necesidad de partir del concepto fundamental de los PSEEs [9] [citado en 8], quienes se basan en cuatro servicios fundamentales: administración del diálogo interusuarios, abstracción de información, repositorio de procesos y productos y herramientas de comunicación. Todo está previsto para que "**Activos**" no solo sea una aplicación usada por un usuario específico sino por un usuario final asociado más a los patrones de interfaces graficas entendibles, interactivas y amigables con cualquier usuario.

La creación y el uso del software "**Activos**" está basado en los estándares de especificación de la OMG que definen las pautas para la elaboración de activos reusables tal como se pueden encontrar en la reseña "Unified Modeling Language: Infrastructure version 2.0 formal/05-07-05", conocido como UML 2.0, el cual destaca la arquitectura del lenguaje, formalismos del lenguaje, *Cores* y entre otras características que debe poseer un software en sus etapas de elaboración más primitivas [6]. Para ello la OMG plantea los diferentes tipos de activos de software que son reusables a partir de tres dimensiones fundamentales: la granularidad, la variabilidad y la articulación. En esta última dimensión "**Activos**" obtuvo sus cimientos.

Para que la estructura de "**Activos**" sea legible en cuanto a su estructura semántica cuenta un manifiesto de archivo (documento XML). Así se garantiza la veracidad del activo de software. Dicho manifiesto permite atravesar e inspeccionar restricciones semánticas para lo cual los *asset* son parte fundamental, tal como Avila et al. aplica su método a un entorno de aplicación utilizando la especificación de activos reutilizables RAS (Reusable Asset Specification) [5], [6], que es un estándar para empaquetar artefactos digitales con una detallada especificación de un conjunto de

directrices y recomendaciones sobre la estructura, contenido y descripción de los activos de software reutilizables y el metamodelo de procesos de software SPEM (Software Process Engineering Metamodel), en este se realiza el modelado de tareas ejecutadas por roles que consumen artefactos de entrada y producen artefactos de salida”.

Desentrañando las bases del software “Activos”, Fig. 2, en este artículo de investigación se sustenta y solventa la creación de esta aplicación, adoptando bibliografía y metodologías amparadas en organismos internacionales expertos es la tecnologías del reuso de activos haciendo uso del “Esquemas de XML sobre el Manifiesto de Activos de Software Reusables” [8].

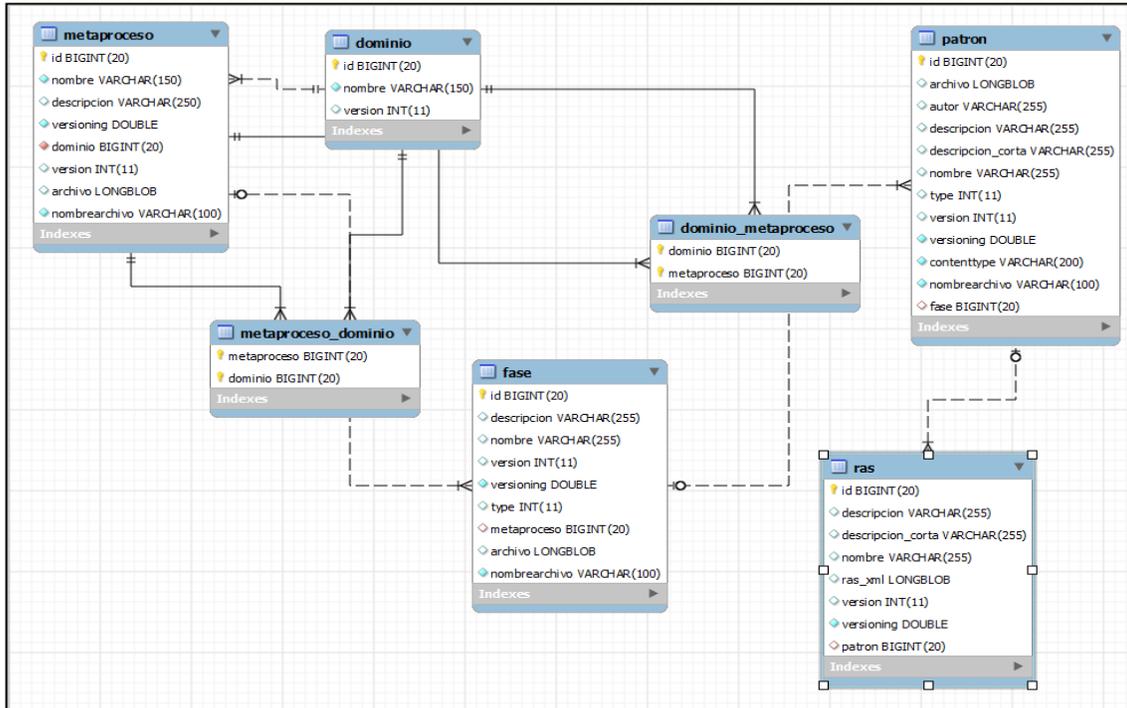


Fig. 2. Esquema de base de datos del aplicativo

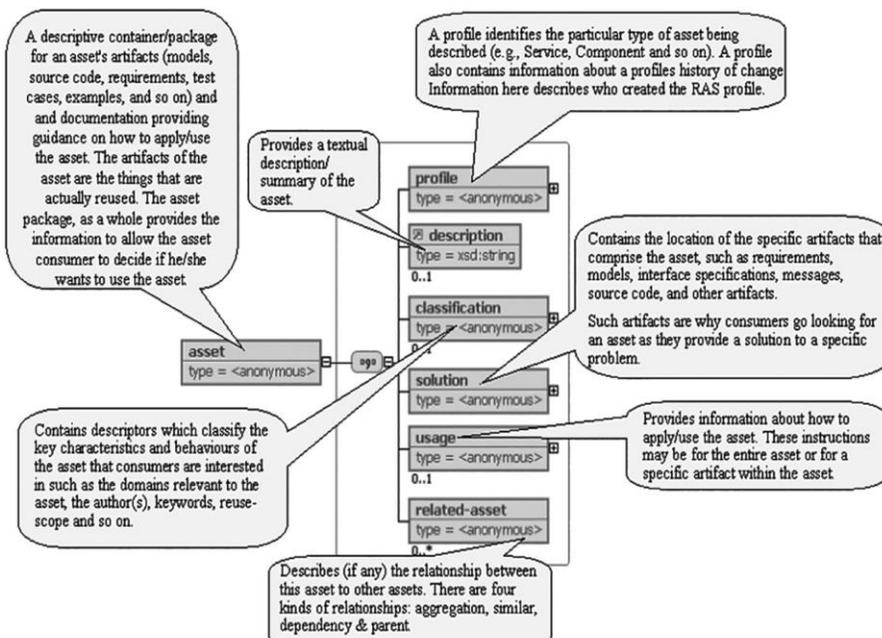


Fig. 3. Definición de atributos de un activo de software

4. RESULTADOS

Para el desarrollo de este repositorio, desde un comienzo se empezaron a definir reglas para cada uno de los componentes que estarían integrados dentro del proceso de reúso de activos de software. Dentro de estas reglas se acogieron los tipos de archivos que serían adjuntos al repositorio y su composición, debido a que se investigó y escrudinó

dentro del archivo con extensión .XPDL, para analizar las propiedades que contiene, para poder verificar que el modelo que se encuentra representado dentro de este archivo, así contenga los elementos que se están describiendo en el repositorio. Con este análisis se especifica si el archivo realmente contiene elementos únicos de una fase de iniciación, intermedia o de finalización.

La corta información que leerá a continuación le dará una breve indicación respecto al correcto uso de la carga de Archivos a nuestros servidores

Tenga en cuenta que para Cargar un Archivo a nuestros servidores, se le permitirá un máximo de 50 Megas por Archivo. Usted podrá subir Archivos de toda clase de extensión y tipo, pero para ello tenga en cuenta lo siguiente:

- Trate de que su Archivo tenga un nombre coherente y que si haga referencia al nombre del patron
- Trate de que su Archivo no tenga un nombre demasiado largo, pero tampoco demasiado corto, lo importante es que describa el patron
- Trate de Nombrar sus Archivos sin utilizar caracteres especiales como: (_ / \ \$ # * & % = | < > ?) entre otros
- Usted podrá utilizar Mayúsculas, Minúsculas y Números para nombrar Archivos
- Trate de seguir el siguiente formato: Ejemplo1.extensión

Recuerde que:

Si el archivo que usted va a subir a nuestros servidores es de tipo "Iniciación", "Intermedio" o "Finalización" es porque lo ha desarrollado en una herramienta para diseño BPMN y en especial BIZACTI, de lo contrario, si es un archivo que no tenga extensión ".XPDL", recuerde seleccionar en el campo "type" la opción "OTROS" para que su archivo suba a nuestra base de datos correctamente.

Crear Patron:

Nombre:

Descripción:

Descripción corta:

Type:

Versioning:

Autor:

Archivo:

Fase:

© todos los derechos reservados.

Fig. 4. Vista de creación de un patrón y sus respectivas reglas

Localhost:9090/activos/patrones?page=1&size=50

Inicio Metaproseso Fase Patron Búsqueda General Búsqueda Integrada Salir

Listar Patrones

Nombre	Descripción	Descripción corta	Type	Versioning	Autor	Fase
patron1	patron1	patron1	INTERMEDIO	1.0	henao	fase1
fase3	fase3	fase3	INICIACION	1.0	henao	fase1
patron2	patron2	patron2	INTERMEDIO	1.0	henao	fase1
patron2	patron2	patron2	INTERMEDIO	1.0	henao	fase1
patron2	patron2	patron2	INICIACION	1.0	henao	fase1
patron3	patron3	patron3	INICIACION	1.0	henao	fase1
patron4	patron4	patron4	INICIACION	1.0	henao	fase1
patron5	patron5	patron5	INTERMEDIO	1.0	henao	fase1
patron6	patron6	patron6	INTERMEDIO	1.0	henao	fase1
patron7	patron7	patron7	FINALIZACION	1.0	henao	fase1

© todos los derechos reservados.

Fig. 5. Vista de listado de patrones almacenados

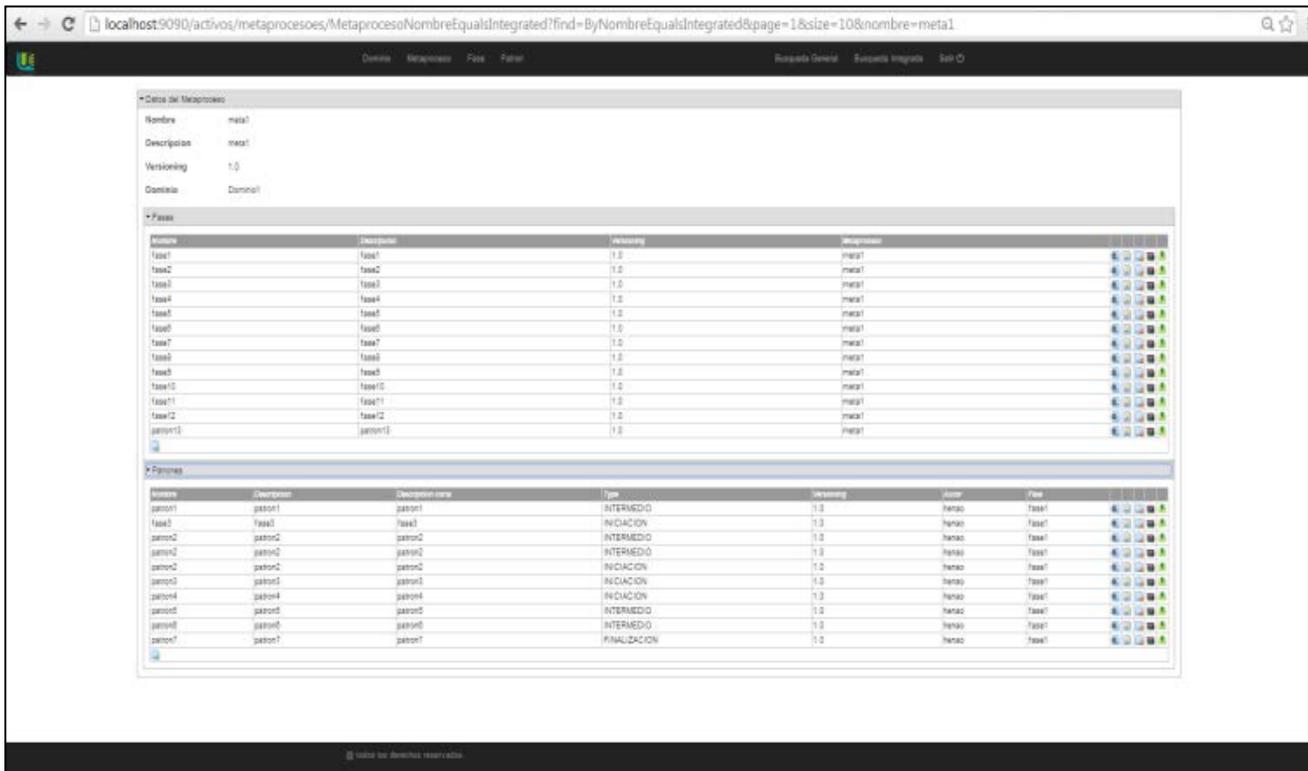


Fig. 6. Datos de un Metaproceso con las fases y patrones asociados

La generación de estas reglas define la estructuración de un proceso sin inconvenientes, que contiene un proceso secuencial, en donde se dispone de textos de ayuda para la guía y correcta utilización del repositorio de activos de software. Dentro de estos parámetros establecidos se define un orden consecutivo el cual debe de ser realizado de manera correcta para que el activo pueda mantenerse durante el tiempo requerido dentro del repositorio y cumplir su función de servir de base en modelos complementarios o pertenecer como pieza fundamental y decisiva en un nuevo desarrollo.

El desarrollo del repositorio de activos de software por medio de artefactos reusables se creó específicamente para dar soluciones de reuso y agilidad al momento de desarrollar nuevo software. Para esto se adjuntaron funciones como la descarga de archivos subidos en las fases y patrones, y por último la descarga del archivo, RAS, el cual será usado para realizar las búsquedas necesarias dentro del repositorio, ya que este archivo es el que contiene toda la información de un patrón en su totalidad, tanto desde a que dominio está asociado como que tipo de modelo es y en qué tipos de temas dentro del repositorio este se puede acoplar perfectamente.

Estas son las recomendaciones que el repositorio como función principal cumple. Para esto, dentro

existen variedad de búsquedas las cuales ayudan a consultar los activos que están almacenados dentro del repositorio.

5. CONCLUSIONES

Se obtienen las siguientes conclusiones:

- Se construyó un aplicativo que suplente con las necesidades del entorno y la problemática planteada en los antecedentes.
- Se logró materializar y crear arquetipos de los diferentes tipos de modelos UML, VISAGI, para la elaboración del repositorio de activos de software con la finalidad de prestar un servicio a especie de hemeroteca para las grandes industrias del software.
- Se unificaron de diferentes momentos del desarrollo de un proyecto para la construcción de nuevo software seguro, ágil y usando métodos de reuso.
- Se disminuyó los tiempos de desarrollo y modelado en las arquitecturas de proyectos de software.
- Se mejoró en la calidad y productividad en los procesos de desarrollo de software.
- Se dotó de un repositorio de activos de software flexible y capas de recomendar elementos pertinentes según atributos relevantes del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] R. S. Pressman, *Ingeniería del software*, 5 ed., R.S. Mc Graw Hill, 2001.
- [2] J. M. Pérez, F. Ruiz y M. Piattini, "Model Driven Engineering Aplicado a Business Process Management", 2007. Disponible en <https://previa.uclm.es/dep/tsi/pdf/UCLM-TSI-002.pdf>
- [3] A. G. Kleppe, J. B. Warmer, and W. Bast, *MDA explained: the model driven architecture: practice and promise*. Addison-Wesley Professional, 2003.
- [4] E. Gamma, *Patrones de diseño: elementos de software orientado a objetos reutilizable*. Pearson Educación, 2002.
- [5] O. Ávila-García, A. Estévez-García, V. Sánchez-Rebull, y J. L. Roda-García. "Using software product lines to manage model families in model-driven engineering." In SAC 2007: Proceedings of the 2007 ACM Symposium on Applied Computing, track on Model Transformation, pages 1006_1011. ACM Press, Mar 2007.
- [6] O. Avila-García, A. Esteves-García, E. V. Sánchez-Rebull, J. L. Roda-García, "Combinando Modelos de Procesos y Activos Reutilizables en una Transición poco Invasiva hacia las Líneas de Producto de Software". *Proceedings 12th Conference on Software Engineering and Databases*, pp. 1-6. 2007.
- [7] G. Om, "Unified Modeling Language: Infrastructure, version 2.0, formal/05-07-05," 2006.
- [8] J. D. Fernandez, *Metaprosesos: modelos, reuso y activos de software*, U. Pontificia Bolivariana, 2014, ISBN: 9789587641998
- [9] Greenwood et al., 1999
- [10] S. Acuña y X. Ferré, "Software Process Modelling". In: Proceedings of the 5th. World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI 2001). Orlando Florida, USA. , pp.1-6, 2001.
- [11] J. J. Alfaro. *Sistemas para la medición del rendimiento en la empresa*, México, ed. Limusa, 2008.
- [12] F. Allilaire, J. Bezivin, F. Jouault, y I. Kurtev, *ATL – Eclipse support for Model Transformation*, Proceedings of the Eclipse Technology Exchange Workshop at the ECOOP 2006 Conference, Nantes, Francia. 2006.
- [13] E. Almeida, et all. *Component reuse in software engineering*. p. 219. 2008.
- [14] V. Ambriola, et all. "Assessing Process-Centered Software Engineering Environments". *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, vol. 6, no. 3, pp. 283–328. (1997, jul.). Disponible en <https://dl.acm.org/citation.cfm?doid=258077.258080>
- [15] V. Anaya, et al. *The Unified Enterprise Modelling Language – Overview and Further Work*. In IFAC World Congress, PapersOnline, 2008.
- [16] J. Andreoli, J. L. Meunier, D. Pagani. "Process Enactment and Coordination". *Process Technology*, pp. 9-11, 1996. Disponible en <https://link.springer.com/chapter/10.1007/BFb0017745>
- [17] S. Arbaoui, F. Oquendo, PEACE: goal-oriented logic-based formalism for process modelling. In A. Finkelstein, J. Kramer, and B. Nuseibeh, editors, *Software Process Modelling and Technology*. John Wiley & Sons Inc., 1994.
- [18] T. Asikainen y T. Männistö, Nivel: a metamodelling language with a formal semantics. *Software & Systems Modeling*. vol. 8, N. 4, 2009, pp 521-549
- [19] M. Baldi, Et al. E3: object-oriented software process model design. In A. Finkelstein, J. Kramer, and B. Nuseibeh, editors, *Software Process Modelling and Technology*. John Wiley & Sons Inc., 1994.
- [20] S. Bandinelli, et al. SPADE: An Environment for Software Process Analysis, Design, and Enactment. In A. Finkelstein, J. Kramer, and B. Nuseibeh, editors, *Software Process Modelling and Technology*. John Wiley & Sons Inc., 1994.
- [21] N. Barghouti. Supporting Cooperation in the MARVEL Process-Centered SDE. In *ACM-SDE-1 2/92/VA*, pp. 21-31. 1992.



Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica

Application of organic amendments for the recovery of physical properties of the soil associated to water erosion

Diana María Delgado Londoño, MSc.

Universidad del Valle

Santiago de Cali, Colombia

diana.maria.delgado@correounivalle.edu.co

(Recibido el 11-04-2016. Aprobado el 10-09-2016, Publicado el 17-01-2017)

Estilo de Citación de Artículo:

D. Delgado, "aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica", Lámpsakos, no. 17, pp 77-83, 2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.1907>

Resumen

Es de gran importancia desarrollar proyectos que permitan identificar y evaluar algunos de los factores que gobiernan el proceso de erosión con un enfoque en la física del suelo, es decir, cuantificar variables como la densidad aparente, densidad real, estabilidad de agregados, humedad y materia orgánica, dentro de estudios que propongan encontrar una aproximación a escala de la estimación de la pérdida de suelo en función de las variables mencionadas, bajo la influencia de enmiendas orgánicas.

Esos proyectos deberían estar encaminados a generar base de datos para futuros estudios en los cuales se generen diseños de simuladores o en general equipos que estudien la interacción del proceso físico del suelo, la precipitación, la escorrentía y la infiltración, además de potencializar los resultados con análisis de las propiedades químicas y biológicas asociadas, experimentando con diferentes variaciones de parámetros como las pendientes, dosis de enmiendas y coberturas vegetales, formulando modelos matemáticos que permitan agrupar los factores considerados importantes en el análisis y generalizarlos para cualquier tipo de condición, o bien para una zona en particular que este presentando problemas de erosión.

Palabras Claves: Enmiendas Orgánicas, Erosión Hídrica, Propiedades físicas del Suelo, Recuperación.

Abstract

It is of great importance to develop projects that identify and evaluate some of the factors which govern the erosion process focussing on soil physics, meaning the quantification of variables such as apparent density, real

density, aggregate stability, humidity and organic matter, in studies that propose to find a scale approach in the estimation of soil loss based on the variables mentioned, under the influence of organic amendments.

These projects should aim to generate database for future studies in which designs or general equipment simulators to study the interaction of the physical process of soil, rainfall, runoff and infiltration are generated in addition to potentiate the results analysis of the chemical and biological properties associated, experimenting with different variations of parameters such as earrings, dose amendments and mulches, formulating mathematical models to group the important factors considered in the analysis and generalize to any conditions or to a particular area who is having problems of erosion.

Keywords: Organic amendments Water Erosion, Soil physical properties, recovery.

1. INTRODUCCIÓN

Ibañez afirma: "Según los datos del GLASOD (Global Assessment of Soil Degradation Database) la degradación de tierras se debe en un 48% a procesos de erosión hídrica, que la erosión eólica es responsable del 39% y que a la degradación química y física del suelo (chemical and physical deterioration) corresponden al 10% y 4% respectivamente" [1].

En Colombia de los 49'500,000 de habitantes se estima que el 78% de la población se encuentra localizada en las regiones de ladera y pequeños

valles intramontañosos, debido a factores de orden histórico, socioeconómicos, climático y a la productividad alta de los suelos. La formación de un centímetro de suelo en condiciones naturales, puede tardar entre cien a cuatrocientos años aproximadamente [2], por lo que se considera al mismo como un recurso valioso para la vida del ser humano y su pérdida debida a los diferentes procesos de alteración en las zonas de ladera, es un problema que amenaza fuertemente la base de nuestra alimentación y obliga al ser humano como principal causante, a desarrollar métodos de recuperación o control de este proceso.

Lo anterior ha conducido a que en diferentes países los investigadores en esta área busquen la forma de cuantificar la pérdida de suelo, esto contribuye a predecir niveles tolerables de pérdida de suelo bajo determinadas condiciones climáticas, tipos de suelos, entre otros, lo que facilitaría la selección de prácticas integrales de conservación de suelos y aguas, para diferentes usos del suelo y para su protección, teniendo en cuenta los niveles de finca y cuenca hidrográfica.

En el proceso de erosión hídrica se debería tener en cuenta la interacción del proceso físico químico y biológico del suelo con la física del agua (pluvial), escorrentía e infiltración, con el fin de evaluar y comprender de mejor manera el proceso de la erosión hídrica en un estado de degradación avanzado como lo son las cárcavas, de tal forma que se puedan implementar mecanismos de control asociado a los residuos orgánicos ya que su utilización como enmiendas al suelo puede ser una solución a este problema [3]. Estos mecanismos es importante dirigirlos al hallazgo de parámetros adimensionales como herramientas para asociar las variables involucradas en este fenómeno en una función matemática razonable, es decir que sea aplicable con el uso de Leyes de escala, correctamente definidas y que influyan directamente en el proceso de erosión hídrica.

2. LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS

La degradación del suelo se considera como toda modificación que conduzca al deterioro del suelo. La FAO afirma que: “La degradación es el proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios. La degradación del suelo es la consecuencia directa del mal uso del suelo por el hombre, resultado de acciones directas, como agrícola, forestal, ganadera, agroquímicos y riego, o por acciones indirectas, como son las actividades industriales, eliminación de residuos, transporte, etc” [4].

Actualmente existe una fuerte tendencia hacia la utilización racional del suelo, basado en principios de Conservación de Suelos, que contribuyen a obtener máximos rendimientos pero con mínima degradación.

FAO, [4] [citado en 5], afirma que: “El cuidado del suelo es esencial para la supervivencia de la raza humana. El suelo produce la mayor parte de los alimentos necesarios para la supervivencia. Sin embargo, en muchas partes del mundo, el suelo ha quedado tan dañado por un manejo abusivo y erróneo que nunca más podrá producir bienes”.

La degradación física del suelo es activada por el decaimiento de las propiedades estructurales, ocasionando problemas como: encostramiento, compactación, baja rata de infiltración, alta rata de escorrentía y erosión acelerada [6] [citado en 7]. La degradación del suelo afecta la productividad de las plantas, lo que restringe las cosechas y los alimentos disponibles.

3. LA EROSIÓN HÍDRICA EN EL SUELO

La erosión hídrica es el proceso por el cual se fraccionan y arrastran las partículas del suelo debido al impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo. Cuando la gota impacta directamente al suelo, la fuerza del impacto fracciona los agregados y los hace propensos a arrastre por la acción de los flujos superficiales de agua (escorrentía) y a la vez causa daño en la estructura superficial del perfil del suelo disminuyendo su capacidad de aportar nutrientes y disminuir el desarrollo de las plantas.

3.1 Factores que intervienen en la Erosión Hídrica

Los factores que intervienen son:

La precipitación: En la erosión hídrica el proceso de arranque de material se produce por el impacto y salpicadura de las gotas de lluvia, además el transporte de partículas viene dado por los flujos laminares que se crean en superficie.

El suelo: La naturaleza de los materiales que lo forman, su textura, profundidad y la permeabilidad del mismo van a determinar el grado de sensibilidad que presenta este frente a la erosión.

La topografía: La inclinación y la longitud de la pendiente del terreno juegan un papel fundamental en este proceso, teniendo en cuenta que a mayor inclinación y longitud de pendiente suele existir una mayor erosión.

La vegetación: Recubre el terreno actuando disminuyendo la erosión ya que protege y sujeta el suelo, y además frena la escorrentía favoreciendo la sedimentación de las partículas transportadas.

El uso del suelo: Es un factor primordial que en la erosión ya que modifica sus condiciones naturales. La erosión depende en buena medida del manejo y del tipo de cultivo implantado.

3.2 Aspectos físicos del suelo asociados a la Erosión

Según Montenegro [8], el suelo es el resultado de diversas interacciones dinámicas al igual de componentes orgánicos como inorgánicos. De la integración de todos estos componentes se compone este cuerpo natural, cuya función primordial es la de construir el medio para el desarrollo vegetal.

La pérdida de la calidad física de un suelo se evalúa teniendo en cuenta la alteración de algunas de las más importantes características tales como la densidad, la porosidad, la distribución del tamaño de poros, la estructura (estabilidad de agregados) y el porcentaje de humedad. El comportamiento mecánico de la fase sólida del suelo determina las propiedades físicas del mismo, en las cuales asocian las características químicas y biológicas proporcionando el medio necesario para la vida vegetal; Varios autores han tomado la densidad aparente como una medida de la estructura del suelo, tal es el caso de Amezcuita [9]; esta densidad junto con la densidad de las partículas o densidad real permiten calcular la porosidad total, determinar la concentración de los sólidos en suspensión y la velocidad de sedimentación, en la predicción de pérdida de suelo, en análisis mecánicos y conservación de suelo.

La textura está determinada por la proporción relativa de las partículas minerales cuyos diámetros promedio de partículas son inferiores a las arenas, con diámetros entre 20 y 2000 micrómetros, constituyen la fracción gruesa del suelo que le imprime baja capacidad de retención de humedad, drenaje alto, baja retención de nutrientes, baja capacidad de suministro de agua, excesiva aireación, susceptibilidad al encostramiento superficial y la erosión, facilidad de laboreo mecánico. Los limos son partículas cuyos diámetros oscilan entre 2 y 50 micrómetros. Esta fracción presenta mayor dinamismo químico e hidrodinámico que las arenas, pero inferior que las arcillas. Los suelos ricos en limos presentan buenas condiciones en términos generales para la actividad agropecuaria, están asociados con suelos de valles.

La arcilla es la partícula más activa física, química e hidrodinámica de los suelos con diámetros inferior a 2 micrómetros. Los suelos ricos en estas partículas presentan un drenaje deficiente, dificultando el laboreo, generando mayor encharcamiento superficial, retención de agua y nutrientes, contenido de materia orgánica y resistencia a la erosión [10].

La porosidad está asociada con la textura, de la estructura y de la actividad biológica del suelo. La estructuración del suelo por la materia orgánica, los microinvertebrados y los macroinvertebrados, conlleva a la formación de poros, por donde fluye el agua, y el aire. Greenland y Lal [11], realizaron una clasificación de poros por su diámetro y función, él los llamó macroporos, mesoporos y microporos. Los macroporos son los encargados de permitir el flujo del aire y el agua, los mesoporos son los que almacenan el agua y puede ser entendido como el agua aprovechable para las plantas, y los microporos tienen agua fuertemente ligada y difícilmente la aportan a las plantas. Amezcuita considera como una buena distribución de poros un rango de 10 a 15% de macroporos, 20 a 25% de mesoporos y entre 10 a 15% los microporos [10]; la porosidad al igual que la textura tienen una relación directa con la humedad la cual se puede analizar bajo dos aspectos diferentes, uno relacionado con la facilidad con que el agua se mueve a través del matriz suelo y el otro se referente a la capacidad de almacenamiento y disponibilidad.

La estabilidad estructural (DMP) es la resistencia de los agregados a disgregarse en condiciones de humedad, definiendo el estado de agregación de las partículas componentes minerales u orgánicas del suelo. Dependiendo de la disposición de sus partículas y de la adhesión de las partículas menores para formar otras mayores o agregados [12] [citado en 13]. La estabilidad de los agregados al agua es una propiedad fundamental para la conservación de la estructura y del suelo mismo. Algunos suelos se deterioran frente a la acción del agua lluvia o de la escorrentía, mientras otras muestran resistencia. La medición de la estabilidad estructural se basa en la mayor o menor resistencia de los agregados a la acción del agua, se puede medir obteniendo el índice de agregación o diámetro ponderado medio DPM, el cual se relaciona con la materia orgánica y con la presencia de óxidos de hierro y aluminio. Particularmente Rivera (1999) muestra cómo la materia orgánica es mayor en los agregados de 1-2 mm y disminuye con el tamaño de los agregados [14]; La materia orgánica como una propiedad física del suelo por tener gran influencia en la agregación de este y por ende en la estabilidad y porosidad del mismo.

Esto es corroborado por Oyedele [15] [citado en 7] en su estudio de algunos suelos tropicales, donde sus resultados demuestran que hay rápidos cambios en la fracción del porcentaje de materia orgánica del suelo bajo un corto periodo de incubación, y tiene un pronunciado efecto positivo en la estructura del suelo.

3.3 Materia Orgánica y Enmiendas Orgánicas en el control de la Erosión

La materia orgánica incrementa la habilidad del suelo para resistir todas las formas de degradación y, especialmente, la erosión, debido a diversos efectos como el mantenimiento de una condición estructural que permite la circulación de agua y gases al tiempo que retiene una cantidad considerable de la misma [16] [citado en 13]. El funcionamiento de los suelos y su habilidad para suministrar nutrientes, almacenar agua, liberar gases de invernadero, modificar contaminantes, resistir la degradación física y producir cosechas dentro de un sistema de manejo sostenible están profundamente influenciados por el contenido de materia orgánica [17] [citado en 13].

La materia orgánica estructuralmente activa es responsable de la formación de agregados estables [18] [citado en 13] y por consiguiente de la existencia y mantenimiento de poros grandes [19] [citado en 13]. Aparentemente el efecto positivo de la materia orgánica sobre la agregación es más fuerte si el contenido de arcilla es bajo y viceversa. Sin embargo parece que existen límites críticos en el contenido por encima de los cuales no se debe esperar un incremento en la estabilidad de los agregados [20] [citado en 14].

Abono orgánico es el producto que aporta a las plantas nutrientes procedente de materiales carbonados de origen animal o vegetal. Enmienda orgánica es el producto procedente de materiales carbonados de origen vegetal o animal, cuya función es mantener o aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, mejorar sus propiedades físicas y mejorar, también, su actividad química o biológica. La enmienda mineral es una sustancia o producto mineral, natural o sintético, el cual no se considera como abono; modifica y mejora las propiedades y las características físicas, químicas, biológicas o mecánicas del suelo.

Las enmiendas ya sean orgánicas o minerales y abonos orgánicos aumentan la temperatura del suelo lo que le permite absorber con mayor facilidad los nutrientes. Mejora a su vez la estructura y textura del suelo haciendo más ligero los suelos arcillosos y más compactos a los arenosos. También permite mejorar la permeabilidad del suelo ya que influye en

el drenaje y aireación de éste. Aumenta la retención de agua en el suelo y contribuye a mejorar el uso de agua para riego por la mayor absorción del terreno; por último disminuye la erosión ya sea por efectos del agua o del viento [20]. Los productos deben seguir unos tratamientos o procesos de elaboración, como son: el estiércol fresco al igual que los lodos de depuradora están excluidos expresamente y su utilización en la agricultura, como abonos o enmiendas orgánicas, queda sometido a la regulación específica [21].

La utilización de la cobertura vegetal del suelo es una manera más eficiente para detener la erosión del suelo, y detener también su degradación. Para disminuir la erosión, se debe hacer cobertura del suelo con rastrojos y plantas vivas, pero para lograr un resultado óptimo con la cobertura vegetal del suelo, es necesario conocer las especies adaptadas a la región en que se trabaja la tierra. Teniendo en cuenta que:

- La cobertura vegetal del suelo se disminuye la erosión.
- Se logra la conservación del suelo y un aumento de la materia orgánica.
- Mejoramiento de la estructura y calidad del suelo.
- Se obtiene una mayor capacidad de absorción de agua por parte del suelo.
- Se da un mejor aprovechamiento de los nutrientes del suelo y de los abonos químicos por parte de la planta.
- Mayor disponibilidad de nitrógeno en el suelo, por la fijación simbiótica de nitrógeno, cuando son usadas leguminosas.

4. ALGUNOS ESTUDIOS RELACIONADOS CON EL TEMA

Acerca del tema existen múltiples perspectivas orientadas a disminuir la degradación del suelo por erosión; la mayoría de los trabajos existentes se apoyan en la incursión de vegetación y residuos de cosecha con obras destinadas al mantenimiento y estabilización de los terrenos, entre ellos se encuentran Álvarez y Santanatoglia [22], quienes describieron la influencia de algunas características edáficas sobre la respiración y la biomasa microbiana, habiendo utilizado para ello un conjunto de suelos a los que se mantuvo bajo condiciones ambientales semejantes durante varios meses. Encontrando que la Respiración y la Biomasa son mayores en los suelos con mayor contenido de materia orgánica, este factor apareció como el más importante en la regulación del medio biológico. También encontraron que la falta de correlación entre la textura y las propiedades biológicas, así como también la alta relación encontrada entre las mismas y el carbono y el nitrógeno pone de

manifiesto la importancia de la materia orgánica como fuente de nutrientes y energía para los microorganismos. Un elevado número de estudios y modelos se han ocupado en los últimos años de establecer las relaciones existentes entre la cubierta vegetal, la actividad microbiana y su efecto en las tasas de erosión, en donde se ha puesto de manifiesto la función que tiene la morfología de las raíces de las plantas para frenar los movimientos en masa y aumentar la estabilidad del suelo, así como su capacidad para mejorar la infiltración y la estructura del mismo [23], [24].

Mbagwu evaluó los efectos de la adición de abonos orgánicos (estiércol de aves de corral) sobre las propiedades físicas de un Ultisol degradado en Nigeria como alternativa de la alta fertilización inorgánica en la zona [25]. Encontró que en comparación con el suelo tratado con fertilizantes inorgánicos, la aplicación de estiércol de aves de corral disminuyó de manera significativa la densidad aparente, aumentó la lámina total de agua disponible y la macroporosidad, la retención de agua, la conductividad hidráulica saturada, la capacidad de infiltración, la infiltración acumulada y el tiempo para llegar a la capacidad de campo. Encontró además que las mejoras en estas propiedades estaban directamente relacionadas con las concentraciones residuales de la materia orgánica del suelo, las cuales representan entre 52 y 77% de la variabilidad de la densidad aparente, 35 y 88% la variabilidad en la retención de agua y la lámina de agua disponible, y entre 56 y 98% la variabilidad en las características.

Dennis et al., evaluaron los efectos de la aplicación de compost de residuos urbanos en las propiedades físicas y químicas de un suelo arenoso del norte de Florida, EE.UU como alternativa de una agricultura más sostenible [26]. Encontraron que el porcentaje de materia orgánica de los residuos sólidos urbanos en abono es alto y su adición al suelo produjo una mejora en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Observaron que el compost proporcionó una forma estabilizada de la materia orgánica, la cual mejoró las propiedades físicas de los suelos por el aumento de nutrientes y capacidad de retención de agua, el espacio total de poros, la estabilidad de agregados, resistencia a la erosión, aislamiento de temperatura y disminución de la densidad aparente del suelo.

Obi y Ebo evaluaron los efectos de los abonos orgánicos (gallinaza) e inorgánicos en las propiedades físicas del suelo y la producción de maíz en un suelo arenoso muy degradado (Ultisol) en el sur de Nigeria, como alternativa a la alta fertilización mineral [27]. Encontraron que la adición

de gallinaza (10 t/ha), ocasionó una disminución significativa de la densidad aparente del suelo, aumento del porcentaje de materia orgánica, la porosidad total, la infiltración del agua en el suelo y la conductividad hidráulica, además mejoró de forma significativa la retención de agua a tensiones bajas de entre 0,1 y 0,33 bar, aumentando la cantidad de agua disponible, determinaron además una alta correlación positiva entre el contenido de materia orgánica del suelo y el agua retenida a una tensión de 0,33 bar ($r = 0,96$) y la capacidad de agua disponible ($r = 0,96$).

FOSU et al. afirman: "Las dinámicas en la mineralización y biomasa microbiana en un suelo franco arenoso clasificado como Ferric lexisol durante la descomposición de cuatro leguminosas, usadas como abono verde: *Mucuna pruriens*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria retusa* y *Calopogonium mucunoides*, se observó un incremento en la biomasa microbiana del 250% durante los primeros 4 días de aplicados los abonos verdes, en comparación con el testigo; que fue explicado como un proceso inicial de inmovilización del carbono por parte de los microorganismos" [28]. MORA, realizó un experimento donde examinó si la producción de dióxido de carbono se reduce entre más alejado del rizoplaneo de la planta esté el volumen de suelo, debido a una menor influencia dinámica rizosférica [29]; encontrando también que la estimación de la actividad microbiana puede constituir un importante indicador de la calidad del suelo, pues ésta se incrementa a medida que crecen las poblaciones de hongos, bacterias y actinomicetos, actuando sobre los substratos orgánicos; es decir, que a la vez es un indicador de la magnitud de las poblaciones y de la calidad de los materiales orgánicos que han ingresado al suelo.

Igualmente, BLANCHART et al., (2006), encontraron que el uso de *Mucuna pruriens* como cobertura intercalada en una plantación de maíz (*Zea mays*), es una buena opción para la conservación del recurso suelo, debido a que su implementación redujo significativamente los valores de pérdida de suelo en un 91 y 69%, en los suelos sometidos a sistemas con labranza tradicional sin fertilización y labranza tradicional con fertilización mineral [30].

García et al. evaluaron los efectos de la fertilización orgánica (compost vegetal) y química (NPK) en las características físicas de un suelo franco en el Valle del río Guadalquivir, España, para establecer el uso de abonos orgánicos como alternativa a la fertilización convencional [31]. Encontraron que el uso de abono orgánico aumentó el carbono orgánico del suelo, la calidad física del suelo y la densidad aparente, en comparación con la aplicación de

fertilizantes minerales, que fue de 1,24 Mg/m³ para suelos con abono orgánico y 1,36 Mg/m³ para suelos tratados con fertilizantes minerales. No encontraron diferencias significativas en la retención de agua a capacidad de campo entre los dos sistemas empleados, sin embargo el manejo sostenible como el uso de abonos orgánicos mejoró notablemente las propiedades físicas del suelo, en especial la estabilidad de agregados.

5. CONCLUSIONES

Los efectos de la aplicación de enmiendas orgánicas en el suelo ayudan a mejorar sus propiedades físicas. Además de realizar un mejor manejo de algunos residuos ya sea orgánicos o inorgánicos, generando a su vez algunas veces mejoras económicas.

REFERENCIAS

- [1] J. J. Ibañez. (2006, ene. 22). "Una introducción a la degradación del suelo por erosión". Madri+d. [Internet]. Disponible en <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/01/22/12450>
- [2] H. Rivera. 2004. Causas y consecuencias de la erosión de suelos de ladera colombiana. 1-15p. Recuperado el 7 de Marzo de 2013 de http://www.oocities.org/biotropico_andino/cap11.pdf
- [3] R. G. Joergensen, B. Meyer, R. Roden, B. Wittke, "Microbial activity and biomass in mixture treatments of soil and biogenic municipal refuse compost". *Biol. Fertil. Soils*. vol. 23, pp-43-49, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00335817>
- [4] FAO. 1976. Upper Solo watershed management and upland development project, Indonesia Project INS/T2/006, *Termination Field Document No 6, Soil Conservation*, by B.C. John and W. van der Goot. Rome.
- [5] C. Dorroso. "Lección 10. Degradación del suelo". [Internet]. Disponible en <http://www.edafologia.net/conta/tema10/degra.htm>
- [6] Lal et al., "Global soil erosion by water and carbon dynamics". In: R. Lal, J. Kimble, E. Levine and B.A. Stewart (eds) "Soil Management and Greenhouse Effect", Lewis Pub, Boca Raton, FL. 1995. pp. 131-142
- [7] Torres, 2000. Evaluación de la susceptibilidad a la erosión y de las características asociadas (infiltración y escorrentía) de dos suelos de ladera en el departamento del Cauca, mediante un minisimulador de lluvia. Recuperado el 10 de Febrero de 2013, de http://webpc.ciat.cgiar.org/cabuyal/reports/soil_properties/enrique_torres/enrique_thesis.pdf
- [8] Montenegro. Propiedades físicas de los suelos, subdirección agrícola IGAC. Bogotá. 1990.
- [9] Amezcuita, 1998. Propiedades físicas de los llanos orientales y sus requerimientos de labranza, En: C. G. Romero, Q. D. Aristizabal y S. C. Jarmillo. Memorias encuentro nacional de labranza de conservación, Villavicencio, Meta, Colombia. Recuperado el 27 de Abril de 2013, de http://webpc.ciat.cgiar.org/suelos/e_nacionales/propiedades_fisicas.pdf
- [10] Madero, Valenzuela, Castro, García, & Osorio, 2013. Ciencia del suelo, Principios básicos. Bogotá.
- [11] Greenland & Lal, 1977. Soil conservation and management in the humid tropics. International Institute of Tropical Agriculture, Agricultural Research Council of Nigeria. Wiley. 283 p.
- [12] Kohnke, 1968. Soil physics. McGraw Hill, New York. 224p.
- [13] E. Madero, I. Valenzuela, H. Castro, A. Garcia, y N. Osorio, 2013. & et al. Ciencia del suelo, Principios básicos. Bogotá. 2013.
- [14] Rivera, 1999. El manejo integrado de arvenses en cafetales aumenta los ingresos y evita la Erosion. Chinchina (Colombia), Cenicafe, 1999.4p. (Avances técnicos CENICAFAE N|259)
- [15] D. J. Oyedele, P. O. Aina, "A study of soil factors in relation to erosion and yield of maize on a Nigerian soil". *Soil Tillage Res.* vol. 48, pp. 115-125. 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(98\)00110-X](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00110-X)
- [16] Lal, Global overview of soil. In: R.S. Baker (ed) "Soil and Water Science: Key to Understanding our global environment", *Soil Sci. Soc. Amer. Special Publication*, no. 41, Madison, WI, pp. 39-51, 1994.
- [17] R. M. Rees, B. C. Ball, C. D. Campbell, C.A. Watson Sustainable management of soil organic matter. CABI Publishing, 440p., 2001. DOI: <https://doi.org/10.1079/9780851994659.0000>
- [18] J. M. Tisdall, J. M. Oades, "Organic matter and water-stable aggregates in soils". *J. Soil Sci.*, vol. 33, pp. 141-163, 1982. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x>
- [19] Schachtschabel, et al., 1984. Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart, Alemania, 11a ed. Enke. 442 p.
- [20] B. Mosquera, (2010). *Manual para elaborar y aplicar abonos y plaguicidas orgánicos Redacción y recolección de material*. Recuperado el 17 de Abril de 2013, de http://www.fonag.org.ec/doc_pdf/abonos_organicos.pdf

- [21] Técnicoagrícola, *Abonos orgánicos y enmiendas orgánicas*. 2013. Recuperado el Mayo de 2014, de <http://www.tecnicoagricola.es/abonos-organicos-y-enmiendas-organicas/>
- [22] R. Álvarez, y O. J. Santanatoglia, "Actividad biológica y biomasa microbiana en diferentes suelos incubados bajo las mismas condiciones ambientales". Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. vol. 3, pp. 180-184, 1985. Recuperado de https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_3n1y2/Alvarez.pdf
- [23] Coppin & Richards, *Use of vegetation in civil engineering*. C.I.R.I.A. Burrenworths: London. 1990;
- [24] V. J. Terwilliger y L. J. Waldron. "Assessing the contribution of roots to the strenght of undisturbed, slip prone soils". *Catena*. vol. 17, no. 2. pp. 151-162, 1990. DOI: [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(90\)90005-X](https://doi.org/10.1016/0341-8162(90)90005-X)
- [25] J. S. C Mbagwu, "Improving productivity of a degraded ultisol in Nigeria using organic and maize yield". *Bioresour. Tech.*, vol. 42, no. 2, pp 149-154. 1992. DOI: [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(92\)90074-8](https://doi.org/10.1016/0960-8524(92)90074-8)
- [26] K. C. Dennis, E. J. Schnack, F. H. Muozo, y C. R: Orona, "Sea level rise and Argentina: potential impacts and consequences". *Journal of Coastal Research SI*, vol 14, pp. 205-223. 1995. Disponile en <http://www.jstor.org/stable/25735709>
- [27] M. E. Obi y P. O. Ebo, 1995. "The effects of organic and inorganic amendments on soil physical properties and maize production in a severely degraded sandy soil in southern Nigeria". *Bioresour. Technol*, vol. 51, pp. 117-123. DOI: [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)00103-8](https://doi.org/10.1016/0960-8524(94)00103-8)
- [28] M. Fosu, R. F. Kuhne, y P. Vlek. "Mineralization microbial biomass dynamics during descomposition of four leguminous residues". *Journal Biological Sciences*. vol. 7, ed. 4, pp. 632-637. 2007. DOI: <https://doi.org/10.3923/jbs.2007.632.637>
- [29] J. Mora, "La actividad microbiana. Un indicador integral de la calidad del suelo". Palmira: Universidad Nacional de Colombia. pp. 1-6. 2006. Disponible en http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/Lunazul5_6_9.pdf
- [30] E. Blanchart, C. Villenave, A. Viallatoux, B. Barthés, Girardin, (2006). "Long-term effect of alegume cover crop (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) on the communities of soil macrofauna and nematofauna, under maize cultivation, in southern Benin". *European Journal Soil Biology*. vol. 42, pp. 136-144. 2013 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.07.018>
- [31] J. García-Ruiz y N. Lana-Renalt, "Hidrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the mediterranean región. A review". *Agriculture, Ecosystems and environment*, vol. 140 pp. 317-338, 2011..DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.003>



Pruebas de seguridad: estudio de herramientas

Testing security: studies tools

Vianca Vega, PhD.
Universidad Católica del Norte
Antofagasta, Chile
vega@ucn.cl

Yahima Hadfeg, MSc.
Universidad Católica del Norte
Antofagasta, Chile
yahima.hadfeg01@ucn.cl

(Recibido el 18-05-2016, Aprobado el 20-09-2016, Publicado el 17-01-2017)

Estilo de Citación de Artículo:
V. Vega, Y. Hadfeg, "Pruebas de seguridad: Estudio de herramientas", Lámpsakos, no. 17, pp 83-90, 2017
DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.1957>

Resumen

Hoy día con el desarrollo y avances en la tecnología los productos software son parte de nuestra vida cotidiana. Estos productos constituyen un soporte para casi todas nuestras tareas. Estas tareas pueden tener un desempeño fundamental o no, y van desde ejecutar la conducción de un avión a través de un piloto automático hasta posibilitar el funcionamiento de los dispensadores de billetes o cajeros automáticos. Por la criticidad de los procesos en los que ellos se encuentran relacionado, es necesario que se cumplan dos características fundamentales; la primera, que tengan un nivel de calidad aceptado y la segunda, que sean productos seguros.

La seguridad en el software es un atributo no funcional que influye directamente en la calidad del producto. Realizar pruebas a los requisitos no funcionales para constatar su desempeño, tal y como se hace con los requisitos funcionales es una tarea tediosa. Como alternativa a este problema se han desarrollado herramientas que de forma automática o semiautomática realizan pruebas de diferente índole a los sistemas. El objetivo de este trabajo es identificar las herramientas de software existentes para realizar pruebas relacionadas con la seguridad. Para cumplir este objetivo se efectúa un estudio del estado del arte de las herramientas para realizar pruebas de seguridad desde el 2010 a la fecha.

Palabras clave: pruebas de seguridad, calidad de software, herramientas, ataques a la seguridad.

Abstract

Today, due to the development and advancement of technology, software products are part of our daily lives. These products support almost all our tasks. These tasks

can be critical or non-performance, and range from piloting a plane with an autopilot to enabling the operation of ticket dispensers or ATMs. By the criticality of the processes in which they are related, it is necessary that two fundamental characteristics be met; first, having achieved a level of quality and second, being safe products.

Software security is a nonfunctional attribute that directly affects product quality. Testing non-functional requirements to verify their performance, as it is done with the functional requirements, is a tedious task. As an alternative to this problem, tools that automatically or semi-automatically perform tests of different types of systems have been developed. The aim of this paper is to identify existing software tools related to testing safety. To achieve this objective a study of the state-of-the-art tools used for security testing is done from 2010 to date.

Keywords: testing security, software quality, tools, security attacks

1 INTRODUCCIÓN

La calidad de software puede parecer un concepto alejado de la vida diaria de la mayoría de las personas; pero nada más lejos de la realidad. Cuando en nuestro ordenador aparece un mensaje de error, estamos ante un problema de calidad del software.

Para las empresas, la calidad del software con que ellas operan es muy valorada, ya que éstos manejan información que debe protegerse de cualquier peligro que afecte la integridad de los datos. Con calidad nos referimos al cumplimiento de las expectativas de un producto.

Las normas ISO definen la calidad como "Grado en el que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos" y además como un "Conjunto de propiedades o características de un producto o servicio que le confieren aptitud para satisfacer unas necesidades expresadas o implícitas" [1].

Cuando se dice que se tiene un software de calidad se puede entender que se puede modificar, que es confiable, eficaz y se deja usar fácilmente. Una de las tareas para asegurar estos resultados son las Pruebas. Las pruebas de software son las investigaciones empíricas y técnicas cuyo fin es proporcionar información objetiva e independiente sobre la calidad del producto [2].

Existen muchos tipos de pruebas al software [3], [4], [2] que verifican que el software funcione como esperamos. Debe ser verificado el cumplimiento de las especificaciones planteadas al inicio del proyecto por el analista o el propio cliente, y/o eliminar los posibles errores que se puedan haber cometido en cualquier fase del desarrollo. Hasta hace muy pocos años atrás estas pruebas se realizaban de manera relativamente informal, como podría ser la creación de informes que se pasaban de un departamento a otro. Pero hoy es considerada, en muchos aspectos, una de las etapas críticas dentro del ciclo de vida del software.

En la actualidad las empresas de software presenta dificultades para comprobar el buen funcionamiento de los software en cuanto a requerimientos no funcionales, en muchas ocasiones sólo realizan acciones aisladas en este sentido, esto se debe a que en gran medida es priorizado el desarrollo de las funcionalidades del software, siempre teniendo como meta cumplir con las entregas pactadas y minimizar los costos por retrasos. Esto provoca que se le preste poca atención a la realización de estas pruebas y que no sean evaluados los requisitos no funcionales con objetividad. Lo antes descrito genera problemas en cuanto a la utilidad del software, el tiempo de respuesta de las funcionalidades, la seguridad de este, entre otras, ya que es conocido que un error encontrado en tiempo de ejecución es mucho más costoso de solucionar que el descubierto en un ambiente controlado.

Las pruebas realizadas a los requisitos no funcionales de un software son denominadas pruebas no funcionales. Algunas de las pruebas no funcionales encontradas en la literatura están relacionada con las pruebas de usabilidad [5], [6], pruebas de rendimiento [7], [6] y pruebas de seguridad [8], [9], que son a las que nos referiremos en este trabajo.

Las pruebas de seguridad abarcan más allá de lo que es el simple escaneo de puerto, los probadores deben utilizar enfoques basados en el riesgo, basados tanto en la realidad arquitectónica del sistema como en la mentalidad del atacante, para evaluar adecuadamente la seguridad del software.

En muchas ocasiones el personal encargado de la calidad del software dentro de una empresa y el personal responsables de la seguridad de la información de la misma empresa son totalmente diferentes, y no existe un flujo constante de información entre ellos. Siempre que sea posible, los desarrolladores y los probadores de software deberían incluir más a los expertos de seguridad en los nuevos proyectos, evitándose inconvenientes que pudieran llagar demasiado tarde.

En otros casos, no se cuenta en las empresa con un equipo de seguridad, y es un miembro de la parte de sistemas quien asume lo relacionado a la seguridad de la información en la empresa. En casos como este, el equipo de calidad debería colaborar con el equipo de desarrollo y aportar ciertas pruebas de seguridad. También existen casos en los que determinadas herramientas creadas con el fin de realizar pruebas de seguridad, pueden sernos de mucha ayuda a la hora de realizar determinadas pruebas funcionales sobre un software en desarrollo. Por ejemplo, un *Sniffer* como *Wireshark*, puede ser una gran ayuda para verificar si el software está funcionando correctamente.

El objetivo de este trabajo es presentar un estudio del estado del arte de las herramientas existentes para realizar pruebas a la seguridad de los sistemas. Al concluir el estudio se pretende responder la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué características tienen las herramientas actualmente para realizar pruebas de seguridad?

En la siguiente sección se indica cuál fue el proceso de investigación y qué criterios se utilizaron para realizar las búsquedas, luego se comparan las propuestas encontradas en la actividad anterior, posteriormente se analizan los resultados obtenidos, y finalmente se presentan las conclusiones del trabajo.

2 PROCESO DE INVESTIGACIÓN

2.1 Fuentes de datos y estrategia de búsqueda

En el proceso de investigación se decidió buscar en bases de datos electrónicas y actas de congresos. Las bases de datos donde se realizó el proceso fueron:

- *ACM Digital Library.*
- *Science@Direct.*
- *IEEE Xplore*
- *WileyInterScience.*

Teniendo declarado las fuentes de donde se obtendrá la información se expresan las cadenas de búsqueda. En la Tabla 1 se muestran las cadenas de búsquedas utilizadas en idioma inglés y español. En la Tabla 2 se muestra las cantidades de trabajo obtenidos por cada fuente de información.

TABLA 1
 CADENAS DE BÚSQUEDA

Cadena de búsqueda en español	Cadena de búsqueda en inglés
(A1) "Pruebas de Seguridad"	(A1) "Security Testing"
(A2) Herramientas A1 and A2	(A2) Tools A1 and A2

TABLA 2
 CANTIDAD DE DOCUMENTOS TOTALES OBTENIDOS

Fuente	Cantidad de Documentos en español	Cantidad de documentos en inglés
ACM Digital Library	0	30
Science@Direct	0	754
IEEE Xplore	0	86
WileyInterScience	19	165

La Fig. 1 muestra la proporción de los resultados obtenidos según las fuentes utilizadas. Science@Direct fue la que mayores resultados aportó con un 72% del total.

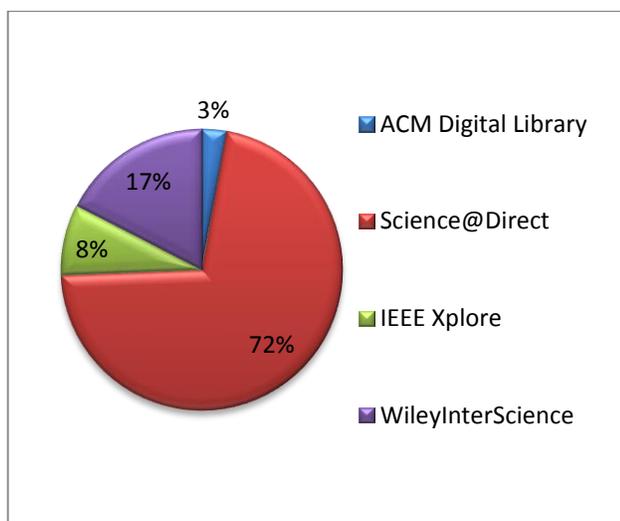


Fig. 1. Porcentaje de documentos encontrados.

2.2 Selección de los estudios

El criterio para realizar la revisión sistemática fue basado en un modelo iterativo e incremental. Iterativo porque la ejecución (búsqueda, extracción de información y visualización de resultados) de la revisión sistemática se hace primero completamente en una fuente de búsqueda, luego en la siguiente fuente de búsqueda y así hasta cubrir las todas. Incremental porque el documento (que es el producto) de la revisión sistemática va creciendo y evolucionando en cada iteración hasta convertirse en el definitivo, de esta forma se obtuvo cada una de las herramientas para las pruebas de seguridad y sus características.

A continuación se listan los criterios de inclusión utilizados para la elección de los estudios primarios:

- Estudios presentados en los idiomas Español o Inglés.
- Estudios realizados en los últimos seis años.
- Estudios que contengan en su título las palabras utilizadas en el criterio de búsqueda.
- Estudios que contengan en su resumen las palabras utilizadas en el criterio de búsqueda.
- Estudio cuyas palabras claves concuerden con el criterio de búsqueda definido.
- Estudios que en su cuerpo o desarrollo incluyan referencias o descripciones sobre herramientas para el desarrollo de pruebas de seguridad.

Los criterios de exclusión son listados a continuación:

- Estudio que no corresponda con los idiomas indicados.
- Estudio que no corresponda al período de búsqueda.
- Estudios no indexados en bases de datos de prestigio.
- Estudios que no coincidan con los criterios de búsqueda.

Después de haber aplicado los criterios de inclusión y exclusión nos quedamos con un conjunto de 24 trabajos. La Tabla 3 muestra cómo queda la nueva distribución de documentos por fuentes de datos después de aplicado los filtros.

TABLA 3
 CANTIDAD DE DOCUMENTOS A UTILIZAR CLASIFICADOS POR FUENTES

Fuente	Cantidad de Documentos en español	Cantidad de documentos en inglés
<i>ACM Digital Library</i>	0	8
<i>Science@Direct</i>	0	5
<i>IEEE Xplore</i>	0	9
<i>WileyInterScience</i>	0	2

3 COMPARACIÓN DE LAS PROPUESTAS

El conjunto de documentos seleccionados incluye artículos de revista, publicaciones en congresos y capítulos de libros.

3.1 Calidad Metodológica

Cada uno de los 24 artículos seleccionados fueron evaluados independientemente de acuerdo con algunos de los criterios propuestos por el programa de habilidades de evaluación crítica de trabajos científicos [10]. A continuación se enumeran en forma de pregunta cada uno de estos criterios adaptados para ésta investigación:

- ¿Están claros los objetivos de la propuesta?
- ¿Hay una descripción adecuada del contexto?
- ¿Se utilizaron fuentes bibliográficas confiables de acuerdo a las temáticas abordadas?
- ¿Se efectúan experimentos?
- ¿Se mencionan claramente los resultados?

A cada uno de los trabajos analizados se le aplicaron los 5 criterios respondiendo *sí* o *no* por cada pregunta planteada. Estas respuestas fueron representadas en la Fig. 2.

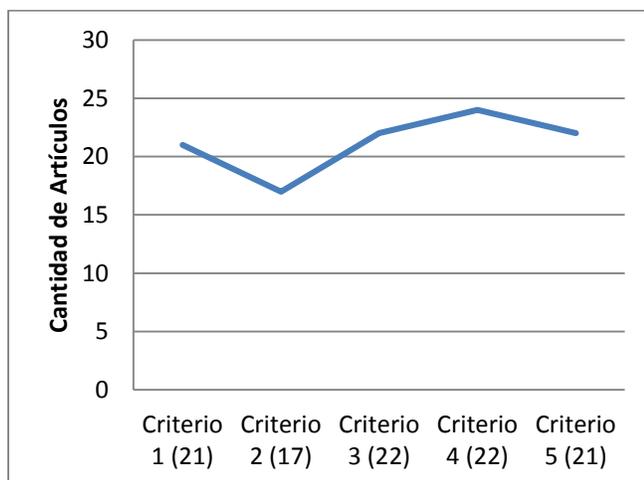


Fig. 2. Criterio de Calidad Metodológica.

Como se aprecia en la gráfica todos los criterios fueron cumplidos por encima de un 68%. Una de las causas de que la este elevado porcentaje en la calidad metodológica es debido a que todos los trabajos fueron extraídos de congresos con alto prestigio internacional y con un buen arbitraje, así como de revistas de alto impacto y capítulos de libros.

El criterio que mejor puntaje alcanzó fue el relacionado con la realización de experimento (criterio 4), los métodos utilizados para realizar la experimentación son diversos van desde la utilización de un caso de estudio hasta el análisis matemático del algoritmo que en algunos caso se propuso como motor de la herramienta de pruebas de seguridad. Por otro lado el criterio que más baja puntuación obtuvo fue el criterio número 2 que evaluaba si había una buena descripción del contexto.

Los 5 trabajos a los que se le asignó un no es por considerar que en el cuerpo del documento no se explicó con la profundidad requerida los fundamentos teóricos de la propuesta.

3.2 Tipo de contenido

Los trabajos fueron agrupados utilizando los siguientes criterios:

- Propuesta de herramientas que atacan a los sistemas para detectar las vulnerabilidades en cuanto a la seguridad.
- Herramientas que automatizan los procesos de prueba.
- Herramientas especializadas en las pruebas de seguridad para dispositivos móviles.
- Herramientas que evalúan los ataques realizados a los sistemas.
- Otras herramientas.

En la Fig. 3 se muestra la clasificación de los documentos siguiendo los criterios definidos. Cada artículo sólo puede pertenecer a una sola categoría.

Como se observa el 37% de los artículos son propuestas de herramientas que atacan la seguridad de los sistemas. Este resultado evidencia que una manera de probar la seguridad de los software es atacándolos con herramientas en ambientes controlados, y no sólo eso sino que en los últimos seis años es el procedimiento más utilizado.

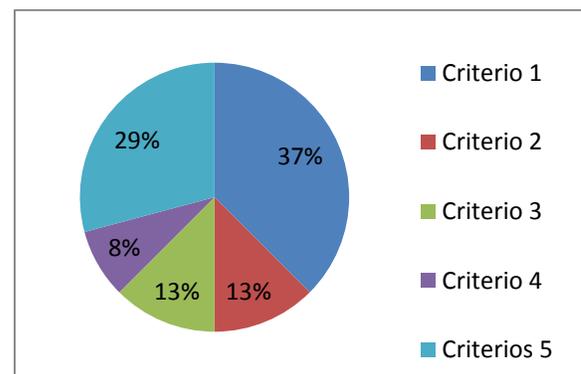


Fig. 3. Criterio de Calidad Metodológica

3.3 Relación entre documentos

Las formas y maneras de probar el mismo atributo de seguridad cambian en relación al tipo de sistema y desde la perspectiva que se vea. Ahora veremos algunos puntos de convergencia en las herramientas estudiadas. En primer lugar muchos trabajos se dedican al desarrollo de herramientas que se dedican a probar la seguridad en el marco de servicios web, en este estudio se identificaron un conjunto 7 trabajos [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], donde cada uno de ellos brinda su aporte en cuanto a las pruebas de seguridad.

Existen otras iniciativas relacionada con las pruebas de penetración, ya sea creando herramientas que simulen ataque de este tipo [18], [19] o por herramientas que faciliten la generación de casos de pruebas [20] o automatización de procedimientos para realizar las pruebas de seguridad [21].

Por otra parte, se encontraron artículos que proponen un enfoque de las pruebas de seguridad basado en modelos de amenaza [22], siguiendo ese mismo principio en [23] se propone una evaluación inteligente siguiendo patrones de ataques que no describen más que modelos de amenaza.

Se identificaron además herramientas especializadas en pruebas de seguridad para *Android* [24], [25], [26] estas es particulares son interesantes ya que el número de usuarios con dispositivos móviles ha aumentado significativamente en los últimos años, y las aplicaciones móviles se están convirtiendo en herramientas integrales para la vida diaria.

3.4 Años de publicación

En primer lugar, es importante mencionar que uno de los filtros utilizados en la obtención de los artículos seleccionados para este análisis ha sido que la fecha de publicación, ésta no tenga más de seis años de antigüedad, es decir, para la situación actual los documentos no pueden haber sido publicados antes del año 2010.

La Fig. 4 muestra una gráfica con la cantidad de publicaciones por año. Se evidencia que en el año 2013 y 2015 es dónde más artículos fueron publicados. Este fenómeno puede estar dado porque en esos dos años se realizó el congreso internacional de "Pruebas de software, verificación y validación", impulsando la publicación de muchos trabajos relacionados con el tema que se está analizando.

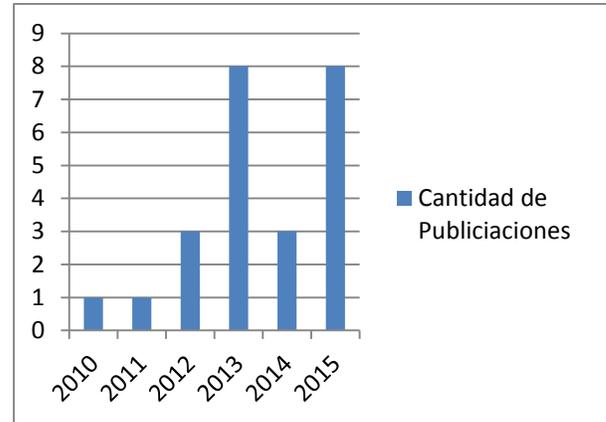


Fig. 4. Cantidad de publicaciones por año

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los documentos seleccionados para el estudio de las herramientas, metodologías y procesos para realizar pruebas, pueden dividirse de forma operativa en tres bandos. En el primer bando podemos agrupar las herramientas que desempeñan el rol de un atacante [17], [16], [19], [15], [13], [27], [12], [28] y tratan de burlar la seguridad del software realizando diferentes ataques. Con la información obtenida trabajan para mejora el software. La Tabla 4 muestra una relación de dichas herramientas, se especifican si están disponibles gratuitamente y los ataques fundamentales que implementan.

TABLA 4
RELACIÓN DE HERRAMIENTAS QUE ACTÚAN COMO ATACANTES

Nombre de la herramienta	Herramienta gratuita	Ataque que implementa
<i>VERA</i>	No	Inyección de código
<i>PURITY</i>	Si	Ofrece al usuario planeear sus ataques, cuenta con amplio catálogo
<i>Kali Linux</i>	Si	Penetración, Denegación de Servicio
<i>TFTP RRQ</i>	No	Denegación de servicio
<i>WSF Aggressor</i>	Si	Combinatorios
<i>mHealth apps</i>	No	Integridad de los datos

En el segundo bando, las herramientas juegan el rol de defensores, son dotadas con mecanismos capaces de identificar un ataque y tratar de defender el software, o mínimo reportar lo ocurrido [29], [30]. En la Tabla 5 se muestran las dos herramientas encontradas que clasifican en este bando.

TABLA 5
RELACIÓN DE HERRAMIENTAS QUE ACTÚAN COMO DEFENSORAS

Nombre de la herramienta	Herramienta gratuita
SOA-Scanner	Si (algunas versiones con funcionalidades limitadas)
Tool support for secure programming	No

En el tercer bando agruparemos todas aquellas investigaciones que no clasifican en las anteriores.

Del contenido de los trabajos que abordan cada uno de los bandos identificados se extraen una serie de ideas importantes. Los ataques que más han sido implementados son:

- Ataques de penetración. Este ataque es el más utilizado en la literatura, está incluido en las herramientas propuestas en [12], [22], [23], [24] donde cada una de ellas juegan el rol del atacante. En [14] también se utiliza el principio del ataque de penetración, pero en esta ocasión el software trata de defenderse de él.
- Ataque inyección de código, es utilizado por [31] [12], [17], [23]. En [12] se implementa como parte de la herramienta utilizando código XML, en [17] el código que se pretende inyectar es SQL, y en [23] se analiza el patrón de este ataque para protegerse de él en una red que los autores denominan inteligente.
- Ataque de entidades externas, ya sea utilizando XML [12] u otro mecanismo [25].
- Ataques contra la integridad de los datos [26] [19], [17].
- Ataque de descripciones de pestaña [12].
- Ataque a la denegación de servicio [13], [32].
- Otros ataques [12].

Durante la investigación se identificaron herramientas que no sólo se limitaban a realizar ataque previamente desarrollados, ellas dan la posibilidad de programar ataques específicos a software mediante un módulo de desarrollo [17], [31], esta característica le da un valor agregado a la herramienta. Una afirmación recurrente en la mayoría de los trabajos es que para poder implementar herramientas que aseguren de una manera u otra la seguridad de los sistemas hay que conocer los modelos de amenazas para diferentes dominios. En varios artículos [22], [28] [17] se ha identificado que al base de su propuesta se centra en los en esta área. Las herramientas de pruebas de software pueden ser muy útiles a los proveedores para evaluar la seguridad de sus plataformas de servicios, y también para los desarrolladores para divulgar cuestiones potencialmente graves antes del despliegue.

Las principales estrategias que utilizan las propuestas que juegan el rol de defensoras son:

- Principio de monitoreo, detectando si algo pasa fuera de lo común, por lo general estas herramientas se basan en un proceso iterativo [20], [21].
- Generación de casos de pruebas y ejecución de en determinados sitios web [16], [33].
- Automatización de los procedimientos de prueba utilizando los requisitos de seguridad [21].
- Análisis de vulnerabilidades [30]
- Integración basada en modelos [34].
- Análisis de árboles de amenazas y patrones de ataque [23], [22], [34].

Hay trabajos que proponen métodos para hacer una evaluación de riesgo [28] y para ello pueden usar los enfoques de patrón de ataque [31]. Los procedimientos de pruebas pueden ser propuestos automáticamente tomando como base la forma tradicional de realizar las pruebas de software.

5 CONCLUSIONES

La búsqueda de la literatura utilizada para la realización de este estudio ha sido complicada de reunir y analizar, ya que hay muchas propuestas de métodos y procedimientos que pueden o no terminar en una herramienta para realizar pruebas de seguridad.

La mayoría de los trabajos realizados no declaran explícitamente que requisito o requisitos de seguridad están trabajando. Hay una marcada tendencia a abordar el problema de la denegación de servicio. Sin embargo no se encontró artículos que hagan referencia al requisito de no repudio.

Se identificaron herramientas que de forma automática generan casos de pruebas de seguridad, pero estas deben tener identificado un modelo de amenaza, que por lo general es característico de cada tipos de software. La tendencia a tratar las pruebas de seguridad son mediante la simulación de ataques.

La mayoría de los esfuerzos en este campo están dedicados al desarrollo web específicamente a los servicios. Este trabajo sirve de base para conocer herramientas que están disponibles para realizar las pruebas de seguridad. Se encontró pocas herramientas robustas para el análisis de las pruebas de seguridad que se encuentren de forma gratuita. Se cuenta con algunas herramientas extensibles y configurables mediante de código.

REFERENCIAS

- [1] ISO, "ISO 9000 - Quality management". 2009. [Online]. Available at <http://www.iso.org/iso/home.html>
- [2] G. Myers, C. Sandler and T. Badgett, "The art of software testing" John Wiley & Sons, p. 256. 2011.
- [3] P. Hamill, "Unit Test Frameworks: Tools for High-Quality Software Development". O'Reilly Media, Inc. p. 304. 2004.
- [4] A. Black, "Critical Testing Process: Plan, Prepare, Perform, Perfect" Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., p. 608. 2003.
- [5] J. Rubin, and D. Chisnell, "Handbook of usability testing: how to plan, design and conduct effective tests" John Wiley & Sons, p. 384. 2008.
- [6] L. Manzari, and J. Trinidad-Christensen, "User-centered design of a web site for library and information science students: Heuristic evaluation and usability testing". Information technology and libraries, vol. 25, no. 3, pp. 163-169, 2013
- [7] Dumas, J. & J. Redish, "A practical guide to usability testing" Intellect Books, p. 404. 1999.
- [8] G. McGraw, "Software security". Security & Privacy, IEEE, vol. 2, no. 2, pp. 80-83, 2004
- [9] McGraw, G., "Software security: building security in" Addison-Wesley Professional, 448 p. 2006.
- [10] T. Greenhalgh, T. and R. Taylor, "How to read a paper" BMJ Publishing Group London, pp 1-2. 2002.
- [11] B. Garn, I. Kapsalis, D.E. Simos and S. Winkler. "On the applicability of combinatorial testing to web application security testing: a case study". In Proceedings of the 2014 Workshop on Joining AcadeMiA and Industry Contributions to Test Automation and Model-Based Testing. pp. 16-21, 2014
- [12] R. A. Oliveira, N. Laranjeiro and M. Vieira. "WSFaggressor: an extensible web service framework attacking tool". In Proceedings of the Industrial Track of the 13th ACM/IFIP/USENIX International Middleware Conference. pp. 2, 2012
- [13] B. Sieklik, R. Macfarlane and W. J. Buchanan, "TFTP DDoS amplification attack". Computers & Security, vol.57, No. pp 67-92. 2016
- [14] D. M. Duchesne, "Using CABECTPortal as a Case Study to Extend the Capabilities of Penetration Testing Tools". In Proceedings of the 46th ACM Technical Symposium on Computer Science Education. pp. 715-715, 2015
- [15] M. Salas and E. Martins, "Security testing methodology for vulnerabilities detection of xss in web services and ws-security". Electronic Notes in Theoretical Computer Science, vol. 302. pp. 133-154, 2014
- [16] J. Bozic, and F. Wotawa. "PURITY: A Planning-based security Testing Tool". In Software Quality, Reliability and Security-Companion (QRS-C), 2015 IEEE International Conference on. pp. 46-55, 2015
- [17] A. Blome, M. Ochoa, K. Li, M. Peroli and M. T. Dashti. "Vera: A flexible model-based vulnerability testing tool". In Software Testing, Verification and Validation (ICST), 2013 IEEE Sixth International Conference on. pp. 471-478, 2013
- [18] J. Yeo, "Using penetration testing to enhance your company's security". Computer Fraud & Security, vol. 2013, no. 4, pp. 17-20, 2013
- [19] L. Allen, T. Heriyanto and S. Ali, "Kali Linux--Assuring Security by Penetration Testing" Packt Publishing Ltd, p. 454. 2014.
- [20] L. H. Chen, F. H. Hsu, Y. Hwang, M. C. Su, W. S. Ku and C. H. Chang, "ARMORY: An automatic security testing tool for buffer overflow defect detection". Computers & Electrical Engineering, vol. 39, no. 7, pp. 2233-2242, 2013
- [21] V. Manetti, and L. M. Petrella. "FITNESS: a framework for automatic testing of ASTERIX based software systems". In Proceedings of the 2013 International Workshop on Joining AcadeMiA and Industry Contributions to testing Automation. pp. 71-76, 2013
- [22] A. Marback, H. Do, K. He, S. Kondamarri and D. Xu, "A threat model-based approach to security testing". Software: Practice and Experience, vol. 43, no. 2, pp. 241-258, 2013
- [23] S. Kondakci, "Intelligent network security assessment with modeling and analysis of attack patterns". Security and Communication Networks, vol. 5, no. 12, pp. 1471-1486, 2012.
- [24] S. Jadhav, T. Oh, Y.H. Kim and J.N. Kim. "Mobile device penetration testing framework and platform for the mobile device security course". In Advanced Communication Technology (ICACT), 2015 17th International Conference on. pp. 675-680, 2015
- [25] S. Salva and S. R. Zafimiharisoa. "Data vulnerability detection by security testing for Android applications". In Information Security for South Africa, 2013. pp. 1-8, 2013
- [26] K. Knorr and D. Aspinall. "Security testing for Android mHealth apps". In Software Testing, Verification and Validation Workshops (ICSTW), 2015 IEEE Eighth International Conference on. pp. 1-8, 2015

- (ICSTW), 2015 IEEE Eighth International Conference on. pp. 1-4, 2015
- [27] A. Morais, A. Cavalli and E. Martins. "A model-based attack injection approach for security validation". In Proceedings of the 4th international conference on Security of information and networks. pp. 103-110, 2011
- [28] E. Gutesman and A. Waissbein. "The impact of predicting attacker tools in security risk assessments". In Proceedings of the Sixth Annual Workshop on Cyber Security and Information Intelligence Research. pp. 75, 2010
- [29] Antunes, N. & M. Vieira. "SOA-Scanner: An Integrated Tool to Detect Vulnerabilities in Service-Based Infrastructures". In Services Computing (SCC), 2013 IEEE International Conference on. pp. 280-287, 2013
- [30] Li, K., C. Hebert, J. Lindemann, M. Sauter, H. Mack, T. Schroer & A. Tiple. "Tool support for secure programming by security testing". In Software Testing, Verification and Validation Workshops
- [31] Bozic, J. & F. Wotawa. "Xss pattern for attack modeling in testing". In Proceedings of the 8th International Workshop on Automation of Software Test. pp. 71-74, 2013
- [32] Smith, C. & G. Francia III. "Security fuzzing toolset". In Proceedings of the 50th Annual Southeast Regional Conference. pp. 329-330, 2012
- [33] Aouadi, M.H., K. Toumi & A. Cavalli. "An Active Testing Tool for Security Testing of Distributed Systems". In Availability, Reliability and Security (ARES), 2015 10th International Conference on. pp. 735-740, 2015
- [34] Xu, D., W. Xu, M. Kent, L. Thomas & L. Wang, "An Automated Test Generation Technique for Software Quality Assurance". Reliability, IEEE Transactions on, Vol. 64, No. 1, pp. 247-268, 2015

GUÍA PARA AUTORES

Tipología de artículos para la revista

Cada uno de los artículos de la revista es evaluado por pares académicos con reconocida experiencia en el área a la cual pertenece el artículo enviado para su consideración en publicación. Los autores pueden presentar para publicación las siguientes tipologías, definidas por los organismos de indexación de las revistas científicas para reconocer la calidad de la publicación.

La revista otorga prelación para la publicación de artículos de tipo 1, 2 y 3.

1. Artículo de investigación científica y tecnológica. Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.
2. Artículo de reflexión. Documento que presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
3. Artículo de revisión. Documento resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de 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 por lo menos 50 referencias.

Otro tipo de artículos pueden ser considerados para publicación en la revista, dependiendo de su originalidad y aporte al conocimiento, según lo considere el comité científico, el comité editorial y el comité de árbitros de cada número. Entre ellos se cuentan:

4. Artículo Corto. Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren de una pronta difusión.
5. Reporte de caso. Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación

particular con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico. Incluye una revisión sistemática comentada de la literatura sobre casos análogos.

6. Revisión de tema. Documento resultado de la revisión crítica de la literatura sobre un tema en particular.
7. Cartas al editor. Posiciones críticas, analíticas o interpretativas sobre los documentos publicados en la revista que, a juicio del Comité Editorial, constituyen un aporte importante a la discusión del tema por parte de la comunidad científica de referencia.
8. Editorial. Documento escrito por el editor, un miembro del comité editorial o un investigador invitado, sobre orientaciones en el dominio temático de la revista.

Envío de manuscritos

Los autores deberán remitir los manuscritos de los artículos a través de la plataforma de la revista, a la cual se puede acceder a través de la dirección web <http://www.funlam.edu.co/lampsakos>. El proceso de publicación es gratuito y no tiene costo alguno para el autor.

Los autores deben diligenciar y enviar junto con el artículo, las cartas de sesión de derechos patrimoniales y de presentación del artículo, firmadas por cada uno de los autores. El formato de estas cartas puede ser descargado de la página web de la revista. En la carta de presentación del artículo se indica la tipología del mismo, según los organismos de indexación y los datos de cada autor, requeridos por los mismos organismos de indexación. Es importante que el autor cuente con un código ORCID.

Llenando estos datos el autor acepta que estos serán usados únicamente para el registro en los sistemas de indexación, organismos que a su vez deben velar por la protección de datos personales, tal como lo cumple la Universidad Católica Luis Amigo y la revista Lámpsakos, y que estos datos nunca serán entregados a terceros para fines ajenos

a los procesos editoriales que competen a la publicación de su artículo.

El primer proceso luego de recibir el artículo, es validar que no tenga similitud con otras publicaciones, y en caso de cumplir con la originalidad requerida luego se verifican aspectos de forma. Los aspectos de forma deben seguir las normas básicas que la revista establece a la hora de redactar el informe o trabajo, en aspectos esenciales como los titulares, el tamaño de los párrafos, las citas bibliográficas, las nomenclaturas, la proporción de Tablas y Figuras, la presentación de los resultados o las citas bibliográficas. Se solicita a los autores que se ajusten a la normativa IEEE y tomen como referencia la plantilla guía, que se puede descargar de la página web de la revista, con los siguientes requerimientos mínimos:

Utilizar plantilla oficial de la revista.

Los artículos deben ser presentados en formato IEEE, cuartillas tamaño carta (21.59 cm × 27.94 cm) y márgenes de 2 cm en cada lado, en doble columna doble y espacio entre columnas de 1 cm, acorde a la plantilla oficial que puede ser descargada desde la página de la revista. Los manuscritos pueden ser presentados en español o inglés.

Máxima extensión del artículo.

Ocho páginas usando el formato oficial de la revista, en formato IEEE.

Formato de párrafos

Letra Arial, tamaño 10, interlineado sencillo.

Resumen.

Debe presentarse en español e inglés (Abstract). En cada idioma no debe exceder de 200 palabras.

Palabras clave

Incluir hasta máximo 5 palabras clave en orden alfabético, con su equivalencia en inglés.

Numeración de títulos y encabezados.

En listas multiniveles con números arábigos hasta el subnivel 3.

Cuerpo del manuscrito.

Incluir introducción, metodología y desarrollo evidenciando el aporte al área de ingeniería, es y trabajos futuros.

Citaciones y referencias.

Numeración bibliográfica según formato IEEE. Todas las citas en el manuscrito deben

estar anotadas en las REFERENCIAS; en consecuencia, no deben existir REFERENCIAS aisladas que no estén citadas dentro del cuerpo del manuscrito.

Es necesario poner especial cuidado en la organización y la estructura del trabajo, el estilo de redacción, la presentación de los resultados en Tablas y Figuras, y en la correspondencia entre las referencias citadas y las enumeradas al final del trabajo. Además, conviene no olvidar el ajuste del lenguaje a un entorno internacional, propio de la comunidad científica y profesional, más allá de los modismos propios del país o del área en la que se produzca el artículo.

Análisis de similitud con otras publicaciones

Con el propósito de identificar si los artículos son originales e inéditos y de evitar posibles copias y plagios, se utiliza tecnología profesional para comparar los manuscritos con otros ya divulgados por distintos medios digitales, incluso, con las publicaciones académicas participantes de Crossref. A partir del análisis del reporte se identifican errores en el manejo de las citas y referencias, adecuado uso de las fuentes primarias y credibilidad de la información. Si el análisis arroja un índice de similitud superior al 25%, el artículo es descartado; si por el contrario el índice es hasta del 25%, el artículo continúa en la segunda etapa del proceso.

Proceso de evaluación y arbitraje

Los artículos para la revista *Lámpsakos* se someten a consideración del Comité de árbitros para cada edición. Al momento de enviar su manuscrito, la revista puede solicitarle sugerencias para la conformación del mencionado comité de evaluación, con la condición de que el proceso de dictamen para cada edición exige anonimato.

En primer lugar, los artículos recibidos serán objeto de una evaluación preliminar por parte del editor y de los miembros del Comité editorial, quienes determinarán la pertinencia de la publicación acorde a los ejes temáticos de la revista, e igualmente evaluarán si los artículos cumplen los criterios que se describen en la guía de autores. En caso de que no responda a la temática de la publicación, el artículo se regresa al autor. Si la presentación formal o de fondo debe mejorarse, se le solicita al autor realizar las correcciones y hacer un nuevo envío en un plazo ajustado al cronograma de edición; si el artículo cumple con las condiciones mencionadas, se dará paso a la segunda etapa del proceso de evaluación.

Una vez establecido que el artículo cumple con los requerimientos de forma y pertinencia, será enviado a dos o más pares académicos externos expertos en el área temática del artículo, quienes determinarán en forma anónima, bajo la modalidad de doble ciego (es decir, que es confidencial la información de los autores para los dictaminadores, y viceversa), la calidad, originalidad, relevancia y valor práctico del trabajo.

Los jurados registran su veredicto en un formato en línea de acuerdo a si el artículo hace una nueva e importante contribución al conocimiento, logra los objetivos planteados, el problema planteado es claro, las conclusiones se relacionan con los objetivos, el argumento es claro y coherente sustentando las conclusiones, presenta antecedentes y estudios anteriores válidos, es convincente, sin omisiones significativas y errores, con un título y un resumen claro y acorde al contenido, con palabras claves adecuadas y suficientes, longitud total del artículo dentro de los límites, referencias adecuadas y correctas, concordantes con el contenido y con las citas dentro del cuerpo del documento, y finalmente con su validación según la temática tratada acorde a la experticia en el tema para el cual fue seleccionado como par evaluador.

Los pares poder dar como dictamen: a) publicar sin cambios, b) publicar cuando se hayan cumplido correcciones menores, c) publicar una vez que se haya correcciones mayores y d) rechazar. Adicionalmente cada par clasifica el artículo de acuerdo a su tipo: Artículo de investigación científica y tecnológica, Artículo de reflexión, Artículo de revisión u otro tipo. La decisión de publicación y la clasificación del artículo definitiva se definirán de acuerdo al veredicto de la mayoría de los pares evaluadores asignados. Si la mayoría de los pares consideran que el artículo “se rechaza”, la dirección de la revista comunica la decisión al autor y envía, como soporte, el resultado de las evaluaciones entregado por los árbitros.

A medida que los pares van dando su veredicto, en el caso de que el resultado registrado sea, publicable con correcciones mayores o menores, se le irá informando al autor para que haga las mejoras correspondientes y el plazo de entrega del artículo corregido. Luego de realizadas las correcciones, el artículo será enviado nuevamente al jurado que solicito las mejoras en una segunda ronda para que valide si las correcciones son aceptables y determine si el artículo es publicable sin cambios adicionales. Se podrán hacer varias rondas de corrección hasta que el jurado esté satisfecho con los cambios. La notificación de aceptación o rechazo

del artículo se realizará vía e-mail. El informe será emitido a los autores luego de que los pares realicen su veredicto final. Este proceso puede durar al menos dos meses, dependiendo de la temática, facilidad de obtención de pares y la disponibilidad de tiempo de los mismos. Los resultados del proceso de dictamen académico serán inapelables en todos los casos.

En general, los aspectos de fondo más valorados serán la coherencia y la relevancia de la colaboración para el avance del conocimiento académico y profesional de la ciencia. Es necesario tener presente que cada tipología de trabajo tiene su propia estructura textual y conceptual, en función del aporte y de los posibles lectores.

Derechos de autor

La revista *Lámpsakos* requiere a los autores que concedan la propiedad de sus derechos de autor, para que su artículo y materiales sean reproducidos, publicados, editados, fijados y comunicados y transmitidos públicamente en cualquier forma o medio, así como su distribución en el número de ejemplares que se requieran y su comunicación pública, en cada una de sus modalidades, incluida su puesta a disposición del público a través de medios electrónicos, ópticos o de cualquier otra tecnología para fines exclusivamente científicos, culturales, de difusión y sin fines de lucro. Cada artículo se acompaña de una *declaración de originalidad* en la que se especifique que no ha sido publicado y que no se someterá simultáneamente a otras publicaciones antes de conocer la decisión del comité editorial.

Propiedad y divulgación de artículos

Los trabajos publicados en la revista, sin excepciones, se acogen a las normas del Copyleft y Creative Commons, ya que la publicación es de libre distribución para el conocimiento y podrá ser reproducida por cualquier medio, haciendo mención de la fuente. El autor o autores aceptan las políticas editoriales y los lineamientos de la guía y autorizan cediendo sus derechos patrimoniales a la revista y a la Institución, para editar y divulgar/publicar el artículo por cualquier medio nacional y/o internacional, impreso o electrónico.

Los artículos son producto de un proceso de investigación de los autores y han sido valorados previamente por colegas expertos antes de ser publicados. Las opiniones y afirmaciones que aparecen en la publicación reflejan exclusivamente los puntos de vista de sus autores y no

comprometen necesariamente las políticas y pensamiento de la Universidad Católica Luis Amigó, la Facultad de Ingenierías y Arquitectura o la revista *Lámpsakos*.

Términos de ética

Con base en lineamientos de organismos internacionales como el Committee on Publication Ethics (COPE), la revista *Lámpsakos* acata los siguientes principios éticos:

- El Comité Editorial en virtud de la transparencia en los procesos, velará por la calidad académica de la revista.
- Se consideran causales de rechazo: el plagio, adulteración, invento o falsificación de datos del contenido y del autor, que no sean inéditos y originales.
- En ningún caso, la dirección de la revista exigirá al autor la citación de la misma ni publicará artículos con conflicto de intereses.
- El Editor, los Comités y los Evaluadores tendrán libertad para emitir su opinión sobre la viabilidad de publicación del artículo.

- Las decisiones editoriales se informarán a los autores de manera oportuna, en términos respetuosos y procurando el mutuo aprendizaje.
- El Editor velará por el mutuo anonimato de los articulistas y los pares durante el proceso de evaluación.
- El articulista se comprometerá a respetar las leyes nacionales e internacionales de Derechos de Autor y de Protección a menores.
- En caso de duda o disputa de autoría y coautoría se suspenderá el proceso de edición y la publicación del texto hasta que sea resuelto.
- La revista se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.
- Si una vez publicado el artículo: 1) el autor descubre errores de fondo que atenten contra la calidad o científicidad, podrá solicitar su retiro o corrección. 2) Si un tercero detecta el error, es obligación del autor retractarse de inmediato y se procederá al retiro o corrección pública.
- Toda reclamación se recibirá por escrito mediante correo electrónico (lampsakos@funlam.edu.co) y el plazo máximo de respuesta será de cinco días hábiles a partir de la recepción de la disconformidad.

GUIDE FOR AUTHORS

Typology of articles for the journal

Each paper in the journal is evaluated by academic peers with recognized experience in the area on which the article belongs. Authors may submit their manuscripts for publication, according to the following typologies, defined by indexing agencies of scientific magazines that recognize the quality of the publications. (Publindex, Colciencias–Colombia)

The magazine gives priority to the publication of articles of type 1, 2 and 3.

1. Article of scientific and technological research. Document that presents, in detail, the original results of completed research projects. The structure generally contains four important parts: introduction, methodology, results and conclusions.
2. Article of reflection. Document that presents finished research results from an analytical, interpretative or critical, on a specific topic, using original sources.
3. Review article. Document resulting from a completed investigation, which analyze, systematize and integrate the results of research published or unpublished, in a field of science or technology, in order of accounting for the progress and development trends. It is characterized by a careful literature review of at least 50 references.

Another kind of articles can be considered for publication in the magazine, depending on their originality and contribution knowledge according to the scientific committee and the editorial board of referees committee of each number. Among them are:

4. Short article. Brief document that presents original results preliminary or partial of a scientific or technological research, which usually requires a quick diffusion.
5. Case report. Document that presents the results of a study on a particular situation in order to make known the technical and methodological experiences considered in a specific case. Includes commented systematic review of the literature on analogous cases.

6. Topic Review. Document resulting from a critical review of the literature on a particular topic.
7. Letters to the Editor. Critical positions, analytical or interpretative on documents published in the magazine, which in the opinion of the Editorial Committee are an important contribution to the discussion of the topic by the scientific community of reference.
8. Editorial. Document written by the editor, editorial committee member or a guest researcher on guidelines in the thematic domain of the magazine.

Requirements of manuscripts

The aspects of form must follow the basic rules that the journal has established for authors when writing their manuscripts, in essential aspects as the titles, the size of paragraphs, quotations, nomenclatures, the presentation of results, the proportion of tables and Figures. Authors should also conform to the rules of quotation of references. Special care is required in the organization and structure of the manuscript, as well as the writing style, the presentation of the results in tables and Figures, and the correspondence between the references cited and listed at the end of work. Moreover, authors must not forget about the language settings according to the international environment, typical of scientific and professional community.

Authors should refer their manuscripts of articles through the journal's platform, which may be accessed on the address <http://www.funlam.edu.co/lampsakos>, following the instructions in the official template magazine, consisting of the following minimum requirements:

Use official magazine template

Manuscripts may be written in Spanish or English language, in IEEE format, letter sized pages (21.59 cm x 27.94 cm) and 2 cm margins on each side, using the official template that is possible to be downloaded from the web page of the Lámpsakos journal.

Maximum length of the article

Eight pages using the official template of the journal in IEEE format.

Paragraphs formatting

Arial letter, size 10, single line spacing, and double column.

Abstract

Must be in Spanish and English and not larger than 200 words for each language.

keywords

Include until maximum 5 keywords in alphabetical order, with their equivalent in Spanish.

Numbering of titles and headers

In multilevel lists with Arabic numerals to the sublevel 3.

Body of manuscript

It includes Introduction, Development Methodology and evidencing the contribution to engineering, s and future work.

Citations and bibliographic references

Numbering according to IEEE format. All citations in the manuscript must be listed in the references. There should not be isolated references that are cited in the body of the manuscript.

Evaluation process and arbitration

The articles for the Journal “*Lámpsakos*” are subjected to consideration of the Committee of referees for each edition. When authors send their manuscript, the journal may solicit suggestions for the creation of that evaluation committee, based upon the fact that in the dictamination process for each edition requires anonymity.

First, the received articles will be subject to a preliminary assessment by the Editorial Committee members, who will determine the relevance of the publication.

Once established the Article complies with the thematic requirements in addition to the formal requirements indicated in these instructions, it will be sent out to external academic peers who determine on an anonymous basis: a) publish without changes, b) publish corrections they have complied with minor corrections, c) publish once having made a thorough review, d) reject. In case of discrepancy between the two results, the text will be sent to a third referee, whose decision will define its publication.

Dictamination process is carried out by academic peers specialists under double-blind mode. Each

pair will review academic quality, originality, significance and practical value of the work.

Notification of acceptance or rejection of the article will be via e-mail. The report will be emitted into the authors during the month following the submission of the manuscript. The results of the academic opinion will be final in all cases.

In general, most valued aspects of background will be the consistency and relevance of collaboration in advancing academic and professional knowledge of science. It is necessary to remember that each type of job has its own textual and conceptual structure, depending on the amount and potential readers.

Copyright

The journal *Lámpsakos* requires granting authors ownership of their copyrights, for their item and materials to be reproduced, published, edited, set and reported and publicly transmitted in any form means, and their distribution in the number of copies required, and public communication, in each of its forms including the making available to the public through electronic, optical or other purpose any technology exclusively scientific, cultural, media and nonprofit. It has the letter of assignment of rights to do so.

Originality letter

All papers that are published on this media, must gather to Copyleft and Creative Commons policies, with no exceptions, since they belong to an open access academic journal. Contained information may be reproduced on any media by correctly citing the reference source.

The author or authors authorize the magazine and the Institution to edit and disseminate / publish the article by any media national and / or international, print or electronic.

Papers presented in the academic journal are mostly derived from research activities driven by their authors. They have been previously evaluated on a peer review process before concerning their publication. Each manuscript undergoes an originality evaluation before starting the peer-review process.

The opinions and affirmations accepted for publication reflect exclusively the points of view of their authors and do not necessarily compromise the policies and thinking of either Catholic University Luis Amigó, the Faculty of Engineering and Architecture or the journal “*Lámpsakos*”.