



INFORMADOR TÉCNICO



Volumen 82 Número 2 Julio - Diciembre 2018 • ISSN 0122-056X • ISSN 2256 - 5035 (en línea)

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

INDEXACIÓN
REFLEXIÓN
QUÍMICA
Ebullición
INGENIERIA
MEDIO AMBIENTE
deslignificación
conocimiento
REVISIÓN
PUBLINDEX
BIOPOLIMEROS
INGENIERIA
Cultivo celular
CONSTRUCTIVISMO
Saponinas en Quinua
aprendizaje
potencial energético
carbón
Eco-rehabilitación
responsabilidad social
bioetanol
MATERIALES
INVESTIGACIÓN
Energías renovables

ISSN 0122-056X

ISSN 2256 - 5035 (en línea)

DOI: <https://dx.doi.org/10.23850/issn.2256-5035>

Tarifa Postal Reducida No. 2018 - 179 4-72,
vence 31 de Dic. 2018

ASTIN
CENTRO NACIONAL DE ASISTENCIA
TÉCNICA A LA INDUSTRIA



INFORMADOR TÉCNICO

Informador Técnico
Título Abreviado: Inf. Téc.
ISSN 0122 - 056X
ISSN 2256 - 5035 (en línea)
Periodicidad: semestral
Julio - Diciembre 2018

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Regional Valle
Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria - ASTIN

Calle 52 # 2Bis - 15 Cali, Valle del Cauca, Colombia
Teléfonos: 57 (2) 431 5800 ext. 22694
Email: revistaitastin@sena.edu.co
http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec



DOI: <https://doi.org/10.23850/issn.2256-5035>

<http://revistas.sena.edu.co>

Indexada en:



Equipo Editor

Director general

Carlos Mario Estrada Molina, M.Sc.
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Director Regional Valle

Cesar Alveiro Trujillo Solarte, M.Sc.
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Coordinador Sennova

Emilio Eliecer Navia Zúñiga
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

**Subdirectora Centro Nacional de
Asistencia Técnica a la Industria –ASTIN
Directora Informador Técnico
Aura Elvira Narváez Agudelo, M.Sc.**
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Editora

Carolina Caicedo, Ph.D.
Investigadora
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Editor Asociado

Miguel Angel Solís Molina, Ph.D.
Coordinador del Servicio de Información y
Divulgación Tecnológica –SIDT
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Asistentes Editoriales

Andrés Felipe Torres, M.Sc. Investigador SENNOVA.
Jorge Enrique Moreno S., M.Sc. Profesional G10 SENNOVA.
Lina Marcela Crespo, M.Sc. Investigador SENNOVA.
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Traductor

David Rojas Velásquez, M.Sc. Traducción Científica
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Coordinadora Editorial

Julia Emma Zúñiga Rivera, Esp.
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Diagramación Editorial

Elizabeth Enriquez Quintero
Diseñadora Gráfica
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Auxiliar de Edición

Ana María Cortés Rosero
Profesional en Comercio Exterior
Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Impresión

Ingeniería Gráfica S.A.S
Tiraje: 40 ejemplares
Julio - Diciembre de 2018

Comité Editorial/Científico

Eric Campos Cantón

Ph.D. en Matemáticas Aplicada, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.
San Luis Potosí, S.L.P.,
México

Gilberto Bejarano Gaitán

Ph.D. en Ingeniería con énfasis en Materiales.
Docente investigador Departamento de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

Henry A. Colorado Lopera

Ph.D. en Ingeniería de Materiales.
University of California, Los Ángeles,
EE.UU.

Héctor Fabio Zuluaga Corrales

Ph.D. en Química. Jefe Departamento de Química,
Universidad del Valle, Cali,
Colombia

José Luis Munuera Alemán

Ph.D. en Ciencias Económicas y Empresariales
Universidad de Murcia,
España

José Ignacio Huertas

Ph.D. en Ciencias, M.Sc. en Ingeniería Mecánica.
Director del CIMA, Instituto Tecnológico y Estudios Superiores de Monterrey,
México

Juan Muñoz Saldaña

Ph.D. Profesor Investigador, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
- Cinvestav - Unidad Querétaro -
México

Pedro José Arango Arango

Ph.D. en Ingeniería y Tecnología de Materiales.
Director Laboratorio de Física de Plasma, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales,
Colombia

Roberto Briones Gallardo

Ph.D. en Ciencias Fisicoquímicas del Medio Ambiente,
Universidad Autónoma de San Luis Potosí –
México

Ruby Mejía de Gutiérrez

Ph.D. en Ciencias Químicas, profesora titular,
Coordinadora del programa de posgrado de la Escuela de Ingeniería de Materiales. Directora Grupo de Materiales Compuestos, Universidad del Valle, Cali,
Colombia

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA
ISSN: 0122-056X (impresa)
ISSN: 2256-5035 (en línea)
DOI: <https://dx.doi.org/10.23850/issn.2256-5035>

Comité Evaluador Volumen 82n2

El INFORMADOR TÉCNICO agradece a los investigadores que actuaron como evaluadores:

Alex Mauricio Ovalle Castiblanco
Colombiano. M.Sc. Universidad Autónoma de Manizales, Colombia

Alexis Tigreros Ortiz
Colombiano. Ph.D. SUCROAL S.A., Colombia

Álvaro Hernán Restrepo Victoria
Colombiano. Ph.D. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

Carlos Ocampo López
Colombiano. Ph.D. Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

Carolina Guzmán Valenzuela
Chilena. Ph.D. Universidad de Chile, Chile

Daniel Fernando Atehortua López
Colombiano. Ph.D. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Colombia

David Mauricio Giraldo Gómez
Colombiano. Ph.D. Universidad Nacional Autónoma de México,
México.

Eduin Dionisio Contreras Castañeda
Colombiano. M.Sc. Universidad de Boyacá, Colombia

Edwin Yesid Gómez Pachón
Colombiano. Ph.D. Universidad Pedagógica y Tecnológica de
Colombia, Colombia

Genett Isabel Jiménez Delgado
Colombiano. M.Sc. (c) Institución Universitaria ITSA, Colombia

Germán A. Bolívar E.
Colombiano. Ph.D. Universidad del Valle, Colombia

Javier Fontalvo Alzate
Colombiano. Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Jherson Eveiro Díaz Rosero
Colombiano. Ph.D. Cementos Argos, Colombia

Johanna Esguerra Arce
Colombiano. Ph.D. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito,
Colombia

Jorge Iván Tobón
Colombiano. Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Julio César Villalobos Brito
Mexicano. Ph.D. Instituto Tecnológico de Morelia, México.

Luis Octavio González Salcedo
Colombiano. Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Luz Alexandra Montoya Restrepo
Colombiano. Ph.D. Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Martha Lucía Malagón Micán
Colombiano. Ph.D. (c) Fundación Universidad de América, Colombia

Mawency Vergel Ortega
Colombiano. Ph.D. Universidad Francisco de Paula Santander,
Colombia

Ricardo Benítez Benítez
Colombiano. Ph.D. Universidad del Cauca, Colombia

Ricardo Vera Graziano
Mexicano. Ph.D. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM),
México

Samuel Leónidas Pérez-Grau
Colombiano. M.Sc. Universidad Simón Bolívar, Colombia

Revista Informador Técnico

Misión: El Informador Técnico es una publicación semestral del Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA - Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria (ASTIN), y publica artículos de alta calidad en las áreas de: Ingeniería de Materiales, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica e Informática, Ingeniería Ambiental, Biotecnología, Diseño Industrial, Gestión del Conocimiento, Innovación y Desarrollo Tecnológico, Prospectiva y Vigilancia Estratégica: Tecnológica y de Mercados, bajo la autoría de funcionarios del SENA e investigadores a nivel nacional e internacional.

Visión: Ser una revista que genere interés entre los investigadores de las áreas de conocimiento de la misma, para publicar artículos con calidad científica y visibilidad en las bases de datos y repositorios de alto reconocimiento en la comunidad científica.

Evaluación de artículos: La revista cuenta con un sistema de evaluación a ciegas por parte de académicos y/o expertos investigadores en el campo de estudio de la investigación, adscritos a instituciones diferentes a las de los autores. Todos los manuscritos recibidos serán leídos previamente por los editores y si cumplen con las directrices de la revista, se asignará su evaluación a los árbitros respectivos.

Redacción de manuscritos: El Informador Técnico sigue los lineamientos de Colciencias para la indexación de las publicaciones seriadas, dando preferencia a los artículos de investigación, reflexión y de revisión. Se puede consultar la **Guía abreviada para la presentación de artículos** o el documento instrucciones a los autores disponible en el sitio web http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/about/submissions#authorGuidelines

Recepción de documentos y correspondencia: Los artículos pueden ser enviados al correo electrónico: revistaitastin@sena.edu.co ó a través de la plataforma OJS. http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec

Distribución de la revista: Se realiza en formato impreso a los depósitos legales y a los autores; la versión electrónica se encuentra disponible en la página web: http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/issue/archive y podrá ser descargada, también podrá ser solicitada mediante correo electrónico.

Financiación de la revista: La financiación de la revista es responsabilidad del SENA-Centro ASTIN, y de SENNOVA.

Suscripción: Para suscribirse descargue el formato en la página web de la revista: http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/user/register

Reproducción de artículos: Se autoriza la copia de artículos para fines académicos, citando la fuente respectiva.

Acceso en línea: http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec

Indexada: Publindex (Colciencias), DOAJ (Directory of Open Journal Access), EBSCO Fuente Académica Plus, ProQuest Metadex, Latindex, Actualidad Iberoamericana, REBIUN (Red de Bibliotecas Universitarias Españolas), Dialnet, Periódica, Road, Informe Académico, REDIB (Red Iberoamericana), Biblat.

Informador Técnico Journal

Mission: The technical informer Journal, semiannually published by The National learning service (SENA) National center of technical assistance to the industry (ASTIN), publishes high quality articles, authored by SENA associates and national and international researchers, in areas such as: Materials engineering, Chemical engineering, Mechanical Engineering, Electronic and computer engineering, Environmental engineering, biotechnology, industrial design, knowledge management, innovation and technological development, foresight and strategic surveillance: technology and markets.

Vision: Be a journal that will generate interest among researchers in the journal's areas of interest to publish their articles with scientific quality and visibility in large data repositories.

Article Evaluation: The journal counts with a blind evaluation system by experienced academics and / or researchers in the field of study assigned registered in different research institutions of from the author's. All manuscripts submitted will be read by the editors and if they meet the journal's guidelines, an evaluation will be assigned by the respective judges.

Manuscript drafting: The technical informer journal follows Colciencia's guidelines for indexing publications with serial, giving preference to the research, reflections and revision articles. You can check the abbreviated guide for submitting articles or the instruction document for authors, you can access the website http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/about/submissions#authorGuidelines

Document reception and mail: The full papers can be send trough the follow e-mail address: revistaitastin@sena.edu.co or the full papers will be submitted through the OJS-platform: http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec

Distribution of the journal: It is done in printed format to the legal depositors and the authors; virtual, via email, it can be downloaded from the website http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/issue/archive

Financing of the journal: The funding of the journal is responsibility of SENA - ASTIN center and SENNOVA.

Subscription: To subscribe download the format from the journal's website http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/user/register

Articles reproduction: Photocopy of articles for academic purposes are authorized, citing the source.

Online access: http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec

Indexed: Publindex (Colciencias), DOAJ (Directory of Open Journal Access), EBSCO Fuente Académica Plus, ProQuest Metadex, Latindex, Actualidad Iberoamericana, REBIUN (Red de Bibliotecas Universitarias Españolas), Dialnet, Periódica, Road, Informe Académico, REDIB (Red Iberoamericana), Biblat.

Informador Técnico

ISSN 0122-056X ISSN 2256-5035 (en línea)

Guía abreviada para la presentación de los artículos

Tipos y características de los documentos

El Informador Técnico es de acceso abierto y publica semestralmente en español, portugués e inglés. La convocatoria es permanente y durante todo el año se están recibiendo artículos para las dos ediciones. Los artículos remitidos deben ser originales (en español o inglés) e inéditos, es decir que no han sido publicados con anterioridad o simultáneamente en otra revista o en línea.

Evaluación de los artículos

El artículo se recibe y revisa por el comité editor; si es avalado se envía a valoración por los árbitros, quienes podrán solicitar los ajustes necesarios para su publicación o descartar el documento. El resultado de la evaluación se informa a los autores, quienes deben atender las correcciones sugeridas por los evaluadores, en un término no mayor a las dos (2) semanas siguientes a su recibo.

Artículo de Investigación científica y tecnológica (tipo 1)

Relata la manera de delimitar la pregunta de la investigación, el camino para someterla a prueba (análisis estadístico del experimento, protocolos disciplinarios) y la confrontación de los datos generados con la literatura actual. El artículo debe contener título (original e inglés), resumen, abstract, palabras claves en español e inglés, introducción, metodología, resultados, conclusiones y referencias bibliográficas.

Artículo de Reflexión (tipo 2)

Documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales y revisión. El artículo debe contener título (original e inglés), resumen, abstract, palabras claves en español e inglés, introducción, reflexión, conclusiones y referencias bibliográficas.

Artículo de Revisión (tipo 3)

Es el 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 superior a 50 referencias. El artículo debe contener título (original e inglés), resumen, abstract, palabras claves en español e inglés, introducción, metodología, resultados, conclusiones y referencias bibliográficas.

Preparación y formato del documento

- El autor recibe un ejemplar de la publicación. Los autores deben indicar si su artículo es producto o desarrollo de una investigación en curso o concluida.
- Las publicaciones para autores del SENA no superarán el 30% por número.
- En una nota a pie de página se debe incluir el nombre del proyecto, las fechas en que se inició y terminó, la entidad que lo financia y la entidad que lo ejecuta.
- Los artículos pueden contener veinte (20) páginas numeradas, sin incluir fotografías, gráficos o tablas, en papel tamaño carta. Deben presentarse a doble espacio, en fuente Arial y tamaño de letra 11 puntos.
- Los párrafos se justifican sin dejar espacio entre los consecutivos y sin partir las palabras, no dejar más de un espacio entre palabras después de coma, punto y coma, dos puntos, paréntesis y punto seguido. No incluir saltos de página o finales de sección.
- Las ecuaciones se levantan en el procesador incluido en Word, en la fuente Arial a 9 puntos. Los símbolos de las constantes, variables y funciones en letras latinas básicas o griegas, incluidos en las ecuaciones y deben ir en cursiva; los símbolos matemáticos y números no van en cursiva. Se deben

identificar los símbolos inmediatamente después de la ecuación.

- Las figuras deben ir nombradas, numeradas y referenciadas en el artículo, en estricto orden; el título de la figura se debe escribir tipo oración y se digita como un párrafo normal fuera de la figura.
- Los números decimales se deben señalar con coma (,), y los millares y millones con un punto (.).
- Los gráficos, figuras y fotografías deben ser a color con una resolución mayor a 250 pixeles.
- Evite las notas de pie de página; en caso de ser necesarias deben contener solamente aclaraciones o complementos del trabajo que, sin afectar la continuidad del texto, aporten información adicional que el autor considere necesario incluir.

Las referencias bibliográficas se circunscriben al final del artículo ordenadas alfabéticamente y señalándolas dentro del documento. Realice las referencias bibliográficas teniendo en cuenta las Normas APA 2016 (sexta edición).

Los artículos se pueden enviar en archivo digital:

- Por correo electrónico a: revistaitastin@sena.edu.co;
- A través de la plataforma OJS http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec
- A la siguiente dirección:
Revista Informador Técnico
Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)
Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria (ASTIN)
Complejo Salomia
Calle 52 No. 2 Bis -15
Cali – Colombia
Tel.: +57 (2) 431 5855 / 431 5800 ext. 22694

Technical Informer

ISSN 0122-056X - ISSN 2256-5035 (on line)

Abbreviate guide for submitting articles

Types and characteristics of the documents

The journal is free access and it published semiannually in Spanish, Portuguese and English, throughout the year articles are being received for both editions. The submitted articles must be original, in Spanish or English, not published previously or simultaneously on other journal or online.

Article evaluation

The article is received and reviewed by the editorial board, if its approved its sent for evaluation by the judges, who may request the necessary adjustments for it's publishing or discard the document. The result of the evaluation, its informed to the authors to attend the evaluators corrections in a period not exceeding the following 2 weeks from its reception.

Article of scientific and technological research (type 1)

It describes how to define the research question, the way to submit proof (statistical analysis of the experiment, disciplinary protocols) and confrontation of data generated with the current literature; The article should contain title (original and English), original summary , abstract , keywords in Spanish and English , introduction, methodology, results , conclusions and references.

Reflection article (type 2)

Document that presents the research results from an analytical, interpretative and critical perspective of the author, about a specific topic using original and review sources. The article should contain title (original and English), Original Summary, abstract, keywords Spanish and English, introduction, reflection, conclusions and references.

Review article (type 3)

It's the result of a completed research, where results from published or unpublished researches are analyzed, systematized, and integrated on a science or technology field in order to update the progress and development trends. Its characterized by presenting a careful bibliographic review above references. The article should contain title (original

and English), original summary, abstract, keywords in Spanish and English, introduction, methodology, results, conclusions and references.

Preparation and format of the document

- The author receives a copy of the publication. authors must indicate if the article is product or development of an ongoing or concluded research.
- The publications for SENA authors will not exceed 30% by number.
- In a page footnote should be included the name of the project, the beginning and ending date, the financing entity and the entity that executes it.
- Items may contain 20 numbered pages, not including photographs, graphics or tables, on letter size paper. They must be double-spaced and in Arial font 11 points size.
- The paragraphs are justified without leaving space between the consecutives and without separating words, do not leave more than one space between words after comma, semicolon, colon, parentheses and period followed. Do not include page breaks or section.
- The equations arise in the processor included in word, in Arial font 9 points size. The symbols of the constants, variables and functions, basic Greek or Latin letters, included in the equations must be italicized; mathematical symbols and numbers don't go italicized. The symbols must be identified immediately following the equation.
- Figures should be named consecutively numbered and referenced in the article, in strict order, the title of the figure should be written sentence case, it is typed as a normal paragraph outside the figure.
- Decimal numbers should be noted with a comma (,) and thousands and millions with a dot (.)
- The graphs, figures and photographs should be used in colors and higher than 250 pixels in resolution.
- Avoid footnotes; in case of necessary it should contain only clarifications or additions to the work without affecting the continuity of the text, providing additional information that the author deems necessary to include.
- References are limited to the end of the article ordered alphabetically and highlighting them within the document. Make the references, taking into account the APA Standards 2016 6th edition.

Articles should be submitted in digital format:

- By email to: revistaitastin@sena.edu.co
- Using the OJS platform http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec
- By mail to the following address:
Revista Informador Técnico
Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)
Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria (ASTIN)
Complejo Salomia
Calle 52 No. 2 Bis -15
Cali – Colombia
Phone: +57 (2) 4315855 / 4315800 ext. 22694

INFORMADOR TÉCNICO

Volumen 82 • Número 2 • Julio-Diciembre 2018 • ISSN 0122-056X • ISSN 2256-5035 (en línea)

TABLA DE CONTENIDO

EDITORIAL	132
ARTICULOS DE INVESTIGACIÓN	
Modelo de transferencia de calor por ebullición de una caldera horizontal de 10BHP.....	134
<i>Heat transfer model by boiling of a 10BHP horizontal boiler</i> Cristian Ricardo Rubio Ramírez, Guillermo Alfredo Martheyn Lizarazo, Humberto Alejandro Rolón Ortiz, Luis Emilio Vera Duarte	
Concreto autocompactante con altos contenidos de subproductos de la combustión de carbón.....	147
<i>Self-compacting concrete with high content of coal combustion sub-products</i> Yimmy Fernando Silva Urrego, William Gustavo Valencia Saavedra, Silvio Delvasto Arjona	
Condiciones óptimas de deslignificación del aserrín de <i>Pinus patula</i> como etapa crucial en la obtención de bioetanol.....	160
<i>Optimal conditions sawdust delignification of Pinus patula as crucial step in obtaining bioethanol</i> Rodrigo Andrés Sarria-Villa, José Antonio Gallo-Corredor, Ricardo Benítez-Benítez	
Cultivo celular de una apatita bovina como sustituto óseo: pruebas preliminares.....	172
<i>Cellular culture of a bovine apatite as a bone substitute: preliminar tests</i> Alana Payán Valero, Yesenia Moreno Cepeda, Juan Pablo Gil Bedoya, Lorena Grueso Ruiz, Juliana Guzmán Valencia, Karen Jessenia Lozano Nieva, María Carolina Pustovrh Ramos, Carlos Humberto Valencia Llano	
Escenarios futuros del sector metalmecánico. Municipio de Tuluá y su zona de influencia. Horizonte 2018-2028	181
<i>Future scenarios of the metal mechanical. Sector municipality of Tuluá and its area of influence. Horizon 2018 - 2028</i> Benjamín Betancourt Guerrero, Julián Andrés Cruz Jaramillo	
Indicadores de responsabilidad social empresarial basados en el Pacto Mundial de las Naciones Unidas y el Global Reporting Initiative para evaluar la gestión de los agentes comercializadores y distribuidores de energía en Colombia.....	209
<i>Indicator of corporate social responsibility based on the United Nations Global Pact and the Global Reporting Initiative to assess the management of the Commercial Agents and distributors of energy in Colombia</i> Mónica Andrea Cortés V., Mary Luz Muñoz Z., Martha Lucía Quintero G., Francisco Javier Sánchez E.	
ARTICULO DE REVISIÓN	
Descripción de las saponinas en quinua (<i>Chenopodium quinoa willd</i>) en relación con el suelo y el clima: Una revisión.....	241
<i>Description of saponins in quinoa (Chenopodium quinoa willd) with relation to the soil and the climate: a review</i> Miguel García-Parra, Nubia Zoraida Plazas-Leguizamón, Diana Carolina Carvajal Rodríguez, Shayla Cayet Ferreira Torrado, Joel David Parra	

CASOS EXITOSOS

Caracterización y aprovechamiento del potencial energético renovable de afluentes hídricos de ríos y quebradas del departamento de Nariño, con el fin de suministrar energía a zonas no interconectadas.....	251
<i>Characterization and exploitation of the renewable energy potential of water tributaries of rivers and streams of the department of Nariño in order to supply energy to Non-Interconnected Zones</i>	
David Martínez, Tito Piamba, Anthony Fierro, Andrea Gualguan	
Diseño estructural de un secador continuo y herramienta para volteo de cafés especiales.....	260
<i>Structural design of a continuous dryer and turning tool of special coffee</i>	
Juan Esteban Luna Valencia, Catalina Espinosa Bayer, Yuli Marcela Ordóñez Castañeda, Andrea Melisa Vásquez Riascos	
Diseño de un sistema de construcción modular en acero para vivienda social en altura.....	270
<i>Design of a modular steel construction system for social housing in height</i>	
Jorge Romero, Rafael Rojas	
Vivienda Tecno Ambiental Palafítica en guadua y madera para el litoral Pacífico colombiano en el municipio de San Andrés de Tumaco.....	277
<i>Techno environmental palftic housing built in bamboo and timber for the colombian pacific coast, study case "San Andres de Tumaco" Town</i>	
Carlos Alberto Castaño Aguirre, Iván Darío García Ordóñez, Edgar José Erazo Ramos	
Vivienda Rural Ecoamigable.....	284
<i>Eco Friendly Rural Housing</i>	
Elkin Ramiro Prieto Aguilar	
Proyecto Piloto Eco-rehabilitación de las instalaciones de centro ambiental y ecoturístico del nororiente amazónico.....	294
<i>Pilot Project Ecorehabilitation of environmental and ecotourism center facilities of northeastern Amazonia</i>	
Luis Alberto Caycedo, Cyntia Patricia Coley B., Fernando González T., Hans Crwitcher V.	

Editorial

En esta edición de la revista, se encuentran artículos de investigación y revisión en el área de ingeniería y tecnología, que enfrentaron satisfactoriamente el proceso de revisión por pares evaluadores mostrando originalidad, novedad, relevancia y calidad metodológica. Estos son: Desarrollo de modelos matemáticos para aplicación de software que permitan modificar variables como la presión en calderas; resultados mecánicos sobre la incorporación de ceniza volante y escoria del concreto autocompactante en estado fresco y endurecido como minerales; la proyección a la generación de recursos a partir de residuos, las condiciones para lograr altos porcentajes de deslignificación e hidrólisis del aserrín de *Pinus patula*, un valor agregado a los residuos lignocelulósicos, trabajos que aportan significativamente a la producción de biocarburantes como es el caso del bioetanol; desde el área de la ingeniería de materiales; la caracterización estructural y morfológica a un material cerámico de origen bovino para potencial aplicación como sustituto óseo. Por otra parte, se abordan estudios rigurosos de prospectiva para el centro del Valle del Cauca que permiten anticiparnos y preparar las acciones con menores dosis de riesgo y de incertidumbre en el sector metalmeccánico y la zona de influencia en el horizonte 2018 – 2028. De igual forma, se presentan resultados de una propuesta para el desarrollo metodológico de una herramienta tecnológica bajo indicadores de responsabilidad social empresarial basados en el Pacto Mundial de las Naciones Unidas y el Global Reporting Initiative, para la evaluación de las empresas comercializadoras y distribuidoras del sector eléctrico en Colombia para la gestión de los impactos significativos. Finalmente, un estudio de revisión sobre las características químicas de las saponinas contenidas en la quinua y los factores agroclimáticos que influyen sobre la actividad metabólica y la síntesis de las sustancias que la componen. La comprensión en el ámbito científico permite establecer las condiciones ideales para favorecer la producción de saponinas en esta especie a la cual se le adjudican transcendentales beneficios en la salud humana y capacidad para el control de plagas.

En 2016 y 2017 la Dirección de Formación Profesional y la Coordinación del Grupo de Bienestar al Aprendiz convocó a todos los centros de formación y equipos regionales a participar de manera activa y entusiasta en la estrategia de Formación Fórmula SENA Eco+. Con el propósito de fortalecer la formación profesional en materia de energías renovables, impulsar la metodología de formación por proyectos, la innovación y el desarrollo tecnológico y la utilización de las herramientas. Los proyectos desarrollados en energías renovables consideraron las siguientes áreas: construcción e infraestructura, movilidad y transporte sostenible, aprovechamiento de recursos energéticos en zonas no interconectadas y soluciones para el sector agropecuario. Con lo anterior, se logró construir soluciones sostenibles e innovadoras de los diferentes sectores productivos, integrando nuevas tecnologías y uso de energías renovables que van en vía de la mejora de procesos, calidad de vida y conservación del medio ambiente. Algunos de los resultados alcanzados en el marco de Fórmula SENA Eco+ se presentan en la sección de casos exitosos como artículos de divulgación que se podrán encontrar en las páginas posteriores a la sección de artículos de investigación y artículos de revisión.

De igual manera los invitamos a consultar las memorias del IV Simposio de Materiales e Poliméricos que se publica como suplemento de este número (V82n2), evento que desde hace 4 años organiza el Grupo de Investigación en Desarrollo de Materiales y Productos - GIDEMP del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA Centro Astin y que para esta oportunidad la Universidad Autónoma de Occidente se unió para dar lugar al encuentro de investigadores, estudiantes y empresarios alrededor del tema de los materiales poliméricos los días 13 y 14 de septiembre de 2018. El simposio contó con 49 participantes y la asistencia de 264 personas de Universidades (113), Comunidad SENA (100) y Profesionales del Sector Productivo (51) del país y de latinoamérica.

Se espera que esta edición y su correspondiente suplemento se conviertan en un puente que logre conectar equipos de trabajo a través de proyectos de investigación e innovación. El comité editor agradece a los evaluadores y la contribución de los autores que una vez más son protagonistas de los trabajos de investigación y revisión y de las instituciones que participaron: Universidad del Valle, Universidad Francisco de Paula Santander, Universidad del Cauca, Fundación Universitaria Juande Castellanos y el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA Centro de Gestión Tecnológica de Servicios. Gracias a SENNOVA y al sistema de bibliotecas SENA-SBS por ser soporte y permitir proyectar al Informador Técnico con calidad.

AURA ELVIRA NARVÁEZ AGUDELO
Subdirectora ASTIN
SENA Regional Valle
Directora de la revista

Modelo de transferencia de calor por ebullición de una caldera horizontal de 10BHP

Heat transfer model by boiling of a 10BHP horizontal boiler

Cristian Ricardo Rubio Ramírez^{1*}
Guillermo Alfredo Martheyn Lizarazo²
Humberto Alejandro Rolón Ortiz³
Luis Emilio Vera Duarte⁴

¹Colombiano. Ing. Mecánico Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia. Grupo de investigación de Fluidos y Térmicas FLUTER. *Autor de correspondencia: cristianricardorr@ufps.edu.co.

²Colombiano. Ing. Mecánico Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia. Grupo de investigación de Fluidos y Térmicas FLUTER. Email: guillermoalfredomli@ufps.edu.co.

³Colombiano. Ing. Mecánico Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia. Grupo de investigación de Fluidos y Térmicas FLUTER. Email: humbertoalejandrero@ufps.edu.co.

⁴Colombiano. Ing. Mecánico Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia. Grupo de investigación de Fluidos y Térmicas FLUTER. Email: luisemiliovd@ufps.edu.co.

Recibido: 31- 10 - 2017 Aceptado: 06-06-2018

Resumen

Se deduce y analiza el modelo matemático de la ebullición en las calderas de tipo pirotubular teniendo en cuenta los primeros estudios de nucleación, y los postulados de carácter empírico que desarrollaron las ecuaciones de comportamiento de evaporación. Se observa la cantidad de energía que es capaz de recibir el agua, detallando los mecanismos por los cuales lo hace. Con estos valores se calcula el coeficiente de transferencia de calor por convección generado en la ebullición, dependiendo de la presión de operación a la cual trabaja la caldera. Además, se calcula el tamaño de las burbujas que se crean alrededor de las superficies de calentamiento, según la orientación horizontal de los tubos y el hogar.

Palabras clave: Coeficiente de transferencia; convección; ebullición; energía; pirotubular; presión.

Abstract

The mathematical model of boiling in firetube boilers is deduced and analyzed taking into account the first nucleation studies, and the empirical postulates that developed the evaporation behavior equations. The amount of energy that water is capable of receiving is observed, detailing the mechanisms by which it does so. With these values it is possible to calculate the coefficient of heat transfer by convection generated in boiling, depending on the operating pressure at which the boiler works. In addition, the size of the bubbles created around the heating surfaces is calculated according to the horizontal orientation of the pipes and the home.

Keywords: Transfer coefficient, convection, boiling, energy, firetube, pressure.

Cómo citar: Rubio Ramírez, C. R., Martheyn Lizarazo, G. A., Rolón Ortiz, H. A. y Vera Duarte, L. E. (2018). Modelo de transferencia de calor por ebullición de una caldera horizontal de 10BHP. *Informador Técnico*, 82(2), 134-146 doi: <https://doi.org/10.23850/22565035.1138>

Introducción

Desde la revolución industrial, el hombre quiso aprovechar los recursos que tenía a su alrededor para simplificar el trabajo pesado y así lograr una mayor productividad en las grandes fábricas. Las máquinas de vapor fueron sin duda el pilar bajo el cual se edificaron todas las invenciones de la época. El hecho de convertir el agua en materia prima de operación era indispensable para los inventores del momento.

La mayoría de las máquinas basan su funcionamiento en el vapor, es por esto que muchas aplicaciones en la ingeniería comprenden la transferencia de calor para ebullición. Este fenómeno se debe al cambio que experimenta el agua en la transformación de la fase líquida a vapor, producida por el contacto con una superficie que se encuentra a una temperatura más alta que su temperatura de saturación a la presión establecida. Esta transferencia de calor depende de varias propiedades termofísicas del fluido como la densidad, calor específico, conductividad térmica, viscosidad dinámica, entalpía latente de vaporización y la tensión superficial.

Para que ocurra el fenómeno de ebullición, la diferencia de temperatura que se da, es llamada temperatura de exceso. El cambio de fase que ocurre en las calderas se clasifica como ebullición de estanque ya que el fluido se encuentra contenido en un recipiente. Para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor se utiliza el método de resistencias térmicas, que permite determinar el calor total transferido al agua desde la llama de combustión.

El primero en desarrollar un estudio donde se evaluará concretamente la energía necesaria para cambiar de fase el agua fue Nukiyama (1966), quien, en su experimento, calentó una barra de cobre y observó el patrón de generación de burbujas alrededor del elemento caliente (Figura 1).

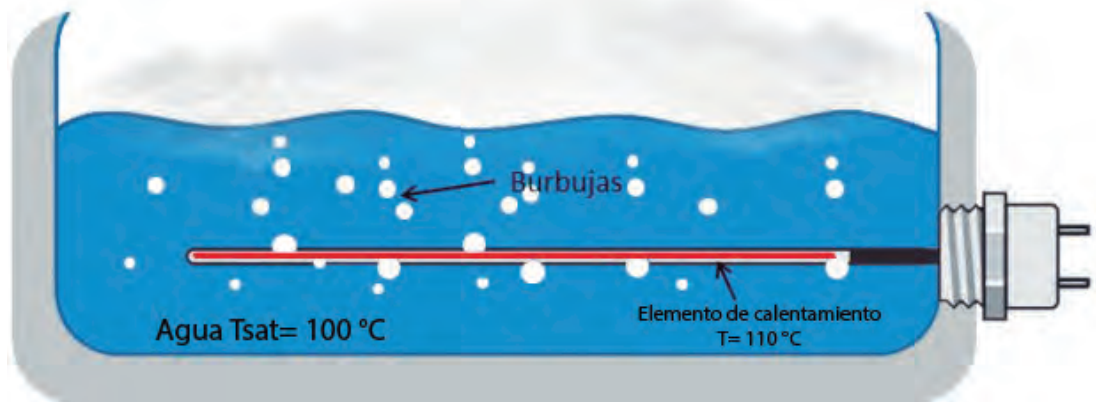


Figura 1. Esquema del estudio de nucleación de Nukiyama
Fuente: (Cengel y Ghajar, 2011)

Con base en lo anterior, el autor de dicho estudio creó el diagrama de comportamiento del agua cuando es sometida a efectos de ebullición como se muestra en la Figura 2 (Cengel y Ghajar, 2011). Donde ΔT_{exceso} es la diferencia entre la temperatura de la superficie del tubo en contacto con el agua y la temperatura de saturación. Al variar el valor de la presión, se producen cambios del exceso de temperatura, el coeficiente de transferencia de calor y el calor de ebullición.

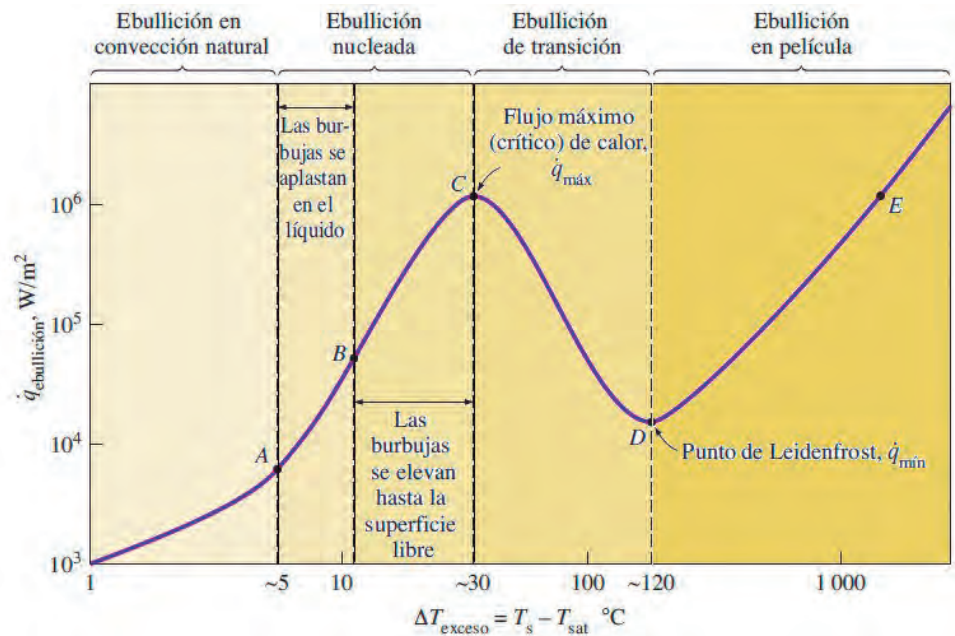


Figura 2. Curva típica de ebullición a 1 bar.
Fuente: (Cengel y Ghajar, 2011)

La Figura 2 muestra el comportamiento del calor en función de la temperatura en exceso. Se indica que el comportamiento de las calderas está entre el punto b y c, llamada ebullición nucleada. En esta zona las burbujas emergen hasta la superficie donde se mantienen lo suficientemente calientes para hacer el efecto de transferencia de calor y no ser aplastadas antes de llegar al tope (Incropera, de Witt, Bergman, y Lavine, 2011); no se entra en la zona de transición al no tener una aplicación en las calderas.

Cuando se pasa a la zona de película, se muestra un recubrimiento en el tubo hecho por vapor. Debido a esto, se genera una especie de aislamiento donde afecta la transferencia de calor bajando la eficiencia en el intercambio de energía, también puede ocasionar que la temperatura del tubo se eleve por encima de su límite metalúrgico y se generen fallas que pueden generar accidentes (Cengel y Ghajar, 2011).

Rohsenow (1952) mediante su método de ebullición de estanque, y de acuerdo con las teorías de correlación de transferencia de calor, establece una ecuación empírica, cuyo objetivo es calcular el calor requerido para evaporar el agua en recipientes de alta presión. Por lo general las calderas pirotubulares tipo horizontal se encuentran en la sección nucleada, pues su temperatura en exceso no debe superar los 30 °C por cuestiones de seguridad.

En la actualidad, muchas investigaciones, muestran resultados genéricos obtenidos en calderas verticales, o con diferentes compuestos de trabajo, sin considerar los efectos de la transferencia de calor propia de las calderas horizontales. (Rojas y Mazuera, 2014; Saiz, Fockink, Ribatski, de Barros, 2004).

El objetivo del presente estudio, es generar el modelo matemático de transferencia de calor por ebullición, apoyados en la geometría de la caldera que se ubica en la Universidad Francisco de Paula Santander, el cual se resuelve con ayuda del software EES, modificando la presión del sistema ya que es la variable representativa de estudio.

Método y modelo matemático

Como premisa fundamental, se muestran en la Tabla 1 todas las variables que intervienen en el proceso de ebullición, con su respectiva nomenclatura y unidades de operación.

Tabla 1. Nomenclatura característica del proceso de ebullición

Símbolo	Significado	Unidades
μ_f	Viscosidad del líquido saturado	kg/m * s
h_{fg}	Entalpia de vaporización	J/kg
g	Aceleración gravitacional	m/s ²
ρ_f	Densidad del líquido saturado	kg/m ³
ρ_g	Densidad del gas saturado	kg/m ³
$\sigma(H_2O)$	Tensión superficial líquido - vapor	N/m
C_{p_f}	Calor específico del líquido saturado	J/kg * K
ΔT_{exceso}	Exceso de temperatura	K
C_{sf}	Constante experimental	
Pr_f	Número de Prandtl del líquido saturado	
n	Constante experimental	

Fuente: Los autores

Para los cálculos se tuvieron en cuenta las siguientes suposiciones:

- Se utilizan las propiedades del agua a una presión superior a 1 bar (14 psi.).
- Se analiza en estado estacionario.

La variable ΔT_{exceso} es reemplazada en las fórmulas matemáticas por la variable ΔT_{ps}

ΔT_{ps} es la diferencia de temperatura con respecto a la temperatura de saturación del vapor de agua para la presión de operación. Esta representa mejor el cambio en el exceso de temperatura a las condiciones de presión de saturación.

Partiendo de los supuestos mencionados anteriormente y desde los principios básicos de termodinámica y transferencia de calor, se plantea el siguiente modelo matemático.

Por la ley de enfriamiento de Newton se tiene.

Donde "h" es el coeficiente de transferencia de calor debido a la ebullición. En la Tabla 2 se observan los rangos de coeficiente de transferencia de calor más representativos (Kakac, Liu, y Pramuanjaroenkij, 2012).

$$q''_{ebullición} = h_{ebullición} * (\Delta T_{exceso}) \quad (1)$$

Para determinar el calor de ebullición se utiliza la ecuación propuesta por Rohsenow basada en datos experimentales (Olivares, Ramírez, y Aldana, 2014).

Tabla 2. Valores característicos de "h"

Proceso	$h \text{ (} \text{W/m}^2 \cdot \text{K)}$
Gases (Convección natural)	3 - 25
Aceite de motor (Convección natural)	30 - 60
Flujo de líquidos no metálicos	100 - 10000
Flujo de líquidos metálicos	5000 - 250000
Transferencia de calor por ebullición de agua, presión <5 bares, $\Delta T_{exceso} = 25K$	5000 - 10000
Transferencia de calor por ebullición de agua, presión 5-100 bares, $\Delta T_{exceso} = 20 K$	4000 - 15000
Transferencia de calor por ebullición de película	300 - 400

Fuente: (Kakac, Liu, y Pramuanjaroenkij, 2012)

La variable C_{sf} es una constante experimental que se da para los diferentes tipos de superficies, y la constante n depende del tipo de fluido que está ebulliciendo. La Tabla 3 muestra los valores de las constantes C_{sf} y n más usados (Cengel y Ghajar, 2011).

$$q''_{ebullición} = \mu_f h_{fg} \left[\frac{g(\rho_f - \rho_g)}{\sigma_{H_2O}} \right]^{0.5} \left[\frac{Cp_f \Delta T_{exceso}}{C_{sf} h_{fg} Pr_f^n} \right]^3 \quad (2)$$

Cuando se desconocen los materiales de la interfaz fluido - superficie de calentamiento se recomienda tomar los valores de $C_{sf}=0,0130$ y $n=1,0$ (Holman, 2009).

Tabla 3. Valores del coeficiente C_{sf} y de n para varias combinaciones fluido-superficie

Combinación fluido-superficie de calentamiento	C_{sf}	n
Agua-cobre (pulido)	0,0130	1,0
Agua-cobre (rayado)	0,0068	1,0
Agua-acero inoxidable (pulido mecánicamente)	0,0130	1,0
Agua-acero inoxidable (rectificado y pulido)	0,0060	1,0
Agua-acero inoxidable (recubierto de teflón picado)	0,0058	1,0
Agua-acero inoxidable (corroído químicamente)	0,0130	1,0
Agua-latón	0,0060	1,0
Agua-níquel	0,0060	1,0
Agua-platino	0,0130	1,0
n-Pentano-cobre (pulido)	0,0154	1,7
n-Pentano-cromo	0,0150	1,7
Benceno-cromo	0,1010	1,7
Alcohol etílico-cromo	0,0027	1,7
Tetracloruro de carbono-cobre	0,0130	1,7
Isopropanol-cobre	0,0025	1,7

Fuente: Cengel y Ghajar, 2011

Al momento de diseñar recipientes a presión como las calderas, se debe considerar el flujo pico de calor. Con este valor, se determina la cantidad máxima de energía que puede recibir el agua, S. S. Kutateladze y N. Zuber determinaron teóricamente una ecuación que establece el flujo máximo de calor (Incropera, *et al.*, 2011).

Donde C_{cr} depende de la configuración geométrica del calentador. Para el caso de estudio el valor es de 0,12. En la Tabla 4 se muestran valores de C_{cr} para otras geometrías de interés (Cengel y Ghajar, 2011).

$$Q_{max} = C_{cr} h_{fg} [\sigma_{H_2O} * g * \rho_g^2 (\rho_f - \rho_g)]^{\frac{1}{4}} \quad (3)$$

En este caso, L^* representa la dimensión característica que es evaluada en los rangos de geometría. $K1$ es una variable de geometría propia del calentador plano horizontal pequeño. Y $A_{calentador}$ es el área transversal del mismo.

Tabla 4. Valores del coeficiente C_{gr} para usarse en la ecuación (3)

Geometría calentador	C_{gr}	Dimensión principal "L"	Intervalo de L^*
Calentador plano horizontal grande	0,149	Ancho o diámetro	$L^* > 27$
Calentador plano horizontal pequeño	$18,9 \cdot K1$	Ancho o diámetro	$9 < L^* < 20$
Cilindro horizontal grande	0,12	Radio	$L^* > 1,2$
Cilindro horizontal pequeño	$0,12L^{-0,25}$	Radio	$0,15 < L^* < 1,2$
Esfera grande	0,11	Radio	$L^* > 4,26$
Esfera pequeña	$0,227L^{-0,5}$	Radio	$0,15 < L^* < 4,26$

Fuente: Cengel y Ghajar, 2011

Donde

$$L^* = L \cdot \left[\sqrt{\frac{g(\rho_f - \rho_g)}{\sigma}} \right] \quad (4)$$

$$K1 = \frac{\sigma}{g(\rho_f - \rho_g) \cdot A_{calentador}} \quad (5)$$

Los valores de densidad, entalpía, viscosidad dinámica y número de Prandtl, que dependen de la presión de operación de la caldera, se resuelven a través de una extrapolación de las funciones incluidas en la librería del programa para el vapor de agua, de acuerdo con el algoritmo construido para resolver el problema, Tabla 5.

Tabla 5. Código de programación EES, parámetros térmicos y solución del modelo.

Código EES
<pre> A\$='Steam_IAPWS' P_caldera=30 [psi] P_operación=P_caldera*convert(psi;bar) P_ebullicion=P_caldera*convert(psi;KPa) mu_f=VISCOSITY(A\$;X=0;P=P_ebullicion) rho_f=DENSITY(A\$;X=0;P=P_ebullicion); rho_g=DENSITY(A\$;X=1;P=P_ebullicion) T_sat=T_SAT(A\$;P=P_ebullicion) sigma_H2O=SURFACETENSION(A\$;T=T_sat) Cp_f=CP(A\$;X=0;P=P_ebullicion) Cp_g=CP(A\$;X=1;P=P_ebullicion) DELTAT_ps=Ts2-T_sat DELTah_vap=Enthalpy_vaporization(A\$;P=P_ebullicion) g=9,81 [m/s^2] Csf=0,013; n=1 h_fg=h_f-h_g h_f=Enthalpy(A\$;x=1;P=P_ebullicion) h_g=Enthalpy(A\$;x=0;P=P_ebullicion) h_agua=ENTHALPY(Water;T=T_agua;P=P_ebullicion) Pr_f=PRANDTL(A\$;X=0;P=P_ebullicion) Q_ebullicion_max=(0,12*DELTah_vap*rho_g*((sigma_H2O*g*(rho_f-rho_g)/rho_g^2))^(1/4))*1000 Q_ebullicion_max=(mu_f*h_fg*((g*(rho_f-rho_g))/sigma_H2O)^0,5*((Cp_f*DELTAT_ps_max)/(C_sf*h_fg*Pr_f))^3)*1000 h_ebullicion_H=(Q_ebullicion_H)/DELTAT_ps R_ebullicion_H=1/(h_ebullicion_H*A_ex_H) D_burbuja=0,0148*beta*sqrt((2*sigma_H2O)/(g*(rho_f-rho_g))) Beta=180 </pre>

Fuente: Los autores

Para determinar el calor que el agua absorbe en la caldera, se emplea el método de resistencias térmicas. Elaborando un circuito de transferencia de calor, se consideran las pérdidas que se generan en la chimenea y al exterior de la caldera. En la Figura 3, la resistencia por radiación (R_{rad}), por fouling o ensuciamiento (R_{f1} y R_{f2}) y por conducción ($R_{ac,H}$) son propias de cada tipo de caldera, combustible de trabajo y materiales estructurales (Quiñónez, Pindo y Adum, 2008; Flórez, 2011).

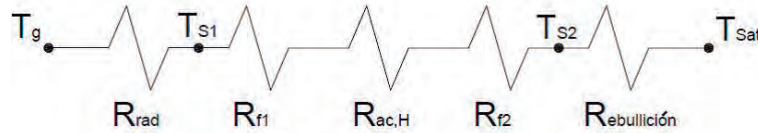


Figura 3. Arreglo de resistencias
Fuente: Los autores

A continuación, en la Tabla 6, se mencionan los valores de resistencia térmica causados por los gases de combustión al interior del tubo del hogar. Igualmente se debe considerar el ensuciamiento depositado al exterior de los tubos de calor, ocasionado por el agua de alimentación.

Tabla 6. Parámetros de fouling presentes en calderas

Tipo de fouling (suciedad)	Símbolo	Valor [unidades]
Fouling debido a gases de combustión	R_{f1}	0,001761 [m ² *K/W]
Fouling para agua de alimentación de caldera	R_{f2}	0,000176 [m ² *K/W]

Fuente: (Kakac, Liu, y Pramuanjaroenkij, 2012)

El resultado de la ecuación de Rohsenow permite calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección y de ahí calcular la resistencia por ebullición.

$$\frac{q_{ebullición}}{\Delta T_{ps}} = h_{ebullición} \quad (6)$$

Resistencia por ebullición

$$R_{ebullición} = \frac{1}{h_{ebullición} \pi D_{ex} L} \quad (7)$$

Donde D_{ex} es el diámetro externo de tubo y L es la longitud.

Otro parámetro importante que influye en la transferencia de calor por ebullición es el tamaño de las burbujas que se crean al margen de la superficie de calentamiento. Mediante la ecuación (8) se obtiene el diámetro aproximado de estas burbujas en etapa de nucleación de acuerdo con la ecuación de Fritz (Welty, Wicks, y Wilson, 1994; Hamzekhani, Maniavi, y Akbari, 2014).

$$D_{burbuja} = 0,0148 * \beta * \sqrt{\frac{2 * \sigma_{H_2O}}{g * (\rho_f - \rho_g)}} \quad (8)$$

Donde β es el grado de inclinación entre la burbuja y la superficie de calentamiento, en calderas de tipo horizontal este valor es de 180°, con respecto al eje X (horizontal), lo que quiere decir que está en pleno contacto con la superficie del tubo.

Las pruebas se hicieron con la geometría de una caldera comercial de potencia nominal de 10 BHP, Figura 4. Se identificaron las variables de combustión, temperatura de llama y constantes termofísicas de los materiales y fluidos involucrados.



Figura 4. Toma de datos experimentales, caldera Continental F10C
Fuente: Los autores

Las medidas utilizadas en los cálculos están dadas en sistema internacional, y algunas medidas de presión están dadas en el sistema inglés, ya que, por su origen de fabricación, es el característico de la caldera de estudio, como se muestra en la Tabla 6.

Se describe el código utilizado en el software académico EES con base en las medidas tomadas en la caldera, para solucionar las ecuaciones y generar las gráficas que representan el desempeño de ebullición de la caldera de estudio durante su funcionamiento Tabla 7 (Klein, 2016).

Tabla 7. Datos de operación de la caldera

Descripción	Dato
Potencia nominal	10 BHP
Tipo de combustible	ACPM
Consumo de combustible nominal	3 gal/h
Consumo de combustible real	1,2 gal/h
Exceso de aire	20%
Temperatura ambiental	30 °C
Temperatura del agua de alimentación	28 °C
Temperatura del combustible	28 °C
Presión atmosférica	97,53 KPa
N° pasos en la caldera	2
Longitud del hogar total	1,00 m
Longitud efectiva del hogar	0,75 m
Diámetro interior del hogar	0,25 m
Diámetro exterior del hogar	0,30 m
Longitud del haz de tubos	0,85 m
Longitud efectiva del haz de tubos	0,75 m
Diámetro interior del tubo	0,057 m
Diámetro exterior del tubos	0,067 m
N° de tubos en el haz	21
Diámetro exterior de la coraza	0,83 m
Espesor de la coraza	0,002 m
Tipo de aislante	Lana de vidrio
Espesor del aislante	0,055 m

Fuente: Los autores

Resultados

La curva en la Figura 5, se obtuvo con la ecuación de Rohsenow a diferentes temperaturas de exceso con una presión de operación de 2,068 bar (30 psi) y un exceso de aire de 120 %, los puntos identificados son el máximo de energía para la ebullición y el punto donde se encuentra la ebullición de la caldera que se está trabajando.

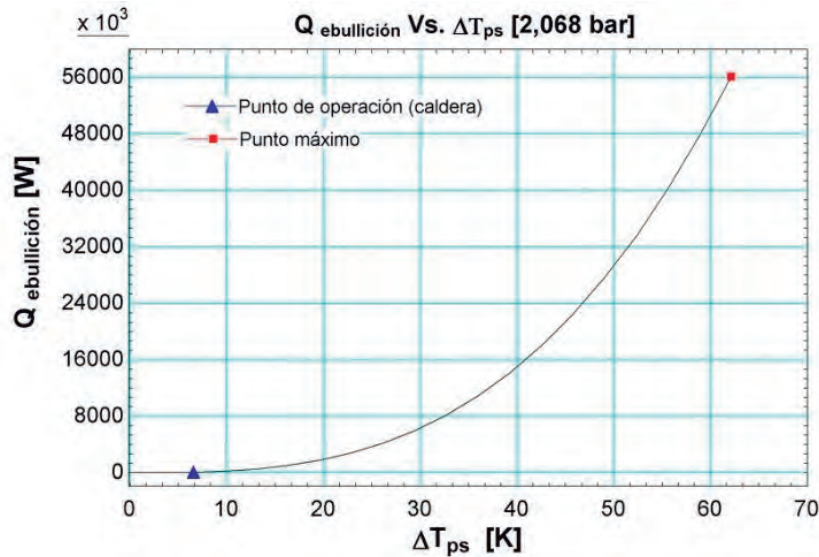


Figura 5. Calor de ebullición vs exceso de temperatura a una presión de 2,068 bar (30psi)
Fuente: Los autores

El exceso máximo de temperatura que se obtuvo en la caldera con una presión de 2,068 bar (30 psi) fue de 62,1 k produciendo un calor máximo o crítico de 56,13 kW. Esta es la cantidad de energía físicamente disponible que puede soportar el dispositivo. A partir de esta energía se calculó la temperatura de saturación y se comprobó con el límite de dilatación térmico del acero. Más que todo esto es una evaluación de seguridad, no se pretende llegar hasta los límites de presión.

Variando la presión dentro de la caldera se observa el comportamiento de las variables implicadas en la ebullición, como se muestra en las Figuras 6, 7, 8, 9.

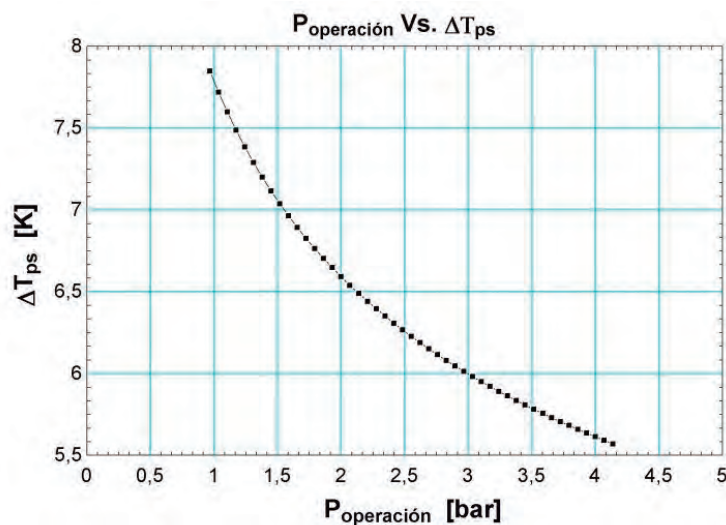


Figura 6. Exceso de temperatura vs. presión de operación
Fuente: Los autores

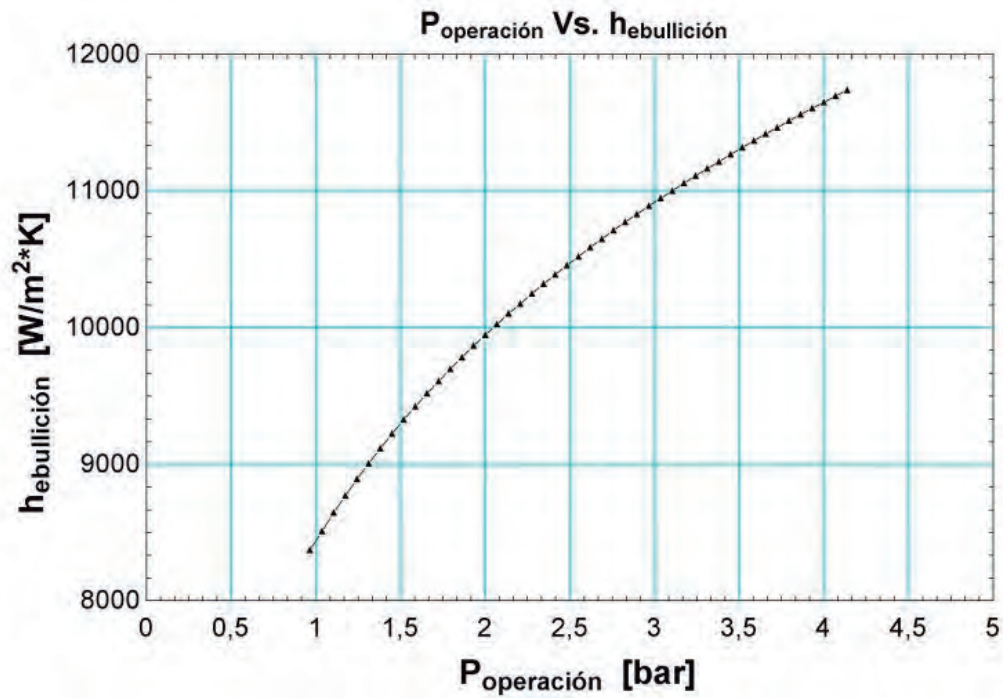


Figura 7. Coeficiente de transferencia de calor vs. la presión de operación
Fuente: Los autores

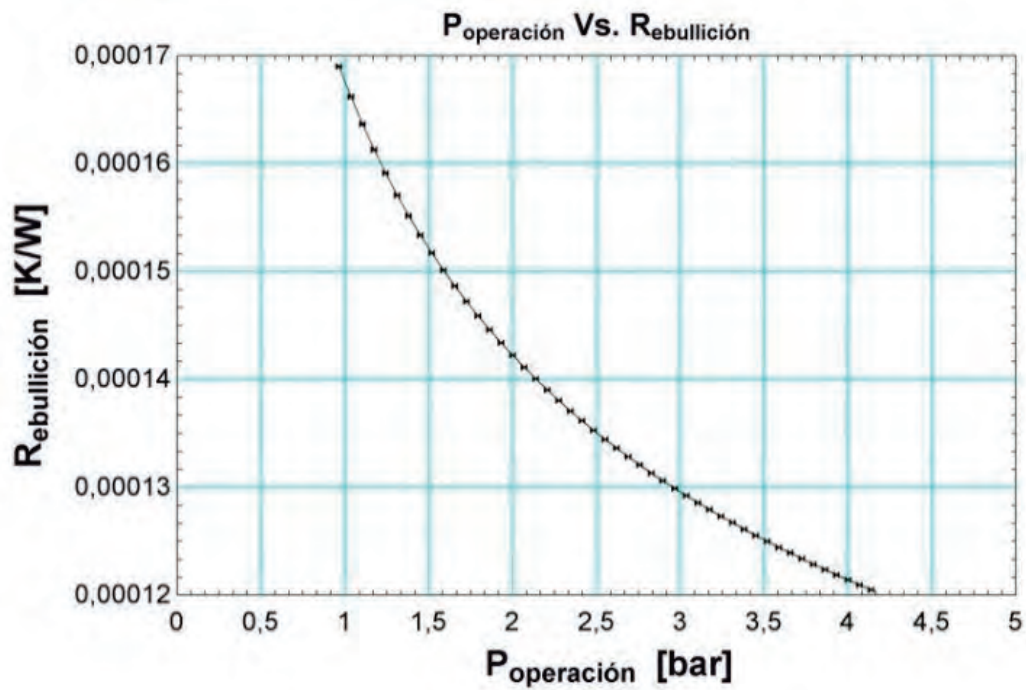


Figura 8. Resistencia térmica vs. presión de operación
Fuente: Los autores

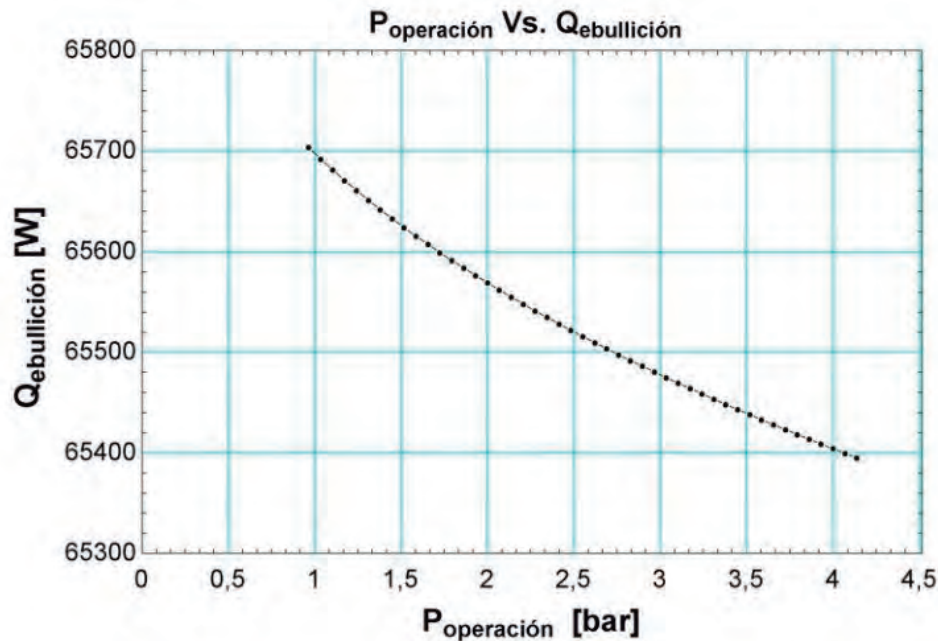


Figura. 9 Calor de ebullición vs. presión de operación
Fuente: Los autores

Al existir un ambiente con baja presión al interior de la caldera, es necesario que la temperatura a la cual se evapora el agua sea menor. Sin embargo, el combustible calienta la superficie del contenedor a la misma temperatura. A medida que la presión de operación aumenta, la temperatura de saturación aumenta igualmente, disminuyendo la temperatura en exceso.

Las Figuras 7 y 9 poseen un comportamiento similar, ya que el calor que se transmite hacia el agua depende directamente de cuán alto sea el coeficiente de convección por ebullición. Caso contrario pasa con la Figura 8, pues esta representa la resistencia que ofrece el acero al transmitir todo el calor al agua.

Al solucionar el modelo matemático se obtiene que el diámetro de las burbujas a la presión de operación de 2,068 bar (30 psi) es de 0,009172 m $\approx$ 9,2 mm para la caldera de tipo horizontal ($\beta = 180^\circ$) inclinación con respecto al eje X.

Conclusiones

Los valores mostrados en la figura 5 son para la presión de 1 bar, como las calderas trabajan a presiones mayores, estos valores se ven modificados. Mediante cálculos se determina que el exceso de temperatura entre cada zona varía para cada presión.

Las condiciones bajo las cuales opera la caldera, es decir el coeficiente convectivo de ebullición y su respectivo calor de ebullición (Figuras 7 y 9), dependen directamente de la presión de operación de cada caldera. Debido a que la presión y la temperatura de saturación de los fluidos son directamente proporcionales, al aumentar la presión baja considerablemente el trabajo del dispositivo generador de vapor. Sin embargo, para que se aumente la presión se debe generar un aumento en la relación aire-combustible, lo que genera un incremento en el consumo de combustible (gas, carbón, diésel).

Al observar el punto más alto de la ebullición, se obtiene la cantidad máxima de energía que se transmitirá. Además, se conoce el tope de temperatura en exceso que se puede tener, ya que al sobrepasar estos límites se va a comprometer la funcionalidad de la caldera y pueden ocurrir accidentes.

En el programa EES, se deben considerar los valores "lower", "upper" y "guess" los cuales representan los valores mínimos, máximos y el valor tentativo del resultado. De ellos depende la iteración de los resultados, también ayuda a que el programa al momento que itera desde menos infinito y evalúe el cero (0), no produzca errores y detenga la rutina de evaluación.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Francisco de Paula Santander por la disposición de sus instalaciones académicas especialmente al Departamento de Fluidos y Térmicas de la Facultad de Ingenierías por facilitar las pruebas técnicas en su laboratorio de plantas térmicas.

Referencias

- Cengel, Y. y Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa*. 4ª Edición. U.S.A.: McGraw-Hill. pp. 580 – 595.
- Flórez, D. (2011). *Diseño y Construcción de una Caldera de Paso Continuo y Determinación del Coeficiente convectivo de Transferencia de Calor para la Zona de Ebullición*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Medellín, Colombia.
- Hamzekhani, S., Maniavi, M. y Akbari, A. (2014). Bubble departure diameter in nucleate pool boiling at saturation: Pure liquids and binary mixtures. *International journal of refrigeration*, 46, 50-58. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2014.07.003>
- Holman, J. P. (2009). *Heat Transfer*. 10th Edition. U.S.A.: McGraw-Hill Education. pp. 505 – 506.
- Incropera, F., de Witt, D., Bergman, T. y Lavine, A. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. U.S.A. 7th Edition. John Wiley & Sons. pp. 657 – 664.
- Kakac, S., Liu, H. y Pramuanjaroenkij, A. (2012). *Heat exchangers, selection, rating and thermal design*. 3rd Edition. U.S.A.: CRC Press. pp. 41 – 42.
- Klein, S.A. (2016). *Handbook Engineering Equation Solver EES*. F-Chart Software.
- Nukiyama, S. (1966). "The Maximum and Minimum Values of the Heat Q Transmitted from Metal to Boiling Water under Atmospheric Pressure," *International Journal of Heat Mass Transfer*, 9(12), 1419-1433. doi: [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(66\)90138-4](https://doi.org/10.1016/0017-9310(66)90138-4)
- Olivares, R., Ramírez, L. y Aldana, D. (2014). Modelación matemática de la transferencia de calor en un intercambiador de calor abierto para producción de panela granulada. *Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XXI- SPES)*. Universidad de Piura. Piura – Perú.
- Quiñonez, N., Pindo J. y Adum, V. (2008). *Desarrollo de software para el análisis y diseño térmico de calderas pirotubulares horizontales con quemadores a diésel y bunker*. (Tesis). Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Rohsenow, W. M., (1952). A Method of Correlating Heat Transfer Data for Surface Boiling Liquids. *Transactions of ASME*, 74, 969-976.

- Rojas, B. y Mazuera, H., (2014). *Análisis, diagnóstico y propuesta de mejora de los principales componentes operacionales que afectan la eficiencia de la caldera pirotubular del laboratorio de vapor de la Universidad Autónoma de Occidente*. (Tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería, departamento de Energética y Mecánica, Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali – Colombia. pp 72-80
- Saiz, J. M., Fockink, E., Ribatski, G., de Barros, S.F. (2004). Evaluation of the Rohsenow Correlation Through Experimental Pool Boiling of Halocarbon Refrigerants on Cylindrical Surfaces. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 26(2), 218-230. doi: <https://doi.org/10.1590/S1678-58782004000200015>
- Welty, J., Wicks, C. y Wilson, R. (1994). *Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa*. 2ª Edición. México: Limusa Editores. pp. 450 – 451.

Línea de atención al cliente:
(57 - 1) 472 2000 en Bogotá
01 8000 111 210 a nivel Nacional
.....
www.4-72.com.co

El servicio de **envíos**
de Colombia



Concreto autocompactante con altos contenidos de subproductos de la combustión de carbón

Self-compacting concrete with high content of coal combustion sub-products

Yimmy Fernando Silva Urrego^{1*}
William Gustavo Valencia Saavedra²
Silvio Delvasto Arjona³

¹ Colombiano, Estudiante de Doctorado en Ingeniería de los Materiales. M.Sc. en ingeniería. Universidad del Valle. Grupo Materiales Compuestos GMC. Cali, Colombia.

*Autor de correspondencia: E-mail: yimmy.silva@correounivalle.edu.co.

² Colombiano, Estudiante de Doctorado en Ingeniería de los Materiales. Ingeniero de Materiales. Universidad del Valle. Grupo Materiales Compuestos GMC. Cali, Colombia.

³ Colombiano, Ph.D. Profesor Titular, Universidad del Valle. Grupo Materiales Compuestos GMC. Cali, Colombia.

Recibido: 07-06-2018 Aceptado: 24-08-2018

Resumen

El concreto autocompactante (CAC) se ha considerado como un gran logro en la tecnología del concreto debido a sus grandes ventajas como la auto-compactabilidad. Para tener esta propiedad el concreto fresco debe demostrar una alta fluidez, resistencia a la segregación y una buena cohesión. Con el propósito de evaluar estas propiedades, además de utilizar un subproducto de la combustión del carbón como la ceniza volante (CV) y la escoria de parrilla (E) se prepararon varias mezclas de concreto autocompactante remplazando el cemento en un 35 % y 50 % de cada una de estas adiciones. A los cuales se les evaluaron sus propiedades, tanto en estado fresco como en endurecido, las propiedades en estado fresco fueron evaluadas mediante el flujo de asentamiento, el embudo en V y la caja en L, en estado endurecido se evaluaron propiedades mecánicas (resistencia a la compresión, tracción indirecta y flexión) y de permeabilidad (succión capilar, absorción y porosidad y resistencia a cloruros). Todos los CAC mostraron buenas propiedades en estado fresco y desarrollaron a los 28 días de curado resistencias a la compresión en un rango de 34 y 48 MPa. Los resultados muestran que el empleo de subproductos de la combustión del carbón pueden ser incorporados en la elaboración de CAC.

Palabras clave: Concreto autocompactante; ceniza volante; escoria; auto-compactabilidad; propiedades en estado fresco.

Abstract

The self-compacting concrete (SCC) has been considered a great achievement in concrete technology due to its great advantages like self-compactability. In order to have self-compactability fresh concrete should demonstrate high fluidity, segregation resistance and good cohesion. With the purpose of evaluating these properties, besides using a byproduct of coal combustion fly ash (CV) and grilled slag (E), also several self-compacting concrete mixes were prepared by replacing the cement in 35 % and 50 % in each one of these additions. Their properties were evaluated in fresh and hardened state. The fresh properties were evaluated using the slump flow, V-funnel and box in L. While in hardened state mechanical properties

Cómo citar: Silva Urrego, Y.F., Valencia Saavedra, W.G., y Delvasto Arjona, S. (2018). Concreto autocompactante con altos contenidos de subproductos de la combustión de carbón. *Informador Técnico*, 82(2), 147-159. doi: <https://doi.org/10.23850/22565035.1485>

were evaluated (compressive strength, indirect tensile and flexural) and permeability (capillary suction, absorption, porosity and chlorides resistance). All SCC showed good properties in fresh state and developed after 28 days curing, compressive resistance in the range of 34 and 48 MPa. The results show that the use of coal combustion sub-products can be incorporated in the production of SCC.

Keywords: Self-compacting concrete; fly ash; slag; self-compactability; fresh properties.

Introducción

El concreto autocompactante (CAC) es considerado un concreto que puede ser colocado y compactado por la acción de su propio peso con poco o ningún esfuerzo de vibración, y que al mismo tiempo presenta cohesividad suficiente para ser manipulado sin mostrar segregación. Este material compuesto se utiliza para facilitar y asegurar un llenado adecuado y un buen rendimiento en estructuras que presenten zonas altamente reforzadas y restringidas (Ryan y O'Connor, 2016; Karakurt, Çelik, Yilmazer, Kiriçi, y Özyasar, 2018). El CAC fue desarrollado en Japón a finales de 1980, para ser utilizado principalmente en estructuras reforzadas altamente congestionadas en regiones sísmicas (Bouzoubaâ y Lachemi, 2001; Okamura y Ouchi, 2003; Siddique, Aggarwal, y Aggarwal, 2012; Vakhshouri y Nejadi, 2018). Recientemente este concreto ha ganado un amplio uso en muchos países para diferentes aplicaciones y configuraciones estructurales, además que proporciona una manera amigable con el medio ambiente y seguro de producir concreto sin comprometer su calidad, debido al alto empleo de subproductos industriales o agroindustriales en su fabricación, además de eliminar el empleo de equipos vibradores para su colocación (Ganjan *et al.*, 2009; Topçu y Bilir, 2009; El-Gammal, Abdel-Gawad, El-Sherbini, y Shalaby, 2010; Uygunoglu y Topçu, 2010; Rahman, Usman, y Al-Ghalib, 2012; Nguyen, Chang, Shih, y Djayaprabha, 2018).

El CAC es un tipo especial de concreto donde se requiere un alto asentamiento que puede lograrse fácilmente mediante la adición de superplastificante a la mezcla de concreto. Los CAC a menudo contienen una alta cantidad de material fino que se requiere para mantener un bajo esfuerzo de fluencia para proporcionar una fluidez adecuada o una viscosidad lo suficientemente alta para evitar segregación en la mezcla (Siddique *et al.*, 2012). El uso de una gran cantidad de cemento aumenta el costo y resulta en un aumento de la temperatura, la incorporación de aditivos minerales, tales como polvo de piedra caliza, ceniza volante, ceniza de fondo, escoria de alto horno, etc. podrían aumentar el asentamiento sin incrementar los costos (Sonebi, 2004; Mohamed, 2011).

Diversas investigaciones se han realizado sobre el comportamiento de CAC con varios tipos de materiales puzolanicos como reemplazo parcial de cemento en órdenes que pueden ir desde el 5 % a 40 % dependiendo del tipo de material cementicio suplementario (Khatib, 2008; Uysal y Sumer, 2011; Uysal, y Yilmaz, 2011; Valcuende *et al.*, 2012; Omrane, Kenai, Kadri, y Ait-Mokhtar, 2017). La adición de la ceniza volante y la escoria de la combustión del carbón, tienen en el cemento Portland varios efectos en las propiedades de concreto, tanto en estado fresco como endurecido. Mejora la manejabilidad de la mezcla en estado fresco por su gran aporte de partículas finas, además de la estabilidad (Bouzoubaâ y Lachemi, 2001; Khatib, 2008; Liu, 2010), así como un incremento de la densidad en la pasta de la matriz y la zona de transición interfacial en el concreto endurecido, aunque a edades tempranas muestra valores de resistencia a la compresión bajas debido a las reacciones puzolanicas lentas entre el cemento y la ceniza volante (Felekoğlu, Tosun, Baradan, Altun, y Uyulgan, 2006). Por otra parte, la adición de ceniza volante o escoria contribuye a un beneficio económico ya que son subproductos de las industrias que actualmente no tienen ninguna comercialización, además de un beneficio ecológico debido a la reducción del consumo de cemento en la elaboración de concretos.

El objetivo de este estudio está dirigido a investigar el efecto de la ceniza volante y escoria como adiciones minerales en las propiedades en estado fresco y endurecido del CAC.

Metodología experimental

Materiales

Para el presente estudio se utilizó Cemento Portland tipo I de acuerdo con la norma ASTM C150. Como adición se implementó ceniza volante y escoria subproducto de la combustión de carbón en diferentes proporciones (35 % y 50 %) como remplazo en peso del Cemento Portland. Las características químicas y físicas del cemento, la ceniza volante y la escoria se realizaron mediante fluorescencia de rayos X (FRX) y granulometría laser, los resultados se presentan en la Tabla 1. Como superplastificante se utilizó una mezcla líquida a base de policarboxilatos, de marca comercial ViscoCrete -20HE. El agregado grueso triturado tenía un tamaño máximo de 19 mm con el fin de evitar el bloque en la caja en L, y como agregado fino se empleó arena natural de río, los agregados tenían un peso específico de 2760 kg/m³ y 2680 kg/m³ respectivamente.

Tabla 1. Características del Cemento Portland, ceniza volante y escoria

Composición química	Cemento	Ceniza volante	Escoria
Sílice (SiO ₂)	21,57	33,85	51,31
Alúmina (Al ₂ O ₃)	4,19	24,72	29,3
Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	4,22	6,34	7,5
Óxido de Calcio (CaO)	58,29	6,92	6,54
Óxido de Magnesio (MgO)	1,67	2,25	1,18
perdida al fuego (PF) (% _{peso})	9,01	21,42	4,85
Gravedad específica	3,05	1,53	1,72
Tamaño de partícula promedio (mμ)	20,67	23,93	19,57

Fuente: Los autores

Proporciones de mezclas

En el presente estudio, cinco mezclas fueron diseñadas, una de control y cuatro mezclas con adición mineral (dos con ceniza volante y dos con escoria) para examinar y cuantificar la influencia en las propiedades de CAC. La Tabla 2 presenta el diseño de las distintas mezclas de CAC. En las mezclas, el cemento fue remplazado por CV y E en el mismo contenido de 35 % y 50 % en masa. Después de algunos ensayos previos, el contenido total de finos se fijó en 550 kg/m³. Las proporciones de los agregados y la granulometría se mantuvieron constantes para todas las mezclas.

Tabla 2. Detalles de las mezclas de concretos autocompactantes.

Mezcla	Patrón	CAC E 35%	CAC E 50%	CAC FA 35%	CAC FA 50%
Material	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
Cemento	550	357,5	275	357,5	275
Grava	800	800	800	800	800
Arena	871	871	871	871	871
Agua	198	198	198	209	209
Aditivo	6,6	5,8	5,5	6,0	5,8
a/c	0,36	0,36	0,36	0,38	0,39
Ceniza volante	-	-	-	192,5	275
Escoria	-	192,5	275	-	-

Fuente: Los autores

Prueba del concreto fresco

La secuencia de mezcla consistió en homogeneizar la arena y la grava en primera instancia, posterior a ello, se adicionó el subproducto de la combustión del carbón (ceniza volante o escoria) con el cemento, y parte del agua de mezcla. Por último se incorporó el agua restante con el superplastificante. Esto se realizó en una mezcladora tipo trompo para concreto. El tiempo de mezcla inicial es más crítica para los aditivos basados en policarboxilato, debido a su mecanismo de dispersión. El tiempo de mezcla fue el mismo para todos los CAC.

Parte de la mezcla se utilizó para las pruebas del concreto fresco. La otra parte para realizar las probetas sin ningún tipo de vibración, para determinar las propiedades mecánicas. El desmolde se realizó entre 22 y 24 h después de la colada. No hubo problemas para ninguno de los CAC. Las muestras fueron curadas en agua hasta el día de la prueba.

Para determinar las propiedades de auto-compactabilidad se realizaron pruebas en estado fresco como el flujo de asentamiento, caja en L y embudo V. Todas las mediciones de los ensayos se realizaron por duplicado y se dio el promedio de las mediciones. Las pruebas se cumplieron siguiendo las recomendaciones de la EFNARC (*European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems*) (EFNARC, 2002).

Pruebas del concreto endurecido

La resistencia a la compresión fue obtenida de cilindros de 7,62 cm de diámetro y 15,2 cm de altura. Este ensayo se realizó bajo la norma ASTM C39. Las muestras fueron curadas a aproximadamente a 23°C hasta que se llevaron a cabo las pruebas a edades de 3, 7, 14, 28, 90 y 180 días. Tres muestras por cada edad fueron probadas y se informó el valor promedio. La resistencia a la tracción indirecta se determinó a 7, 28, 90 y 180 días de curado en cilindros de 7,62 cm de diámetro y 15,2 cm de altura, siguiendo la norma ASTM C496. La resistencia a la flexión a tres puntos se realizó en probetas prismáticas (vigas) de 7,62 cm de ancho por 7,62 cm de alto por 30,5 cm de largo a 7, 28 y 90 días de curado siguiendo el procedimiento descrito en la norma ASTM C293.

Pruebas de resistencia a la penetración

Los ensayos de permeabilidad al agua, como la absorción y la succión capilar se realizaron conforme a la ASTM C 642 y SIA 162/1 respectivamente. El ensayo de succión capilar permite calcular parámetros tales como la resistencia a la penetración de agua $m(s/m^2)$, el coeficiente de absorción capilar $K(kg/m^2.s^{1/2})$ y porosidad efectiva (ϵ_0). También se realizó el ensayo de resistencia a la penetración de ion cloruro en el equipo *Rapid Chloride permeability test*, de German Instruments, bajo la ASTM C1202, cada ensayo se hizo por duplicado para todas las mezclas.

Resultados y discusiones

En este estudio se investigaron algunas características de las adiciones (CV y E), las propiedades en estado fresco y endurecido de los CACs utilizando estos subproductos de la combustión del carbón. La capacidad de los CAC para la auto-compactación es en general el tema principal de este estudio, de acuerdo con los criterios especificados por la EFNARC. En el presente estudio tales propiedades se evaluaron sobre la base de pruebas en estado fresco del concreto.

Caracterización de las adiciones

La caracterización mineralógica de la ceniza volante y la escoria se llevó a cabo por medio de Difracción de Rayos-X. Fue realizado en un difractómetro PAnalytical, modelo X'PertPRO filtro de Nickel, usando la señal $K\alpha_1$ del Co. Se usó un paso de $2^\circ/\text{min}$ dentro de un rango de 5° - 104° . En la Figura 1 se aprecia el difractograma para la ceniza volante y la escoria, respectivamente. Se puede observar que la ceniza volante no es totalmente amorfa (vítrea), presenta fases cristalinas en menor cantidad como Cuarzo, Mullita y Calcita. El difractograma evidencia un pico de mayor intensidad identificado con

un ángulo característico $2\theta=31,02^\circ$ que indica que la ceniza volante tiene una gran cantidad de Cuarzo (SiO_2). Además, se observan varios picos característicos de la Mullita ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$) con baja intensidad, lo que indica que esta fase se encuentra en una menor proporción.

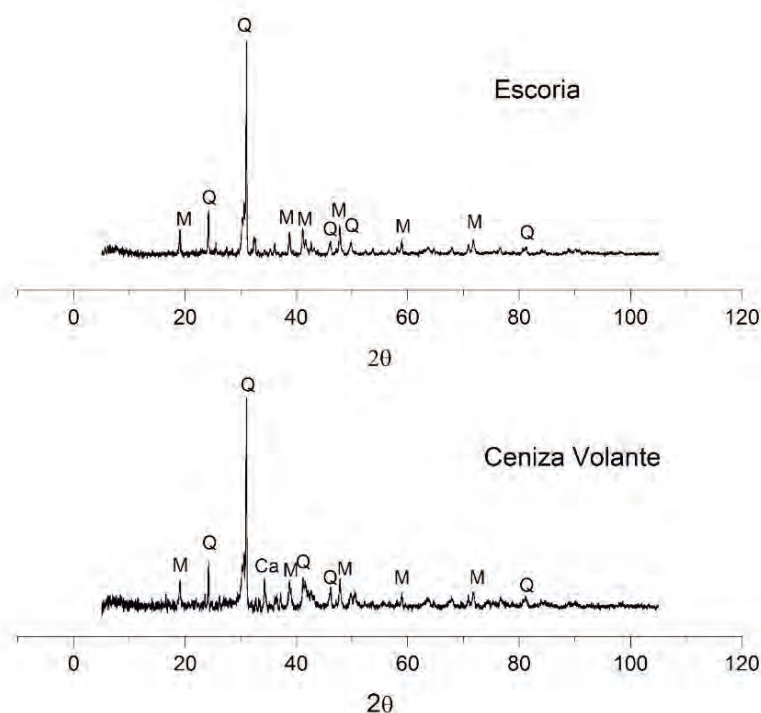


Figura 1. Patrón de difracción de rayos X de la ceniza volante y la escoria
Fuente: Los autores

La Escoria también presenta fases cristalinas como Cuarzo (SiO_2), Mullita ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$) y Magnetita (Fe_3O_4), lo cual afecta su reacción. Al igual que la Ceniza Volante se evidencia un pico de mayor intensidad correspondiente a un ángulo $2\theta=31,03^\circ$ característico del Cuarzo.

La caracterización morfológica de la ceniza volante y la escoria se realizó mediante la técnica de SEM como se muestran en las Figuras 2 y 3, respectivamente. Las micrografías revelan que la ceniza volante consiste de partículas esféricas de diferente tamaño identificadas como cenoesferas, además de contener partículas irregulares y negras porosas que son atribuidas al carbón no quemado (Kutchko y Kim, 2006; Medina *et al.*, 2010).. En la escoria se observan partículas irregulares con diferentes tamaños, esto se le atribuye al carbón del cual procede. Además también se aprecia que estas partículas son más compactas que las partículas de la ceniza volante y no se observa aglomeración de partículas.

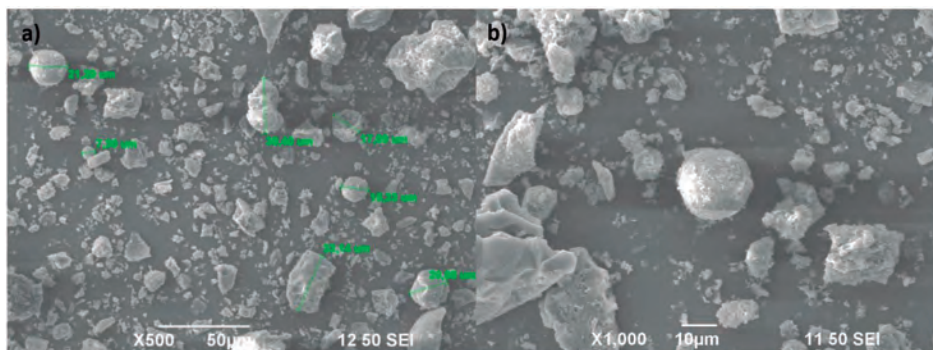


Figura 2. Morfología de la ceniza volante tomada a diferentes aumentos. a) x500 y b) x1000
Fuente: Los autores

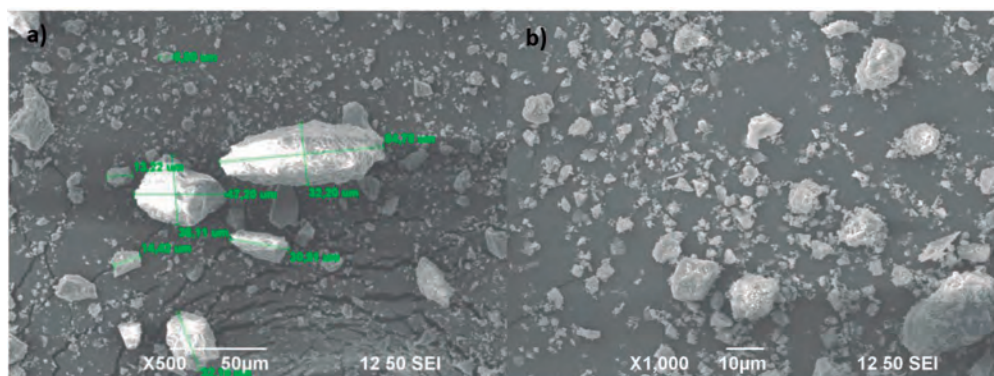


Figura 3. Morfología de la escoria tomada a diferentes aumentos. a) x500 y b) x1000
Fuente: Los autores

El índice de actividad de resistencia IAR se calculó empleando la norma ASTM C311; este se realizó mediante la relación de la resistencia a la compresión de morteros con relación 1:2,75 de cemento: arena. Se reemplazó de 20 % de cemento en masa del cemento por la adición y la resistencia a la compresión de un mortero de control (100 % cemento Portland como material cementante). De acuerdo con la Tabla 3 las adiciones tienen actividades favorables, ya que el IAR supera lo establecido por la norma (75 %).

Tabla 3. Resultados índice de actividad de resistencia (IAR) a los 28 días de curado.

Muestra	% Adición	Resistencia a la Compresión (MPa)	IAR (%)
Mortero patrón	0	25,5	-
Mortero adicionado con ceniza volante	20	32,9	129
Mortero adicionado con escoria	20	33,6	131

Fuente: Los autores

Resultados de los CAC en estado fresco

Los valores de las pruebas en estado fresco de las mezclas de los CACs se presentan en la Tabla 4. El ensayo de flujo de asentamiento se realizó mediante el cono de Abrams, el cual permite cuantificar la capacidad que tiene el concreto para deformarse bajo la acción de su propio peso contra la fricción de la superficie sin una restricción presente (Felekoğlu, Türkel, y Baradan, 2007). Todas las mezclas mostraron una buena trabajabilidad con valores de flujo de asentamiento entre 670 mm y 690 mm. La prueba de caja en L caracteriza la capacidad de paso y relleno de los CACs. En general, cuando la relación de bloqueo de la caja en L es inferior a 0,8 existe un riesgo de que haya bloqueo (H2/H1), esta debe de estar entre 0,8 y 1,0. Todas las mezclas de CAC están dentro de este rango. El embudo en V evalúa la capacidad de relleno y la viscosidad de los CAC; los tiempos en esta prueba fueron aceptables para algunas mezclas de CAC como son las adicionadas con ceniza volante y 50 % de escoria ya que su valor fue inferior a 12 s, como lo especificado por la EFNARC, sin embargo todas las mezclas de concreto autocompactante llenaron los moldes completamente por la acción de su propio peso sin necesidad de vibrado. Con estas pruebas se validaron las características en estado fresco de los CAC.

Tabla 4. Ensayos en estado fresco de los CAC

	Cono de Abrams Spread (mm)	Caja en L H2/H1	Embudo en V Tiempo (seg)
Patrón	670	0,82	18
CAC 35% E	690	0,85	13,5
CAC 50% E	685	0,83	11,2
CAC 35% CV	687	0,88	11,1
CAC 50% CV	689	0,96	10,8

Fuente: Los autores

Resultados de los CAC endurecido

Las propiedades en estado endurecido fueron obtenidas mediante ensayos de resistencia a la compresión, tracción indirecta, flexión, absorción y porosidad, succión capilar y resistencia al ion cloruro.

Resistencia a la compresión

En la Figura 4 se presenta la resistencia a la compresión a diferentes edades de curado. Cuando se compara la mezcla de CAC de referencia (Patrón) con el CAC con escoria se observa un mejor comportamiento a todas las edades. Los CACs con escoria a los 28 días de curado superan en más del 40 % la resistencia a la compresión planteada en el diseño (35 MPa), mientras que el CAC 50 % CV se aproxima a ella, esto se atribuye a que es el CAC que tiene una mayor relación agua/ finos, y que las reacciones puzolánicas para la adición de CV se dan a edades prolongadas (Wongkeo, Thongsanitgarn, y Chaipanich, 2012; Lorca, Calabuig, Benlloch, Soriano, y Payá, 2014; Yu, Ni, Tang y Shen, 2018). El buen comportamiento presentado por los CAC con escoria se puede atribuir a que las partículas de escoria eran más finas que las del cemento lo cual conlleva a tener una mayor facilidad de ocupar o llenar espacios disponibles mejorando la distribución de partículas del cemento y, consecuentemente, mejoran la compacidad de la pasta logrando una mejor resistencia del concreto a partir de una mejor ocupación de espacios, además que el reemplazo del cemento por los subproductos de la combustión del carbón se realizó en peso, los cuales tienen una densidad menor, lo que supone un mayor volumen de pasta. A edades largas, como los 180 días de curado, se sigue conservando la misma tendencia logrando resistencia a la compresión de las mezclas en un rango de 50 MPa a 65,8 MPa.

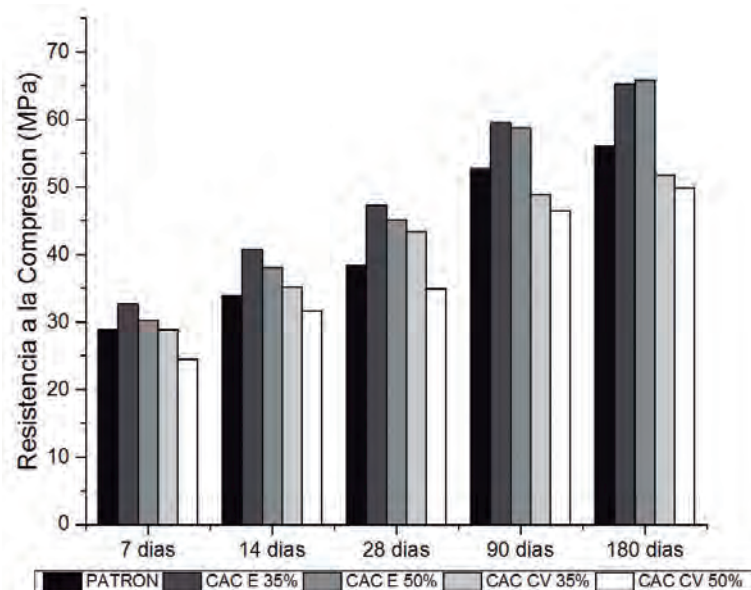


Figura 4. Resistencia a la compresión de los CACs.

Fuente: Los autores

Resistencia a la tracción indirecta

La resistencia a la tracción indirecta se define en el punto donde la falla es debida a la carga de compresión, induciendo un esfuerzo de tracción puro a lo largo del diámetro de la probeta (Chhorn, Hong, y Lee, 2018). Esta resistencia depende de múltiples factores como por ejemplo, el tipo de agregado, la distribución de tamaño de partícula, los días de curado del concreto y el contenido de aire (Neville y Brooks, 1988). Para hacer claro este aspecto, la Tabla 5 muestra la resistencia a la tracción indirecta a los 7, 28, 90 y 180 días de curado. En general los resultados muestran que las resistencias más altas las presentan los CACs con escoria. Los CAC con ceniza volante presentaron una disminución de la resistencia a la tracción indirecta comparado con el concreto patrón a las diferentes edades de curado. La resistencia de los CACs adicionados con ceniza volante oscila entre el 64 % y 83 % de la resistencia de la mezcla patrón a los 7 días de curado.

Tabla 5. Resistencia a la tracción indirecta a diferentes días de curado

Resistencia a la Tracción Indirecta (MPa)				
Días de Curado	7	28	90	180
Patrón	3,07	3,27	3,30	4,13
CAC 35% E	3,20	3,57	4,03	4,70
CAC 50% E	2,74	3,00	3,98	5,40
CAC 35% CV	2,56	3,70	3,89	4,05
CAC 50% CV	1,98	3,14	3,24	3,90

Fuente: Los autores

Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión se midió aplicando una carga a flexión en la mitad de la longitud de una viga de concreto estándar, soportada por dos apoyos. Como se observa en la Tabla 6, a los 7 y 28 días de curado el CAC E 35 % presentó la mayor resistencia a la flexión. A los 90 días de curado el CAC con 35 % de escoria tiene una resistencia 10 % superior a la del concreto Patrón, además se puede observar que a esta edad incluso el CAC con 50 % de escoria alcanzó valores de resistencia a la flexión superiores a la mezcla Patrón en un 20 %. Cabe destacar que este comportamiento no se presenta en las mezclas que contienen ceniza volante (35 % y 50 %), donde se obtienen valores de resistencia del 88 % y 87 % en relación con la mezcla patrón. Este mismo comportamiento se observó en la resistencia a la compresión cuando se incorpora esta cantidad de adición.

Tabla 6. Resistencia a la flexión a diferentes días de curado

Mezcla	Carga Máxima promedio (N)	Módulo de ruptura promedio (MPa)	Carga Máxima promedio (N)	Módulo de ruptura promedio (MPa)	Carga Máxima promedio (N)	Módulo de ruptura promedio (MPa)
	7 Días de curado		28 Días de curado		90 Días de curado	
Patrón	6200,5	5,45	7866,5	6,91	8587	7,55
CAC E 35%	7047,5	6,19	7885	6,93	9506	8,35
CAC E 50%	5744	5,05	6938,5	6,10	10340	9,09
CAC CV 35%	5056,5	4,44	7675	6,74	7588,5	6,67
CAC CV 50%	4890,5	4,30	6458,5	5,68	7530	6,62

Fuente: Los autores

Porosidad y succión capilar

En la Tabla 7 se presentan los resultados del ensayo de porosidad y absorción realizados de acuerdo con la ASTM C 642, los cuales indican un aumento en la cantidad total de poros en los CACs adicionados con ceniza volante (CV), esto se atribuye a que estos CACs tenían una mayor relación agua/finos. Pequeños cambios en este parámetro pueden significar apreciables diferencias en la porosidad, además del efecto dilución del cemento (Wongkeo, Thongsanitgarn, Ngamjarurojana, y Chaipanich, 2014). El CAC con 35 % de remplazo de escoria presentó una mayor porosidad que el CAC con 50 % de escoria, esto puede ser atribuido a que la sustitución del cemento se realizó en peso y la escoria al tener una densidad mucho menor, se adicionó un mayor volumen de este material. A diferencia los CACs que contienen ceniza volante, donde el de mayor reemplazo tiene una mayor porosidad debido principalmente a su mayor relación agua /finos.

Tabla 7. Resultados de ensayos de permeabilidad

	CAC	PATRON	E 35%	E 50%	CV 35%	CV 50%
Succión capilar	K (kg/m ² seg ^{1/2})	0,0039	0,0053	0,0052	0,0042	0,0061
	m (10 ⁷ s/m ²)	2,90	6,5	6,67	9,09	7,75
	Porosidad efectiva ϵ_0 (%)	0,036	0,039	0,042	0,039	0,053
Porosidad y absorción	Porosidad total (%)	10,9	10,25	10,1	10,8	13,35

Fuente: Los autores

El ensayo de succión capilar se llevó a cabo utilizando la norma SIA 162/1. La porosidad efectiva (ϵ_0) es menor para el CAC patrón y los CAC con escoria. Los CAC con ceniza volante presentan los valores más altos de coeficiente de resistencia a la penetración de agua (m) y menor coeficiente de absorción capilar (K). Este comportamiento es atribuido a los productos de reacción puzolánica que fueron capaces de obstruir las conexiones entre los poros capilares, aumentando la resistencia a la penetración del agua.

Resistencia a la penetración del ion cloruro

La Tabla 8 presenta los resultados de la permeabilidad a cloruros y resistividad de los CAC. En general se destaca el desempeño de los CAC adicionados, con una reducción de hasta un 79 % en la permeabilidad a cloruros, comparado con lo mostrado por el CAC patrón. Los resultados del ensayo ASTM C1202 permiten clasificar los CAC adicionados con ceniza volante (CV) como materiales de muy baja permeabilidad, los CAC con adición de la escoria (E) alcanzan a tener una permeabilidad baja y los CAC sin adición como de alta permeabilidad. De igual manera, la medida de la resistividad de los CAC adicionados, es significativamente mayor que la del CAC sin adición. Este comportamiento de los CAC adicionados se atribuye a las propiedades puzolánicas que presentaban los materiales (CV y E), las cuales han sido reveladas con los ensayos mostrados previamente. El mejor comportamiento de los concretos adicionados con ceniza volante se puede atribuir a la disminución en el tamaño de los poros y la reducción de las microfisuras en la zona de transición, lo cual se debe al hecho de que las partículas esféricas de la ceniza volante mejoran la densidad en la matriz y en la zona de interfaz entre los agregados y la pasta (Nehdi, Pardhan, y Koshowski, 2004; Patel, Hossain, Shehata, y Bouzoubaa, 2004; Siddique, 2011). Para la CAC con adición de escoria la reducción de la permeabilidad a cloruros se debe a la mejora en la estructura de los poros (reducción de tamaño de poro), por reacciones puzolánicas (Kasemchaisiri y Tangtermsirikul, 2008). Adicionalmente puede atribuirse este buen comportamiento a la capacidad de enlaces de la CV y E con el ion cloruro para formar la sal de friedel.

Tabla 8. Resultados de permeabilidad a cloruros y resistividad

Ensayo	CAC				
	Patrón	E 35%	E 50%	CV 35%	CV 50%
Permeabilidad a cloruros Carga (Culombios)	3425	1395	906	989	715
Resistividad (Ω .m)	59,81	146,87	231,03	182,10	233,83

Fuente: Los autores

Conclusiones

La presente investigación ha demostrado que es posible diseñar un CAC incorporando varios porcentajes de ceniza volante (CV) y escoria (E). Las propiedades en estado fresco de los concretos autocompatantes que contienen ceniza volante y escoria estaban en los rangos recomendados por la EFNARC, reflejándose en una adecuada fluidez, excelente capacidad de paso, buena capacidad de relleno y apropiada resistencia a la segregación.

Los concretos autocompactantes con ceniza volante necesitaron una mayor relación agua/cementante debido a que esta adición presentó un alto contenido de inquemados, el cual es un material poroso que demanda una mayor cantidad de agua para tener una adecuada fluidez.

Las mezclas con escoria mostraron un buen comportamiento en los ensayos mecánicos a las diferentes edades de curado (7, 14, 28, 90 y 180 días). En la resistencia a la compresión, los CAC con 35 % y 50 % de escoria logran aumentar las resistencias en un 17 % y 35 % respectivamente a los 28 días de curado, lo cual se debe a sus propiedades puzolánicas. Para CAC con ceniza volante el comportamiento mecánico no es tan satisfactorio a edades tempranas, en comparación con los CAC con escoria. Esto se atribuye a que es el CAC que tiene la mayor relación agua/finos, lo cual posee influencia en su desempeño en estado endurecido.

Los CAC con las adiciones mostraron una mayor resistencia al paso de cloruros, en comparación con el CAC patrón, resaltando el mejor desempeño los CACs adicionados con ceniza volante, este comportamiento se atribuye a las características físicas y químicas del material, mediante una mayor densificación en la matriz y en la zona de interfaz. Este comportamiento se corrobora con lo obtenido en succión capilar donde se resalta el buen comportamiento de los CACs adicionados, destacando el CAC adicionado con ceniza volante.

Agradecimientos

Los autores hacen reconocimiento del apoyo brindado por Colciencias para hacer posible esta investigación, por medio del programa de Jóvenes Investigadores. Igualmente, al Centro de Excelencia en Nuevos Materiales (CENM) por el apoyo logístico, al Grupo de Investigación Materiales Compuestos (GMC) y a la Escuela de Ingeniería de Materiales de la Universidad del Valle.

Referencias

- ASTM International. (2012). *Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens* (ASTM C39 / C39M). West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2015). *Standard Specification for Portland Cement* (ASTM C150/150M), West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2010). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete* (Using Simple Beam With Center-Point Loading) (ASTM C293/C293M) West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2011). *Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete*. (ASTM C311). West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2011). *Standard test method for split tensile strength of cylindrical concrete specimens* (ASTM C496/C496M). West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2013) *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete* (ASTM C642). West Conshohocken, PA.
- ASTM International.(2012) *Test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration* (ASTM C1202). West Conshohocken, PA.
- Bouzoubaâ, N., y Lachemi, M. (2001). Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash: Preliminary results. *Cement and Concrete Research*. 31(3) 413-420. doi: [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00504-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00504-4)

- Chhorn, C., Hong, S.J., y Lee, S.H. (2018). Relationship between compressive and tensile strengths of roller-compacted concrete. *Journal of traffic and transportation engineering*, 5(3), 215-223. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2017.09.002>
- EFNARC (2002). EFNARC, *Specifications and guidelines for self-compacting concrete*. In: European federation for specialist construction chemicals & concrete systems, 2002. Recuperado de: <http://www.efnarc.org/pdf/SandGforSCC.PDF>
- El-Gammal, A., Abdel-Gawad, A.K., El-Sherbini, Y., y Shalaby, A. (2010). Compressive strength of concrete utilizing waste tire rubber. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences* (1), 1, 96-99.
- Felekoğlu, B., Tosun, K., Baradan, B., Altun, A., y Uyulgan, B. (2006). The effect of fly ash and limestone fillers on the viscosity and compressive strength of self-compacting repair mortars. *Cement and Concrete Research*, 36(9), 1719-1726. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.04.002>
- Felekoğlu, B., Türkel, S., y Baradan, B. (2007). Effect of water /cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete. *Building and Environment*, 42(4), 1795-1802. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.01.012>
- Ganjian, E., Khorami, M., y Maghsoudi, A.A. (2009). Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete. *Construction and Building Materials*, 23(5): 1828-1836. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.09.020>
- Karakurt, C., Çelik, A. O., Yilmazer, C., Kiriççi, V., y Özyasar, E. (2018). CFD simulations of self-compacting concrete with discrete phase modeling. *Construction and Building Materials*, 186, 20-30. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.106>
- Kasemchaisiri, R., y Tangtermsirikul, S. (2008). Properties of self-compacting concrete in incorporating bottom ash as a partial replacement of fine aggregate. *Science Asia* 34, 087-095. doi: <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2008.34.087>
- Khatib, J.M. (2008). Performance of self-compacting concrete containing fly ash. *Construction and Building Materials*, 22(9), 1963-1971. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.07.011>
- Kutchko, B.G., y Kim, A.G. (2006). Fly ash characterization by SEM-EDS. *Fuel*, 85(17-18), 2537-2544. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.05.016>
- Liu, M. (2010). Self-compacting concrete with different levels of pulverized fuel ash. *Construction and Building Materials*, 24(7), 1245-1252. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.12.012>
- Lorca, P., Calabuig, R., Benlloch, J., Soriano, L., y Payá, J. (2014). Microconcrete with partial replacement of Portland cement by fly ash and hydrated lime addition. *Materials & Design*, 64, 535-541. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.08.022>
- Medina, A., Gamero, P., Querol, X., Moreno, N., De León, B., Almanza, M., Vargas, G., Izquierdo, M., Font, O. (2010). Fly ash from a Mexican mineral coal I: Mineralogical and chemical characterization. *Journal of Hazardous Materials*, 181 (1-3): 82-90. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.04.096>
- Mohamed, H.A. (2011). Effect of fly ash and silica fume on compressive strength of self-compacting concrete under different curing conditions. *Ain Shams Engineering Journal*, 2(2), 79-86. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2011.06.001>

- Nehdi, M., Pardhan, M., y Koshowski, S. (2004). Durability of self-consolidating concrete incorporating high-volume replacement composite cements. *Cement and Concrete Research*, 34(11), 2103-2112. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.03.018>
- Neville, A.M., y Brooks, J.J. (1988). *Concrete Technology*. Harlow, Essex: Pearson Educaiton.
- Nguyen, H-A., Chang, P-A., Shih, J-Y., y Djayaprabha, H.S. (2018). Enhancement of low-cement self-compacting concrete with dolomite powder. *Construction and Building Materials*, 161, 539-546. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.148>
- Okamura, H., y Ouchi, M., (2003). Self-Compacting Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 1(1), 5-15. doi: <https://doi.org/10.3151/jact.1.5>
- Omrane, M., Kenai, S., Kadri, E-H., y Aït-Mokhtar, A. (2017). Performance and durability of self compacting concrete using recycled concrete aggregates and natural pozzolan. *Journal of Cleaner Production*. 165, 415-430. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.139>
- Patel, R., Hossain, K. M. A., Shehata, M., y Bouzoubaa, N. (2004). Development of Statistical Models for Mixture Design of High-Volume Fly Ash Self-Consolidating Concrete. *Materials Journal*, 101(4): 294-302. doi: <https://doi.org/10.14359/13363>
- Rahman, M.M., Usman, M., y Al-Ghalib, A.A. (2012). Fundamental properties of rubber modified self-compacting concrete (RMSCC). *Construction and Building Materials*, 36, 630-637. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.116>
- Ryan, P.C., y O'Connor, A. (2016). Comparing the durability of self-compacting concretes and conventionally vibrated concretes in chloride rich environments. *Construction and Building materials*, 120, 504-513. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.089>
- Siddique, R. (2011). Properties of self-compacting concrete containing class F fly ash. *Materials & Design*. 32(3), 1501-1507. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.08.043>
- Siddique, R., Aggarwal, P., Aggarwal, Y. (2012). Influence of water/powder ratio on strength properties of self-compacting concrete containing coal fly ash and bottom ash. *Construction and Building Materials*. 29, 73-81. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.035>
- Sonebi, M. (2004). Medium strength self-compacting concrete containing fly ash: Modelling using factorial experimental plans. *Cement and Concrete Research*, 34(7), 1199-1208. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.12.022>
- Swiss Society of engineers and architects (SIA). (1989). *Norma de ensayo Swiss Standard - SIA 162/1 - Succión Capilar*. SIA.
- Topçu, İ.B., y Bilir, T. (2009). Experimental investigation of some fresh and hardened properties of rubberized self-compacting concrete. *Materials y Design*, 30(8), 3056-3065. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.12.011>
- Uygunoglu, T., y Topçu, İ.B.(2010). The role of scrap rubber particles on the drying shrinkage and mechanical properties of self-consolidating mortars. *Construction and Building. Materials*, 24 (7),1141-1150. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.12.027>
- Uysal, M., y Sumer, M. (2011). Performance of self-compacting concrete containing different mineral admixtures. *Construction and Building Materials*, 25(11), 4112-4120. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.032>

- Uysal, M., y Yilmaz, K. (2011). Effect of mineral admixtures on properties of self-compacting concrete. *Cement and Concrete Composites*, 33(7), 771-776. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.04.005>
- Vakhshouri, B., y Nejadi, S. (2018). Prediction of compressive strength of self-compacting concrete by ANFIS models. *Neurocomputing*, 280, 13-22. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.09.099>
- Valcuende, M., Parra, C., Marco, E., Garrido, A., Martínez, E., y Cánoves, J., (2012). Influence of limestone filler and viscosity-modifying admixture on the porous structure of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 28(1), 122-128. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.029>
- Wongkeo, W., Thongsanitgarn, P., y Chaipanich, A. (2012). Compressive strength and drying shrinkage of fly ash-bottom ash-silica fume multi-blended cement mortars. *Materials y Design (1980-2015)*, 36, 655-662. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.11.043>
- Wongkeo, W., Thongsanitgarn, P., Ngamjarurojana, A., y Chaipanich, A. (2014). Compressive strength and chloride resistance of self-compacting concrete containing high level fly ash and silica fume. *Materials & Design*, 64, 261 - 269. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.07.042>
- Yu, Z., Ni, C., Tang M., y Shen, X., (2018). Relationship between water permeability and pore structure of Portland cement paste blended with fly ash. *Construction and building materials*. 175, 458-466. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.147>

Condiciones óptimas de deslignificación del aserrín de *Pinus patula* como etapa crucial en la obtención de bioetanol

Optimal conditions sawdust delignification of *Pinus patula* as crucial step in obtaining bioethanol

Rodrigo Andrés Sarria-Villa^{1*}
José Antonio Gallo-Corredor²
Ricardo Benítez-Benítez³

¹Colombiano. Ph.D. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia. Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. Grupo de Investigación en Química Analítica Ambiental (GIQA). *Autor de correspondencia: rodrigov@unicauca.edu.co.

²Colombiano. M.Sc. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia. Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. Grupo de Investigación en Química Analítica Ambiental (GIQA). E-mail: jagallo@unicauca.edu.co.

³Colombiano. Ph.D. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia. Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. E-mail: rbenitez@unicauca.edu.co.

Recibido: 17-03-2018 Aceptado: 27-08-2018

Resumen

El peso creciente del sector del transporte en la demanda de energía pone de manifiesto la necesidad de emprender acciones para mejorar la eficiencia y desarrollar alternativas energéticas. Una gran parte de los materiales con alto contenido en celulosa son susceptibles de ser utilizados como materia prima para la producción de biocarburantes, se generan como residuos en los procesos productivos de los sectores agrícola, forestal e industrial. El residuo utilizado en este caso proviene de la especie de *Pinus patula*. La deslignificación es una etapa crucial previa a la obtención de bioetanol, al permitir acceder a la celulosa y lograr su transformación. En este trabajo se estudiaron las mejores condiciones para lograr la deslignificación del aserrín de *Pinus patula* cultivado en el departamento del Cauca, alcanzando las mejores condiciones de deslignificación al emplear hidróxido de sodio al 12 %, un tiempo de reacción de 60 min y uso de malla 30 (600 µm), lo cual permitió obtener porcentajes de celulosa entre 63 y 72 % y porcentajes de muestra hidrolizada entre 10 y el 15 %.

Palabras clave: Aserrín; lignina; *pinus patula*; bioetanol; deslignificación; pretratamiento.

Abstract

The growing of the transport sector in demand for energy highlights the need to take action to improve efficiency and develop energy alternatives. Much of the materials with high cellulose content are likely to be used as raw material for the production of biofuels. They are generated as waste in productive processes of crops, forestry and industrial sectors. The residue used in this case comes from the species of *Pinus patula*. It is a prior delignification stage crucial to obtain bioethanol, by allowing access to the cellulose and achieve transformation. In this work we studied the best conditions to achieve the delignification of *Pinus patula* sawdust cultivated in the department of Cauca reaching the best conditions of delignification using 12 % sodium hydroxide, a reaction time of 60 min using 30 mesh (600 µm), which yielded percentages of cellulose between 63 and 72 % and rates of samples hydrolyzed between 10 and 15 %.

Keywords: Sawdust; lignin; *pinus patula*; bioethanol; delignification; pretreatment.

Cómo citar: Sarria-Villa, R. A., Gallo-Corredor, J. A., Benítez-Benítez, R. (2018). Condiciones óptimas de deslignificación del aserrín de *Pinus patula* como etapa crucial en la obtención de bioetanol. *Informador Técnico*, 82(2), 160-171. doi: <https://doi.org/10.23850/22565035.1401>

Introducción

La estrategia para la diversificación energética en el transporte contempla diferentes posibilidades al utilizar distintos tipos de producción de energía. Los biocarburantes son combustibles de origen vegetal que presentan características similares y pueden ser mezclados en baja proporción con los combustibles fósiles para ser empleados en motores de combustión convencionales. Además, no contienen azufre, uno de los principales causantes de la lluvia ácida (Negro *et al.*, 2000). Para la obtención de alcohol a partir de residuos lignocelulósicos se deben realizar tres procesos consecutivos tales como hidrólisis básica, hidrólisis enzimática y fermentación de los carbohidratos obtenidos.

La composición química de biomasa varía entre las especies, esta consta principalmente de celulosa, lignina y hemicelulosa. La mayoría de las especies contiene también aproximadamente 5 % de una tercera porción de fragmentos moleculares más pequeños llamados extractivos (Fengel y Wegener, 1989). La celulosa cristalina es la fracción mayoritaria de la biomasa lignocelulósica. Está compuesta de cadenas largas de moléculas de D- glucosa unidas por enlaces $\beta(1-4)$ que a su vez se agrupan en estructuras superiores de gran cristalinidad, lo que dificulta su hidrólisis y conversión a azúcares fermentables. La lignina es el segundo biopolímero más abundante de la naturaleza después de la celulosa y es un complejo formado por un polímero tridimensional de residuos de fenilpropano ligadas por enlaces éter y enlaces carbono-carbono, se encuentra alrededor de las microfibrillas de celulosa en un estado amorfo (Negro *et al.*, 2000). La hemicelulosa está formada por polímeros de azúcares de cinco átomos de carbono (principalmente xilosa). Esta fracción es fácilmente hidrolizable ya que no presenta estructura cristalina; sin embargo, la xilosa es un azúcar difícil de fermentar a etanol (Negro *et al.*, 2000).

El objetivo del pretratamiento de sustratos lignocelulósicos es lograr la descomposición de los componentes poliméricos y formar azúcares monoméricos y así incrementar la conversión enzimática de la fracción celulósica para aumentar la digestibilidad del material para bioconversión microbiana y enzimática y obtener un alto rendimiento de producción de etanol (Zilliox any Debeire, 1998). Por lo tanto, el pretratamiento es esencial para la remoción de la lignina, la reducción de la cristalinidad de la celulosa y el incremento de la porosidad del material.

Diferentes tipos de métodos de pretratamientos han sido investigados por varios investigadores tales como explosión a vapor, tratamiento con ácido sulfúrico diluido, tratamiento con álcali, dióxido de azufre, extracción con solvente orgánico, agua subcrítica y supercrítica, tratamiento biológico mediante el empleo de hongos, entre otros (Liu y Wyman, 2005). Estudios de pretratamientos ácidos se han realizado empleando ácido sulfúrico (Hsu, Guo, Chen, Hwang, 2010), ácido clorhídrico (Marcotullio y Krisanti, 2011), ácido fosfórico (Geddes *et al.*, 2010) y ácido nítrico (Zhang, Lu, Liu, Wang, y Zhang, 2011). En varios trabajos científicos se ha reportado que el pretratamiento ácido incrementa la hidrólisis de hemicelulosas y porciones de la celulosa amorfa y también incrementa la recuperación de monómeros de hemicelulosas en la fracción líquida y celulosa digestibles en la fracción sólida (Linde, Jakobsson, Galbe, y Zachhi, 2008; Sassner, Martensson, Galbe, y Zacchi, 2008; Yang y Wyman, 2008). El pretratamiento con ácido diluido (0,5 – 1,5 %, temperatura por encima de los 160 °C) ha demostrado ser un método más favorable para aplicaciones industriales al proporcionar porcentajes de rendimiento de azúcares como xylosa entre 75-90 % obtenidos a partir de hemicelulosas. Para el pretratamiento con álcalis normalmente se emplea el hidróxido de sodio, hidróxido de potasio y el hidróxido de calcio. La hidrólisis alcalina normalmente involucra la saponificación de enlaces éster intermoleculares cruzados con el grupo xilano de las hemicelulosas y otros componentes y la porosidad de la biomasa lignocelulósica se incrementa con la remoción de los enlaces cruzados (Tarkov y Feist, 1969). La eficiencia de la hidrólisis alcalina depende del sustrato y de las condiciones del tratamiento, siendo este más efectivo en biomasa con bajo contenido de lignina como los residuos agrícolas. El hidróxido de sodio incrementa la superficie interna de la celulosa, decreciendo el grado de polimerización y cristalinidad y rompiendo la estructura de la lignina (Taherzadeh y Karimi, 2008). Autores han reportado que la realización de un pretratamiento oxidativo con cal al material vegetal de álamo a condiciones de 150 °C por 6 horas, remueve eficientemente el 77,5 % de la lignina presente en trozos de madera y también incrementa el rendimiento de obtención de glucosa (Chang, Nagwani, Kim, y Holtzapfel, 2001).

En el departamento del Cauca existen más de 14.000 ha de bosques cultivados con coníferas y mirtáceas, ubicadas en los municipios de Popayán, Cajibío, Sotará y Timbío. La especie *Pinus patula* presenta un gran potencial de aprovechamiento forestal (Gallo, Sarria-Villa, y Palta, 2012; Gallo y Sarria, 2013). El pretratamiento de los materiales lignocelulósicos tiene

por objeto remover la barrera de lignina y modificar la estructura cristalina de la celulosa. Dentro de los pretratamientos, el más utilizado es el que se efectúa con hidróxido de sodio en diferentes condiciones (Sánchez y Clavijo, 1982; Camacho, Gonzales, Jiménez, y Moya, 1987). El pretratamiento busca facilitar el contacto entre el material celulósico y la enzima, para aumentar el área de contacto entre el sólido y la solución; romper el sello de lignina que rodea las moléculas de celulosa en la mayoría de los residuos celulósicos y disminuir el efecto de la orientación de las moléculas de celulosa (Mojica, Peñaloza, y Retamoso, 1984). La efectividad del álcali es atribuida a la disolución de las hemicelulosas y parte de la lignina, acompañado de un hinchamiento de la celulosa, saponificación de los enlaces éter intermoleculares y de una reducción del grado de polimerización de la celulosa. Con este método no se observan cambios en el grado de cristalinidad de la molécula de celulosa (Cunningham y López 1994).

Entre los compuestos de degradación de la lignina se encuentran el ácido *r*-cúmarico, el 4 – hidroxí – benzaldehído y el ácido ferúlico. Además de los compuestos mencionados anteriormente, durante la hidrólisis básica de la lignina también se forman catecol, vainillina, siringaldehído, ácido vanílinico y polímeros de bajo peso molecular, los cuales reaccionan produciendo entrecruzamiento y condensaciones, reduciendo la reactividad y valor de la lignina. Una vez que se produce la hidrólisis de la lignina, se realiza el proceso de hidrólisis, el cual puede ser enzimático o químico, con el fin de obtener oligosacáridos de cadenas cortas y glucosa (Sucklin, 1990). Una vez realizada la hidrólisis, se lleva a cabo el proceso de fermentación donde la glucosa es transformada en etanol y dióxido de carbono, obteniéndose una fermentación ideal con una conversión del 95 %, pero debido a la formación de algunos productos secundarios menores como propanol, butanol, metanol, glicerol y ácido láctico, entre otros, se obtiene una conversión del 94,5 % (Lima, 2000). Para una alta producción de bioetanol, es necesario llevar a cabo una hidrólisis de la lignina para obtener altos rendimientos de celulosa. La lignina influye en la accesibilidad a la celulosa. Algunos materiales vegetales que se emplean para la obtención de etanol, como los tallos de algodón, pueden llegar a tener hasta un 30,52 % de lignina (Shi, Sharma-Shivappa, Chinn, y Howell, 2009), la paja de arroz (10-15 %) (Zhang y Cai, 2008). El pretratamiento del material vegetal para eliminar la lignina puede aumentar la cantidad de celulosa en el proceso. El uso de licor de amonio para el tratamiento de pajas de soya ha permitido cantidades de celulosa de un 42,55 %, 6,97 % de hemicelulosa y 12,32 % de lignina. Por lo tanto, comparado con el contenido del material vegetal sin tratamiento, se da un incremento en la celulosa del 70,27 % y decrecimiento de hemicelulosa y lignina en un 41,45 % y 30,16 % respectivamente (Xu, Wnag, Jiang, Yang, y Ji, 2007; Moncada et al., 2016).

Materiales y métodos

Procesamiento de las muestras

Las muestras de aserrín de *Pinus patula* fueron sometidas a un análisis fisicoquímico para determinación de humedad, celulosa, hemicelulosa y lignina. Para efectuar el proceso de hidrólisis del material lignocelulósico se realizó un diseño experimental tipo factorial 2² variando la concentración de hidróxido de sodio (p/v) y el tiempo de hidrólisis (min). Los resultados fueron analizados empleando el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.

Tratamiento físico

Se obtuvieron las muestras de aserrín, utilizando una sierra eléctrica (manual Skill 3 ¼ HP), luego se pasaron por un molino eléctrico (Retsch – Germany SK100) y se tamizaron utilizando tamices malla 30 y 40. Las muestras se guardaron en un lugar seco para proceder con los análisis respectivos.

Análisis fisicoquímico

En el análisis fisicoquímico, inicialmente se determinó el porcentaje de humedad existente en las muestras de aserrín de *Pinus patula*.

Determinación de humedad de las muestras de aserrín

El porcentaje de humedad del aserrín de *Pinus patula* fue determinado por diferencia de peso. Se colocó una muestra de 1.000 g en la estufa (Fisher scientific isotemp oven) a 105 °C previamente molida y pasada por un tamiz de malla 30 hasta peso constante.

Determinación de hemicelulosa por el método neutro detergente y ácido detergente de Van Soest

En un segundo paso, con la utilización de los métodos neutro detergente y ácido detergente propuesto por Van Soest (Moncada, Cardona, Higuaita, Vélez, y López-Suarez, 2016) se determinó el contenido de hemicelulosa, para las respectivas muestras. Cada ensayo se efectuó por triplicado. Se utilizó un equipo de reflujo con balones de fondo plano de 500 mL y se preparó un litro de solución neutro detergente que contenía sulfato lauril sódico GR (Grado Reactivo). Ácido etilendiamino tetracético (EDTA) GR, borato de sodio decahidratado GR, fosfato disódico anhidro GR y éter etílico GR. Se pesaron 1.000 g de muestra molida y pasada por tamiz malla 30 y se depositaron en el balón, luego se agregaron 100 mL de solución neutro detergente, 1,6 mL de naftaleno y 0,500 g de sulfito de sodio. Se calentó y se mantuvo el reflujo por 60 min después de la ebullición. Luego se colocó la solución con la muestra suspendida en un embudo de porosidad gruesa y se filtró al vacío, se lavó con agua caliente y luego acetona. Los embudos con la muestra se secaron a 105 °C durante toda la noche y después de enfriarlos en desecador se pesaron para calcular el porcentaje de hemicelulosa (w1). Luego se preparó 1,0 L de solución ácido detergente que contenía ácido sulfúrico GR 1,0 N y 20,00 g de bromuro de cetil trimetil amonio GR. Para iniciar el procedimiento se pesaron 1.000 g de aserrín y se depositaron en un balón de 500 mL, se adicionó 100 mL de solución ácida detergente y 1,6 mL de naftaleno, después se reflujo por 60 min, luego se filtró a través de un embudo de porosidad gruesa previamente pesado y se lavó con agua caliente (90 – 100 °C) y luego con acetona. La muestra se secó a 105 °C en estufa, se enfrió en un desecador y se pesó (w2). La diferencia entre el contenido de fibra por el método de detergente neutro (w1), y detergente ácido (w2) es el porcentaje de hemicelulosa presente en la muestra. Las determinaciones de los dos componentes mayoritarios del aserrín se realizaron por separado, utilizando las metodologías implementadas en la industria papelera que a continuación se mencionan (ASTM, 1985).

Determinación de celulosa por el método de Kurscher y Hoffer

Se pesaron 1.000 g de aserrín seco tamizado por malla 40, se colocaron en un balón de 250 mL y se adicionó a esta muestra 20 mL de alcohol etílico al 95 % GA (Grado Analítico) y 5,0 mL de ácido nítrico concentrado GR. Se reflujo en un baño María por tiempo inferior a 1 hora, luego se decantó la solución sobre un embudo de porosidad gruesa previamente tarado, el procedimiento antes descrito se repitió una vez más y por último se llevó a cabo una tercera digestión con 100 mL de agua destilada durante 1 h. Cumplido este tiempo se filtró en un embudo de porosidad gruesa, previamente tarado y se lavó el residuo varias veces con agua destilada caliente, luego se lavó con una solución saturada de acetato de sodio y nuevamente con agua caliente. Se secó a 105 °C hasta peso constante y se registró el peso obtenido. Luego se calculó el porcentaje de celulosa en base seca.

Determinación del contenido de lignina por el método Klason

Se colocaron 1.000 g de aserrín seco, molido pasado por un tamiz malla 40, en un vaso de 50 mL y se adicionaron 15 mL de ácido sulfúrico GR frío al 72 %, macerando la muestra con una varilla de vidrio y mantenido el recipiente en un baño a 20 °C por dos horas, agitando regularmente. Al cabo de este tiempo se pasó el contenido del vaso a un balón de 1000 mL de fondo redondo con 575 mL de agua destilada hasta obtener una concentración de ácido sulfúrico al 3,0 %. Esta solución se mantuvo a reflujo por cuatro horas y se dejó en reposo para que se sedimente durante aproximadamente 12 h, luego se decantó el líquido sobrenadante sobre el embudo de porosidad gruesa (Kimax Brand 40-60 µm) previamente tarado, transfiriendo luego la lignina al embudo usando agua caliente hasta quitar completamente el ácido, posteriormente se secó a 105 °C, se enfrió en desecador y se pesó, para calcular finalmente el porcentaje de lignina en base seca.

Tratamiento de las muestras

Pretratamiento de las muestras de aserrín de *Pinus patula* con hidróxido de sodio (hidrólisis básica).

Para realizar la hidrólisis básica se pesaron 35.000 g de aserrín de la especie en estudio y se depositaron en un reactor de acero inoxidable grado 304 que tiene un volumen de 500 mL, se le adicionó 250 mL de hidróxido de sodio GR (Grado Reactivo); (se trabajó con tres concentraciones 9, 10 y 12 % p/v). El reactor fue conectado a una termocupla y se procedió al calentamiento hasta alcanzar una temperatura de $176^{\circ}\text{C} \pm 2$ la cual se mantuvo durante 60 y 90 min. De este procedimiento se obtienen los licores negros, a los cuales se les determinó la cantidad de soda residual mediante un análisis volumétrico. El residuo sólido se lavó cuidadosamente con agua hasta neutralidad y se secó en estufa, los datos se reportan en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos para Hidrólisis Básica de aserrín de *Pinus patula*

Muestra	W muestra inicial (g)	[NaOH] %p/v	Tiempo (min)	Soda Residual (mL)	W muestra final (g)	% de muestra hidrolizada
m1-30	35,005	9,0	60	0,70	26,940	12,45±0,026
m2-30	35,006	9,0	90	0,53	29,110	5,290±0,035
m3-30	35,223	10	60	1,56	24,620	20,48±0,044
m4-30	35,007	10	90	1,13	27,900	9,330±0,020
m5-30	35,004	12	60	2,53	27,660	10,11±0,026
m6-30	35,000	12	90	1,70	26,100	15,18±0,035
m1-40	35,005	9,0	60	0,60	28,240	8,220±0,017
m2-40	35,005	9,0	90	0,15	26,470	13,98±0,111
m3-40	35,140	10	60	0,36	27,900	9,680±0,044
m4-40	35,001	10	90	0,21	26,690	13,26±0,035
m5-40	35,031	12	60	1,40	25,860	16,01±0,053
m6-40	35,004	12	90	2,16	24200	21,35±0,035

Fuente: Los Autores

Determinación de soda residual en los licores negros

Se tomaron 10 mL de licor negro mediante una pipeta volumétrica y se depositaron en un erlenmeyer de 250 mL, se adicionó 50 mL de agua destilada y 10 mL de una solución de cloruro de bario al 10 %, luego se tituló la mezcla con ácido clorhídrico GR 0,25 N hasta un pH de 8,3 potenciométricamente y se reportó el volumen consumido de ácido para realizar los respectivos cálculos y establecer las concentraciones adecuadas de hidróxido de sodio durante la hidrólisis básica.

Determinación del número permanganato (Lignina residual)

Para la determinación de la efectividad de la hidrólisis básica, en cuanto al grado de deslignificación obtenido, se hizo la determinación del "Número Permanganato", para lo cual se tomaron 1.000 g de muestra tratada y se colocaron en un beaker de 600 mL, el cual contenía 200 mL de agua destilada y un agitador magnético. Mediante una plancha con agitación la muestra se mezcla y se verifica que no haya grumos. En un erlenmeyer de 250 mL se depositan 25 mL de permanganato de potasio GR 0,100 N y 25 mL de ácido sulfúrico 0,280 N, esta mezcla se adiciona al contenido del beaker y se coloca en marcha un cronómetro, inmediatamente se midieron 25 mL de sulfato ferroso amoniacal GR, 0,100 N depositándose en el mismo erlenmeyer que antes contenía las soluciones de ácido y permanganato, así mismo se midieron 100 mL de agua destilada en una probeta graduada. La reacción se suspendió a los tres (3) min agregando el contenido del erlenmeyer en el vaso, la agitación se suspendió a los 15 s. Luego se filtró en un embudo Buchner y el filtrado se tituló con una solución de permanganato de potasio 0,100 N hasta obtener una coloración violeta pálido. Se anotó el volumen gastado durante la titulación y con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de lignina residual en las muestras ya hidrolizadas.

Resultados y discusión

Todos los análisis que se realizaron para determinar los componentes del aserrín de la especie de *Pinus patula* en estudio se hicieron por triplicado. En la Tabla 2 se muestran los promedios de los datos obtenidos para humedad, celulosa, lignina y hemicelulosa. También se presentan estos valores para coníferas.

Tabla 2. Resultados del Análisis Bromatológico de aserrín

Determinación (%)	<i>Pinus patula</i>	Conífera ^{*j}
Humedad	12,10 ± 0,20	-
Celulosa	54,75 ± 0,15	40 – 45
Lignina	27,98 ± 0,11	25 – 30
Hemicelulosa	7,80 ± 0,10	20

*Díaz, 1986

Fuente: Los autores

Hidrólisis básica

Todas las determinaciones se hicieron por triplicado, teniendo un total de 36 muestras. Inmediatamente después de realizar la hidrólisis básica de todas las muestras se determinó la soda residual, o análisis de alcalinidad residual a los licores negros, con el fin de saber cuánto sodio reaccionó en el proceso. Las muestras fueron lavadas cuidadosamente con agua destilada hasta la neutralidad, luego se secaron en un horno para análisis posteriores. En la Figura 1 se muestra el reactor de acero inoxidable en el cual se llevó a cabo la hidrólisis básica, también una muestra de licor negro y aserrín después de la hidrólisis.



Figura 1. Reactor para la realización de la hidrólisis básica, licor negro y aserrín después de la hidrólisis.

Fuente: Los autores

Los datos reportados en la Tabla 1 muestran los resultados obtenidos después de la hidrólisis básica de las muestras de *Pinus patula* tamizadas por malla 30 y por malla 40. En los datos reportados en la Tabla 1, se puede apreciar que de las muestras tamizadas por malla 30, la que presenta mayor porcentaje de hidrólisis es la tratada con hidróxido de sodio al

10 %, pero en general se presenta un comportamiento poco secuencial. Se pudo observar que con malla 30, 10 % de hidróxido de sodio y 90 min se obtienen porcentajes de muestra hidrolizada más bajo que con un tiempo de 60 min. De igual forma se observa para malla 30, 9 % de hidróxido de sodio y 90 min, un porcentaje más alto a tiempos de 60 min. Lo contrario ocurre para malla 30, 12 % de hidróxido de sodio, donde se obtienen porcentajes más altos a tiempos de 90 min. Para malla 40, concentraciones de hidróxido de 9, 10 y 12 % se observan mayores rendimientos a tiempos altos de 90 min. Teniendo en cuenta estos resultados, se muestra que tamaños de partícula pequeños facilitan la hidrólisis a concentraciones intermedias y menores tiempos de reacción. (Singh, Shukla, Tiwari, y Srivastava, 2014). Se pudo observar una alta correlación (0,993) entre la concentración de hidróxido y el porcentaje de muestra hidrolizada a malla 30 y tiempo de 90 min. También se observó alta correlación (0,976) entre la concentración de hidróxido y el porcentaje de muestra hidrolizada a malla 40 y tiempo de 60 min. De esta tabla también se puede concluir que el porcentaje de hidrólisis para las muestras tamizadas por malla 40, aumenta a medida que aumenta la concentración de hidróxido de sodio y el tiempo de reacción. El porcentaje de muestra hidrolizada en el pretratamiento básico representa una fracción de la muestra que fue extraída, el cual consiste de carbohidratos solubles (pentosas, xilosas, etc.), resinas, lignina, hemicelulosa hidrolizada durante el pretratamiento y productos de degradación de la celulosa. Se estima que la celulosa no se hidrolizó en esta etapa, puesto que para lograrlo se necesitan condiciones más severas como son: temperatura por encima de los 180 °C y tiempo de reacción no menor de dos horas (Mojica *et al.*, 1984; Díaz, 1986). Un adecuado pretratamiento involucra el rompimiento de los enlaces de hidrógeno de la celulosa cristalina, la ruptura de la matriz hemicelulosa-lignina, y finalmente, un incremento de la porosidad y área superficial de la celulosa para la subsecuente hidrólisis enzimática (Mood *et al.*, 2013). Se pudo observar en los resultados de la Tabla 4, un incremento en el porcentaje promedio de celulosa del 8,67 al 10,23 % después de realizar el pretratamiento, al compararse con el contenido de celulosa reportado en la Tabla 1, lo cual indica que el pretratamiento usando la solución alcalina incrementa la disponibilidad de celulosa para una posterior hidrólisis. Para incrementar la digestibilidad de la celulosa se deben remover grandes cantidades de hemicelulosa debido a que la hemicelulosa cubre fibrillas de la celulosa limitando su disponibilidad para realizar una hidrólisis enzimática (Singh *et al.*, 2014).

La cantidad requerida para efectuar una buena deslignificación depende de la especie de la madera y de otros factores tales como la dimensión de la madera, pero está en el orden del 12 % (p/v) de solución de hidróxido de sodio, que es con la que en nuestro caso se logra un mayor grado de hidrólisis (McDonald, 1970; Saddler, Hogan, Chan, y Louis-Seize, 1982). De acuerdo con nuestros resultados respecto a los valores obtenidos de soda residual, se puede decir que en todos los casos siempre hay presencia de ella, pero no es adecuado trabajar con valores muy bajos, lo más apropiado es tener aproximadamente un 2 % de soda residual en un proceso como el realizado para la deslignificación del aserrín de la especie en estudio. Estudios del pretratamiento para especies como el Pino rojo han arrojado porcentajes de madera no tratada del 1,8 al 3,7 % (Zhu, Pan, Wang, y Gleisner, 2009). Además, es un parámetro a tener en cuenta en un proceso productivo, ya que sirve como control de consumo de reactivos e indica si existe una cantidad susceptible de recuperar (Alkasrawi, Galbe, y Zacchi, 2002; Dowe y McMillan 2000).

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza (ANOVA), realizado con ayuda del software Statgraphics Centurion XVI. El análisis de varianza se llevó a cabo para determinar la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental; de esta manera se obtienen los valores de los parámetros significativos en el proceso de hidrólisis básica del aserrín de *Pinus patula*.

Tabla 3. Análisis de varianza para la hidrólisis del aserrín de *Pinus patula*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentracion	14,2506	1	14,2506	0,68	0,5607
B:Tiempo	19,5027	1	19,5027	0,93	0,5111
AA	29,3356	1	29,3356	1,40	0,4464
AB	50,5145	1	50,5145	2,42	0,3640
Error total	20,9157	1	20,9157		
Total (corr.)	137,833	5			

Fuente: Los autores

Los resultados estadísticos de ANOVA presentados en la Tabla 3 muestran que en el proceso de hidrólisis básica del aserrín de *Pinus patula* la concentración de hidróxido de sodio y el tiempo no muestran un efecto significativo en su rendimiento, debido a que ningún factor presenta un valor-P menor que 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95,0 %. El diagrama de Pareto, mostrado en la Figura 2, muestra que ni la concentración de hidróxido de sodio ni el tiempo de reacción influyen significativamente sobre el porcentaje de hidrólisis. Se puede observar en el diagrama de Pareto una influencia positiva de la concentración de hidróxido de sodio, lo que indica que a medida que aumenta la concentración mayor es el rendimiento del proceso de hidrólisis y una influencia negativa del tiempo de reacción, indicando que el rendimiento aumenta al disminuir el tiempo de reacción.

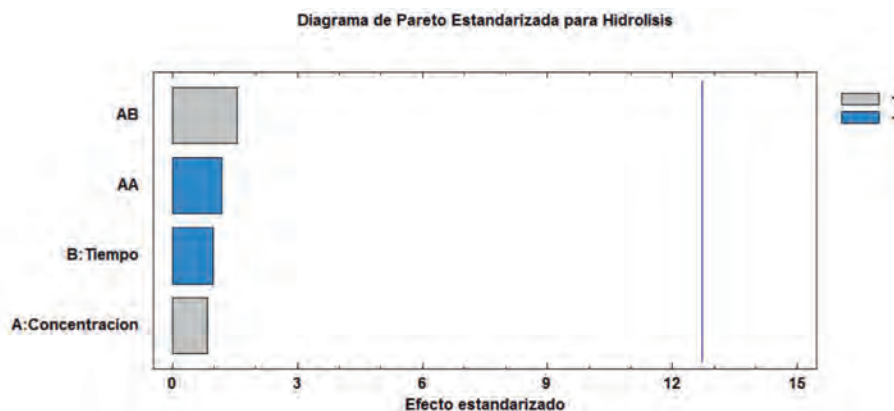


Figura 2. Diagrama de Pareto para el proceso de hidrólisis del aserrín de *Pinus patula*.
Fuente: Los autores

La Tabla 4 presenta la combinación de los valores de los factores, con la cual se maximiza el porcentaje de rendimiento de hidrólisis del aserrín de *Pinus patula* para alcanzar un rendimiento máximo del 18,07 %.

Tabla 4. Parámetros para una respuesta para maximizar el porcentaje de rendimiento de hidrólisis del aserrín de *Pinus patula*

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Concentración	9,0	12,0	10,2766
Tiempo	60,0	90,0	60,0

Fuente: Los autores

El número permanganato es una medida que permite corroborar el grado de deslignificación logrado durante el proceso, debido a que determina el porcentaje de lignina residual. La lignina residual debe expresarse como el volumen en mililitros de permanganato de potasio para oxidar una cantidad equivalente de ella:

$$\# \text{KMnO}_4 (\text{mL}) = \frac{V \times N \text{KMnO}_4}{0,1} + \frac{25 (N \text{KMnO}_4 - N \text{FAS})}{0,1} \quad (1)$$

En donde:

25 = Volumen de KMnO_4 y FAS adicionados a la mezcla de reacción

0,1 = Normalidad de las soluciones

V = Volumen de KMnO_4 gastado en la titulación.

N KMnO_4 = Normalidad del KMnO_4 .

N FAS = Normalidad del Sulfato ferroso amoniacal.

En la Tabla 5 se muestran los resultados de la determinación del número permanganato de las muestras de aserrín hidrolizadas con hidróxido de sodio. Se puede observar que el volumen gastado de permanganato de potasio en la titulación, corresponde al mismo número permanganato, esto se debe a que durante la realización de las pruebas se trabajó

con soluciones de concentraciones iguales y por lo tanto el segundo factor de la ecuación 1 es igual a cero. En general, se puede observar que los resultados del # KMnO_4 se encuentran entre 10 y 20 mL, lo que correspondería aproximadamente a un porcentaje de lignina residual entre el 2,5 % y 4,8 %, de acuerdo con la tabla de correlación entre diferentes números de grado de deslignificación y el porcentaje de lignina Klason presente (ASTM, 1985). Debido a los porcentajes bajos de lignina residual se puede concluir que el pretratamiento utilizado, en este caso, la hidrólisis básica, es adecuado para los fines que se busca conseguir, como son la deslignificación del aserrín para obtener un sustrato casi libre de lignina y una mayor superficie de contacto, para una posterior hidrólisis enzimática (Mood *et al.*, 2013., Singh *et al.*, 2014).

Tabla 5. Datos y resultados del # KMnO_4 para *Pinus patula*

Muestra	W muestra (g)	[NaOH] %	Tiempo (min.)	V KMnO_4 (mL)	# KMnO_4 (mL)
m1-30	1.000	9,0	60	10,6	10,6
m2-30	1.000	9,0	90	10,0	10,0
m3-30	1.000	10	60	15,0	15,0
m4-30	1.000	10	90	10,2	10,2
m5-30	1.000	12	60	9,40	9,4
m6-30	1.000	12	90	11,0	11,0
m1-40	1.000	9,0	60	16,1	16,1
m2-40	1.000	9,0	90	14,7	14,7
m3-40	1.000	10	60	14,0	14,0
m4-40	1.000	10	90	14,5	14,5
m5-40	1.000	12	60	14,5	14,5
m6-40	1.000	12	90	13,5	13,5

Fuente: Los autores

El contenido de celulosa presente en las muestras ya hidrolizadas, y que fue determinado tomando 1.000 g de aserrín digestado, permitió conocer el incremento en el porcentaje de celulosa en las muestras hidrolizadas. Los resultados de estos análisis se observan en la Tabla 6. Se pudo observar para las muestras de aserrín de *Pinus patula* que casi todos los tratamientos son apropiados para que haya una mayor disponibilidad del contenido de celulosa (Stenberg, Bollók, Réczey, Galbe, y Zacchi, 2000), obteniéndose los mejores resultados cuando las muestras se trataron con soluciones de hidróxido de sodio al 10 y 12 %, un tamaño de malla 30 y un tiempo de 60 min.

Tabla 6. Celulosa presente después del pretratamiento para *Pinus patula*

Muestra	W muestra (g)	[NaOH] %	Tiempo (min)	% celulosa
m1-30	1.000	9,0	60	55,98
m2-30	1.000	9,0	90	60,92
m3-30	1.000	10	60	70,38
m4-30	1.000	10	90	66,38
m5-30	1.000	12	60	63,62
m6-30	1.000	12	90	72,58
m1-40	1.000	9,0	60	59,08
m2-40	1.000	9,0	90	63,18
m3-40	1.000	10	60	66,08
m4-40	1.000	10	90	62,44
m5-40	1.000	12	60	61,10
m6-40	1.000	12	90	68,63

Fuente: Los autores

Con los resultados reportados anteriormente se pudo establecer que las muestras de la especie *Pinus patula* más indicadas para ser sometidas a un ataque enzimático son las que se trataron con hidróxido de sodio con concentraciones del 10 y 12 % pero tamizadas por malla 30, debido a los mayores porcentajes de celulosa (Alegría y Muñoz, 2004).

Conclusiones

El pretratamiento básico es un procedimiento de vital aplicación para el aprovechamiento del material de interés (celulosa), ya que elimina gran parte de la lignina presente en un alto porcentaje en la especie objeto de estudio. En general el pretratamiento más favorable para la especie *P. patula* se obtuvo empleando hidróxido de sodio al 12 %. Entre los tiempos empleados se alcanzó una mayor deslignificación a 60 min y tamizaje por malla 30 (600 µm). Este pretratamiento permite obtener un mayor porcentaje de muestra hidrolizada y un mayor porcentaje de celulosa, con un alto rendimiento de hidrólisis y de obtención de bioetanol.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Colciencias, Smurfit Cartón de Colombia, Cootraforc y a la Universidad del Cauca por el apoyo brindado durante el desarrollo de esta investigación.

Referencias

- Alegría, F., y Muñoz, A. (2004). *Obtención de etanol a partir de aserrín de Pinus patula y Pinus oocarpa mediante hidrólisis básica y enzimática, y cuantificación por cromatografía de gases*. (Trabajo de grado). Universidad del Cauca, Colombia.
- Alkasrawi, M., Galbe, M., y Zacchi, G. (2002). Recirculation of process stream in fuel ethanol production from softwood based on simultaneous saccharification and fermentation. *Biochemistry and Biotechnology*, 98, 849-861. doi: <https://doi.org/10.1385/ABAB:98-100:1-9:849>
- ASTM International. (1985). *Standard Test Method for Acid-Insoluble Lignin in Wood (ASTM D-1106-84)*. Annual Book of standards. Vol. 04.09 Feb. (1985).
- Camacho, F., Gonzales, P., Jiménez, J. M., y Moya, M. (1987). Influencia de las condiciones de pretratamiento con NaOH sobre la eficacia de la hidrólisis enzimática de la paja de trigo. *Revista de agroquímica y tecnología de alimentos*, 27(2), 231-236.
- Chang, V.S., Nagwani, M., Kim, C.H., y Holtzapple, M.T. (2001). Oxidative lime pretreatment of high-lignin biomass: poplar wood and newspaper. *Applied biochemistry and biotechnology*, 94(1), 1-28. doi: <https://doi.org/10.1385/ABAB:94:1:01>
- Cunningham R. E. (Ed.) y López G. D. (Ed.). (1994). *Etanol de lignocelulósicos: tecnología y perspectivas*. Servicio de publicación e intercambio científico, Campus Universitario Santiago de Compostela.
- Díaz, A. (1986). *Ciencia de la madera*. Ciudad Habana, Cuba: Editorial ENPES.
- Dowe, N y McMillan, J. (2000). *SSF Experimental protocols: lignocelulosic Biomass Hydrolysis and Fermentation*. National Renewable Energy Laboratory (NREL) Analytical Procedures.
- Fengel, D. y G. Wegener. (1989). *Wood, chemistry, ultrastructure, reactions*. Nueva York: Walter de Gruyter Ed. p: 90-115.

- Gallo, J. A., Sarria-Villa, R., y Palta, J. (2012). Comparación de la producción resinera de dos especies de pino cultivadas en el municipio de Cajibío. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 4(1), 37-42. Disponible en: <http://jci.uniautonomia.edu.co/>
- Gallo, J., Sarria-Villa, R. (2013). Obtención de colofonia y trementina a partir de la resina de pino de la especie patula y posterior evaluación de los parámetros de calidad. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 5(1), 88-91. Recuperado de : <http://jci.uniautonomia.edu.co/>
- Geddes, C.C., Peterson, J.J., Roslander, C., Zacchi, G., Mullinnix, M.T., Shanmugam, K.T., Ingram, L. O. (2010). Optimizing the saccharification of sugar cane bagasse using dilute phosphoric acid followed by fungal cellulases. *Bioresource technology*, 101(6), 1851-1857. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.070>
- Hsu, T., Guo, G., Chen, W., y Hwang, W. (2010). Effect of dilute acid pretreatment of rice straw on structural properties and enzymatic hydrolysis. *Bioresource technology*, 101(13), 4907-4913. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.009>
- Lima, S. (2000). *Mejoramiento al ciclo de recuperación de soda cáustica en el pulpeo de bagazo*. (Trabajo de grado). Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Linde, M., Jakobsson, E. L., Galbe, M., y Zachhi, G. (2008). Steam pretreatment of dilute H₂SO₄ impregnated wheat straw and SSF with low yeast and enzyme loadings for bioethanol production. *Biomass and bioenergy*, 32(4), 326-332. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.09.013>
- Liu, C. G., y Wyman, C. E. (2005). Partial flow of compressed-hot water through corn stover to enhance hemicellulose sugar recovery and enzymatic digestibility of cellulose. *Bioresource technology*, 96(18), 1978-1985. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.01.012>
- Marcotullio, G., y Krisanti, E. (2011). Selective production of hemicellulose-derived carbohydrates from wheat straw using dilute HCl or FeCl₃ solutions under mild conditions. X-ray and thermo-gravimetric analysis of the solid residues. *Bioresource technology*, 102(10), 5917-5923. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.02.092>
- McDonald, R.G. (1970). *Pulp and paper manufacture*. Vol. II, Chap. 4. New York: McGraw-Hill.
- Mojica, H.M., Peñaloza, L.F., y Retamoso, C. (1984). Hidrólisis enzimática de residuos celulósicos. *Revista ION*, 8(1). 99-111.
- Moncada, J., Cardona, C. A., Higuaita, J. C., Vélez, J.J., y López-Suárez, F. E. (2016). Wood residue (*Pinus patula* bark) as an alternative feedstock for producing ethanol and furfural in Colombia: experimental, techno-economic and environmental assessments. *Chemical Engineering Science* 140, 309–318. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2015.10.027>
- Mood, S. H., Golfeshan, A. H., Tabatabaei, M., Jouzani, G. S., Najafi, G. H., Gholami, M., y Ardjmand, M. (2013). Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 27, 77-93. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.033>
- Negro, M.J., Manzanares, P., Ballesteros, I., Oliva, J.M., Cabañas, A., Ballesteros, M. (2000). Producción de etanol-combustible a partir de biomasa lignocelulósica. *V Congreso nacional del medio ambiente*. Fundación CONAMA, Madrid, España. 7 p.
- Saddler, J. N., Hogan, C., Chan, M. H., y Louis-Seize, G. (1982). Ethanol fermentation of enzymatically Hydrolysed pretreated wood fractions using *Trichoderma cellulases*, *Zymomonas mobilis*, and *Saccharomyces cerevisiae*. *Canadian Journal of Microbiology*, 28(12), 1311-1319. doi: <https://doi.org/10.1139/m82-196>

- Sánchez, C y Clavijo, O. (1982). *Estudio preliminar de la obtención de azúcares fermentables por ataque enzimático de residuos celulósicos*. (Trabajo de grado). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias, Bogotá, Colombia.
- Sassner, P., Martensson, C., Galbe, M., y Zacchi, G. (2008). Steam pretreatment of H₂SO₄-impregnated *Salix* for the production of bioethanol. *Bioresource Technology*, 99(1), 137-145. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.11.039>
- Shi, J., Sharma-Shivappa, R. R., Chinn, M., y Howell, N. (2009). Effect of microbial pretreatment on enzymatic hydrolysis and fermentation of cotton stalks for ethanol production. *Biomass and bioenergy*, 33(1), 88-96. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.04.016>
- Singh, R., Shukla, A., Tiwari, S., y Srivastava, M. (2014). A review on delignification of lignocellulosic biomass for enhancement of ethanol production potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 713-728. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.051>
- Stenberg, K., Bollók, M., Réczey, K., Galbe, M., y Zacchi, G. (2000). Effect of Substrate and Cellulase Concentration on Simultaneous Saccharification and Fermentation of Steam-Pretreated Softwood for Ethanol Production. *Biotechnology and Bioengineering*, 68(2), 204-210. doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0290\(20000420\)68:2<204::AID-BIT9>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0290(20000420)68:2<204::AID-BIT9>3.0.CO;2-4)
- Sucklin, J. (1990). *Enzyme Chemistry Impact and Applications*. Dordrecht: Springer Netherlands. doi: <https://doi.org/10.1007/978-94-009-1832-0>
- Taherzadeh, M. J., y Karimi, K. (2008). Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review. *International journal of molecular sciences*, 9(9), 1621-1651. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms9091621>
- Tarkov, H., y Feist, W.C. (1969). A mechanism for improving the digestibility of lignocellulosic materials with dilute alkali and liquid ammonia. *Advances in Chemistry Series*, (95), 197. doi: <https://doi.org/10.1021/ba-1969-0095.ch012>
- Xu, Z., Wnag, Q., Jiang, Z., Yang, X., y Ji, Y. (2007). Enzymatic hydrolysis of pretreated soybean Straw. *Biomass and Bioenergy*, 31(2), 162-167. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2006.06.015>
- Yang, B., y Wyman, C. E. (2008). Pretreatment: the key to unlocking low-cost cellulosic Etanol. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining: Innovation for a sustainable economy*, 2(1), 26-40. doi: <https://doi.org/10.1002/bbb.49>
- Zhang, Q., y Cai, W. (2008). Enzymatic hydrolysis of alkali-pretreated rice straw by *Trichoderma reesei* ZM4-F3. *Biomass and Bioenergy*, 32(12), 1130-1135. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.02.006>
- Zhang, R., Lu, X. B., Liu, Y., Wang, X., y Zhang, S. H. (2011). Kinetic study of dilute nitric acid treatment of corn stover at relatively high temperature. *Chemical Engineering & Technology*, 34(3), 409-414. doi: <https://doi.org/10.1002/ceat.201000258>
- Zhu, J. Y., Pan, X. J., Wang, G. S., y Gleisner, R. (2009). Sulfite pretreatment (SPORL) for robust enzymatic saccharification of spruce and red pine. *Bioresource Technology*, 100, 2411-2418. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.10.057>
- Zilliox, C., y Debeire, P. (1998). Hydrolysis of wheat straw by a thermostable endoxylanase: adsorption and kinetic studies. *Enzyme and Microbial technology*, 22(1), 58-63. doi: [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(97\)00105-1](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(97)00105-1)

Cultivo celular de una apatita bovina como sustituto óseo: pruebas preliminares

Cellular culture of a bovine apatite as a bone substitute: preliminar tests

Alana Payán Valero^{1*}
Yesenia Moreno Cepeda²
Juan Pablo Gil Bedoya³
Lorena Grueso Ruiz⁴
Juliana Guzmán Valencia⁵
Karen Jessenia Lozano Nieva⁶
María Carolina Pustovrh Ramos⁷
Carlos Humberto Valencia Llano⁸

¹Colombiana. Estudiante de odontología, Universidad del Valle. Cali, Colombia.
* Autor de correspondencia: apava-94@hotmail.com

²Colombiana. Estudiante de odontología, Universidad del Valle. Cali, Colombia.
E-mail: Yesenia.moreno@correounivalle.edu.co

³Colombiano. Estudiante de odontología, Universidad del Valle. Cali, Colombia.
E-mail: Jpgilb2@hotmail.com

⁴Colombiana. Estudiante de odontología, Universidad del Valle. Cali, Colombia.
E-mail: Lorena.grueso@correounivalle.edu.co

⁵Colombiana. Estudiante de odontología, Universidad del Valle. Cali, Colombia.
E-mail: Juliana.guzman@correounivalle.edu.co

⁶Colombiana. M.Sc. en Ingeniería, Universidad del Valle. Cali, Colombia. E-mail: kajeloni@gmail.com

⁷Argentina. Ph.D. en Ciencias Básicas, Docente Escuela de Odontología, Universidad del Valle. Cali, Colombia. E-mail: maria.pustovrh@correounivalle.edu.co

⁸Colombiano. Ph.D. en Ciencias Biomédicas, Universidad del Valle. Cali, Colombia.
E-mail: carlos.humberto.valencia@correounivalle.edu.co

Recibido: 17-02-2018 Aceptado: 27-06-2018

Resumen

Las pérdidas óseas limitan la posibilidad de rehabilitaciones odontológicas, siendo necesario en muchas ocasiones realizar procedimientos de reconstrucción ósea para la colocación de implantes intraóseos y mejorar los perfiles protésicos, para lo cual se indican los sustitutos óseos. El sustituto ideal es el hueso autólogo, pero existen alternativas como el tejido proveniente de donantes (homólogo), el de origen animal (xenólogo) y el sintético (aloplástico). En la Escuela de Ingeniería de Materiales de la Universidad del Valle se está desarrollando un sustituto óseo a partir de hidroxiapatita bovina, la cual fue obtenida de huesos de ternera procedentes de la industria cárnica, los cuales fueron lavados para eliminar grasa y tejidos blandos, fraccionados, molidos y sometidos a tratamiento térmico a 800 °C. Las muestras fueron caracterizadas mediante difracción de Rayos X (DRX) y espectroscopía de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR); en este trabajo se evaluó la capacidad osteoconductora del material realizando pruebas preliminares a 15 muestras que fueron cultivadas con osteoblastos por 15 días. Se determinaron las características de superficie de dichas muestras con Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) y Espectroscopia por Energía Dispersiva (EDS), con lo que se determinaron las funciones celulares como adhesión, maduración y formación de matriz extracelular. Los resultados mostraron adhesión y crecimiento celular, además de presencia de depósitos compatibles con matriz ósea extracelular con contenido orgánico e inorgánico, lo cual es un indicador de maduración.

Palabras clave: Hidroxiapatita; injertos óseos; xenoinjerto; matriz extracelular; osteoblastos.

Cómo citar: Payán Valero, A., Moreno Cepeda, Y., Gil Bedoya, J. P., Grueso Ruiz, L., Guzmán Valencia, J., Lozano Nieva, K. J., Pustovrh Ramos, M. C. y Valencia Llano, C. H. (2018). Cultivo celular de una apatita bovina como sustituto óseo: pruebas preliminares. *Informador Técnico*, 82(2), 172-180.
doi: <https://doi.org/10.23850/22565035.1376>

Abstract

The bone loss limits the possibility of dental rehabilitation, being necessary in many occasions to carry out bone reconstruction process for the placement of intraosseous implants and to improve the prosthetics profiles. The autologous bone is the ideal substitute, but there are other alternatives such as tissue of donor origin (homologous), animal origin (xenologous) and synthetic origin (alloplastic). At the engineering school of materials of the university of Valle, a bone substitute is being developed from bovine hydroxyapatite, which was obtained from veal bones previously washed (to eliminate fat and soft tissues) provided by the beef industry. These bones were fractionated, ground, and submitted to a thermal treatment up to 800 celsius degrees. The samples were characterised by X ray diffraction and fourier transformed infrared spectroscopy (FTIR). In this paper, the osteoconduction of the material was evaluated; for this purpose, 15 samples were submitted to preliminary tests and then cultured with osteoblasts for 15 days. The surface characteristics of these samples were determined by scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive spectroscopy (EDS), these characteristics determined cellular functions such as adhesion, maturation and extracellular matrix formation. The results revealed adhesion and cellular growth, as well as the presence of deposits that are compatible with extracellular osseous matrix and that disclose organic and inorganic contents, which is an indicator for maturing.

Keywords: Hydroxyapatite; bone grafts; xenograft; extracellular matrix; osteoblasts.

Introducción

Los huesos son órganos vascularizados e innervados que están compuestos de tejido óseo, médula ósea y un tejido conectivo circundante llamado periostio. Los huesos desempeñan una serie de funciones tales como apoyo a los músculos, protección de órganos internos, producción de sangre, homeostasis del calcio, tampón ácido / base, entre otros (Ratner, Hoffman, Schoen, y Lemons, 1996).

Existen varios tipos de células implicadas en la formación y remodelación del tejido óseo; entre éstas los osteoblastos, que son los encargados de sintetizar la matriz ósea; los osteocitos, los cuales son células diferenciadas terminalmente a partir de osteoblastos maduros que se han quedado dentro de una matriz calcificada; las células de recubrimiento óseo, también diferenciadas a partir de osteoblastos; y por último, los osteoclastos, cuyo papel en el metabolismo óseo es la resorción del hueso (Rucci y Teti, 2016).

Hay numerosos estudios sobre hueso debido (entre otras razones) a que es el segundo tejido más injertado; es considerado un tejido complejo con una estructura y una composición única que le permiten adaptarse a los requerimientos biológicos y biomecánicos del sistema, pero además posee capacidad de auto-regenerarse; sin embargo, la capacidad de auto-reparación está limitada por la pérdida de sustancia; en situaciones de pérdidas grandes (lesiones de tamaño crítico) se debe recurrir a sustitutos idóneos, cuya búsqueda ha impulsado importantes desarrollos en el campo de la ingeniería de tejido (Igwe, Amini, Mikael, Laurencin, y Nukavarapu, 2011).

En los últimos años, el desarrollo de las técnicas regenerativas ha dado impulso a la búsqueda de nuevos materiales para regeneración ósea que tendrían la función de actuar como matrices temporales estimulando a las células del tejido óseo para formar y mantener la matriz extracelular recuperándose una parte del tejido perdido. Para este fin se han creado los sustitutos óseos que suplen y regeneran los defectos del sistema estomatognático, originados en su mayor parte por pérdidas dentarias, traumas faciales y enfermedades sistémicas.

Los sustitutos deben cumplir ciertas funciones principales para lograr su desempeño como injerto óseo. Dentro de estas funciones se encuentran:

Osteogénesis: “Es la formación ósea que se produce desde las células que están presentes en el injerto, sobreviviendo al trasplante, proliferando y diferenciándose en osteoblastos” (Kao y Scott, 2007).

- **Osteoinducción:** Es la formación ósea en sitios donde normalmente no se forma hueso; "... es la estimulación y reclutamiento de células indiferenciadas mesenquimales en el sitio del injerto. Una vez en el sitio del injerto, las células madre se activan para diferenciarse en condrocitos y osteoblastos" (Kao y Scott, 2007), puede ser activa o pasiva (Daculsi, Fellah, Miramond, y Durand, 2013).

- **Osteoconducción:** Es el crecimiento de tejido y células madres mesenquimales en la estructura del material de injerto, esta matriz apoya y facilita el crecimiento del huésped, la migración de células osteoblásticas y la eventual fabricación de nuevo hueso (Daculsi *et al.*, 2013).

- **Osteointegración:** Es la capacidad del injerto para integrar y unirse al hueso receptor generando una resistencia estructural del material injertado a la compresión, torsión y al cizallamiento. Para que el injerto sea funcional, debe existir una cantidad de hueso nuevo en el injerto y unirse con el hueso del huésped (Kao y Scott, 2007).

Los sustitutos óseos se clasifican dependiendo del material del cual son obtenidos en:

- **Autoinjertos:** Tejido obtenido de otro sitio del mismo organismo que lo recibe (injerto autólogo). Son la mejor opción para defectos de gran tamaño, aunque presentan desventajas como mayor trauma quirúrgico, incremento del dolor para el paciente y mayor morbilidad (Tortolini y Rubio, 2012).

- **Alloinjertos (homoinjertos):** Tejido obtenido a partir de individuos donantes de la misma especie (Kao y Scott, 2007).

- **Xenoinjertos:** Tejido obtenido de una especie genéticamente diferente al huésped. Uno de los xenoinjertos más utilizados es el hueso bovino (Kao y Scott, 2007).

- **Aloplásticos:** Son materiales sintetizados en el laboratorio, los más utilizados son las cerámicas y los polímeros (Tortolini y Rubio, 2012).

El hueso autólogo ha sido considerado como el *gold standar* por sus cualidades osteogénicas, osteoinductivas y osteoconductoras (Wu, Li, y Lin, 2016), sin embargo, presenta algunas limitaciones, como el aumento del tiempo quirúrgico para la extracción del injerto óseo, la morbilidad del sitio del donante, la resorción del injerto y la disponibilidad limitada.

En el caso de regeneración de defectos de tamaño pequeño en cavidad oral es posible utilizar como sitios donantes la sínfisis mentoniana, la tuberosidad del maxilar y la rama mandibular (Tortolini y Rubio, 2012) y se ha estudiado la factibilidad de uso del proceso palatino maxilar como posible sitio donador para la reconstrucción de defectos (Bernades, Guijarro, y Hernández, 2016). El proceso palatino maxilar muestra una serie de ventajas, como la ubicación, tamaño y tipo de injerto; pero hay posibles complicaciones intra y postoperatorias (Wu *et al.*, 2016).

Las complicaciones relacionadas con los autoinjertos y la limitada oferta por ausencia de un número adecuado de donantes, en el caso de los homoinjertos, ha hecho necesaria la utilización de otras fuentes como los xenoinjertos y aloplásticos.

En las últimas décadas la hidroxiapatita ha sido considerada como la biocerámica más destacada con uso amplio en ortopedia y en odontología, su amplia utilización se explica por la similitud que presenta en su composición química y su similitud cristalográfica con el componente inorgánico de la matriz ósea extracelular (Ayatollahi, Yahya, Asgharzadeh Shirazi, y Has San, 2015). Vallet (2010) había mencionado la llegada de las biocerámicas de tercera generación, las cuales se consideran materiales bioactivos.

La demanda por cerámicas bioactivas se ha incrementado debido a sus propiedades biológicas que le permiten integrarse fácilmente con el hueso receptor (Niakan *et al.*, 2015). El hueso bovino es considerado una fuente potencial para la obtención de hidroxiapatita debido a que es un material económico, fácilmente disponible y con características muy similares al hueso humano (Ayatollahi *et al.*, 2015). Por tanto, en este artículo se presentan las caracterizaciones preliminares a un material cerámico de origen bovino con un uso potencial como sustituto óseo.

Materiales y métodos

Las partículas de apatita utilizadas fueron obtenidas en la Escuela de Ingeniería de materiales de la universidad del Valle (UV) a partir de huesos de ternera procedentes de la industria cárnica, los cuales fueron inicialmente lavados para eliminar tejidos blandos, fraccionados y sometidos a un proceso de secado a 130 °C durante 24 horas, bajo atmosfera de aire; posteriormente los fragmentos se molieron con molino de martillo y molino de bolas, para luego realizar el tratamiento térmico final a una tasa de calentamiento de 5 °C/min y 2 horas de sostenimiento a la temperatura de 800 °C.

Inicialmente a las partículas de hueso tratados térmicamente (a 800 °C), sin cultivar, se les realizó una serie de caracterizaciones, donde se esperaba observar la influencia del tratamiento térmico y tipo de hueso (tibia) en los resultados obtenidos, entre ellos: la porosidad (microporosidad y macroporosidad), la presencia o ausencia de compuestos orgánicos (como por ejemplo, grasas y proteínas), la microestructura y el grado de cristalinidad del fosfato de calcio fueron tomados en cuenta después de cultivar partículas grandes de aproximadamente 500-600 µm con osteoblastos por 15 días.

Se realizó un ensayo de FTIR a muestras de hidroxiapatita comercial, a muestras de hueso (porción cortical) y a las muestras experimentales con el fin de compararlas y determinar la presencia del componente orgánico de la matriz ósea extracelular. Los espectros se obtuvieron en un espectrofotómetro infrarrojo por Transformada de Fourier marca NICOLET 6700 FT-IR. Las muestras de fosfato de calcio fueron mezcladas con KBr y prensadas para formar pastillas, las cuales fueron analizadas en modo de transmisión en el intervalo de 4000 – 450 cm⁻¹.

Las muestras fueron caracterizadas mediante difracción de rayos X (DRX) para estudiar el incremento del grado de cristalinidad del mineral al aumentar la temperatura del tratamiento térmico a 800 °C; los patrones de difracción de rayos X de las partículas analizadas se obtuvieron en un equipo de rayos PANalytical modelo X'Pert Powder con geometría Bragg Brentano, utilizando radiación K α Cu ($\lambda=1,54056$ Å). La muestra se colocó en un porta muestras rotatorio y las difracciones se registraron en un intervalo angular de 10° < 2 θ < 70°.

Para los ensayos de cultivo celular se seleccionaron partículas de las muestras con tratamiento térmico a 800 °C; quince partículas de un tamaño promedio de 500 µm x 600 µm fueron seleccionados mediante tamizaje; cultivadas con osteoblastos murinos de un cultivo primario previamente caracterizado; mantenidas en medio de crecimiento osteogénico (OGMTM) durante 15 días, en cabina de incubación con CO₂ al 5 % a 37 °C y cambio de medio cada 3 días; después de completar el tiempo de cultivo, fueron retiradas y fijadas en alcoholes ascendentes (50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 95 % y 100 %) y secadas en cabinas de seguridad biológica a temperatura ambiente; una vez deshidratadas se analizaron por SEM y EDS para estudiar adhesión celular y formación de matriz ósea extracelular.

Esta investigación contó con el aval del comité de revisión de Ética de la Universidad del Valle.

Resultados y discusión

La prueba de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) es utilizada habitualmente para detectar presencia de componentes orgánicos e inorgánicos, en este trabajo se compararon las muestras de la apatita obtenida con muestras de hueso cortical y con muestras de hidroxiapatita comercial, encontrándose que en la apatita obtenida los espectros eran diferentes a los de las otras dos estudiadas, evidenciándose la ausencia de componentes orgánicos de la matriz ósea extracelular.

El espectro infrarrojo del hueso ha sido reportado por algunos investigadores, mostrando la presencia de las especies inorgánicas principales, grupos fosfato y carbonato, y también componentes orgánicos tales como grupos funcionales amida de los constituyentes de proteínas de hueso, es decir, colágeno (Boskey y Camacho, 2007). Las bandas asociadas con los grupos amida de proteínas de hueso en números de onda 1250, 1560 y 1650 cm⁻¹, efectivamente aparecieron en el FTIR del hueso deshidratado en la presente investigación, en números de onda 1250, 1549,4 y 1652,6 cm⁻¹; por otra parte, también hay presencia de bandas de absorción relacionadas con los enlaces C-H en números de onda 2852,6 y 2925,9 cm⁻¹, tal como se observa en la Figura 1. Para analizar las bandas correspondientes a los componentes inorgánicos que aparecen en el espectro

del hueso femoral de la figura 1, se pueden dividir las mismas en tres principales categorías, bandas de fosfatos, bandas de carbonatos y bandas del grupo hidroxilo. Una banda fuerte y relativamente ancha a $1043,6 \text{ cm}^{-1}$, bandas relativamente fuertes y estrechas a $472,5$, $565,9$ y 600 cm^{-1} , y otras a $961,5$ y $1089,0 \text{ cm}^{-1}$ que aparecen en el espectro FTIR están relacionadas a los grupos fosfato; las bandas que aparecen a $874,7$, $1417,5$ y $1456,2 \text{ cm}^{-1}$ están asociadas con los grupos carbonato con sustitución tipo B. Continuando con el análisis del espectro, encontramos que las bandas a 1250 , $1549,4$, $1652,6$, $2852,6$ y $2925,9 \text{ cm}^{-1}$ han desaparecido después del tratamiento térmico del hueso (800°C). Se puede inferir que lo anterior puede deberse a la eliminación de carbono y los grupos amida asociados a las proteínas presentes en el hueso en forma de gas de dióxido de carbono en presencia del oxígeno del aire. Las bandas originadas por los grupos fosfato ($1041,4$, $464,8$, $565,0$, $601,7$, $960,4$ y $1089,0 \text{ cm}^{-1}$) y carbonato ($874,7$, $1419,8$ y $1454,9 \text{ cm}^{-1}$) siguen apareciendo aproximadamente en las mismas longitudes de onda que para el hueso sin tratar térmicamente, lo que confirma que todas las bandas observadas en el FTIR del fosfato de calcio natural están relacionadas con los componentes inorgánicos del hueso que se trató térmicamente (Younesi, Javadpour, y Bahrololoom, 2011).

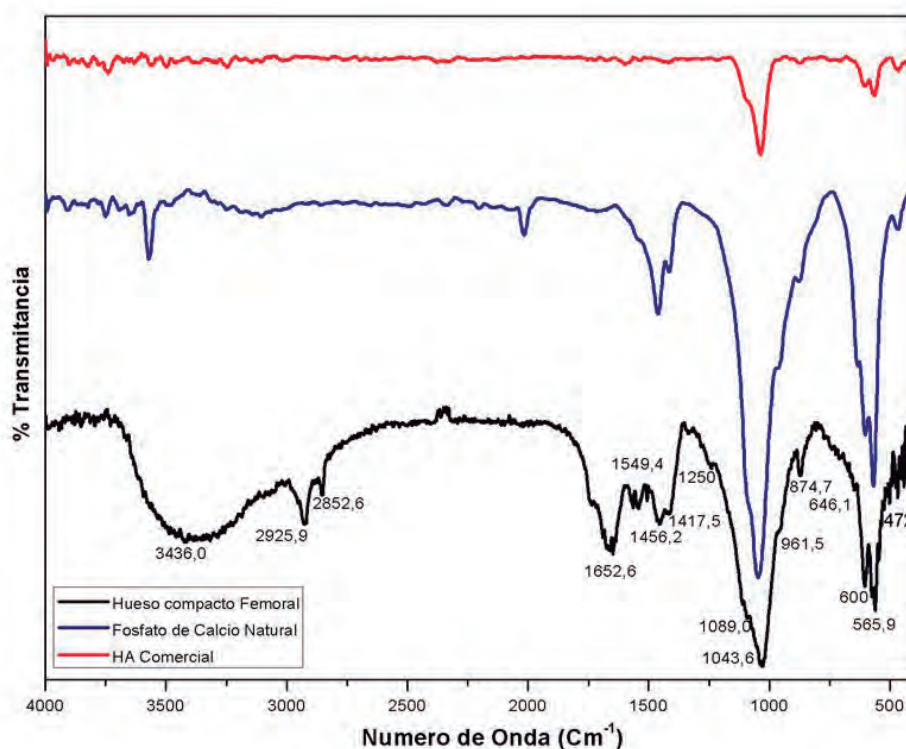


Figura 1. Análisis espectral de las tres muestras analizadas. Negro: Hueso compacto, Azul: Apatita, Rojo: Hidroxiapatita comercial, Técnica FTIR.
Fuente: Los autores.

La Figura 2 presenta los patrones DRX de hueso compacto femoral (deshidratado a 130°C), de Apatita Natural (partículas de hueso a las que se les realizó tratamiento térmico a 800°C) y de HA comercial usada como referencia en esta investigación. Se puede observar que al realizar el tratamiento térmico (800°C) a partículas de hueso compacto, los patrones de difracción muestran un incremento significativo de los picos, no obstante, los picos de difracción del hueso deshidratado (130°C) son muy anchos y poco alargados. Lo anterior nos permite evidenciar el incremento del grado de cristalinidad del mineral al aumentar la temperatura del tratamiento térmico.

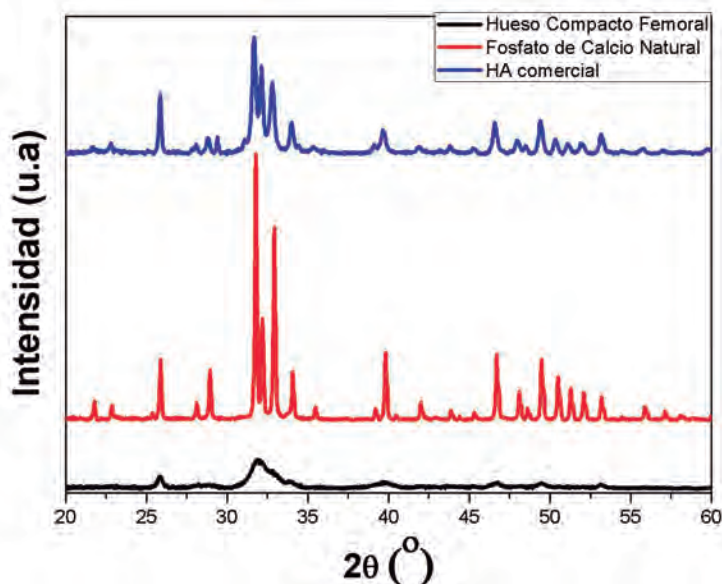


Figura 2. Patrones DRX realizadas a las tres muestras. Negro: Hueso compacto, Azul: Apatita, Rojo: Hidroxiapatita comercial, Técnica FTIR.
Fuente: Los autores.

Observaciones similares han sido reportadas por Shipman, Foster, y Schoeninger (1984), ellos analizaron los resultados de los patrones de DRX en términos de alteración en el tamaño del cristal, encontrando que se presentaba un incremento gradual en el tamaño del cristal de HA asociado con el incremento de la temperatura del tratamiento térmico. Por otro lado, hay que anotar que algunos factores químicos pueden afectar el tamaño de cristalito, entre los que se encuentra la desnaturalización de la matriz ósea durante la calcinación a través de la liberación de agua puesto que los cristales minerales recrystalizan y la eliminación de las redes de fibrillas de colágeno influye en el tamaño de los cristalitos de la ceniza de hueso (Rootare y Craig, 1977).

En las imágenes SEM de la Figura 3, correspondientes al fosfato de calcio natural, se puede observar que el tratamiento térmico de las partículas de hueso compacto de tibia molido (800 °C) da lugar a la formación de granos de gran tamaño. La formación de las partículas grandes en el proceso térmico puede deberse a la tendencia de los granos de fosfato de calcio a aglomerarse y crecer a altas temperaturas (Meejoo, Maneeprakorn, y Winotai, 2006). En la Figura 3, la micrografía del fosfato de calcio natural a bajos aumentos (150X) muestra la presencia de granos con geometría irregular, de diferentes tamaños y muy angulosos. Al realizar un mayor aumento (2000X) a las partículas, se observa que están completamente pobladas de poros con forma irregular, que presentaron tamaños desde 4 a 14 μm y algunas regiones cavernosas de hasta 50 μm . Este resultado es muy importante, puesto que se ha encontrado que cuando los fosfatos de calcio son porosos ofrecen una química de superficie que conduce a la nueva formación del hueso (Hendriks, Riesle, y Blitterswijk, 2010; López, 2003).

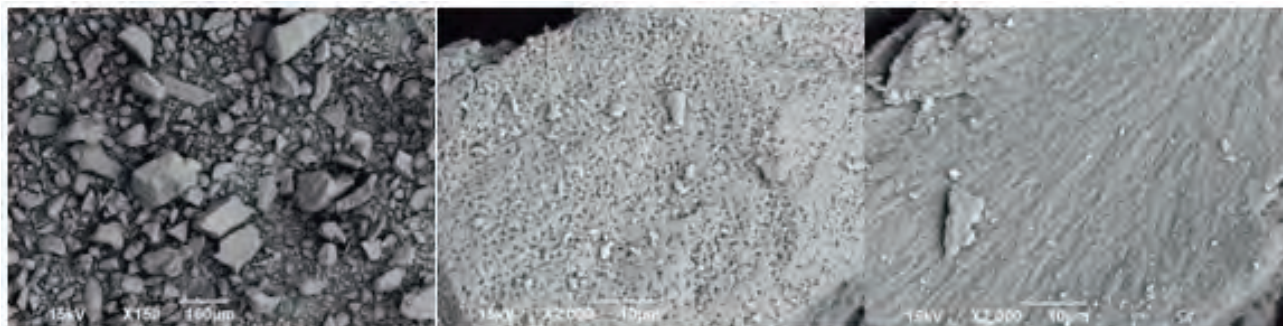


Figura 3. Muestra de apatita natural, tratada a 800°C. Técnica SEM, Imagen SEM a 150X (derecha) Y 2000X (centro e izquierda).
Fuente: Los autores.

Los análisis con SEM realizados en todas las muestras cultivadas revelan cómo las células (osteoblastos) aprovecharon las superficies irregulares de los granos para anclarse y producir matriz extracelular (figura 4).

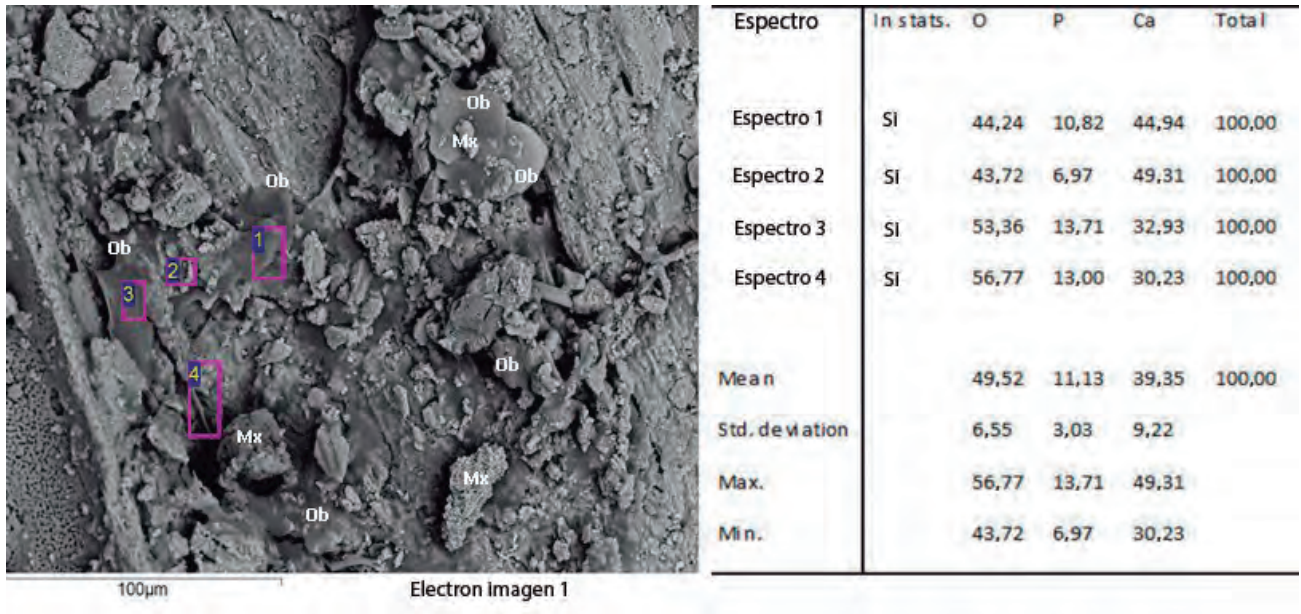


Figura 4. Muestra de apatita después de 15 días de cultivo; se observa presencia de componentes inorgánicos de la matriz ósea extracelular (P y Ca). Ob: Osteoblasto; Mx: Depósito de matriz ósea extracelular. Técnica SEM – EDS a 150 X.

Fuente: Los autores.

Los depósitos de material observados en las micrografías muestran estructuras fibrilares compatibles con colágeno y depósitos de fosfato de calcio, evidenciados mediante análisis por energía dispersiva (EDS); adicionalmente 2 de las 15 muestras mostraron presencia de nitrógeno (Figura 5), indicando la presencia de proteínas en la matriz extracelular formada.

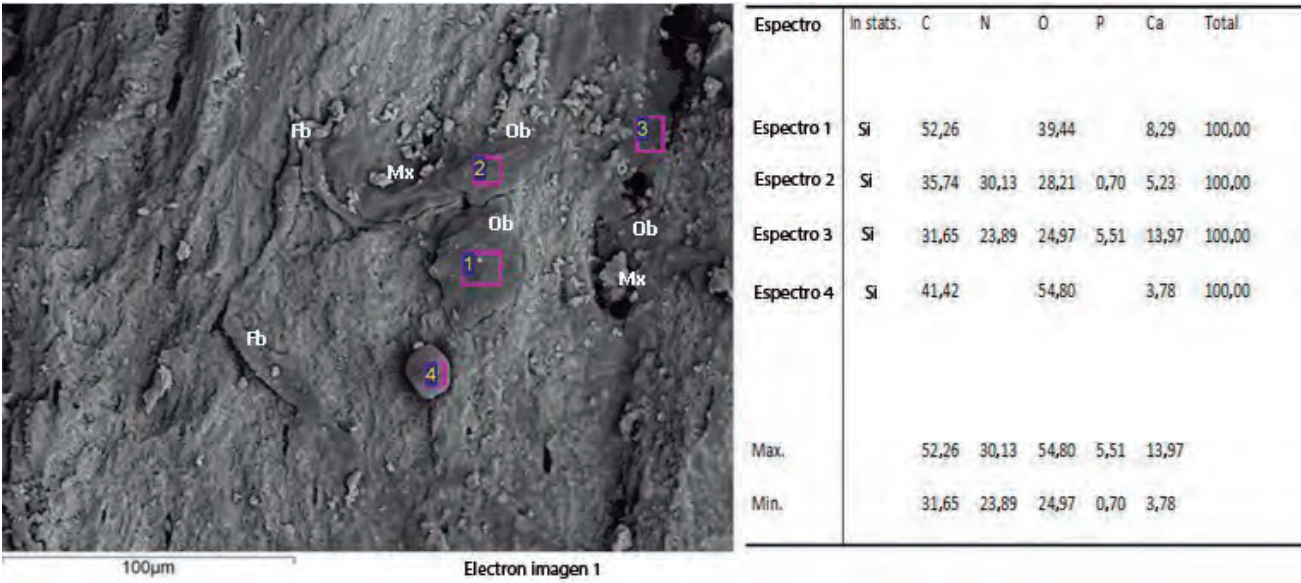


Figura 5. Muestra de apatita después de 15 días de cultivo; además de evidenciar la presencia de componentes inorgánicos de la matriz ósea extracelular (P y Ca), se observa nitrógeno, indicativo de la formación de proteínas. Ob: Osteoblasto; Mx: Deposito de matriz ósea extracelular. Técnica SEM – EDS a 150 X.

Fuente: Los autores.

El hallazgo tanto de fosfato de calcio como de nitrógeno en los análisis realizados son importantes en la medida que muestran cómo se está formando y mineralizando la matriz extracelular; de acuerdo con la caracterización realizada por Siggelkow *et al.* (1999) en un cultivo de osteoblastos murinos. La etapa proliferativa ocurre entre los días 0 y 12, la de maduración entre los días 12 y 20 y la de mineralización a partir del día 20, en esa investigación los cultivos se suspendieron al día 15, para este tiempo lo esperado era el hallazgo de colágeno y presencia de proteínas de matriz, así como depósitos de calcio y fósforo procedentes de los osteoblastos.

Nudelman, Lausch, Sommerdijk, y Sone (2013) muestran cómo el fosfato de calcio que se precipita inicialmente en la formación de la matriz extracelular bajo condiciones *in vitro* no se cristaliza como un producto estable, pero posteriormente se transforma en una fase más estable. En cuanto a los contenidos proteicos, éstos están representados en las proteínas colágenas cuya función es ensamblar la matriz extracelular y las proteínas no colágenas que guían el ensamble mismo de la matriz y su mineralización.

Conclusiones

Los resultados de la presente investigación mostraron que partículas de apatita natural de origen bovino permitieron la adhesión y proliferación de osteoblastos en su superficie, con la formación de depósitos de material compatibles con componentes orgánicos e inorgánicos de la matriz ósea extracelular.

Referencias

- Ayatollahi, M. R., Yahya, M. Y., Asgharzadeh Shirazi, H., y Hassan, S. A. (2015). Mechanical and tribological properties of hydroxyapatite nanoparticles extracted from natural bovine bone and the bone cement developed by nano-sized bovine hydroxyapatite filler. *Ceramics International*, 41(9), 10818–10827. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.05.021>
- Bernades Mayordomo, R., Guijarro Martínez, R., y Hernández Alfaro, F. (2016). The anterior maxilla as a potential source of bone grafts: a morphometric cone beam computed tomography analysis of different anatomical areas. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 45(8), 1049–1056. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2016.03.001>
- Boskey, A., y Camacho, N. P. (2007). FT-IR imaging of native and tissue-engineered bone and cartilage. *Biomaterials*, 28(15), 2465–2478. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2006.11.043>
- Daculsi, G., Fellah, B. H., Miramond, T., y Durand, M. (2013). Osteoconduction, Osteogenicity, Osteoinduction, what are the fundamental properties for a smart bone substitutes. *Irbm*, 34(4–5), 346–348. doi: <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2013.07.001>
- Hendriks, J., Riesle, J., y Blitterswijk, C. A. van. (2007). Co-culture in cartilage tissue engineering. *Journal of Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, 1(3), 170–178.
- Igwe, J., Amini, A., Mikael, P., Laurencin, C., y Nukavarapu, S. (2011). Nanostructured scaffolds for bone tissue engineering. In *Active implants and scaffolds for tissue regeneration* (pp. 169–192). Berlin, Heidelberg: Springer. doi: https://doi.org/10.1007/8415_2010_60
- Kao, S. T., y Scott, D. D. (2007). A Review of Bone Substitutes. *Oral Maxillofacial Surgery Clinics*, 19(4), 513–521. doi: <https://doi.org/10.1016/j.coms.2007.06.002>
- Khairallah, M., y Almeshaly, H. (2016). Present Strategies for Critical Bone Defects Regeneration. *Oral health case Rep* 2016, 2:3, 2:3.

- López, M. E. (2003). Hidroxiapatita macroporosa obtenida en la Universidad de Antioquia: síntesis, caracterización y comparación con el hueso esponjoso y calcinado de bovino. *Revista Facultad de Ingeniería*, 30(30), 109–124.
- Meejoo, S., Maneeprakorn, W., y Winotai, P. (2006). Phase and thermal stability of nanocrystalline hydroxyapatite prepared via microwave heating. *Thermochimica Acta*, 447(1), 115–120. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2006.04.013>
- Niakan, A., Ramesh, S., Ganesan, P., Tan, C. Y., Purbolaksono, J., Chandran, H., ... Teng, W. D. (2015). Sintering behaviour of natural porous hydroxyapatite derived from bovine bone. *Ceramics International*, 41(2), 3024–3029. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.10.138>
- Nudelman, F., Lausch, A. J., Sommerdijk, N. A. J. M., y Sone, E. D. (2013). In vitro models of collagen biomineralization. *Journal of Structural Biology*. 183(2), 258–269. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsb.2013.04.003>
- Ratner, B. D., Hoffman, A. S., Schoen, F. J., y Lemons, J. E. (1996). *Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine*. San Diego, CA, USA: Academic. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087780-8.00148-0>
- Rootare, H., y Craig, R. (1977). Vapor Phase Adsorption of Water on Hydroxyapatite. *Journal of dental research*, 56(12), 1437–1488.
- Rucci, N., y Teti, A. (2016). The “love-hate” relationship between osteoclasts and bone matrix. *Matrix Biology*, 52, 176–190. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matbio.2016.02.009>
- Shipman, P., Foster, G., y Schoeninger, M. (1984). Burnt Bones and Teeth: An Experimental Study of Color, Morphology, Crystal Structure and Shrinkage. *Journal of archaeological science*, 11(4), 307–325.
- Siggelkow, H., Rebenstorff, K., Kurre, W., Niedhart, C., Engel, I., Schulz, H., ... Hüfner, M. (1999). Development of the osteoblast phenotype in primary human osteoblasts in culture: Comparison with rat calvarial cells in osteoblast differentiation. *Journal of Cellular Biochemistry*, 75(1), 22–35.
- Tortolini, P., y Rubio, S. (2012). Diferentes alternativas de rellenos óseos. *Avances En Periodoncia E Implantología Oral*, 24(3), 133–138.
- Vallet, M. (2010). Tendencias en Biomateriales. *Revista de La Fundación de Ciencias de La Salud, Eidon*, 33, 6–10.
- Wu, J., Li, B., y Lin, X. (2016). Histological outcomes of sinus augmentation for dental implants with calcium phosphate or deproteinized bovine bone: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 45(11), 1471–1477. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2016.04.020>
- Younesi, M., Javadpour, S., y Bahrololoom, M. E. (2011). Effect of heat treatment temperature on chemical compositions of extracted hydroxyapatite from bovine bone ash. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 20(8), 1484–1490. doi: <https://doi.org/10.1007/s11665-010-9785-z>

Escenarios futuros del sector metalmecánico. Municipio de Tuluá y su zona de influencia. Horizonte 2018-2028

Future scenarios of the metal mechanical. Sector municipality of Tuluá and its area of influence. Horizon 2018 - 2028

Benjamin Betancourt Guerrero¹
Julián Andrés Cruz Jaramillo^{2*}

¹Colombiano M.Sc. Universidad del Valle Cali Colombia. Grupo de investigación Previsión y Pensamiento Estratégico

^{2*} Colombiano M.Sc. ITA. Grupo de investigación EMTEMDER.

*Autor de correspondencia: cruz.julian@correounivalle.edu.co

Recibido: 05-04-2018 Aceptado: 13-08-2018

Resumen

Este artículo de investigación presenta un análisis sobre la prospectiva estratégica del sector metalmecánico del municipio de Tuluá y su zona de influencia: Andalucía, Bugalagrande, Riofrío, San Pedro, Trujillo, Restrepo y Yotoco. El propósito de este estudio gira alrededor de tres ejes: 1. Identificar los escenarios de futuro posibles y probables del sector de la metalmecánica de la región central del Valle del Cauca; 2. De los escenarios identificados, se define el escenario apuesta, al cual debe encaminarse el sector; 3. De acuerdo con la opinión de expertos y actores claves, se determinan las estrategias de mejoramiento de la competitividad en el sector metalmecánico, buscando generar un impacto positivo en el entorno de la región central del Valle y enriqueciendo su desarrollo para su inserción en el contexto internacional. Este estudio aplica la metodología propuesta en “la caja de herramientas de la prospectiva estratégica” e involucra otros métodos como los análisis de gobernabilidad e incertidumbre, así como elementos de análisis sectorial, en especial los relacionados con los encadenamientos productivos. Esta investigación se realizó en dos fases: diagnóstica y prospectiva. En la diagnóstica se llevó un análisis documental, consulta a actores claves y expertos; se aplicaron herramientas como el “brainstorming”, el Ábaco de Regnier, análisis estructural, y para el diseño de los escenarios se utilizó el análisis detallado de los resultados con el fin de plantear los escenarios exploratorios y de estos proponer el escenario apuesta, el cual se focaliza en una sólida formación del capital humano

Palabras clave: Sector metalmecánico; estrategia; prospectiva; incertidumbre; gobernabilidad; escenarios; Tuluá.

Abstract

This research article presents an analysis of the strategic prospective of the metal-mechanic sector of the municipality of Tuluá and its area of influence: Andalusia, Bugalagrande, Riofrío, San Pedro, Trujillo, Restrepo and Yotoco. The purpose of this study revolves around three axes: 1. Identify possible and probable future scenarios for the metalworking sector of the central region of Valle del Cauca; 2. From the identified scenarios, the betting scenario to which the sector should be routed is defined; 3. According to the opinion of experts and key actors, strategies to improve competitiveness in the metalworking sector are determined, seeking to generate a positive impact on the environment of the central region of the Valley and enriching its development for its insertion in the international context This study applies the methodology proposed in the “strategic foresight toolbox” and involves other methods such as governance and uncertainty analysis, as

Cómo citar: Betancourt Guerrero, B., y Cruz Jaramillo, J. A. (2018). Escenarios futuros del sector metalmecánico. Municipio de Tuluá y su zona de influencia. Horizonte 2018-2028. *Informador Técnico*, 82(2), 181-208. doi: <https://doi.org/10.23850/22565035.1408>

well as sectoral analysis elements, especially those related to productive linkages. This investigation was carried out in two phases: diagnostic and prospective. In the diagnosis, a documentary analysis was carried out, consultation with key actors and experts; applied tools such as brainstorming, the Regnier abacus, structural analysis, and for the design of the scenarios the detailed analysis of the results was used in order to propose the exploratory scenarios and propose the bet scenario, which is focused in a solid formation of human capital.

Keywords: Engineering sector; strategy; foresight; governance and uncertainty scenarios Tuluá.

Introducción

En primer lugar, es fundamental identificar en qué consiste el concepto de estrategia desde el punto de vista de varios autores: Ohmae (1985) formula lo imprescindible de la estrategia para crear ventaja competitiva; sin una no existe la otra. El propósito principal de la planeación estratégica es el que la empresa alcance eficazmente una ventaja competitiva y sostenible sobre la competencia: “la planificación estratégica ofrece la construcción del futuro, aunque éste sea impredecible” (p.195). Para Mintzberg, Ahlstrand y Lampel, (2008), la estrategia es una palabra que ha estado dando varios giros en la mente del estratega y que hoy en día es utilizada por los directivos con más autodeterminación y con efecto. Igualmente es valorada como el vértice de la actividad gerencial. Dichos autores plantean que la definición puede variar según la escuela de pensamiento estratégico con que se aborde la estrategia, o como coherencia de conducta en el tiempo, lo que se asimilaría a un patrón. Así, la estrategia, se puede considerar un plan (mirar hacia futuro) o se puede considerar un patrón (evaluar la conducta pasada).

Según los planteamientos de Godet (1993), la relación entre prospectiva y estrategia no es producto del azar, sino resultado “de la necesidad y de la voluntad de algunos hombres desde principio de los ochenta”. Aunque las dos participan en un mismo desafío “anticipar para actuar”, sus referencias y praxis son distintas. El autor plantea una fuerte relación existente entre estos dos conceptos, los cuales son complementarios y para que se alcance el éxito en su proceso de articulación debe “encarnarse en la realidad cotidiana” y dar movimiento a una real inteligencia colectiva. Por tal razón, para que la anticipación se solidifique en una acción estratégica eficaz, deben incorporarse estas tres reglas de oro (anticipación, apropiación y acción) vértices del triángulo griego (Godet, 1993, p. 187).

La incertidumbre, como factor a tener en cuenta en la anticipación, cada vez es mayor. Los cambios frecuentes y bruscos del entorno provocan una alta desconfianza del desenvolvimiento de situaciones futuras en las que no se tiene el control sobre su acontecer. Esta situación genera que la organización deba asumir decisiones asertivas, y es aquí cuando la prospectiva estratégica presenta las herramientas fundamentales con el fin de impactar positivamente en el sistema y reducir así el efecto de incertidumbre (poco o nulo control), para aumentar el nivel de certeza al efecto de las estrategias implementadas (Astigarraga, 2016).

De otra parte, un escenario, conlleva a la reflexión de múltiples puntos de vista de cómo se va a conducir y desempeñar en un futuro la organización. De igual manera, la posibilidad que se puedan presentar situaciones que sean complejas de solucionar cabe en la medida de lo factible, la formulación del escenario es una de las formas estratégicas de previsión. Tal como plantea Baena (2015), “Para todo fenómeno complejo hay una multiplicidad de futuros que se mueven entre probables, deseables, indeseables y cada uno tiene similares posibilidades de realización” (p. 41).

Ahora bien, La estrategia y la prospectiva son elementos que van de la mano y su construcción responde a procesos debidamente articulados y cohesionados que puedan garantizar a cualquier organización el mayor de los aprovechamientos posibles para actuar de la forma más precisa y obtener lo mejor que el entorno de la organización pueda procurar.

La prospectiva brinda la posibilidad de conocer cuál es el contexto en el que se van a desarrollar, en un futuro, las políticas, la cultura, la tecnología, entre otros factores internos y externos de un sector u organización. La estrategia es el mapa que permite avanzar en beneficio del futuro deseable. Según Godet y Durance (2011), la acción sin objetivo no tiene sentido y la previsión suscita la acción. Esa es la razón por la cual la prospectiva y la estrategia son generalmente indisolubles, de ahí la expresión de “prospectiva estratégica”. (p. 23).

Este estudio tiene como objetivo diseñar los escenarios de futuro a los que se enfrenta el sector metalmecánico de Tuluá y su zona influencia en el horizonte del 2018 - 2028, lo cual permite anticipar y preparar las acciones, precisamente, con menores dosis de riesgo y de incertidumbre.

Para comprender mejor la situación futurible de este sector metalmecánico, se realizó un estudio en algunas de las empresas que brindan soluciones metalmecánicas; este ejercicio prospectivo se sustenta en el análisis y estudio de las múltiples variables que circundan las organizaciones y las influyen con mayor notoriedad, a fin de determinar potenciales escenarios de direccionamiento que permitan la maximización de las oportunidades que el entorno facilita. Como propone Gándara y Osorio (2017), los futuros del sistema dependerán de la evolución de la interacción de las variables internas, así como de la influencia que sobre estas ejercen las variables externas, e incluso la influencia que los elementos internos ejercen sobre los elementos externos. De este modo, se hace necesario conocer la organización del hoy con todo su acontecer y lo que se pretendería que fuese el día de mañana desde la perspectiva estratégica de su dirección (Sanabria, 2005).

Según Godet (1993) el futuro no está escrito, debe construirse y gran parte del momento futuro es producto de las acciones pasadas. Dicho futuro no solo está explicado por los tiempos pasados, sino igualmente por la representación del futuro que se señala en el tiempo presente. Para el autor la competitividad no está asegurada por la productividad. Además son indispensables la calidad, innovación que necesitan del comportamiento, decisión y creatividad en cada uno de los niveles de la organización. Por tal motivo, surge la certeza que el principal factor de competitividad y excelencia es el factor humano y organizacional. Pero, ¿cómo podemos conocer mejor sus cambios y preparar a los mismos para afrontar la incertidumbre que genera el dinámico mercado, sino es a través del conocimiento prospectivo del entorno?, este es el camino que permite analizar y planear mejor las decisiones, evitando dejar las soluciones al azar.

La Industria Metalmecánica comprende un diverso conjunto de actividades manufactureras que, en mayor o menor medida, utilizan entre sus insumos principales productos de la siderurgia y/o sus derivados, aplicándoles a los mismos algún tipo de transformación, ensamble o reparación. Asimismo, forman parte de esta industria las ramas electromecánicas y electrónicas, que han cobrado un dinamismo singular en los últimos años con el avance de la tecnología. La Industria Metalmecánica constituye un eslabón fundamental en el entramado productivo de una nación. No sólo por su contenido tecnológico y valor agregado, sino también por su articulación con distintos sectores industriales. Prácticamente todos los países con un desarrollo industrial avanzado cuentan con sectores metalmecánicos consolidados. Provee de maquinarias e insumos claves a la mayoría de actividades económicas para su reproducción, entre ellas, la industria manufacturera, la construcción, el complejo automotriz, la minería y la agricultura, entre otros. Asimismo, produce bienes de consumo durables que son esenciales para la vida cotidiana (Unión Industrial Argentina., 2008).

América Latina es la cuarta región en el mundo en consumo de productos laminados con un estimado de 70 millones de toneladas para 2014. Se estima que el consumo de productos laminados en América Latina alcance los 72 millones de toneladas en 2016 y se acerque a las 80 millones de toneladas en 2020. Las exportaciones de acero y productos metalmecánicos de Colombia tienen acceso preferencial a los principales mercados de consumo en América Latina y por debajo del promedio cobrado a los demás países de la región.

La industria metalmecánica colombiana es una de las más importantes y prometedoras del país, ya que exporta más de 363.000 ton al año, lo que representa cerca del 14 % de la producción industrial nacional y el 13 % del empleo dentro del PIB industrial. Después de ingresar al programa en diciembre de 2011, la industria metalmecánica (encargada de la transformación del acero en bienes intermedios, como el caso de los aceros planos laminados, tuberías, estructuras metálicas y alambres, hasta el desarrollo de maquinaria industrial y bienes, como ascensores y calderas), representada por la Cámara Fedemetal, de la ANDI, se ganó un espacio como sector de talla mundial con un gran potencial para satisfacer la creciente demanda mundial de sus productos.

El Departamento del Valle del Cauca es una de las regiones más importantes para la economía nacional, especialmente en el sector Industrial, en donde se ubican las empresas metalmecánicas. El Valle se encuentra solo por debajo de Antioquia (tercer lugar), Bogotá (segundo lugar) y Santander (primer lugar), en el cuarto lugar con una participación del 12,5% de la producción industrial nacional. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística- DANE, 2015).

En el municipio de Tuluá y su zona de influencia, se encuentra constituida por una población de 133 establecimientos del sector metalmeccánico (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Total de empresas del sector metalmeccánico de Tuluá y su zona de influencia

Número de empresas por tamaño	Total de empresas (2017)	Total de industrias manufactureras (2017)	Total de empresas del sector metalmeccánico. (2018)
Micro	8.972	981	129
Pequeñas	327	28	4
Medianas	80	10	0
Grandes	34	10	0
Totales	9.413	1.029	133

Fuente: (Cámara de Comercio Tuluá, 2018), adaptación de los autores.

Los datos de la Tabla 1 corresponden a los establecimientos de comercio que tienen las siguientes actividades económicas vigentes en la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (código CIIU) y para las cuales dichos establecimientos están dedicados a las siguientes tareas metalmeccánicas: fabricación de productos metálicos para uso estructural; fabricación de tanques, depósitos y recipientes de metal, excepto los utilizados para el envase o transporte de mercancías; fabricación de generadores de vapor, excepto calderas de agua caliente para calefacción central; fabricación de armas y municiones, forja, prensado, estampado y laminado de metal; pulvimetalurgia; tratamiento y revestimiento de metales; mecanizado; fabricación de artículos de cuchillería, herramientas de mano y artículos de ferretería y fabricación de otros productos elaborados de metal n.c.p. (Departamento Administrativo Nacional de Estadística- DANE, 2012). Los talleres de prospectiva se realizaron con personal directivo, administrativo y operativo vinculado a empresas registradas en Cámara de Comercio; igualmente se consultó a proveedores y clientes.

Con relación al comportamiento de las empresas metalmeccánicas estas actividades económicas se estudian de manera específica, sin embargo su análisis se encuentra en el sector al que pertenecen y que corresponde a Industrias Manufactureras (Cámara de Comercio Tuluá, 2017).

Según la Gobernación del Valle del Cauca (2016), la región del centro del Valle del Cauca se encuentra conformada por 13 municipios entre ellos Tuluá y su zona de influencia (Andalucía, Bugalagrande, Riofrío, San Pedro, Trujillo, Restrepo y Yotoco) y cuenta con superficies en las cordilleras Central y Occidental de climas variados, que la convierten en un dinamizador potencial para la actuación de diversas actividades agrícolas, de manufactura, pecuarias, industriales y mineras, entre otras. Para satisfacer las demandas del mercado, estas actividades necesitan directa e indirectamente de la cadena productiva metalmeccánica en el abastecimiento de productos que permitan la transformación de materia prima o que hagan parte de la misma; productos como: artículos para oficina, herramientas para el hogar, ferretería, maquinarias primarias, industriales, agropecuarias, artículos de aluminio, envases metálicos, muebles metálicos, maquinarias para otras industrias, entre otros. Este sector se destaca por su alto potencial en productos y servicios, tanto locales como para el mercado nacional e internacional (Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, 2012).

Es en este panorama que cobra importancia la formulación y análisis de la prospectiva del sector metalmeccánico para la región central del Valle del Cauca, a través de la cual se pueda comprender la realidad actual y la múltiple realidad futura a la cual puede evolucionar de diversas maneras el sector. Sin embargo, la industria metalmeccánica colombiana y, en especial la del Valle del Cauca, se enfrenta hoy a grandes dificultades que la obligan a cambios y retos a futuro. Estas dificultades están relacionadas con la competitividad mundial, con el uso de nuevos materiales y con nuevos procesos de fabricación; igualmente se presenta un desafío frente a las grandes exigencias en calidad e innovación en nuevos materiales que sustituyen los materiales metálicos por otros a base de grafeno (consistente en capas de carbón) y plástico, entre otros (Máttar y Cuervo, 2016).

Sumado a lo anterior, según Tofail *et al.* (2018), las industrias fuertes en los Estados Unidos y cerca del 11 % de las 100 empresas de fabricación metalmeccánica, han incorporado la impresión en tercera dimensión (3D) para la producción masiva

de piezas individuales o productos integrados, mientras que se estima que el 42 % de las compañías estadounidenses declararon que para 2020 usarían sinterizado selectivo por láser (SLS), Impresoras 3D, para una gran parte de sus operaciones. Se espera que más compañías continúen en el rango de los materiales termoplástico y polímeros tales como ácido láctico poli (PLA) o acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), las resinas fotosensibles, cerámicas y puede expandirse a muchos más metales, cerámicas y compuestos termoplásticos reforzados con nanotubos de carbono y fibras biológicas entre muchos otros, que se convierten en sustitutivos de una gran variedad de productos y partes metalmeccánicas.

Metodología

La metodología utilizada para el desarrollo del ejercicio prospectivo del sector metalmeccánico en el municipio de Tuluá y su zona de Influencia, se basa, a nivel general, en la construcción de escenarios. Según plantea Godet (1993), la construcción de los escenarios debe formularse bajo las condiciones de pertinencia, coherencia, verosimilitud transparencia, buscando que estos representen “la realidad, destinada a iluminar la acción presente con la luz de los futuros posibles deseables” (p. 18).

Con el fin de lograr los propósitos, se tomó como punto de partida la situación actual del sector metalmeccánico a nivel nacional y regional, para posteriormente plantear los escenarios de futuro y de esta manera, formular el escenario apuesta y las estrategias para su consecución.

La investigación se desarrolló en dos fases: la primera, diagnóstica y la segunda, prospectiva estratégica. En las dos fases se utilizaron herramientas de gestión estratégica y herramientas y métodos prospectivos. En la Figura 1, se presentan los instrumentos metodológicos aplicados a lo largo del proceso prospectivo.

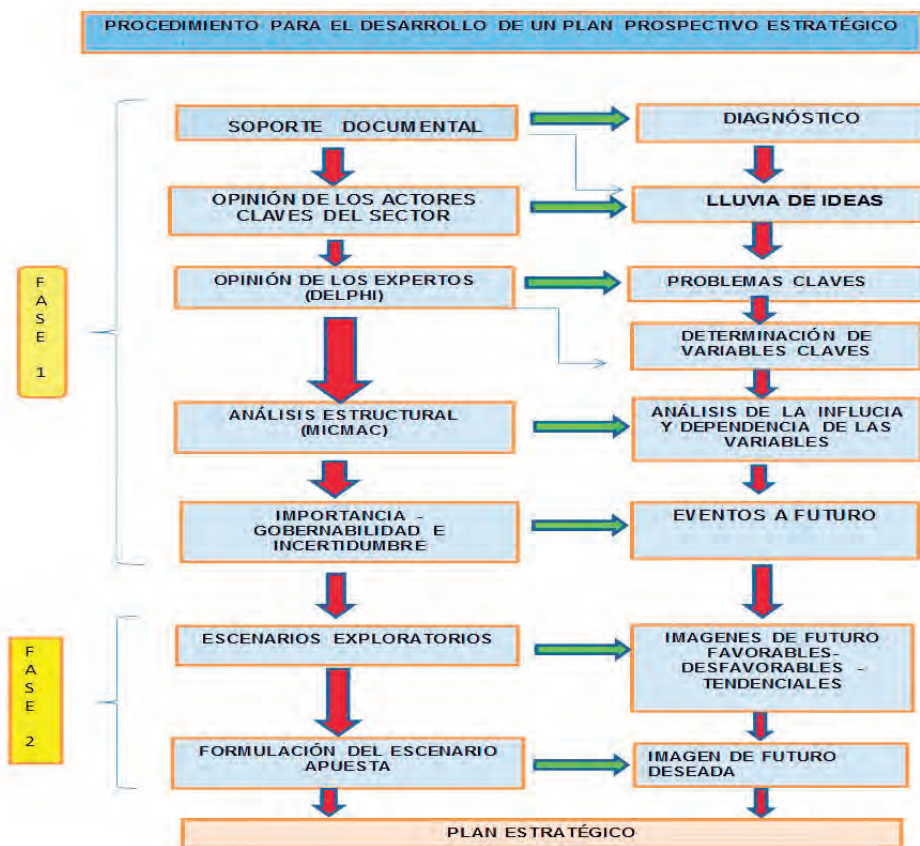


Figura 1. Metodología prospectiva.
Fuente: Autores, adaptada de Betancourt (2015).

Fase 1. Fase Diagnóstica

El análisis sobre la cadena metalmecánica para el municipio de Tuluá y su zona de influencia (ver Figura 2), parte del concepto sobre la importancia que tienen los encadenamientos productivos para el mejoramiento competitivo de un sector: los encadenamientos y clúster según Porter (1999) son “concentraciones geográficas de empresas interconectadas, suministradores especializados, proveedores de servicios, empresas de sectores afines e instituciones conexas que compiten, pero que también cooperan” igualmente el autor plantea “un clúster es un grupo geográficamente denso de empresas e instituciones conexas pertenecientes, a un sector concreto unidos por rasgos comunes y complementarios entre sí” (p. 203). Conviene además tener en cuenta el planteamiento de Pallares (2004), el cual refiere los encadenamientos productivos o clúster como un conjunto de empresas que están interrelacionadas comercialmente de manera directa o indirecta entre sí; entidades de apoyo que comprenden desde las firmas productoras y procesadoras de las materias primas y de los insumos hasta aquellas que prestan los servicios de distribución y entrega a los clientes finales. Uno de los objetivos de dicho encadenamiento es generar valor agregado, procesos de racionalización de costos y crear sinergias que contribuyan a que los productos finales sean apropiados a las necesidades de los clientes y ajustados a los precios que están dispuestos a pagar por un producto (Betancourt, 2014). Para el desarrollo de este análisis se acudió en primer lugar al análisis documental consultando textos, investigaciones y artículos acerca del sector metalmecánico. En segundo lugar, se efectuó la consulta a los actores del sector por medio de lluvia de ideas o brainstorming, con el objetivo de conocer las variables con las cuales se desarrollaría el ejercicio prospectivo. Sumado a lo anterior, se realizó el Delphi o consulta a expertos del sector metalmecánico, con el fin de poner de manifiesto la influencia de la opinión de los expertos y conocer algunas aquiescencias en situaciones concretas del sector metalmecánico a nivel regional y nacional, fortaleciendo los aportes en la construcción de los resultados de incertidumbre y gobernabilidad.

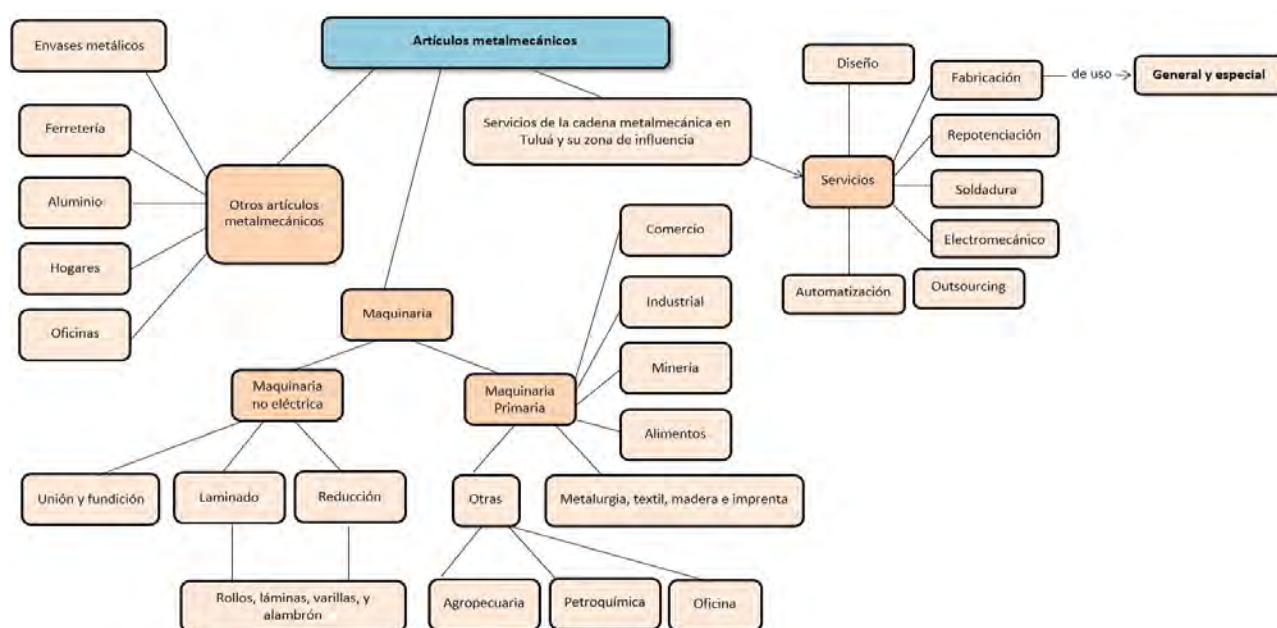


Figura 2. Cadena metalmecánica de Tuluá y su zona de influencia.

Fuente: Elaboración propia, adaptada de metalmecánica Departamento Nacional de Planeación (2007)

Seguidamente se elaboró el Ábaco de Regnier, el cual permitió la revelación y representación de las opiniones, así como la percepción de los actores que interactúan cotidianamente con el entorno metalmecánico, sobre cada una de las variables planteadas por el brainstorming (Régnier, 1989).

En tercer lugar, se realizó el análisis de motricidad y dependencia utilizando el software MICMAC (Matriz de Impactos Cruzados – Multiplicación Aplicada a una Clasificación), en el cual se identificaron las relaciones directas e indirectas entre las variables del sistema, para facilitar el análisis de su evolución. (Godet, 2000).

En cuarto lugar, se cerró la fase diagnóstica con el análisis de importancia y gobernabilidad (IGO), una técnica que según Mojica (2005) permite estudiar las características y condiciones de las acciones con que se construye el escenario apuesta. "Con la importancia se verifica la pertinencia de las acciones y con la *gobernabilidad* se constata el control o dominio que la organización tiene sobre cada una" (p.275). A través del análisis IGO se determinó el nivel de manejo que el sistema tiene sobre las variables, complementando la información con el análisis de la importancia e incertidumbre (I.I). La incertidumbre, según Olavarrieta (2011), es definida en el Diccionario enciclopédico mundial sobre prospectiva como: un estado en el que se tiene un conocimiento limitado, en el que es imposible describir exactamente un resultado existente o un estado en el futuro; o más de un resultado posible. Del análisis I.I. se derivó información clave para examinar las variables de las que se tenía poco conocimiento en cuanto a su incidencia en el sistema. En la fase diagnóstica se concluye que no se tiene mucha claridad sobre las acciones que se emprenden ya que existe dificultad de formular previsiones a partir de las mismas y no se cuenta con suficiente información disponible para su abordaje. Los resultados de la gobernabilidad y la incertidumbre se presentan en la matriz IGO y la matriz I.I. (Figuras 6 y 7).

Fase 2. Prospectiva y Estrategia

En primer lugar, el método de escenarios aplicado en el estudio del sector metalmecánico en el municipio de Tuluá y su zona de influencia, se apoyó en los resultados obtenidos en las diferentes técnicas prospectivas aplicadas en la fase (1) y recomendadas por los autores Godet (2000) en su "caja de herramientas prospectivas" y por Medina y Ortegón (2006), en su "Manual de prospectiva y decisión estratégica". Todos los resultados anteriores proporcionaron una base amplia para la construcción de escenarios, procurando dotarlos de la mayor coherencia probable en una anticipación ordenada que se constituye a partir de las hipótesis y se proyecta en un horizonte específico (Gabiña, 1999).

En segunda instancia, se procedió a la identificación de los escenarios: exploratorios probables, se formularon tres escenarios el optimista (favorable), el pesimista (desfavorable) y el tendencial, posteriormente se analizaron las probabilidades de ocurrencia a futuro según la estimación de los expertos y de acuerdo con el comportamiento reflejado en cada una de las variables, según los resultados arrojados por las herramientas aplicadas en cuanto a dependencia, independencia, percepción, control, importancia e incertidumbre entre otros. De lo anterior, se logró identificar las derivaciones complementarias y explorar los futuros escenarios sobre el sector metalmecánico en el municipio de Tuluá y su zona de Influencia.

En tercer lugar, se planteó el escenario "Apuesta" a partir de los escenarios exploratorios (optimista, pesimista y tendencial). Una vez obtenidos los resultados a través de las herramientas prospectivas, se determinó la apuesta; pero se analizaron igualmente las consecuencias favorables, desfavorables y tendenciales vislumbradas en los escenarios exploratorios, con el fin de definir la fotografía futura deseada o apuesta. El proceso prospectivo conlleva a plantear un futuro posible cercano como parte de la construcción del futuro a largo plazo más beneficioso. "En prospectiva se trabajan las acciones del presente en función del futuro deseado probable y posible, sin ello desaprovechar un pasado y un presente conocidos con relativa suficiencia (Miklos y Tello, 2007).

Resultados del diagnóstico del sector metalmecánico

Resultados del Brainstorming: el brainstorming o lluvia de ideas, permitió recoger ideas de un grupo de personas que tienen una amplia incidencia en el sector metalmecánico, como directores de nivel jerárquico alto y medio de organizaciones pertenecientes a este sector. Se hizo un debate libre y riguroso con el fin de seleccionar las variables de mayor confluencia para el sector metalmecánico, descartándose aquellas que resultaron indiferentes para los actores involucrados (Betancourt, 2014). Teniendo en cuenta la experiencia de los directores de las empresas en su acontecer cotidiano se plantean 25 variables de mayor concurrencia y que generan mayor incertidumbre tanto presente como futura. Dichas variables obtenidas a través de la herramienta son: Tecnología, Investigación, Infraestructura, Proveedores- Materia prima, Precio del Producto, Capital Humano, Segmento de mercado, Calidad, Financiación, Dirección, Jurídico, Comercio Internacional, Alianzas Estratégicas, Innovación, Cultura, Política, Geografía, Demografía, Impacto Ambiental, Publicidad y Mercado, Instituciones, Competencia, Cultura Organizacional, Clima Laboral e Impacto Social.

Resultados del DELPHI: para la aplicación de esta metodología de prospectiva, se realizaron entrevistas a seis profesionales que de una u otra manera fueron considerados como expertos para opinar sobre el estado actual y futuro del sector Metalmecánico en la región vallecaucana y a nivel nacional e internacional. La selección de los expertos, se realizó “atendiendo a criterios de experiencia, posición, responsabilidad, acceso a la información y disponibilidad” (Bas, 2002, pág. 109). Se hizo una entrevista estructurada de 10 preguntas consistentes con las variables más relevantes, según el criterio del experto. Las 10 preguntas, se enuncian a continuación:

1. ¿Cuáles son los desafíos actuales y futuros que enfrenta el sector metalmecánico?
2. ¿Cómo ve la competitividad actualmente en el sector y cuáles piensa que son las variables de mayor incidencia para el desarrollo de la misma?
3. Desde su experiencia, ¿cuáles piensa que son las principales oportunidades y amenazas del sector metalmecánico en Colombia y a nivel Internacional en mediano y largo plazo?
4. ¿A qué factores estratégicos, debe apostarle la industria metalmecánica en cuanto a su talento humano y cuenta el sector con personas capacitadas para afrontar los retos de esta industria?
5. ¿Desde el punto de vista competitivo, cómo se encuentra el Valle del Cauca frente a los otros departamentos en este sector y cuáles piensa que son las variables de mayor incidencia para el desarrollo de la misma?
6. ¿A la hora de pactar un proyecto, los clientes del sector hacen mayor énfasis en el precio o la calidad?
7. ¿Las condiciones financieras del momento facilitan el apalancamiento financiero del sector?
8. ¿Cómo afectan los Tratados de Libre Comercio al sector metalmecánico?
9. ¿Cómo se podrían aprovechar las alianzas estratégicas para incursionar en los mercados internacionales?
10. ¿En cuánto a la legislación que incumbe al sector metalmecánico colombiano, cree que es favorable o desfavorable para el sector y el empresario y por qué?

Para conocer las apreciaciones sobre el desarrollo del sector metalmecánico se incluyeron las ideas centrales expresadas por los expertos (ver Tabla 2).

Tabla 2. DELPHI, Malla de lectura, según las ideas fuerza de los expertos

Pgta 1	Respuesta
1	Uno de los principales desafíos es poder brindarle al cliente precios bajos, buena calidad y entrega a tiempo. Además de poder competir con actores internacionales en relación con el precio, pues el talento existe y las tecnologías usadas resultan ser suficientes, esto sumado a que en el país abunda el talento humano de calidad, aún en relación con países vecinos. Uno de los grandes problemas que enfrenta el sector es el bajo desarrollo de tecnología en el país. No se destaca por enfocar los esfuerzos en el desarrollo de la tecnología que potencie a la metalmecánica. Entiéndase por tecnología soluciones innovadoras y masivas para solución a problemas estructurales de la sociedad que permitan avanzar en estrategias nacionales que promuevan la protección selectiva de las empresas nacionales y en especial de los productos que el país tiene capacidad de producir Salvaguardas para el sector, medidas antidumping, aranceles selectivos, compras estatales y subsidios deben tenerse en cuenta para la promoción de una política pública que sea un eje central en la defensa de la producción nacional, sin dejar de un lado la calidad. Porque los estándares internacionales que se exigen a nivel de aspectos como la soldadura, requerimientos estructurales deben ser certificados, es decir, que garanticen la seguridad, la inocuidad y la durabilidad, y esto se realiza bajo procesos normalizados y/ certificados, y en este punto Colombia está muy incipiente en cuanto a estándares y personal con las competencias calificadas.

Continúa en la página siguiente

Viene de la página anterior

2 La competitividad del país es alta y existe mucha tecnología para promover más desarrollo, los elementos de mayor incidencia para seguir creciendo están o en el establecimiento de unas políticas comerciales entre el gremio para no competir con el precio, o en el hecho de encontrar unos valores para la provisión más baja que la actual. La competitividad en este sector aún está en crecimiento. A pesar de que se han hecho esfuerzos; a nivel de algunas instituciones se ha trabajado en el desarrollo de competencias laborales, aún no se han ejecutado planes de desarrollo exclusivos en este sector que lo dinamicen y lo sitúen en un puesto competitivo a nivel local y nacional. Las variables que más inciden son la calidad, personal calificado, apoyo interinstitucional, ausencia de un plan de desarrollo sectorial, políticas públicas que promuevan e inviertan en el sector, el factor cambiario también afecta considerablemente la competitividad del sector metalmecánico.

3 Las amenazas del sector, son: la gran tecnología y megacentros de mecanizado existentes en los países asiáticos en donde la mano de obra es muy baja y las fortalezas de Colombia son su versatilidad y su gran capacidad para trabajar en procesos reconstructivos, cosas que no se pueden efectuar en líneas de producción continua o con equipos de CNC para la reparación y reconstrucción de maquinaria. La amenaza más notable radica en esos competidores Internacionales que pueden ofertar más económico, un caso en particular son las grandes estructuras que llegan a través del puerto de Buenaventura, especialmente venidas desde Corea y la India, más notablemente en India, pues al parecer allí la mano de obra económica brinda la posibilidad de obtener estos elementos más económicos.

En cuanto a oportunidades la apertura económica es un factor que puede ser bien aprovechado para que la industria local y nacional se dé a conocer. Otra oportunidad es el sector de la construcción, ya que anteriormente las construcciones se hacían sobre concreto, ahora las nuevas construcciones se hacen sobre estructuras metálicas, esta nueva modalidad debe ser aprovechada y potencializada por el sector metalmecánico para apalancar su sector, ya que es bien sabido, la construcción en Colombia es uno de los sectores más importantes que dinamiza la economía colombiana y que mueve puntos en el PIB.

4 Fortalecer los métodos de trabajo, optimizar los equipos de trabajo y capacitar en mayor aprovechamiento en las herramientas y las velocidades de corte para agilizar los tiempos de mecanizado.

Apostarle a diseñar soluciones a necesidades masivas. Esto considera invertir en la innovación y subir la tolerancia al error. Debemos como industria tomar más riesgos para que el sector se vea más dinámico y orientado a desarrollar valor. A futuro, sería apuntarle a tener personas capacitadas en tecnologías de punta, ingenieros electrónicos e ingenieros de la industria siderúrgica, bilingüismo técnico y profesional y todo lo que tenga que ver con innovación, y capacitar personas a nivel técnico que apunte al desarrollo de lo que se puede producir dentro de la cadena de subsectores del sector metalmecánico; lo que se llama "encadenamiento hacia delante y hacia atrás".

5 Dada la cantidad de ingenios, el fuerte en el Valle es la metalmecánica dirigida a la Agro- industria. Somos fuertes en ese sentido, se exporta mucha maquinaria y productos a otros países, en especial de Centro y Sur América.

El Departamento del Valle frente a Antioquia y frente a Cundinamarca presenta un atraso en cuanto a la magnitud y el tamaño de la industria metalmecánica. Dicho estancamiento es porque la industria nuestra está focalizada en piezas de gran tamaño y en repuestos para la industria azucarera, mientras que en los departamentos ya mencionados tienen centros de producción más tendientes a lo que tiene la competencia en fabricaciones en línea y tecnologías avanzadas por CNC. Otro punto importante de la región es la sofisticación y diversificación de la producción y de las exportaciones pilares del crecimiento a largo plazo. En el Valle del Cauca no hay un plan de desarrollo completo y dinámico del sector, falta un norte a donde las acciones se deban dirigir. Estas acciones no están concatenadas a una mesa sectorial que avale y apoye el sector. En el Valle hay baja cultura de asociatividad. Falta en el Valle del Cauca más unión para que el sector se reúna y formule y aplique el plan de desarrollo que agremie a las Pymes y a la gran industria para que el sector metalmecánico sea competitivo.

Continúa en la página siguiente

Viene de la página anterior

- 6 En el tema de metalmecánica ambos factores son relevantes, lo que debe conformar el paquete de servicios es la alta calidad, la alta precisión y bajo costo, las tres alternativas son fundamentales para establecer una estrategia de mercado en el sector. Para el sector industrial es importante tener un equilibrio entre calidad y precio, justamente por los TLC que han hecho que muchas multinacionales se apoderen del sector, empresas de capital (argentino, mexicano y brasilero). Se debe hacer una revisión minuciosa a los subsectores de la cadena productiva, porque es este sector el que más desarrolla los países, por la integración de los sectores que cobija (construcción transporte, comunicaciones) y los subsectores involucrados.
- 7 El apalancamiento y los créditos actualmente están en un alto costo y el apoyo es escaso con créditos blandos y tiempo muerto para que la industria metalmecánica avance y crezca en el país. Aunque no se debe desconocer algunas instituciones que apoyan no solo el sector metalmecánico sino a otros sectores, entre ellas están: Proexport, Fondo Emprender, Bancoldex, programas a nivel gubernamental como Marca País. El Grupo BID Banco Interamericano de Desarrollo ofrece financiamiento directo y asistencia técnica a pequeñas y medianas empresas (PYMES) en sus 26 países miembros prestatarios de América Latina y el Caribe. Además apoyamos a instituciones financieras para que amplíen el otorgamiento de préstamos a pequeñas y medianas empresas, así como también a proyectos que fomenten y fortalezcan el desarrollo de PYMES.
- 8 Nos afectan profundamente por los bajos costos de mano de obra y las altas tecnologías aplicadas en el servicio de mecanizado que tienen los países industrializados, motivo por el cual es necesario un fortalecimiento de nuestros sistemas de producción y centros de mecanizados para equiparar la brecha de desarrollo tecnológico. Sin embargo los TLC deben ser vistos como una oportunidad para fortalecer el sector y dar a conocer los productos que se desarrollan en esta industria y ser aprovechados para que Colombia haga empresa a nivel internacional.
- 9 Se pueden fusionar empresas del sector. Por ejemplo, el Valle del Cauca con empresas de Antioquia en donde hay mayor capacitación u otras áreas que puedan sacar adelante mayor innovación o calidad. Otra estrategia es montar centros de mecanizado de alta tecnología en las zonas francas, producir y esto debe de ir unido con la siderúrgica, para que se prospere en el tema de mecanizado y de industrialización; necesariamente tiene que haber fuente y las fuentes son las siderúrgicas para producir piezas en serie que es lo que permite la creación de nuevos frentes de trabajo y nuevas líneas de producción.
- 10 Muy desfavorable, debido a los créditos y la cantidad de Normas que se deben cumplir.

Es mucho más caro sostener todas estas variables jurídicas que realizar productos para el sector.

Fuente. DELPHI, Malla de lectura, según las ideas fuerza de los expertos

Resultados MIC – MAC (Análisis estructural). El análisis estructural es uno de los puntos de partida de este estudio prospectivo, este método ofrece la posibilidad de describir un sistema con ayuda de matrices cartesianas la cual relaciona todos sus elementos constitutivos. Uno de los objetivos centrales es hacer visibles las principales variables influyentes y dependientes, y por ello las variables esenciales del sistema estudiado con la ayuda de cuadros y gráficos, que permitan la modelización del problema a abordar. Esta es una herramienta de estructuración de una reflexión colectiva, que se realiza con la ayuda del software Lipsor de la caja de herramientas de la prospectiva estratégica (Godet, 2000).

Técnicamente, la aplicación de la herramienta provee una calificación de manera vertical y horizontal de la siguiente manera (ver Tablas 3 y 4).

Tabla 3. Calificación de motricidad y dependencia

Variables	Aplicativo Mic Mac	
	Motricidad	Dependencia
1. Tecnología	Alta	Alta
2. Investigación	Alta	Alta
3. Infraestructura	Alta	Baja
4. Provee-materia prima	Alta	Baja
5. Precio del producto	Alta	Baja
6. Capital humano	Alta	Alta
7. Segmento de mercado	Alta	Baja
8. Calidad	Alta	Alta
9. Financiación	Alta	Baja
10. Dirección	Alta	Baja
11. Jurídico	Baja	Baja
12. Comercio internacional	Alta	Baja
13. Alianzas estratégicas	Alta	Baja
14. Innovación	Alta	Alta
15. Cultura	Alta	Baja
16. Política	Baja	Baja
17. Geografía	Alta	Baja
18. Demografía	Baja	Baja
19. Impacto ambiental	Alta	Baja
20. Publicidad y mercado	Alta	Baja
21. Instituciones	Alta	Baja
22. Competencia	Alta	Baja
23. Cultura organizacional	Alta	Baja
24. Clima laboral	Alta	Alta
25. Impacto social	Baja	Baja

Fuente: Los autores

Tabla 4. Matriz de calificación de variables

	1: Tec	2: Inves	3: Infreaest	4: Mat-prim	5: Pre-pro	6: Cap-hum	7: Seg-mer	8: Cal	9: Finan	10: Direcc	11: Jurid	12: Comer-Inte	13: Allian-estr	14: Innova	15: Cult	16: Politic	17: Geograf	18: Demograf	19: Ambient	20: Publi-Mer	21: Institu	22: Compet	23: Cultura Or	24: Clima-Lab	25: Impac-Soc
1: Tec	0	3	3	2	3	3	2	3	P	0	0	3	2	3	0	2	0	0	2	3	0	3	2	1	2
2: Inves	3	0	1	3	2	3	3	3	1	3	1	3	2	3	2	2	1	P	3	P	1	3	3	3	2
3: Infreaest	2	P	0	1	1	1	3	2	P	2	0	3	2	0	2	0	0	1	2	P	2	3	3	2	0
4: Mat-prim	3	3	0	3	3	2	3	3	3	2	1	3	2	3	2	0	1	0	P	2	2	3	0	0	0
5: Pre-pro	3	2	2	0	0	3	3	3	P	2	0	3	3	1	0	0	0	0	2	P	1	3	3	3	0
6: Cap-hum	2	3	2	3	3	0	1	3	2	3	2	3	0	3	3	0	0	1	2	P	0	P	3	3	2
7: Seg-mer	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	2	3	0	0	0	0	2	3	2	3	3	2	2
8: Cal	3	3	3	3	3	3	3	0	2	3	2	3	3	0	1	0	0	0	2	3	0	3	2	2	0
9: Finan	3	3	2	3	3	3	2	2	0	3	1	3	2	3	0	0	1	1	2	3	2	2	3	2	0
10: Direcc	3	3	3	2	2	3	3	3	3	0	2	3	3	3	1	2	1	1	3	3	2	3	3	3	2
11: Jurid	0	2	1	2	2	3	3	1	1	3	0	3	2	1	0	0	0	0	3	2	3	2	3	3	0
12: Comer-Inte	3	3	3	3	3	2	3	3	P	3	3	0	2	3	2	3	2	2	2	2	0	3	P	1	1
13: Allian-estr	P	1	P	2	2	0	3	3	1	3	2	P	0	P	1	1	2	1	1	2	1	3	1	1	0
14: Innova	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	0	0	0	0	1	2	3	1	3	3	2	2
15: Cult	2	0	0	1	1	3	0	2	0	2	0	2	1	0	0	1	3	1	2	2	1	2	3	0	1
16: Politic	0	0	0	2	2	0	1	0	1	2	2	3	0	0	0	0	1	0	1	0	2	0	0	0	0
17: Geograf	0	0	2	3	3	2	3	0	1	P	0	3	3	0	P	0	0	1	2	2	0	3	2	1	0
18: Demograf	0	0	0	0	0	2	2	0	0	2	0	P	0	P	0	0	0	0	3	2	0	1	0	0	1
19: Ambient	3	P	1	P	P	2	2	3	1	2	3	3	1	3	2	0	0	0	0	P	3	P	3	1	3
20: Publi-Mer	P	3	2	3	3	0	3	P	0	3	1	P	1	3	1	0	2	0	0	0	1	3	3	1	2
21: Institu	0	0	3	0	0	3	1	1	2	3	3	2	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1
22: Compet	3	3	P	3	3	P	3	3	0	3	0	3	3	P	0	0	2	0	3	3	0	0	0	0	0
23: Cultura Or	2	3	1	P	P	3	P	P	1	0	3	P	0	P	2	0	0	0	3	P	1	3	0	3	1
24: Clima-Lab	2	3	2	2	2	3	1	3	2	3	0	2	0	P	2	0	0	0	0	2	0	P	3	0	2
25: Impac-Soc	2	2	2	0	0	3	0	2	0	0	0	2	0	3	3	0	0	2	3	3	2	3	2	3	0

Ponderación: 3 Fuerte; 2 Medio; 1 Débil; 0 Nulo

Fuente: Los autores

Se Observa en los resultados la influencia directa arrojada por el MICMAC (ver figura 3)

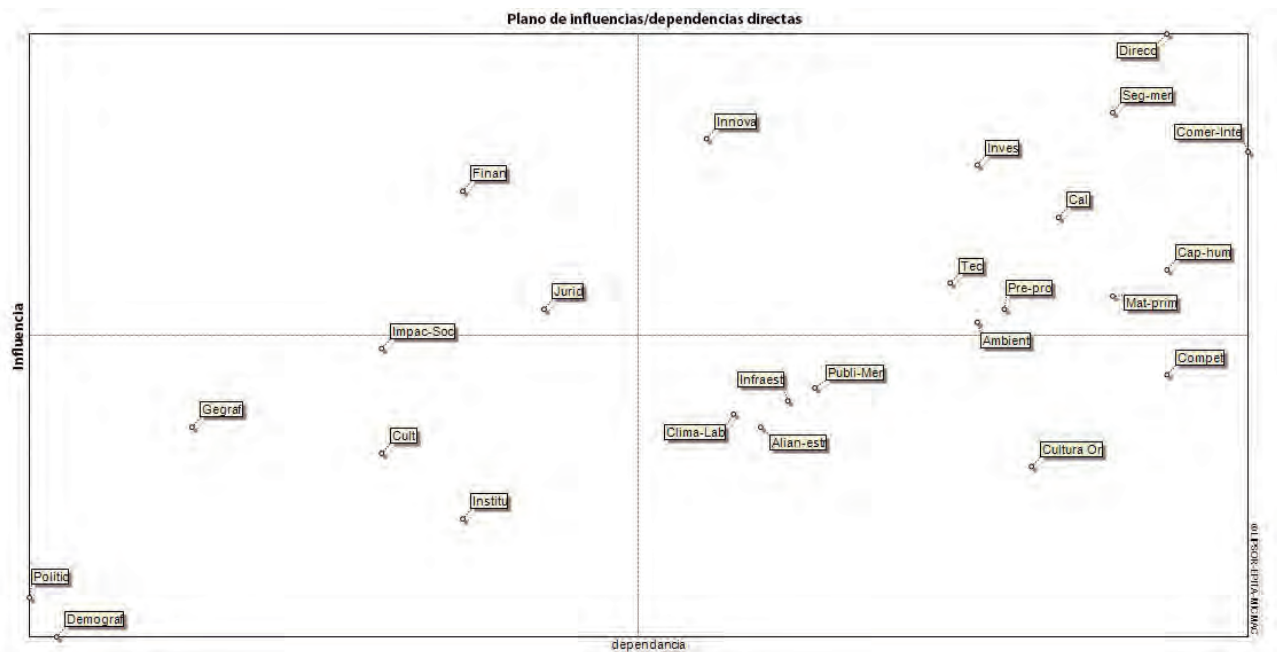


Figura 3. Mapa de influencia directa
Fuente: Los autores

Análisis de la influencia directa

Los resultados muestran que las variables de financiación y jurídicas se encuentran en el segmento de mayor influencia (zona de poder), esto quiere decir que estas variables afectan a las demás, en el sentido en que cada proyecto que se emprenda para el sector metalmecánico en el municipio de Tuluá y su zona de influencia, requiere de una planeación financiera para cumplir con los requerimientos de los nuevos clientes.

En la zona de salida con baja motricidad y alta dependencia se ubican las variables de clima laboral, publicidad y mercadeo, alianza estratégica, infraestructura, cultura organizacional y competencia, las cuales se encuentran influenciadas por las variables de la zona de conflicto ya que dependen del estilo de direccionamiento actual de las empresas del sector, viéndose igualmente afectadas por las variables de innovación, investigación, calidad y tecnología.

Actualmente se están implementando cambios de mejora continua con el fin de dar solución a problemas relacionados con el proceso de transformación de las materias primas y su oferta al cliente final, en donde intervienen las variables: capital humano, segmento del mercado, precio del producto, materia prima, comercio internacional e impacto ambiental. Se debe tener en cuenta el factor trabajo (mano de obra operativa calificada) en la implementación de nuevos servicios y productos de mayor calidad para el segmento empresarial.

En la zona de problemas autónomos o variables falsas se presentó como resultado las variables del entorno, las cuales están altamente influenciadas por los factores externos a la organización: política, demografía, geografía, cultura, impacto social, instituciones.

En la gráfica se puede observar que la demografía es una variable que afecta a algunas empresas que se dedican a prestar el servicio directamente al consumidor, pero que son de poca relevancia para las empresas que se especializan en el diseño y fabricación de materias primas del sector, ya que algunos de los clientes potenciales son grandes empresas del sector industrial. Esta variable solo se ve afectada moderadamente por otras variables, pues a medida que se presentan cambios en el segmento de mercados, se necesita incrementar la producción y esta a su vez requerirá con mayor frecuencia de los servicios de las empresas metalmecánicas (Ver Figura 4).

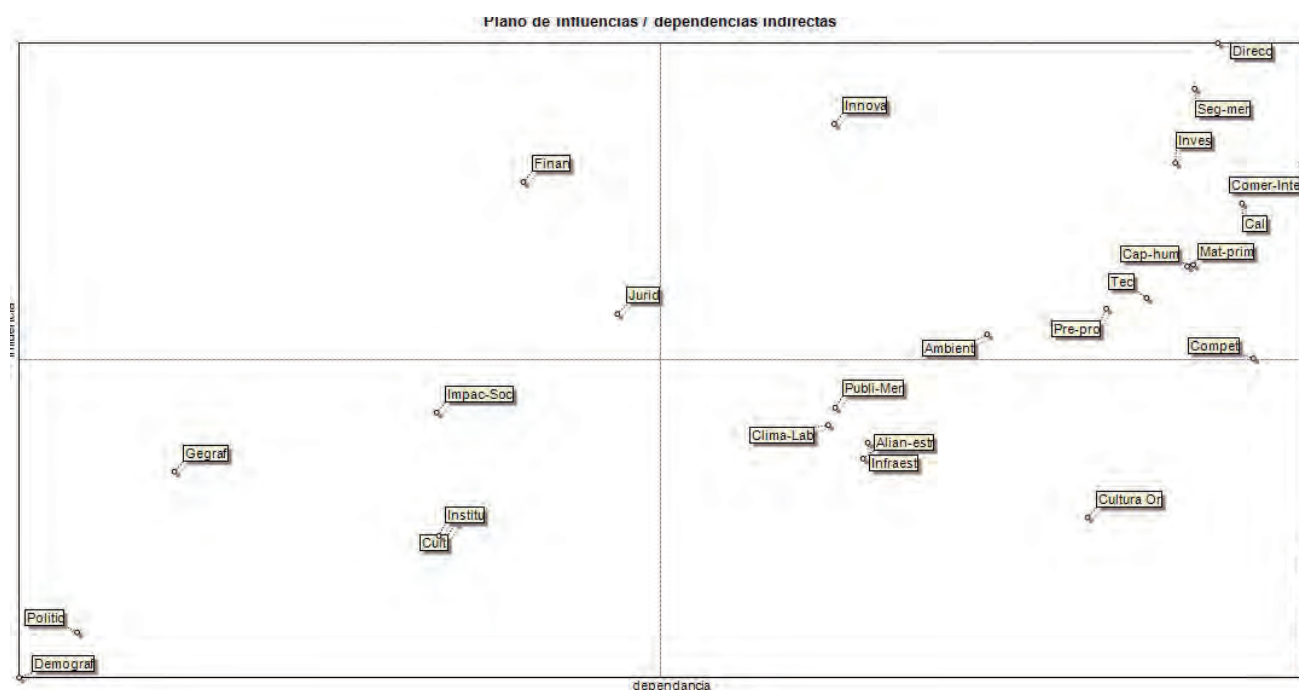


Figura 4. Mapa de Influencia Indirecta.

Fuente: Los autores

Análisis de la influencia indirecta

En este mapa podemos encontrar las variables que tuvieron mayor movilidad dentro de su zona: la cultura organizacional, la cual adquiere un poco de motricidad, ganando más poder, pero se mantiene dentro de la zona de problemas autónomos. La competencia, la cual se encontraba en el mapa de influencia directa en la zona de salida, posteriormente adquiere más influencia ubicándose en la zona de conflicto. La variable comercio internacional disminuye su dependencia y la variable segmento del mercado adquiere un poco de movilidad hacia la zona de poder, esto quiere decir que aumenta su motricidad. En cambio, las variables investigación, calidad y tecnología pierden dependencia dentro de su zona. La variable jurídica se mueve dentro de su misma zona de poder con tendencia hacia la zona de conflicto, esto nos indica que sigue teniendo gran influencia sobre las demás, pero sin perder de vista que indirectamente serán influenciadas por otras variables.

En la zona de conflicto también podemos identificar a la variable de innovación, que está perdiendo independencia porque su tendencia es a alejarse de la zona de poder. Dentro de la misma zona de problemas autónomos observamos que se movilizan la variable impacto social, la cual se aleja de la zona de poder perdiendo influencia sobre las demás y la variable política, que se moviliza hacia la zona de salida perdiendo dependencia.

Ábaco de Regnier

Se presentan a continuación los resultados obtenidos por el ábaco de Regnier para las empresas del sector Metalmecánico, de acuerdo con la consulta realizada a los actores. En la Tabla 5, se muestran los resultados de la situación presente, de acuerdo con la calificación realizada por los actores y que dan como resultado el ábaco que se presenta en la Tabla 6. En la Tabla 7, se observan los resultados de la situación futura, de acuerdo con la percepción de los actores y que dan como resultados el ábaco que se presenta en la Tabla 8.

Tabla 5. Resultados de la situación presente según la consulta a los actores.

¿Cómo cree usted que cada una de las siguientes variables que reflejan la situación actual de las empresas del sector metalmecánico influye hoy positiva o negativamente?

- Muy favorablemente o positivamente: 5
- Favorable o positivamente: 4
- Entre favorable y desfavorable: 3
- Desfavorable o negativamente: 2
- Muy desfavorable o muy negativamente: 1

ACTORES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
VARIABLES															
1. Tecnología	4	3	4	4	4	3	4	4	3	3	4	4	4	5	2
2. Investigación	3	3	4	5	4	4	4	4	2	3	2	4	3	4	2
3. Infraestructura	3	3	5	4	3	5	2	4	2	2	3	4	4	2	3
4. Provee-Materia prima	4	4	5	5	3	3	3	4	3	2	4	5	2	1	4
5. Precio del producto	4	4	5	5	5	4	3	5	4	4	3	5	4	4	4
6. Capital humano	4	4	4	4	4	4	5	5	3	4	4	5	4	2	2
7. Segmento de mercado	3	4	4	4	4	3	4	4	4	3	3	5	3	3	2
8. Calidad	3	4	5	5	5	4	2	4	5	4	4	5	4	3	4
9. Financiación	3	4	5	4	4	4	2	4	2	2	2	4	4	2	2
10. Dirección	3	4	4	4	4	3	2	4	3	4	3	5	4	3	3
11. Jurídico	3	3	4	4	5	3	3	4	1	3	2	5	4	2	3
12. Comercio internacional	2	3	4	5	4	3	5	4	1	2	1	4	2	1	1
13. Alianzas estratégicas	2	4	5	5	4	3	3	4	2	3	2	4	4	2	3
14. Innovación	4	4	5	5	4	5	5	4	4	3	4	4	5	2	2
15. Cultura	4	4	4	5	5	3	3	5	2	3	2	5	4	2	3
16. Política	3	3	4	4	4	3	2	5	2	3	1	5	4	1	3
17. Geografía	4	3	4	4	5	3	3	4	4	4	1	5	4	1	4
18. Demografía	3	3	4	4	4	3	2	4	3	4	3	5	4	1	4
19. Impacto ambiental	1	3	5	5	4	3	4	4	4	3	3	5	5	1	4
20. Publicidad y mercadeo	1	3	5	5	3	2	3	4	2	2	3	4	3	3	3
21. Instituciones	1	3	4	4	4	3	2	4	3	4	2	4	4	2	3
22. Competencia	3	4	4	5	4	4	3	4	2	4	3	4	3	3	4
23. Cultura organizacional	4	4	4	5	5	3	3	4	2	3	3	4	4	1	3
24. Clima laboral	4	4	5	4	5	3	3	4	3	4	3	5	5	4	3
25. Impacto Social	4	3	5	5	5	3	3	4	2	3	2	5	4	3	4

Fuente: Los autores.

Tabla 6. Ábaco de Regnier que muestra los resultados del presente.

Percepción del presente

Muy Favorable	5
Favorable	4
Duda	3
Desfavorable	2
Muy Desfavorable	1

[illegible]

Fuente: Los autores.

Tabla 7. Resultados futuros según la consulta a los actores.

¿Cómo cree usted que cada una de las siguientes variables que reflejan la situación actual de las empresas del sector metalmecánico, incidirán positiva o negativamente en los próximos 10 años?

ACTORES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
VARIABLES															
1. Tecnología	5	5	5	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5	5	3
2. Investigación	4	4	4	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	4	3
3. Infraestructura	4	4	5	5	5	5	4	5	5	5	4	5	5	4	4
4. Provee-Materia prima	4	5	5	4	5	4	3	5	5	4	4	5	5	1	4
5. Precio del producto	5	4	5	5	5	5	3	5	5	5	4	5	5	4	3
6. Capital humano	4	5	4	4	5	5	2	5	5	5	5	5	5	1	3
7. Segmento de mercado	4	4	4	4	5	4	4	5	5	5	4	5	5	3	4
8. Calidad	4	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	5	3	3
9. Financiación	4	5	5	4	5	5	3	5	3	5	3	5	4	2	4
10. Dirección	4	5	5	4	5	4	2	5	5	5	4	5	4	4	4
11. Jurídico	4	4	4	4	5	3	3	4	3	5	4	5	4	2	2
12. Comercio internacional	4	4	5	5	5	4	4	5	3	5	3	5	4	1	4
13. Alianzas estratégicas	4	5	5	5	5	4	4	5	3	5	4	5	5	3	3
14. Innovación	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	4
15. Cultura	4	4	4	5	5	3	3	5	4	5	4	5	5	4	4
16. Política	3	3	4	3	5	3	3	5	4	5	2	5	4	1	4
17. Geografía	5	3	4	4	5	4	4	4	5	5	2	5	4	1	4
18. Demografía	4	3	4	5	5	3	3	4	4	5	4	5	4	1	4
19. Impacto ambiental	4	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4
20. Publicidad y mercadeo+	4	4	5	5	5	3	4	5	4	5	5	5	5	3	4
21. Instituciones	4	4	5	5	5	3	2	5	4	5	4	5	4	1	4
22. Competencia	4	4	4	5	5	4	3	5	5	5	4	5	5	4	4
23. Cultura organizacional	4	5	4	5	5	4	3	5	4	5	4	5	4	1	4
24. Clima laboral	5	5	5	4	5	4	3	5	5	5	4	5	5	4	4
25. Impacto Social	4	4	5	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5	4	3

Fuente: Los autores

Los resultados obtenidos por el Ábaco frente a la percepción de futuro se muestran a continuación (ver Tabla 8).

Tabla 8. Ábaco de Regnier que muestra los resultados del futuro.

Percepción del futuro															
01 TECNOLOGÍA															
19 IMPACTO AMBIENTAL															
03 INFRAESTRUCTURA															
14 INNOVACIÓN															
05 PRECIO PRODUCTO															
08 CALIDAD															
24 CLIMA LABORAL															
02 INVESTIGACIÓN															
25 IMPACTO SOCIAL															
20 PUBLICIDAD- MERCADEO															
22 COMPETENCIA															
07 SEGMENTO MERCADO															
10 DIRECCIÓN															
13 ALIANZA ESTRATÉGICA															
15 CULTURA															
06 CAPITAL HUMANO															
09 FINANCIACION															
23 CULTURA ORGANIZACIONAL															
04 PROVEE-MATERIA PRIMA															
12 COMERCIO INTERNACIONAL															
21 INSTITUCIONES															
17 GEOGRAFÍA															
18 DEMOGRAFÍA															
11 JURÍDICO															
16 POLÍTICA															

Fuente: Los autores.

Ponderación de los resultados del presente y del futuro (ver Tablas 9 y 10).

Tabla 9. Ponderación de los resultados optimistas, tanto del presente como del futuro.

Variable	Operación	Resultado
05 PRECIO DEL PRODUCTO	25 + 5	30
14 INNOVACIÓN	15 + 10	25
01 TECNOLOGÍA	25 + 0	25
08 CALIDAD	20 + 0	20
19 IMPACTO AMBIENTAL	20 + 0	20
03 INFRAESTRUCTURA	15 + 0	25
24 CLIMA LABORAL	10 + 0	10
06 CAPITAL HUMANO	5 + 0	5

Fuente: Los autores.

Tabla 10. Ponderación de los resultados negativos, tanto del presente como del futuro.

Variable	Operación	Resultado
21 INSTITUCIONES	(-15) – (-25)	-40
12 COMERCIO INTERNACIONAL	-25 + 0	-25
20 PUBLICIDAD Y MERCADEO	-20 + 0	-20
17 GEOGRAFIA	-20 + 0	-20
18 DEMOGRAFÍA	-15 + 0	-15
16 POLÍTICA	(-10) (-5)	-15
11 JURIDICO	-10 + 0	-10
09 FINANCIACIÓN	-5 + 0	-5

Fuente: Los autores.

Pictograma Resultados del Ábaco de Regnie (ver Figura 5)

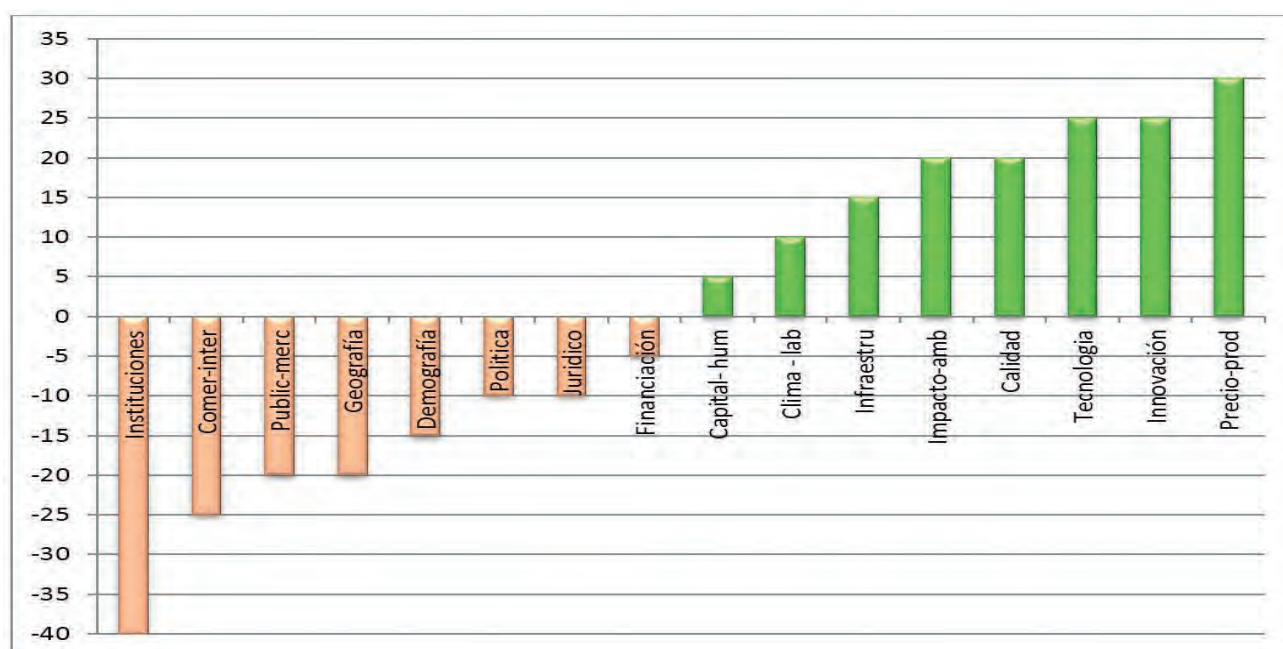


Figura 5. Pictograma con extrapolación de tendencias negativas y positivas según los ábacos de Regnier tanto del presente como del futuro.

Fuente: Los autores

Análisis ábaco. Como se muestra en la Figura 6, la calificación de la encuesta por parte de los actores se evidencia muy optimista: los actores internos perciben un ambiente estable y cálido, en el cual manifiestan un buen clima laboral, un buen desarrollo de innovación, considerando su impacto social muy positivo, en especial, el observado en las mismas familias de los empleados que laboran para la industria metalmecánica. En general, la percepción de la estabilidad de las empresas es optimista, aunque los actores que se encuentran en el nivel intermedio y operativo no realizan negociaciones con las medianas y grandes empresas, ellos perciben que los precios, la calidad, la tecnología e innovación son valores agregados por los cuales las empresas del sector están en capacidad de competir con otras de diferentes regiones del país e inclusive con empresas internacionales. Estos ven como factor negativo la ubicación, ya que sienten poco acompañamiento de las instituciones como Cámara de Comercio, Sena, entre otros, ya que desde su punto de vista, estas son fuertes en la capital vallecaucana (Cali).

IGO (importancia - gobernabilidad). A continuación se mostrará la Tabla 11, en la cual los actores calificaron la importancia y gobernabilidad para cada variable. Se calificó en una escala de 1 – 5 donde 1 es el valor más bajo y 5 el valor más alto.

Tabla 11. Clasificación IGO

Variables	Gobernabilidad	Importancia
	X	Y
1. Tecnología	4	10
2. Investigación	8	9
3. Infraestructura	7	7
4. Provee-materia prima	8	9
5. Precio del producto	5	7
6. Capital humano	8	8
7. Segmento de mercado	-8	2
8. Calidad	10	10
9. Financiación	5	10
10. Dirección	10	10
11. Jurídico	-10	5
12. Comercio internacional	-2	-2
13. Alianzas estratégicas	10	8
14. Innovación	8	7
15. Cultura	-9	-4
16. Política	-7	2
17. Geografía	8	8
18. Demografía	-10	1
19. Impacto ambiental	8	5
20. Publicidad y mercado	9	2
21. Instituciones	8	9
22. Competencia	-9	7
23. Cultura organizacional	6	10
24. Clima laboral	6	8
25. Impacto social	8	5

Fuente: Los autores

Matriz de clasificación IGO (ver figura 6).

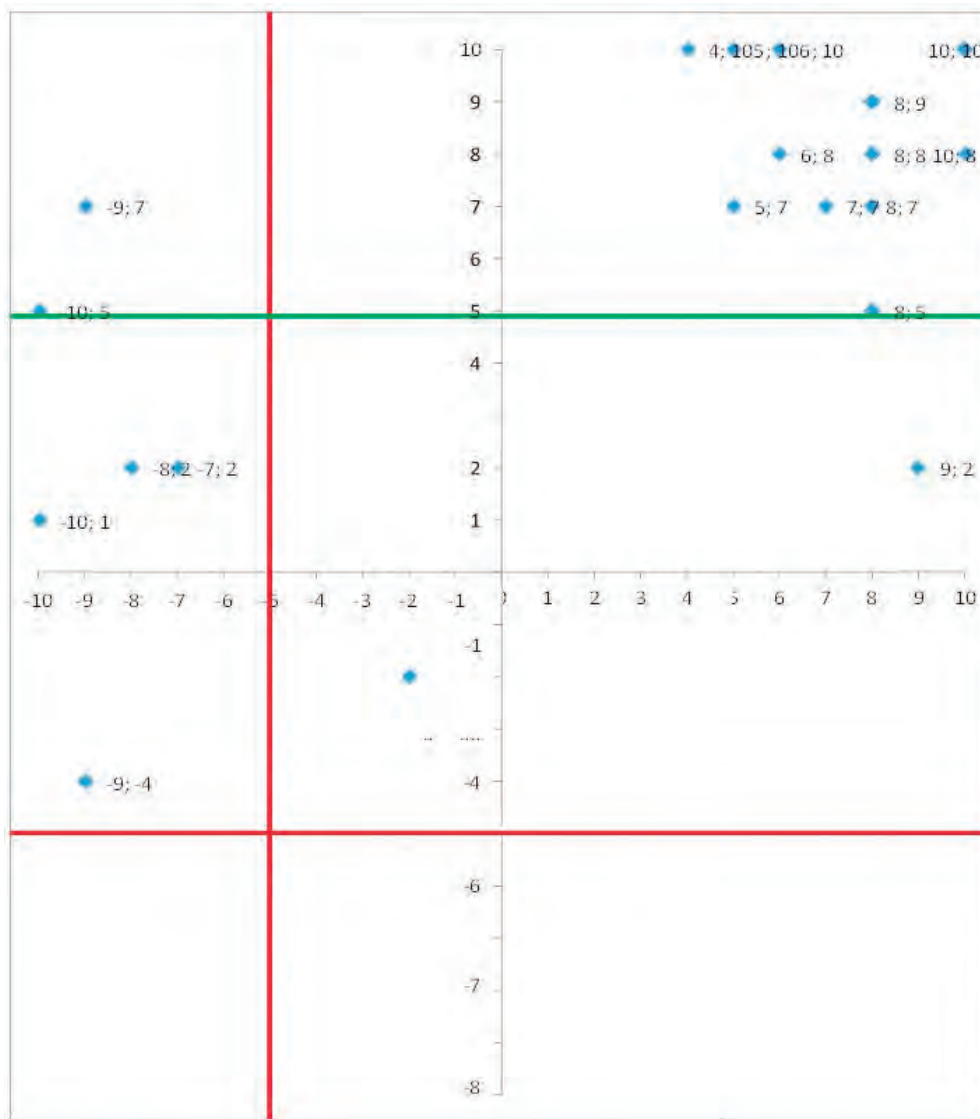


Figura 6. Clasificación IGO.
Fuente: Los autores

Calificación de variables IGO (Ver Tabla 12)

Tabla 12. Clasificación de la gobernabilidad de las variables según IGO.

VARIABLES	ALTA	MEDIA	BAJA
Tecnología		X	
Investigación		X	
Infraestructura		X	
Provee-Materia prima		X	
Precio del producto		X	
Capital humano	X		
Segmento	X		
Calidad		X	
Financiación		X	
Dirección			X
Jurídico		X	
Comercio internacional		X	
Alianzas estratégicas	X		
Innovación		X	
Cultura	X		
Política		X	
Geografía			X
Demografía	X		
Impacto ambiental			X
Publicidad y mercadeo			X
Instituciones			X
Competencia	X		
Cultura organizacional		X	
Clima laboral		X	
Impacto social		X	
TOTAL	6=24 %	14= 56 %	5= 20 %

Fuente. Los autores

Análisis IGO. Un muy alto número de variables, doce (12) para precisar, se encuentran en el rango de ser muy importantes, pero a su vez muy gobernables; la naturaleza de las empresas metalmecánica muestra que una muy buena parte de su potencialidad operativa y comercial depende de su propio modelo administrativo y de las decisiones que asuma al respecto. Sin embargo, al estar en un mercado tan técnico y especializado, cobra especial relevancia la calidad de la labor que adelante y ello necesariamente recae sobre la técnica usada y el reconocimiento del peso del cliente en este ámbito. Se identifica además que el rango de acción local es y podría ser a futuro suficiente para suplir la oferta presentada por la organización, y aunque la globalización de los negocios pueda parecer una atractiva oportunidad en el caso de esta industria, su rol, al menos para Tuluá y su zona de influencia, es atractivo pero en la actualidad no asume tan notable relevancia.

A nivel de la gerencia de las empresas se sustenta un interés por desarrollar los negocios, pues no se asume ningún elemento como de baja importancia y se les presta atención a todas las variables. Se procura mantener los elementos bajo control y continua observación. Las variables que recaen en la región de poco gobernable, responde específicamente a aquellas que son inmanejables, propias de sujetos e instituciones ajenos a la empresa y extraños a la industria, mas no al sector; aun así estas son reconocidas por la organización como importantes. A grandes rasgos se puede establecer que las empresas del sector tienen notables posibilidades de fortalecer su propuesta a futuro y dicha opción depende del nivel estratégico

de quien debe asumir decisiones, realizar inversiones, seleccionar proyectos y adelantar aplicaciones administrativas que garanticen a sus clientes la mayor satisfacción posible, fruto del óptimo servicio y la productividad de calidad, acompañada de la prestación de garantías del servicio, como ya se viene haciendo a la fecha.

(Importancia – Incertidumbre). Se calificó cada variable según su nivel de incertidumbre, entre alta, media y baja (ver Tabla 13)

Tabla 13. Clasificación de la incertidumbre según los actores.

No.	Variable	Incertidumbre (eje x)	Importancia (eje y)	No.	Variable	Incertidumbre (eje x)	Importancia (eje y)
1	Tecnología	3	10	14	Innovación	-5	7
2	Investigación	-5	9	15	Cultura	6	-4
3	Infraestructura	2	7	16	Política	5	2
4	Prove-mat-pri	4	9	17	Geografía	-8	8
5	Precio-producto	4	7	18	Demografía	8	1
6	Capital humano	8	8	19	Ambiental	-7	5
7	Segmento-mercado	5	2	20	Publicidad-mercado	-7	2
8	calidad	-5	10	21	Instituciones	-8	9
9	Financiación	4	10	22	Competencia	-8	7
10	Dirección	-9	10	23	Cultura Organizacional	8	10
11	Jurídico	2	5	24	Clima laboral	2	8
12	Comercio internacional	-2	7	25	Impacto social	2	5
13	Alianza estratégica	5	8			-1	

Fuente: Los autores

Plano I.E (Importancia – Incertidumbre) (ver Figura 7).

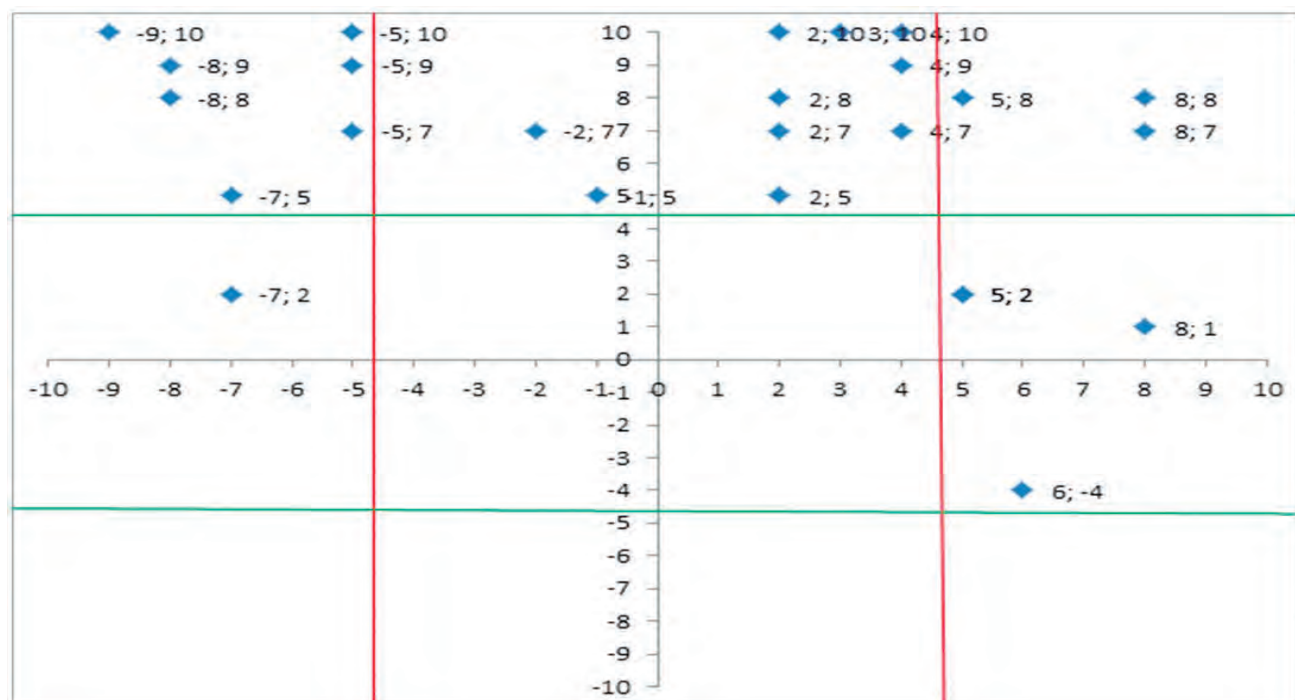


Figura 7. Plano de Importancia e incertidumbre.

Fuente: Los autores

Análisis de incertidumbre e importancia. En una interpretación global, es prometedor el hecho de que más del 50 % de las variables importantes, son de baja incertidumbre, es decir la mayoría de las variables de importancia se pueden predecir y esto está muy de la mano con la gobernabilidad que se pueda ejecutar sobre ellas. Aunque cabe destacar que las siguientes variables: capital humano (8,8), competencia (8,7), alianzas estratégicas (5,8), proveedores materia prima (4,9), financiación (4,10) y precio del producto (4,7) son las variables que presentan mayor incertidumbre para el sistema y su grado de importancia es alto. Esto es debido a que dichas variables no dependen directamente de la organización, ya que el mercado cambiante puede poner a favor o en contra cualquier situación en algunas de ellas que afecte a toda la organización.

Escenarios

Escenario optimista. Estamos en el 2028, diez años después que las juntas de las empresas de la metalmecánica se reunieran para hacer la evaluación de la situación de las empresas.

Hoy vemos que las organizaciones han logrado un excelente posicionamiento en el mercado, gracias a que se han hecho grandes desarrollos en el tema de la innovación, en la renovación y diversificación de los servicios. La dinámica establecida ha permitido aplicar nuevas tecnologías demarcadas por el tema de la calidad, esto conlleva a ser competitivos con el precio y por lo tanto a una expansión de las empresas a nivel nacional e internacional. Este proceso que arrancó hace diez años, permitió tener muchas inversiones, trabajar muy fuertemente por un clima organizacional agradable generando una cultura de la cordialidad al interior de las empresas metalmecánicas del municipio de Tuluá y su zona de influencia. Además las empresas del sector han sido reconocidas por una gran calidad de procesos para disminuir el impacto ambiental ocasionado por los procesos de fabricación.

Por último se tuvo que trabajar mucho en el tema de la capacitación para poder contar con el personal idóneo y competente que permitió afrontar los nuevos retos que exige un mercado global.

Escenario pesimista. El objetivo principal de este estudio fue la elaboración de escenarios prospectivos de desarrollo de las empresas metalmecánicas al año 2028, los cuales facilitan la planificación estratégica y posibilitan la generación de un marco de referencia para las políticas de desarrollo de la organización.

El escenario pesimista supondría que las empresas del sector metalmecánico se enfrentarán a desafíos que están enmarcados y que dependen de la madurez y de la planeación estratégica que han desarrollado las empresas desde su creación, pues muchas de las variables analizadas dependen de la gestión de la dirección de las mismas. Si la dirección no tiene claro que la adopción de un plan estratégico como política interna de las organizaciones es un factor clave, la competitividad y la productividad se van a ver afectadas, pues no habría una estabilidad y confiabilidad en los procesos, la capacidad de respuesta y la calidad serían un choque por la falta de estandarización y normalización de los procesos internos.

Otro desafío al que se enfrentan las empresas de la metalmecánica es la escasez de talento humano con las competencias necesarias para llevar a cabo las actividades que exigen los proyectos que se generan en las empresas del sector. No se cuenta con un modelo institucional consolidado para el desarrollo y que fomente las alianzas estratégicas (Estado / Sectores productivos / Comunidad/ Sociedad del conocimiento) para que la región cuente con la cobertura y calidad de infraestructura física y de servicios para la promoción y generación de conocimiento que permita el óptimo desarrollo de los distintos sectores socioeconómicos.

Si las empresas del sector metalmecánico no cuentan con un plan estratégico, variables como la tecnología, calidad y financiamiento se verán fuertemente afectadas, ya que la organización debe consolidar, además de una robustez económica mediante alianzas estratégicas, la adopción de sistemas de gestión que le permitan medir, controlar y mejorar continuamente sus procesos. Si se cuenta con un plan estratégico las empresas podrán responder cada vez más a las exigencias de los nuevos proyectos que se generan tanto a nivel nacional como internacional.

Las empresas del sector no deberán descuidar la variable de clima laboral, porque se puede convertir en un factor potencial de conflicto a nivel interno. La empresa deberá de garantizar las condiciones de trabajo, infraestructura, seguridad y disponibilidad de personal suficiente para que la percepción del clima no afecte el desempeño y la productividad del personal a cargo.

La volatilidad del dólar seguirá siendo un factor determinante en el margen de rentabilidad de los productos y servicios que ofrecen las empresas del sector metalmecánico, por lo tanto sus procesos deben ser competitivos.

En conclusión, si no hay un plan de direccionamiento estratégico por parte de las empresas del sector metalmecánico, la proyección que se tiene para lograr las metas se va a ver permeada negativamente, ya que en la actualidad su capacidad de respuesta no responde con la agilidad que se requiere y los procesos no están normalizados, situación que afectaría la falta de control, seguimiento y mejora continua además que la definición de roles y funciones del personal que hace parte de las empresas del sector, no está claramente sustentada bajo procedimientos definidos. La percepción del clima que tienen los directivos frente a la que tienen los colaboradores es diferente, y la demanda de personal calificado se convierte en un factor que golpea fuertemente a las empresas del sector metalmecánico.

Escenario tendencial

Estamos en el 2028, las empresas del sector metalmecánico, ubicadas en el municipio de Tuluá y su zona de influencia, se han caracterizado porque desde sus inicios las personas que las dirigen, han trabajado arduamente en la cualificación y posicionamiento de las mismas en el sector, logrando desde el año 2018 un auge importante en sus estructuras. Se ha pensado en la implementación de un plan estratégico para las empresas del sector.

Las empresas han logrado sortear grandes dificultades que se han presentado a lo largo del tiempo, siendo las más relevantes aquellas concernientes con el personal, como la falta de personal calificado para las labores especializadas en herramientas de corte, precisión y manejo de software, para responder a la eficacia en la multiplicidad de servicios de mecanizado. A pesar de todo esto, las empresas logran sortear esta dificultad a través del apoyo con Instituciones entre las que se encuentra el SENA, además de las alianzas estratégicas con otras empresas.

Después de lograr un equilibrio en los aspectos anteriormente mencionados, las empresas tuvieron que luchar por evitar la rotación del personal ya capacitado y entrenado, esto debido al alto crecimiento del sector, situación que hasta hoy en día, ha obligado a las empresas a trabajar fuertemente en su Cultura Organizacional, Impacto Social, Ambiental, Cultura y Clima Laboral, con el objeto de crear mayor compromiso en sus empleados y que estos se sientan más a gusto con su labor. Las empresas han ido implementando estrategias más integrales: como mejores salarios, integraciones, capacitaciones según los perfiles, gestión del conocimiento con el fin de capturar las mejores prácticas y procesos.

Otro factor que los directivos han tenido como reto y que ha marcado una diferenciación con otras empresas de la competencia y que también corresponde a otras regiones dentro y fuera del mismo departamento; son el precio de venta del producto, la calidad, la tecnología que se utiliza en sus productos, esto como resultado de grandes esfuerzos por afianzar y consolidar los procesos de investigación, buscando siempre que el fin de esta sea la Innovación. No ha sido nada fácil cambiar el paradigma para las empresas del municipio de Tuluá y su zona de influencia, ya que la financiación ha sido muy poca, se ha trabajado por medio de alianzas, publicidad focalizada al segmento empresarial y apertura a mercados Internacionales cautelosamente, siendo este último un factor parte de la etapa posterior al fortalecimiento interno. Para cumplir con las condiciones de los mercados internacionales y en búsqueda de una expansión de mercados con infraestructura adecuada para satisfacer la demanda Internacional, las empresas del sector metalmecánico de Tuluá y su zona de influencia deben de implementar un Plan estratégico para los próximos 10 años, 2028- 2038.

Escenario de apuesta para el Municipio de Tuluá y su zona de influencia en el sector metalmecánico para el año 2028: Con la ayuda de los escenarios descritos anteriormente se extraen las variables más relevantes para realizar el escenario de apuesta, gracias a ello nos podemos ubicar en un presente planteado por las variables y analizar cómo se comportaría en un futuro.

En el municipio de Tuluá y su zona de influencia, están ubicadas pequeñas y medianas empresas del sector metalmeccánico, un territorio que se ha vuelto de gran importancia y apoyo para las grandes pymes del Departamento y noroccidente colombiano por su cercanía, siendo un factor importante para atender las diferentes necesidades del mercado particular al sector metalmeccánico. De ahí la importancia de aumentar la tecnología e investigación en los diferentes procesos, tanto administrativos como productivos, para poder ofrecer servicios y productos de buena calidad y justo a tiempo. El estudio prospectivo y estratégico pensando en el horizonte del 2028 busca contribuir al fortalecimiento y crecimiento organizacional de las empresas del sector, donde se empleará un enfoque sistemático y multidisciplinario que permite analizar las diferentes variables tanto internas como externas. El escenario apuesta para el año 2028, le apunta a la buena formación en el capital humano, contando con una buena capacitación técnica y tecnológica, apoyado por instituciones como: SENA, Universidades, Cajas de Compensación, Cámara de Comercio de Tuluá-Valle entre otras. Es muy importante que todos estos actores ayuden en la educación y formación técnica de colaboradores de las empresas dedicadas al sector metalmeccánico, dichas empresas apuestan al capital humano sustentado en unos conocimientos técnicos aprovechando las tecnologías presentes y futuras, adquiriendo nuevas técnicas de trabajo para poder ser competitivos en precios con una buena calidad del producto terminado. Incrementar las alianzas estratégicas, tanto de capital como de conocimiento, para poder atender nuevos mercados y poder suplir más necesidades. Uno de los pilares de este estudio es proyectar las empresas a un posicionamiento destacado en el sector metalmeccánico para el horizonte 2028 en el municipio de Tuluá y su zona de influencia, con incidencia en las regiones del noroccidente y suroccidente colombiano, siendo esta una de las inflexiones del estudio prospectivo estratégico que conducen al discernimiento de las condiciones actuales y futuras del entorno, con el fin de plantear un direccionamiento estratégico que permita consolidar las fortalezas presentes y dar lineamientos en las problemáticas tanto actuales como aquellas que constituyen una posterior amenaza y generan mayor incertidumbre entre las que se destacan la competencia, los proveedores de materias primas, el precio del producto, la financiación entre otros que se muestran en la matriz I.E, con la finalidad de brindar mayor certeza en la construcción de nuevas oportunidades para las empresas del sector metalmeccánico del municipio de Tuluá y su zona de influencia.

Conclusiones

De acuerdo con la opinión de los expertos (Delphi) se deben precisar lineamientos estratégicos, que incorporen programas y proyectos que le permitan a las pequeñas empresas metalmeccánicas del centro del Valle del Cauca-Tuluá y zona de influencia mejorar su competitividad. Estos programas y proyectos deben orientarse a la capacitación de mano de obra especializada, fortalecimiento de la cadena productiva, formación gerencial de directivos y ejecutivos de las empresas del sector y consolidación de alianzas estratégicas entre los distintos eslabones de la cadena, además del fortalecimiento de los métodos y procesos de trabajo, especialmente en el mecanizado, que permita un mejor aprovechamiento de la mano de obra, herramientas, equipos y materiales, buscando la optimización de los tiempos de operación, la calidad del producto, la eliminación de retrocesos y mejorar los tiempos de respuesta al cliente.

De acuerdo con el Delphi, los expertos consultados estiman que la perspectiva más significativa para lograr cambios tecnológicos en el sector metalmeccánico de Tuluá y la región central del Valle del Cauca, que impacten la productividad, la calidad y la innovación es la inversión en conocimiento. Esta inversión incluye no sólo la formación de talento humano con competencias laborales de alto nivel, sino además consolidar una cultura de la innovación, fortalecer la cadena productiva, establecer una fuerte relación con la Universidad, el SENA y las instituciones técnicas y tecnológicas, generar un liderazgo renovador del sector que le permita ser interlocutor válido con el gobierno en el diseño de políticas públicas que lo beneficien frente a la competencia internacional, el contrabando y los TLC.

Fortalecer la cadena de valor de las empresas del sector: sus actividades primarias, sus procesos logísticos, de gestión de inventarios y almacenamiento, transporte y distribución, los procesos operativos, la estandarización y la productividad, el mercadeo y el servicio al cliente. Igualmente, ajustar y mejorar los procesos de apoyo como los relacionados con la estructura de las empresas, las actividades de planeación y control, la aplicación de normas de calidad, las compras y la gestión humana.

También consideran los actores que es indispensable desarrollar las actividades estratégicas en cabeza de los gerentes y directivos de las empresas, así como la gestión tecnológica y la gestión financiera, entre otros.

Referencias

- Astigarraga, E. (2016). Prospectiva estratégica: orígenes, conceptos clave e introducción a su práctica. *Revista Centroamericana de Administración Pública*, 71, 13-29.
- Baena, G. (2015). *Planeación prospectiva estratégica. Teoría, metodología y buenas prácticas en América latina. Proyecto Papime No. PE300414*. México D.F.: Metadata. Recuperado de: https://www2.politicas.unam.mx/publicaciones/wp-content/uploads/2015/08/Libro-PPE_interactivo1.pdf
- Bas, E. (2002). *Cómo usar el pensamiento sobre el futuro* (segunda ed.). Barcelona - España: Ariel social.
- Batancourt, B. (2015). Notas de Clase. *Curso Previsión y Pensamiento Estratégico*, Maestría en Administración. Universidad del Valle.
- Betancourt, B. (2011). *Entorno Organizacional - Análisis y diagnóstico*. Calí: Programa Editorial - Universidad del Valle.
- Betancourt, B. (2014). *Análisis Sectorial y Competitividad*. Bogotá, Colombia: ECOE Ediciones.
- Cámara de Comercio Tuluá. (2017). *Informe de comportamiento empresarial 2017*. Tuluá, Colombia. Recuperado de: <https://camaratulua.org/wp-content/uploads/2016/02/calidad/page/Informe-Comportamiento-Empresarial-CCT-2017.pdf>
- Cámara de Comercio Tuluá. (2018). *Base de datos de registro de empresas según su clasificación*. Tuluá, Colombia.
- Cruz, J., y Girón, M. (2017). *Formulación del Plan Prospectivo y Estratégico de la empresa INGESOLMEC en el horizonte 2017 - 2025*. (Proyecto de Maestría) . Universidad del Valle, Tuluá, Colombia.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística- DANE. (2015). *Metodología para calcular el Indicador de Importancia Económica Municipal Cuentas Departamentales - CD*. Informe Técnico. Recuperado de: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/fichas/Met_indicador_import_economica_mpal.pdf
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística- DANE. (2012). *Clasificación industrial internacional uniforme de todas las actividades económicas. Revisión adaptada para Colombia CIIU Rev.4 A.C*. Bogotá, D.C. Recuperado de: <http://sen.dane.gov.co:8080/ProyWebCiiu/html/>
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2007). *Agenda Interna de Productividad y Competitividad*. Bogotá, Colombia.
- Departamento Nacional de Planeación. (2007). *Agenda Interna de Productividad y Competitividad*. Bogotá, Colombia.
- Gabiña, J. (1999). *Prospectiva y planificación territorial - Hacia un proyecto futuro*. Barcelona, España : Alfaomega - Boixareu Editores.
- Gándara, G., y Osorio, F. (2017). *Métodos Prospectivos: Manual para el estudio y la construcción del futuro*. México: PAIDÓS.

- Gobernación del Valle del Cauca. (2016). *Informe de Gestión 2016*. Recuperado de: <http://www.valledelcauca.gov.co/publicaciones.php?id=36239>
- Godet, M. (1993). *De la anticipación a la acción, Manual de prospectiva y estrategia. Estrategia y Gestión Competitiva*. París, Francia: Boixareu editores.
- Godet, M. (2000). *La caja de herramientas de la prospectiva estratégica*. París, Francia: Laboratoire d'Investigation Prospective et Stratégique.
- Godet, M., y Durance, P. (2011). *La prospectiva estratégica para las empresas y los territorios*. Paris, Francia: UNESCO - Dunod - Fondation Prospective et Innovation.
- Máttar, J., y Cuervo González, L. M. (2016). *Planificación y prospectiva para la construcción de futuro en América latina y el Caribe. Textos seleccionados 2013-2016*. Santiago de Chile, Chile: CEPAL.
- Medina, J., y Ortigón, E. (2006). *Manual de prospectiva y decisión estratégica: Bases teóricas e instrumentos para América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: Naciones Unidas - CEPAL.
- Miklos, T., y Tello, M. (2007). *Planeación Prospectiva - Una estrategia para el diseño del futuro*. Centro de Estudios Prospectivos Javier Barros Sierra. México: LIMUSA.
- Mintzberg, H., Ahlstrand, B., y Lampel, J. (2008). *Safari a la estrategia*. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Granica S.A.
- Mojica, F. (2005). *La construcción del futuro. Concepto y modelo de prospectiva estratégica, territorial y tecnológica*. Bogotá: U. Externado de Colombia.
- Ohmae, K. (1985). *La Mente del Estratega*. Madrid, España: McGraw- Hill.
- Olavarrieta, M. (2011). *Diccionario enciclopédico mundial sobre prospectiva*. México: Futuros.
- Pallares, Z. (2004). *Asociatividad empresarial - Estrategia para la competitividad*. Bogotá, Colombia: Fondo editorial Nueva Empresa.
- Porter, M. (1999). *Ser Competitivo. Nuevas aportaciones y conclusiones*. Bilbao, España: Ediciones Deusto S.A.
- Régnier, F. (1989). *Annoncer la couleur. Pour une approche nuancée du consensus*. Nancy, Francia: Institut de métrologie qualitative.
- Sanabria, R. (2005). *Formulación y Pensamiento Estratégico*. Bogotá, Colombia: Planeta.
- Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. (2012). *Caracterización del Sector Metalmecánico y Área de Soldadura*. Bogotá, Colombia: SENA. Recuperado de: <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/2169>
- Tofail, S. A., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., y Charitidis, C. (2018). Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. *Materials today*, 21(1), 22-37.
- Unión Industrial Argentina. (2008). *Debilidades y desafíos tecnológicos del sector productivo: Metalmecánica*. Buenos Aires. Recuperado de: https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/images/f/f8/Debilidades_y_desaf%C3%ADos_tecnol%C3%B3gicos_del_sector_productivo.pdf

Indicadores de responsabilidad social empresarial basados en el Pacto Mundial de las Naciones Unidas y el Global Reporting Initiative para evaluar la gestión de los agentes comercializadores y distribuidores de energía en Colombia

Indicator of corporate social responsibility based on the United Nations Global Pact and the Global Reporting Initiative to assess the management of the Comercial Agents and distributors of energy in Colombia

Mónica Andrea Cortés V.^{1*}
Mary Luz Muñoz Z.²
Martha Lucía Quintero G.³
Francisco Javier Sánchez E.⁴

¹ Colombiana. M.Sc. Ingeniera Industrial. Universidad Santiago de Cali. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Centro de gestión tecnológica de servicios CGTS. Cali, Colombia.
*Autor de correspondencia: monica.cortes02@usc.edu.co.

² Colombiana. M.Sc. Maestría en Ingeniería Industrial. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
E-mail: maryluz10@gmail.com.

³ Colombiana. Ph.D. en Gestión de Empresas. Profesora Escuela de Ingeniería Industrial. Universidad del Valle. Cali, Colombia. Grupo de investigación en Logística y Producción.
E-mail: martha.quintero@correounivalle.edu.co.

⁴ Colombiano. M.Sc. Mercadeo. Universidad Libre. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Centro de Gestión Tecnológica de Servicios CGTS. Cali, Colombia.
E-mail: sanchez_94@hotmail.com.

Recibido: 24- 01 - 2018 Aceptado: 30-08-2018

Resumen

Se propone una metodología estratégica para la gestión empresarial a partir de la elaboración de indicadores bajo el marco de las guías del Pacto Mundial de las Naciones Unidas (ONU) y el Global Reporting Initiative (GRI4). La información parte del análisis de cinco referentes de la ONU: Declaración Universal de los Derechos Humanos; Declaración de la Organización Internacional para el Trabajo; Declaración de Río sobre Medio Ambiente y el Convenio de las Naciones Unidas contra la Corrupción, y la guía para la elaboración de memorias de Sostenibilidad G4. En consecuencia, se construyen indicadores de gestión en Responsabilidad Social Empresarial (RSE) que permiten medir el desempeño de las empresas comercializadoras y distribuidoras del sector eléctrico colombiano.

Palabras clave: Responsabilidad social empresarial; sector energético; agentes comercializadores y distribuidores; Pacto Mundial de las Naciones Unidas; Global Reporting Initiative.

Cómo citar: Cortés V., M. A., Muñoz Z., M. L., Quintero G., M. L., Sánchez E., F. J. (2018). Indicadores de responsabilidad social empresarial basado en el Pacto Mundial de las Naciones Unidas y el Global Reporting Initiative para evaluar la gestión de los agentes comercializadores y distribuidores de energía en Colombia. *Informador Técnico*, 82(2), 209-240. doi: <https://doi.org/10.23850/22565035.1360>

Abstract

A strategic methodology for business management is proposed based on the development of indicators under the guidelines of the United Nations Global Compact (UN) and the Global Reporting Initiative (GRI4). The analysis of the information starts from the analysis of five referents of the UN: Universal Declaration of Human Rights; Declaration of the International Organization for Work; Rio Declaration on the Environment and the United Nations Convention against Corruption, and the guide for the preparation of Sustainability Reports G4. As a result, management indicators are constructed in Corporate Social Responsibility (CSR) that allows to measure the performance of the trading companies and distributors of the Colombian electricity sector.

Keywords: Corporate social responsibility; energy sector; marketing agents and distributors; united nations global compact; global reporting initiative.

Introducción

La Responsabilidad Social Empresarial (RSE) se considera como un pilar que integra principios, valores, bienestar de los trabajadores, de la comunidad y el respeto por el medio ambiente, que permite construir la plataforma estratégica de las empresas independientemente del sector al que pertenezcan.

Según Icontec (2008), la Responsabilidad Social Empresarial (RSE) se entiende como el compromiso voluntario que las organizaciones asumen frente a las expectativas concertadas en materia de desarrollo humano integral, cumpliendo con las disposiciones legales, que les permiten a las organizaciones asegurar el crecimiento económico, el desarrollo social y el equilibrio ecológico.

De la misma manera, se debe mencionar que también relaciona el cumplimiento por la legislación y las regulaciones internas inmersas en su actividad, el respeto por acuerdos y tratados internacionales sobre derechos humanos y de los trabajadores, prevención de la corrupción y la responsabilidad hacia sus socios, proveedores, trabajadores y cualquiera que se relacione con la organización.

Las empresas que practican la responsabilidad social obtienen muchos beneficios como el mejoramiento del clima organizacional, son más atractivas para los clientes e inversionistas, motivo por el cual pueden llegar a ser más competitivas y generar mayor rentabilidad. Para desarrollar una cultura organizacional sostenible se debe introducir una gestión proactiva y de corresponsabilidad que vincule estrechamente a los “stakeholders” o grupos de interés en pro del enriquecimiento integral de la sociedad.

En la actualidad, las empresas son más conscientes de la importancia que tiene incorporar las preocupaciones sociales, laborales, medioambientales y de derechos humanos, como parte integral en el modelo de negocio; por lo tanto, se ha implementado la formulación y ejecución de planes de acción basados en metas comunes a partir de las prácticas y/o metodologías propuestas por organizaciones especializadas en materia de desarrollo sostenible.

Se propone el desarrollo metodológico de una herramienta tecnológica para la evaluación de las empresas comercializadoras y distribuidoras del sector eléctrico en Colombia.

Planteamiento del problema

Las empresas del sector eléctrico han identificado que controlar el impacto de su gestión empresarial conlleva a que un elemento clave en la incorporación de decisiones y estrategias para el desarrollo sostenible es la RSE, dado que constituye el referente comportamental que persigue el compromiso de valorar las consecuencias que tienen en la sociedad las acciones y decisiones para el logro de los objetivos y metas que contribuyen al bienestar y al mejoramiento de la calidad de vida de los accionistas, proveedores, empleados, familias y la comunidad.

En este sector se presentan algunas dificultades derivadas por la falta de almacenamiento de la energía eléctrica; las condiciones climáticas no permiten mantener una tasa de equilibrio de consumo entre la oferta y la demanda. Tal como lo expresa Romero y Vargas (2010), históricamente en Colombia los costos percibidos por los usuarios han sido muy altos por las pérdidas en el sistema de interconexión nacional, como consecuencia el Ministerio de Minas y Energía (MME) a través del decreto 387 de 2007, ha establecido costos en las tarifas de tal manera que cada agente es responsable de presentar un plan de reducción de pérdidas para la aprobación en la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). Estas pérdidas se clasifican en dos categorías asociadas por un lado a las condiciones técnicas como son las características propias de las cuatro redes que corresponde a la energía que se entrega a un sistema y la que realmente recibe el usuario final, y las no técnicas vinculadas a los inconvenientes de facturación y gestión operativa deficientes, así mismo los fraudes presentados por las conexiones ilegales por parte de los usuarios.

Los estudios realizados por la Secretaría de Energía de México (2017) consideran cómo la producción mundial de energía primaria totalizó 13.790.027 millones de toneladas equivalentes de petróleo. Encabezando la lista: China con 18,1 %, Estados Unidos con 14,6 %, Rusia con 9,7 %, Arabia Saudita con 4,7 % e India con 4,0 %. México se situó en el decimoquinto lugar, con 1,4 % de la energía total producida en el mundo.

En el informe presentado por Arias y Cadavid (2004) las pérdidas de energía son contempladas por hurtos, falencias en la gestión administrativas, incumplimiento en los criterios técnicos por los proveedores. En Colombia, las pérdidas llegaron gradualmente en el 2003 al 10,8 % en el sector rural. En lo que respecta a la calidad del servicio prestado por los agentes comercializadores presenta un indicador de 47 interrupciones por usuario al año, como consecuencia de las diferentes tasas de remuneración de los 22 agentes de distribución en el país. Por su parte, el informe entregado por las estadísticas de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2016) manifiesta que los indicadores de calidad y las pérdidas de energía se han afectado negativamente desde 1998 al 2015, por la falta de gestión para destinar recursos económicos en la infraestructura lo que implica que de los 12 millones de usuarios actualmente existen por lo menos 2 millones de usuarios que tienen un corte diario por más de una hora de duración.

Asimismo, alrededor de un tercio de la población mundial carece de energías modernas, con lo cual queda muy lejos del progreso técnico que caracteriza la realidad actual y, al mismo tiempo, ejerce una creciente presión en el medio ambiente. Este deterioro medioambiental se viene a sumar al que producen los países desarrollados a través de la elevada producción de gases de efecto invernadero y otras formas de polución, en este contexto es preocupante el uso ineficiente de energía que acelera la degradación del medio ambiente y la escasez de recursos tales como los combustibles fósiles.

La conciencia por el deterioro ambiental y el detrimento de los valores y principios éticos ha sido el foco de atención para que organismos y compañías internacionales pertenecientes al sector eléctrico eleven esfuerzos en la atención de líneas estratégicas en RSE. Dentro de las soluciones encontradas, los organismos encargados en RSE han decidido generar directrices unificadas hacia la actuación de un sistema de generación de electricidad socialmente responsable, implementando metodologías para demostrar, en los informes anuales de gestión, la rendición de cuentas de su operación bajo el marco de la RSE. Para articular los datos cuantitativos a los informes de balance anual, los resultados encontrados en la investigación desarrollan un cuadro de indicadores que analizan las cuatro materias (anticorrupción, medio ambiente, derechos humanos y laborales) del Pacto Mundial y el Global Reporting Initiative (GRI4) (Sustainability Reporting Guidelines, 2014).

Ubicación de la problemática

En Colombia, la reforma constitucional de 1991 posibilitó una transformación radical del sector eléctrico. De un esquema planificado y administrado por técnicos, pero cuyo control residual estaba en la transformación radical del sector eléctrico, se pasó, en el año de 1995, a un esquema de libre entrada de agentes a un mercado competitivo en el segmento de generación y la regulación de los segmentos de transmisión y distribución.

La reestructuración se llevó a cabo mediante las Leyes 142 (Ley de Servicios Públicos), y 143 (Ley de Electricidad), del año 1994; en ellas se definió el marco regulatorio para desarrollar un mercado competitivo. El nuevo esquema, diseñado por CREG (la Comisión Reguladora de Gas y Energía), fue implementado a partir de julio de 1995.

García, Cruz, y Corredor (2006), argumentan que el Ministerio de Minas y Energía es la principal institución del sector energético de Colombia. Dentro del Ministerio se ha constituido la UPME (Unidad de Planificación de Minería y Energía), la cual es responsable del estudio de futuros requerimientos de energía y escenarios de suministro, así como de la elaboración del Plan Nacional de Energía y Plan de Expansión.

Para Cuervo (2007) la reforma del sector eléctrico formó parte del conjunto de reformas que se iniciaron en América Latina a principios de los años noventa, el cual buscaba una salida al estancamiento económico en la adopción de un nuevo paradigma. En lo referente al sector de infraestructura, estas reformas propiciaban la vinculación de la empresa privada a la provisión de servicios y limitaban el papel del Estado a la definición de políticas y a la regulación; el establecimiento de la competencia en donde ésta fuera posible contribuiría a garantizar la eficiencia económica, dejando esta tarea a la regulación de los segmentos no competitivos del mercado. Se supone que una regulación independiente protegería a los inversionistas de intervenciones oportunistas del gobierno, al mismo tiempo, que defendería los intereses de los consumidores.

EMGESA (2008) informa como las empresas privadas son propietarias del 60 % de la capacidad de generación instalada, del 43 % (medido en número de consumidores) al 49 % (medido en ventas de kWh) de la energía suministrada a la red interconectada. Solamente tres compañías: Empresas Públicas de Medellín e ISAGEN y EMGESA controlan el 52 % de la capacidad de generación total.

El mercado de energía eléctrica es de tipo mayorista y tiene el propósito de prestar el servicio de electricidad de manera eficiente, posibilitando la libre entrada de empresas del sector privado que conforman los agentes de Generación, Trasmisión, Distribución y Comercialización con una estructura jerárquica coordinada por el Centro Nacional de Despachos (CND), de acuerdo con la resolución 080 de 1999 de la CREG (1999).

La clasificación de las empresas del sector eléctrico, dedicadas a la Generación, Trasmisión, Comercialización y Distribución en el Cauca y Valle del Cauca, se realizó consultando bases de datos de la Comisión de Regulación de Energía Eléctrica y Gas (CREG), La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) y el Sistema de Información Eléctrico Colombiano (SIEL).

Según el Royal Danish Ministry of Foreign Affairs y United Nations Development Programme (2005), se define el Pacto Mundial de las Naciones Unidas como “una iniciativa internacional con el objetivo de fomentar la ciudadanía corporativa”, lo que conlleva a que empresas de diferentes países y sectores económicos contribuyan de manera voluntaria en la organización de procesos que garanticen el desarrollo sostenible en la comunidad local o internacional.

Por su parte, el Global Reporting Initiative (GRI) (Sustainability Reporting Guidelines, 2014), permite a las empresas informar sobre el desempeño de su impacto empresarial en el ámbito social, ambiental y económico por medio de informes, y tal como lo enuncia la guía para la elaboración de memorias, es un proceso que materializa la visión mediante la implementación y mejora a partir de la elaboración de Memorias de Sostenibilidad del GRI. Con el propósito de difundir los indicadores que evalúen aspectos ambientales, económicos y sociales en sectores como el eléctrico, de ahí la importancia de la energía eléctrica, tanto para la producción como para la calidad de vida, convirtiéndola no sólo en una necesidad de satisfacer usos específicos (como la iluminación), sino en usos calóricos de fuerza motriz, y la tecnología avanzada. Con solo mencionar que la expansión de las comunicaciones, la transmisión de datos y la información solo pueden hacerse efectivas en la medida que exista energía para alimentar tales sistemas. De esta manera, la disponibilidad de energía y su uso eficiente constituye un factor indispensable en la búsqueda de la equidad en materia socioeconómica, particularmente en zonas alejadas rurales y aun urbanas marginales.

Para contribuir a que las organizaciones puedan demostrar su desempeño, el GRI ha desarrollado una guía en la que metodológicamente orienta acerca de la presentación de información que además de su compromiso con la responsabilidad social muestre la alineación con su planeación estratégica.

Metodología de la investigación

La metodología de estudio tiene un diseño de corte transversal con enfoque mixto y alcance explicativo, enfocada en los agentes de distribución y comercialización del sector eléctrico colombiano, a continuación se realiza una descripción de la investigación:

- Se hace un diagnóstico del sector energético tomando como referencia los agentes de distribución y comercialización a través de fuentes de búsqueda especializadas en investigación científica e informes estadísticos.
- La información consultada es analizada y estratificada por temas para la construcción del marco teórico.
- Los datos estadísticos se obtuvieron a partir de boletines del Ministerio de Minas y Energía en las bases de la CREG y la UPME que reportan el avance de las operaciones de las unidades energéticas.
- La información actualizada de los Indicadores GRI y el Pacto Mundial de las Naciones Unidas fue el punto de partida para comparar los indicadores estandarizados y desarrollar los que hicieran falta en los dos agentes de distribución y comercialización.
- Se hizo la comparación de los aspectos cualitativos del Pacto Mundial de las Naciones Unidas y los indicadores GRI para establecer las fórmulas de cada indicador estratégico. La figura 1 describe el enfoque y la integración de las dos metodologías basada en los diez (10) principios y las cuatro (4) categorías para la construcción de los indicadores de Responsabilidad Social Empresarial.

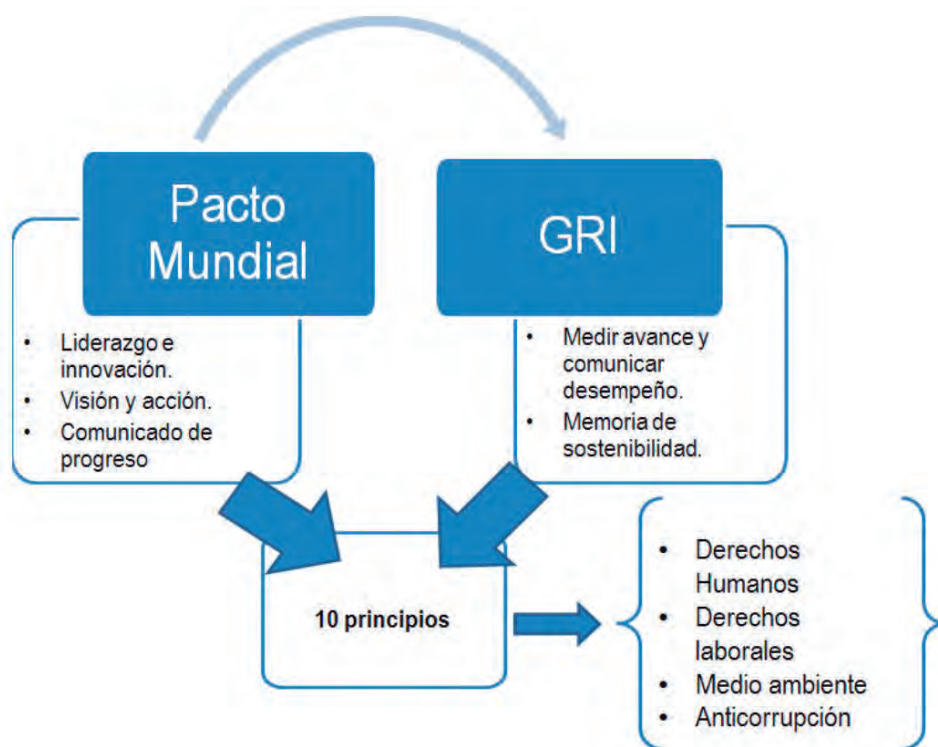


Figura 1. Fases de la investigación
Fuente: Los autores

Resultados

Establecer la relación entre los principios del Pacto Mundial de las Naciones Unidas y el Global Reporting Initiative (GRI) exige la revisión documental de las Guías en su cuarta versión 4; en su primera parte, “Principios y Contenidos básicos”, se establecen los vínculos con los diez principios del Pacto. Así mismo, se confronta con la segunda parte, “Manual de aplicación”, y los pasos para la “Elaboración de memorias de sostenibilidad y Comunicación de progreso del Pacto Mundial”.

Cada indicador formulado es revisado y analizado comparando la correlación de las cuatro materias de la ONU y los indicadores GRI en concordancia con los procesos estratégicos de los agentes distribuidores y comercializadores del sector eléctrico.

Principio No. 1.

Las empresas deben apoyar y respetar la protección de los derechos humanos proclamados en el ámbito internacional.

Según el Centro de Información de las Naciones Unidas (CINU), los derechos humanos no son un tema de naciones o del gobierno; el respeto por los derechos humanos comienza con el individuo; por tanto, es importante que las organizaciones cuenten con políticas en donde la salud y la seguridad en el trabajo sean prioritarias.

Es por esto que desde los sistemas de gestión que se implementen, debe existir una directriz que propicie condiciones seguras tanto para el empleado como para sus partes interesadas.

Es necesario profundizar en el conocimiento de las leyes internacionales y locales, para hacerlas cumplir; las empresas están obligadas a implementar programas de formación que permitan al empleado conocer y apropiarse de sus deberes y derechos con entera libertad.

Principio No 2.

Las empresas deben asegurarse de no ser cómplices en abusos a los derechos humanos.

Según este principio, la complicidad significa el estar implicado en algún tipo de abuso de los derechos humanos. Por esta razón, es cada vez más necesario que la gestión de la empresa sea transparente, y pueda estar sujeta a verificación, para que pueda demostrar que no participa en ningún tipo de complicidad en la vulneración de estos derechos.

Las empresas comercializadoras y distribuidoras del sector eléctrico deben enfatizar en la necesidad de respetar los derechos humanos, y dado que uno de los grupos de interés más importante son las autoridades militares, deben velar y realizar esfuerzos en conjunto para que la gestión en beneficio de la empresa no vulnere a las personas que habitan en las zonas de influencia.

La relación de los principios 1 y 2 del Pacto Mundial de las Naciones Unidas y los indicadores GRI se puede evidenciar en las tablas 1 a la 4, tal como se describe a continuación:

Tabla 1. Principios No 1, 2 del Pacto Mundial e indicadores GRI (HR1 hasta HR5)

GUÍA DE GRI (4)				
CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	ASPECTO	NOMBRE DEL INDICADOR	FÓRMULA INDICADOR SEGÚN AUTORES
Desempeño social	Derechos humanos	Inversión	HR1: Porcentaje de contratos y acuerdos de inversión significativos que incluyen cláusulas de derechos humanos o que han sido objeto de análisis en materia de derechos humanos.	Porcentaje de contratos que incluyen y promueven los DD HH = (No. de contratos que incluyen y promueven los DD HH / Total en Número de contratos legalizados).*100. Ingresos (\$) por contratos que incluyen y promueven los DD HH= (Ingresos en \$ de contratos que incluyen y promueven DD HH/ Total de ingresos en \$ de la Contratación).
			HR2: Porcentaje de horas de formación de los empleados sobre políticas y procedimientos relacionados con aquellos aspectos de los derechos humanos relevantes para sus actividades, incluido el porcentaje de empleados capacitados.	Porcentaje de capacitación en temas de derechos humanos= (No. de horas de formación en temas de derechos humanos)/(Total de horas de formación)*100. Porcentaje de colaboradores capacitados en DDHH= (No. de colaboradores capacitados en DDHH / total de colaboradores de la empresa) * 100.
		No. discriminación	HR3: Porcentaje de número de casos de discriminación y medidas correctivas adoptadas.	Porcentaje de quejas atendidas para casos de discriminación=(No. total de quejas atendidas para casos de discriminación)/(No total de quejas registradas para casos de discriminación)*100. Porcentaje de eficacia de los planes de acción establecidos=(No. total de planes de acción en caso de discriminación cerrados eficazmente)/(No total de planes de acción establecidos para casos de discriminación)*100.
			HR4: Porcentaje de identificación de centros y proveedores en los que la libertad de asociación y el derecho de acogerse a convenios colectivos pueden infringirse o estar amenazados, y medidas adoptadas para defender estos derechos.	Porcentaje de centros y proveedores vinculados a las asociaciones = (No. de empleados pertenecientes a asociaciones) / (total de empleados)*100.
		Trabajo infantil	HR5: Porcentaje de identificación de centros y proveedores con un riesgo significativo de casos de explotación infantil, y medidas adoptadas para contribuir a la abolición de la explotación infantil.	Porcentaje de trabajadores en edad infantil=(No. total de trabajadores en edad infantil contratados)/(No. total de empleados contratados)*100 Porcentaje de proveedores y contratistas que contratan personal en edad infantil=(No. total de proveedores y contratistas que contratan personal en edad infantil)/(No. total de proveedores y contratistas)*100.

Fuente: Los autores

A continuación se describen brevemente los indicadores relacionados en la tabla 1.

HR1: Número y porcentaje de contratos y acuerdos de inversión significativos que incluyen cláusulas de derechos humanos o que han sido objeto de análisis en materia de derechos humanos.

Este indicador es de especial relevancia para organizaciones que operan en regiones donde la protección de los derechos humanos es motivo de preocupación y la información se puede recopilar teniendo en cuenta el porcentaje de contratos significativos que contienen cláusulas o han sido objeto de análisis en materia de derechos humanos, respecto al total de contratos significativos.

Los contratos que se encuentran sujetos a consideraciones de la empresa que afecten las operaciones directas o que impidan que se cumpla con la misión, también pueden establecerse por el monto del valor.

Teniendo en cuenta que este indicador explica cómo se integran los derechos humanos en las decisiones económicas de una organización, se propone uno adicional en el que se hará visible el porcentaje de inversión en contratos en los cuales la empresa define expectativas sobre el desempeño en materia de derechos humanos como requisito para invertir en nuevos negocios o para contratar a un proveedor.

HR2: Horas de formación de los empleados sobre políticas y procedimientos relacionados con aquellos aspectos de los derechos humanos relevantes para sus actividades, incluido el porcentaje de empleados capacitados.

Este indicador ofrece información acerca del conocimiento que la organización tiene sobre los derechos humanos. Se incluye propuesta del indicador respecto al porcentaje de horas de capacitación en aspectos de derechos humanos al total de horas de formación aprobado por el Plan de Capacitación en la empresa.

HR3: Número de casos de discriminación y medidas correctivas adoptadas

Según la GRI 4 Sustainability Reporting Guidelines (2014), la discriminación se refiere al hecho y el resultado de tratar a una persona de forma desigual; ésta misma puede darse por motivos de raza, color, sexo, religión, opinión, procedencia o extracción social según definición de la OIT (1958). Estos temas deben ser abordados por los departamentos jurídicos de las empresas, quienes registran las quejas del cliente externo o interno, para que la organización investigue, evalúe y tome acciones.

Dado que las empresas utilizan las auditorías internas como un medio de verificación para comprobar el cumplimiento de sus requisitos legales y otros a los cuales la organización se suscriba, y teniendo en cuenta que las acciones correctivas producto de este mecanismo de evaluación, deben ser atendidas mediante planes de acción, se sugieren los siguientes indicadores: Porcentaje de quejas atendidas para casos de discriminación y porcentaje de eficacia de los planes de acción establecidos.

HR4: Identificación de centros y proveedores en los que la libertad de asociación y el derecho de acogerse a convenios colectivos pueden infringirse o estar amenazados y medidas adoptadas para defender estos derechos.

Según la Oficina Internacional del Trabajo OIT (2001), en la Declaración tripartita de principios sobre las empresas multinacionales y la política social, se deberían respetar la Declaración Universal de Derechos Humanos y los Pactos Internacionales, en los cuales se afirma que la libertad de expresión y de asociación son el fundamento del progreso a lo largo del tiempo. Los empleados deben tener la libertad de asociarse en gremios que faciliten el diálogo, la negociación con sus empleadores, de tal manera que tengan voz y voto en las decisiones que toma la empresa que pueden afectar al trabajador. El indicador que se propone es el siguiente: % de empleados asociados.

HR5: Identificación de centros y proveedores con un riesgo significativo de casos de explotación infantil y medidas adoptadas para contribuir a la abolición de la explotación infantil.

La existencia y la aplicación efectiva de políticas sobre trabajo infantil son un requisito mínimo para una conducta socialmente responsable. Las empresas deberían conocer cuáles de sus proveedores o contratistas contratan personas menores de 18 años y cuáles de ellas ejercen trabajos potencialmente peligrosos.

La GRI 4 sugiere registrar esta información de la siguiente fuente: centros y proveedores con un riesgo significativo de casos de trabajo infantil. Para hacer medible esta información, se proponen los siguientes indicadores (Sustainability

Reporting Guidelines, 2014): Porcentaje de trabajadores en edad infantil y porcentaje de proveedores y contratistas que contratan personal en edad infantil.

Tabla 2. Principios No 1, 2 del Pacto Mundial e indicadores GRI (HR6 hasta HR9)

GUÍA DE GRI (4)				
CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	ASPECTO	NOMBRE DEL INDICADOR	FÓRMULA INDICADOR SEGÚN AUTORES
Desempeño social	Derechos humanos	Trabajo forzoso	HR 6: Porcentaje de centros y proveedores significativos con un riesgo significativo de ser origen de episodios de trabajo forzoso, y medidas adoptadas para contribuir a la eliminación de todas las formas de trabajo forzoso	Porcentaje de fábricas, proveedores y contratistas con riesgo de trabajo forzoso=(No. total de proveedores y contratistas con riesgo de trabajo forzoso)/(No. total de proveedores y contratistas con los cuales la empresa mantiene relaciones comerciales)*100
				Porcentaje de eficacia de los planes de acción establecidos=(No total de planes de acción en casos de trabajo forzoso, cerrados eficazmente)/(No total de planes de acción establecidos para casos de trabajo forzoso)*100
		Medidas de seguridad	HR 7: Porcentaje del personal de seguridad que ha recibido capacitación sobre las políticas o los procedimientos de la organización en materia de derechos humanos relevantes para las operaciones	Porcentaje de personal de seguridad capacitado en DDHH = No. de personas de seguridad capacitado en DDHH / Total de colaboradores de seguridad de la empresa*100
				Porcentaje de horas de capacitación en temas de derechos humanos=(Total de horas de formación en temas de derechos humanos)/(Total de horas de formación)*100
		Derechos de la población indígena	HR 8: Porcentaje de número de casos de violación de los derechos de los pueblos indígenas y medidas adoptadas	Porcentaje de quejas atendidas para casos de violación de los derechos de pueblos indígenas=(No total de quejas atendidas para casos de violación de derechos de pueblos indígenas)/(No total de quejas registradas para casos de violación de derechos de pueblos indígenas)*100
				Porcentaje de eficacia de los planes de acción establecidos=(No total de planes de acción cerrados eficazmente)/(No total de planes de acción establecidos para casos de derechos de los pueblos indígenas)*100
		Evaluación	HR 9: Porcentaje de número y porcentaje de centros que han sido objeto de exámenes o evaluaciones de impactos en materia de derechos humanos	Porcentaje de centros evaluados: (Número de centros evaluados en derechos humanos/ Total de centros de atención de la empresa)* 100

Fuente: Los autores

A continuación se describen brevemente los indicadores relacionados en la tabla 2.

HR 6: Centros y proveedores con un riesgo significativo de ser origen de episodios de trabajo forzoso y medidas adoptadas para contribuir a la eliminación de todas las formas de trabajo forzoso.

Según la OIT (1930), en el convenio No. 29 todo trabajo o servicio exigido a cualquier persona bajo amenaza de castigo y para el cual dicha persona no se ha ofrecido voluntariamente se considera trabajo forzoso. Las empresas deben identificar cuáles de sus fábricas, proveedores, contratistas o parte relacionada con quien mantiene relaciones comerciales tiene personal con riesgo significativo de trabajo forzoso y si se han implementado planes de acción para eliminar esta práctica. Se identifican dos indicadores: % de fábricas, proveedores y contratistas con riesgo de trabajo forzoso y % de eficacia de los planes de acción establecidos.

HR 7: Porcentaje del personal de seguridad que ha recibido capacitación sobre las políticas o los procedimientos de la organización en materia de derechos humanos relevantes para las operaciones.

Este indicador permite evidenciar la visión que tiene la empresa acerca de los derechos humanos, puesto que en ocasiones el personal de seguridad debido a la naturaleza de su labor puede realizar acciones que comprometen o pueden llegar a vulnerar estos derechos. Los indicadores propuestos nos muestran el promedio de horas de formación por empleado en derechos humanos y el porcentaje de horas de capacitación en temas de derechos humanos con respecto al total de horas empleadas en cualquier tipo de formación.

HR 8: Número de casos de violación de los derechos de los pueblos indígenas y medidas adoptadas.

Indudablemente el llevar progreso a una región, como supone el desarrollo de proyectos del tipo energético, puede afectar un ecosistema y su población. Máxime en regiones como el Cauca, en donde se encuentran numerosos resguardos indígenas. La infraestructura para el montaje de líneas y subestaciones indudablemente puede afectar a la comunidad en donde se instale el proyecto. Se propone, entonces, dos indicadores que pueden medir el porcentaje de quejas por casos de violación de los derechos humanos en los pueblos indígenas y el porcentaje de eficacia de los planes de acción establecidos para mitigar el riesgo de ocurrencia.

HR 9: Número y porcentaje de centros que han sido objeto de exámenes o evaluaciones de impactos en materia de derechos humanos.

Las empresas que comercializan y distribuyen energía deben identificar sus partes interesadas y cómo impacta la operación a estos grupos; específicamente, se debe determinar si se han vulnerado los derechos humanos y qué acciones se están tomando para que no vuelvan a ocurrir estos incidentes. Esta información podría obtenerse de demandas o quejas presentadas ante el área jurídica y el indicador que se propone es el siguiente: % de centros evaluados.

Tabla 3. Principios No 1, 2 del Pacto Mundial e indicadores GRI (HR10, HR11, HR12)

GUÍA DE GRI (4)				
CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	ASPECTO	NOMBRE DEL INDICADOR	FÓRMULA INDICADOR SEGÚN AUTORES
Desempeño social	Derechos humanos	Evaluación de los proveedores en materia de derechos humanos	HR 10: Porcentaje de nuevos proveedores que se examinaron en función de criterios relativos a los derechos humanos.	Porcentaje de proveedores que incluyen los derechos humanos como materia de cumplimiento = $(\text{No de proveedores evaluados que incluyen los derechos humanos como materia de cumplimiento}) / (\text{No total de proveedores}) * 100$.
			HR 11: Impactos negativos significativos en materia de derechos humanos, reales y potenciales, en la cadena de suministro y medidas adoptadas.	Porcentaje de eficacia de las acciones preventivas establecidas de riesgos identificados en derechos humanos = $(\text{No total de planes de acción cerrados eficazmente}) / (\text{No total de planes de acción establecidos}) * 100$
				Porcentaje de eficacia de las acciones correctivas establecidas por impactos en derechos humanos = $(\text{No total de planes de acción cerrados eficazmente}) / (\text{No total de planes de acción establecidos}) * 100$.
		Mecanismos de reclamación en materia de derechos humanos	HR 12: Número de reclamaciones sobre derechos humanos que se han presentado, abordado y resuelto mediante mecanismos formales de reclamación.	Porcentaje de impactos significativos en materia de recursos humanos: $(\text{No de criterios en materia del plan de acción en derechos humanos} / \text{Total de criterios que tiene el plan de acción}) * 100$ Porcentaje de reclamaciones resueltas en temas de DDHH = $(\text{No de reclamaciones sobre derechos humanos resueltas} / \text{Total de reclamaciones presentadas}) * 100$.

Fuente: Los autores .

A continuación, se describen brevemente los indicadores relacionados en la tabla 3.

HR 10: Porcentaje de nuevos proveedores que se examinaron en función de criterios relativos a los derechos humanos.

Las empresas que comercializan y distribuyen energía, deben tener ciertos criterios para la selección de sus proveedores de bienes y servicios. Cada vez que se inicia una nueva relación comercial, las empresas evalúan los proveedores que están más calificados para ofrecer el bien o servicio que se requiere. Entre los criterios que se utilizan para seleccionar un proveedor, las empresas que son socialmente responsables deben incluir como criterio los derechos humanos. Se propone el siguiente indicador: % de proveedores que incluyen los derechos humanos como materia de cumplimiento.

HR 11: Impactos negativos significativos en materia de derechos humanos, reales y potenciales, en la cadena de suministro y medidas adoptadas.

Una vez se ha analizado el número de proveedores evaluados que han incluido los derechos humanos como parte de su gestión, es importante conocer cómo pueden impactar en la cadena de suministro aquellos factores reales o potenciales que pueden afectar negativamente el bien o servicio que presta la empresa.

Estos impactos son evaluados cuando se identifican los riesgos de la cadena de suministro. Los riesgos pueden ayudar a evaluar aquellas acciones preventivas que las empresas han establecido para controlar las fuentes potenciales de situaciones en las cuales no se tienen en cuenta los derechos humanos. Para los eventos reales, se establecen planes de acción y se evalúan con respecto a su eficacia. Los indicadores que se proponen son los siguientes: % de eficacia de las acciones preventivas establecidas de riesgos identificados en derechos humanos; % de eficacia de las acciones correctivas establecidas por impactos en derechos humanos; % de impactos significativos en materia de recursos humanos.

HR 12: Número de reclamaciones sobre derechos humanos que se han presentado, abordado y resuelto mediante mecanismos formales de reclamación.

Para estudiar los mecanismos que pueden tener las empresas que comercializan y distribuyen energía al momento de responder ante reclamaciones sobre derechos humanos, se puede hacer uso de la información legal con que cuentan las áreas jurídicas, sobre estos casos tanto a nivel interno como externo. Para medir la eficacia de las reclamaciones se sugiere el siguiente indicador: % reclamaciones resueltas en temas de DDHH.

Tabla 4. Principio No 1 Pacto Mundial e indicadores GRI (SO1 y SO2)

GUÍA DE GRI (4)				FÓRMULA INDICADOR SEGÚN AUTORAS
CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	ASPECTO	NOMBRE DEL INDICADOR	
Desempeño social	Sociedad	Comunidades locales	SO1: Porcentaje de operaciones donde se han implantado programas de desarrollo, evaluaciones de impactos y participación de la comunidad local	Porcentaje de implantación de programas de desarrollo/evaluaciones de impacto o participación grupos de interés= (No de centros de trabajo o sedes en los cuales se hayan implementado programas de desarrollo, evaluaciones de impacto o participación grupos de interés/ Total de centros de trabajo o sedes)*100.
			SO2: Porcentaje de centros de operaciones con efectos negativos significativos, posibles o reales, sobre las comunidades locales	Porcentaje de centros con evaluación negativa=(No. de centros, sedes con evaluación negativa) /(total de centros, sedes evaluados)*100.

Fuente: Los autores

Se describen brevemente los indicadores relacionados en la tabla 4.

SO1: Porcentaje de operaciones donde se han implantado programas de desarrollo, evaluaciones de impactos y participación de la comunidad local

Las empresas que comercializan y distribuyen energía, por el alto impacto de sus operaciones deben identificar y evaluar sus impactos tanto ambientales como sociales; establecer criterios para definir cuáles de estos impactos son considerados significativos y definir planes de acción o programas los cuales deberán estar dirigidos a mitigar estos impactos. Teniendo en cuenta los grupos de interés que pueden estar afectados por estos impactos, la empresa debe considerar integrar voluntades para que los planes o programas de desarrollo tengan participación de la comunidad local. El indicador que se propone es: % implantación de programas de desarrollo/evaluaciones de impacto o participación de grupos de interés.

SO2 Centros de operaciones con efectos negativos significativos, posibles o reales, sobre las comunidades locales

Con la información del diagnóstico realizado para determinar el indicador SO1, la empresa puede obtener la información acerca de los impactos negativos potenciales o reales. Según el Sistema de Información Ambiental Minero-Energético (2005), en la Guía ambiental para proyectos de distribución (pp. 47), algunos de los impactos negativos que se pueden generar en la construcción y operación de una línea de distribución, tanto en el medio social como en el natural, son:

- Afectación del patrimonio arquitectónico, arqueológico y natural.
- Afectación al uso del suelo.
- Afectación de infraestructura vial y de servicios públicos
- Afectación a la comunidad
- Erosión, generación de residuos sólidos, afectación de ecosistemas; entre otros.

El indicador que se propone es: % de centros con evaluación negativa

A continuación, se hará la relación entre el principio 3 del Pacto Mundial y los indicadores GRI:

Principio No. 3. Las empresas deben respetar la libertad de asociación y el reconocimiento efectivo del derecho a la negociación colectiva.

Según el Centro de Información de las Naciones Unidas (2003), muchos estudios demuestran que las empresas que propician la libertad de asociación y el reconocimiento a la negociación colectiva, pueden incrementar la productividad, las ganancias y, en general, otros beneficios a parte interesada. Este mecanismo puede generar confianza en los empleados y permitirá mejorar la comunicación al establecer medios dinámicos para que la empresa conozca las necesidades y expectativas de su fuerza de trabajo. En la tabla 5 se establecen los indicadores del GRI relacionados con este principio del Pacto.

Tabla 5. Principio No 3 Pacto Mundial e indicadores GRI (LA4 y HR4)

GUIA DE GRI (4)				
CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	Aspecto	NOMBRE DEL INDICADOR	FÓRMULA INDICADOR SEGÚN AUTORES
Desempeño Social	Prácticas laborales y trabajo digno	Relaciones entre los trabajadores y la dirección	LA4: Plazos mínimos de preaviso de cambios operativos y posible inclusión de estos en los convenios colectivos	Tiempo estimado de preaviso laboral = No de días con que se da preaviso a los empleados de cambios operativos. Publicación de preavisos = No de noticias publicadas en las que se informa a los empleados de cambios operativos.
	Derechos humanos	Libertad de asociación y negociación colectiva	HR4: Identificación de centros y proveedores en los que la libertad de asociación y el derecho de acogerse a convenios colectivos pueden infringirse o estar amenazados, y medidas adoptadas para defender estos derechos	Porcentaje de empleados asociados a asociaciones / (total de empleados)*100

Fuente: Los autores.

A continuación se describen brevemente los indicadores relacionados en la tabla 5.

LA4: Plazos mínimos de preaviso de cambios operativos y posible inclusión de estos en los convenios colectivos.

Las empresas que comercializan y distribuyen energía, debido la naturaleza de sus actividades sufren cambios significativos en sus operaciones, cambios que pueden impactar las actividades, funciones y responsabilidades. Estos cambios deben ser informados con antelación para que los empleados puedan modificar sus operaciones sin que se afecte su productividad. Los indicadores que se proponen para hacer seguimiento a este aspecto son los siguientes: Tiempo estimado de preaviso laboral y Publicación de preavisos.

A continuación se hará la relación entre el principio 4 del pacto mundial y los indicadores GRI:

Principio No.4. Las empresas deben eliminar todas las formas de trabajo forzoso u obligatorio.

Según la OIT, el trabajo forzado u obligatorio es cualquier labor o servicio desempeñado por cualquier persona bajo la amenaza de cualquier penalización, o que la persona que lo desempeña no se haya ofrecido a realizar voluntariamente.

Las empresas deben asegurarse de establecer claras condiciones laborales, plasmadas en los contratos de trabajo, en los cuales se especifique, entre otros, horarios, deberes y derechos con los que cuenta, para que conozca que no pueden ser vulnerados. En el evento en que llegase a suceder, el área jurídica debe ser garante de las acciones que se tomen en la empresa para que no se vuelvan a vulnerar estos derechos.

La relación del principio No 4 del Pacto Mundial de las Naciones Unidas y los indicadores GRI, se puede evidenciar en la tabla 6, tal como se describe a continuación.

Tabla 6. Principio No 4 Pacto Mundial e indicadores GRI 4

GUÍA DE GRI (4)				FÓRMULA INDICADOR SEGÚN AUTORES
CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	Aspecto	NOMBRE DEL INDICADOR	
Desempeño social	Derechos humanos	Trabajo forzoso	HR6: Porcentaje de centros y proveedores significativos con un riesgo significativo de ser origen de episodios de trabajo forzoso, y medidas adoptadas para contribuir a la eliminación de todas las formas de trabajo forzoso	Porcentaje de fábricas, proveedores y contratistas con riesgo de trabajo forzoso=(No. total de proveedores y contratistas con riesgo de trabajo forzoso)/(No. total de proveedores y contratistas con los cuales la empresa mantiene relaciones comerciales)*100
				Porcentaje de eficacia de los planes de acción establecidos=(No total de planes de acción en casos de trabajo forzoso, cerrados eficazmente)/(No total de planes de acción establecidos para casos de trabajo forzoso)*100

Fuente: Los autores .

A continuación se hará la relación entre el principio 5 del Pacto Mundial y los indicadores GRI:

Principio No. 5. Las empresas deben abolir de forma efectiva el trabajo infantil

Las empresas deben tener en cuenta la legislación nacional e, inclusive, en algunos casos, la internacional para determinar la edad a la cual pueden contratar personal infantil. La literatura referencia múltiples razones por las cuales no se debe contratar niños, entre ellas el limitar sus posibilidades de estudiar, el sometimiento a actividades que no son propias de su edad.

Es por ello que la medida a tomar no es el despido, sino el establecer programas que permitan a la niñez asegurar un mejor futuro, establecer programas de formación que les posibilite contar con herramientas para la búsqueda de oportunidades laborales, cuando sea el momento. Por ahora, las empresas deben garantizar que no empleen personal en edad infantil y también asegurarse de que sus proveedores son veedores del principio.

La tabla 7 muestra algunos indicadores que pueden hacer medible la gestión respecto al cumplimiento de desempeño laboral con relación al trabajo infantil que identifica a los proveedores con riesgo significativo de casos de explotación en personas con edades tempranas y las medidas adoptadas para su mitigación.

Tabla 7. Principio No 5 Pacto Mundial e indicadores GRI

GUÍA DE GRI (4)				FÓRMULA INDICADOR SEGÚN AUTORES
CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	Aspecto	NOMBRE DEL INDICADOR	
Desempeño social	Derechos humanos	Trabajo infantil	HR 5: Identificación de centros y proveedores con un riesgo significativo de casos de explotación infantil, y medidas adoptadas para contribuir a la abolición de la explotación infantil.	Porcentaje de trabadores en edad infantil=(No total de trabajadores en edad infantil contratados)/(No total de empleados contratados)*100. Porcentaje de proveedores y contratistas que contratan personal en edad infantil=(No total de proveedores y contratistas que contratan personal en edad infantil)/(No total de proveedores y contratistas)*100.

Fuente: Los autores.

A continuación se hará la relación entre el principio No. 6 del Pacto Mundial y los indicadores GRI:

Principio No. 6. Las empresas deben eliminar la discriminación con respecto al empleo y la ocupación.

Según el principio No. 6 del Pacto Mundial, la definición de discriminación en el empleo es “Cualquier distinción, exclusión o preferencia que produzca el rechazo o la desigualdad en las oportunidades o en el trato de solicitudes de empleo o de ocupación” realizada por razón de “raza, color, sexo, religión, opiniones políticas, nacionalidad de origen o extracción social”.

Existe gran variedad de situaciones en las cuales las empresas pueden llegar a discriminar; algunas veces por género, estado de discapacidad, edad, son algunas de las más comunes. Sin embargo, hay un innumerable listado de situaciones por las cuales se discrimina a una persona que busca un empleo o cuando ya hace parte de la empresa. Las organizaciones deben implementar políticas que refuercen en el personal la no discriminación en cualquiera de sus formas y deben facilitar los mecanismos para la denuncia formal ante el incumplimiento de estas directrices.

En las actuales circunstancias, las empresas deben propender para que las condiciones laborales (salario, programas de formación, contratación por género), sean transparentes, verificables ante organismos de control interno y ante entes externos.

Las tablas 8 al 10 proponen algunos indicadores que pueden hacer visible la gestión de la empresa con respecto al cumplimiento de este principio.

Tabla 8. Principio No 6 Pacto Mundial e indicadores GRI (LA1, LA2, LA3, LA4)

GUÍA DE GRI (4)				
CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	ASPECTO	NOMBRE DEL INDICADOR	FÓRMULA INDICADOR SEGÚN AUTORES
Desempeño social	Prácticas laborales y trabajo digno	Empleo		Porcentaje de rotación de personal por género=(No. de ingresos mes vigente-No de retiros mes vigente)/(No de personas planta activa mes anterior)*100.
			LA1: Porcentaje de contrataciones y rotación media de empleados, desglosados por grupo etario, sexo y región.	Porcentaje de mujeres contratadas según rango de edad=((No de mujeres contratadas en determinado rango de edad)/(No total de mujeres contratadas)*1000. Porcentaje de hombres contratados según rango de edad=(No. de hombres contratados en determinado rango de edad)/(No total de hombres contratados)*100.
			LA2: Prestaciones sociales para los empleados con jornada completa, que no se ofrecen a los empleados temporales o de media jornada, desglosado por ubicaciones significativas de actividad.	Porcentaje de empleados con carga prestacional =(No. de empleados con contrato de planta y prestaciones sociales de jornada completo-No. de empleados temporales sin prestaciones sociales) /(No de empleados con contrato de planta y prestaciones sociales de jornada completo)*100.
			LA3: Porcentaje de niveles de reincorporación al trabajo y de retención tras la baja por maternidad o paternidad, desglosados por sexo.	Porcentaje de reincorporación al trabajo=(No. de empleados que se reincorporaron al trabajo después de la baja por maternidad o paternidad)/(No de empleados que debían reincorporarse después de la baja por maternidad o paternidad)*100.
		Relaciones entre los trabajadores y la dirección	LA4: Porcentaje de plazos mínimos de preaviso de cambios operativos y posible inclusión de estos en los convenios colectivos.	Tiempo estimado de preaviso laboral = No. de días con que se da preaviso a los empleados de cambios operativos.
Fuente: Los autores.				

A continuación, una breve explicación de los indicadores relacionados en la tabla 8.

LA1: Número total y tasa de contrataciones y rotación media de empleados, desglosados por grupo etario, sexo y región.

Algunas empresas que comercializan y distribuyen energía, están adoptando como práctica socialmente responsable la contratación de personal de la zona de influencia en un porcentaje definido, como medio para demostrar compromiso con las regiones en donde sus operaciones pueden impactar. También se plantea el indicador de rotación, el cual puede arrojar información acerca del clima organizacional de la empresa, puesto que, cuando se mantiene un ambiente adecuado, los salarios son justos y se incentiva al trabajador, fácilmente se puede retener el talento humano. Por el contrario, un alto índice de rotación, puede indicar que la empresa no ofrece estas garantías a sus empleados. El número de personas por sexo puede dar información acerca de la imparcialidad que la empresa ofrece a la hora de contratar; si bien es cierto que en el sector de la energía y debido a la naturaleza de sus operaciones, en un gran porcentaje se contrata personal masculino, en áreas administrativas es interesante observar cuál es la relación que existe entre el número de hombres con respecto al de mujeres que se contratan. Los indicadores que se plantean para este aspecto son los siguientes: % de rotación de personal por género; % de mujeres contratadas según rango de edad; % de hombres contratados según rango de edad.

LA2: Prestaciones sociales para los empleados con jornada completa, que no se ofrecen a los empleados temporales o de media jornada, desglosado por ubicaciones significativas de actividad.

El Área de Gestión Humana de las empresas puede ofrecer información del tipo de prestaciones que se brinda a sus empleados con jornada completa. El indicador propuesto es: % Empleados con carga prestacional.

LA3: Niveles de reincorporación al trabajo y de retención tras la baja por maternidad o paternidad, desglosados por sexo.

La guía propone un indicador para los niveles de reincorporación al trabajo tras la baja por maternidad o paternidad tal como se describe en la tabla.

En Colombia, por decisión de la Corte constitucional, artículo 1 de la ley 1468 de junio 30 de 2011 que modifica el artículo 236 Código Sustantivo del Trabajo, en el cual se contempla la licencia de paternidad en 8 días hábiles sin considerar si los dos padres son o no cotizantes al sistema de salud. Por su parte, el artículo 239 del Código Sustantivo del Trabajo establece la prohibición de despedir a una mujer por motivo de su embarazo o lactancia.

LA4: Plazos mínimos de preaviso de cambios operativos y posible inclusión de éstos en los convenios colectivos.

Tabla 9. Principio No. 6. Pacto Mundial e indicadores GRI (LA5, LA6, LA7, LA8)

GUÍA DE GRI (4)				
CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	ASPECTO	NOMBRE DEL INDICADOR	FÓRMULA INDICADOR SEGÚN AUTORES
Desempeño Social	Prácticas laborales y trabajo digno	Salud y seguridad en el trabajo	LA5: Porcentaje de trabajadores que está representado en comités formales de seguridad y salud conjuntos para dirección y empleados, establecidos para ayudar a controlar y asesorar sobre programas de seguridad y salud laboral.	Porcentaje de empleados representados en Comités de Seguridad y Salud en el Trabajo $SST = (\text{No. total de empleados que pertenecen a un comité de SST}) / (\text{No total de empleados}) * 100$.
			LA6: Tipo y tasa de lesiones, enfermedades profesionales, días perdidos, ausentismo y número de víctimas mortales relacionadas con el trabajo por región y por sexo.	Porcentaje de reducción del Índice de mortalidad $= (\text{No. de fallecidos en el año actual} - \text{No. de fallecidos en el año anterior}) / \text{No. de fallecido en el año actual} * 100$.
			LA7: Porcentaje de trabajadores cuya profesión tiene una incidencia o un riesgo elevado de enfermedad.	Porcentaje de empleados con riesgo elevado de enfermedad $= (\text{No. total de empleados que tienen riesgo elevado de enfermedad}) / (\text{No. total de empleados}) * 100$.
			LA8: Porcentaje de asuntos de salud y seguridad cubiertos en acuerdos formales con sindicatos.	Acuerdos en los que se incluyen tema de SST $= (\text{No. de acuerdos formales con sindicatos en los que se incluyen temas de SST}) / \text{No. total de acuerdos formales con sindicatos}$.

Fuente: Los autores (2018).

A continuación se realiza una breve explicación de los indicadores relacionados en la tabla 9.

LA5: Porcentaje de trabajadores que está representado en comités formales de Seguridad y Salud conjuntos para dirección y empleados, establecidos para ayudar a controlar y asesorar sobre programas de seguridad y salud laboral.

La existencia de comités de Seguridad y Salud en el trabajo en empresas que comercializan y distribuyen energía, es casi una prioridad, puesto que por la naturaleza de las operaciones que se realizan los empleados están en riesgo alto de accidentalidad.

Este indicador puede demostrar el compromiso de la alta gerencia con la prevención de lesiones y enfermedades y por ende del cuidado del trabajador. Se propone el siguiente indicador: % de empleados representados en Comités de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST).

LA6: Tipo y tasa de lesiones, enfermedades profesionales, días perdidos, ausentismo y número de víctimas mortales relacionadas con el trabajo por región y por sexo.

Según el decreto 1607 (2002) del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, las actividades de generación, captación y distribución de energía eléctrica están catalogadas como clase de riesgo IV; por tanto, el nivel de accidentalidad es significativamente alto.

Las áreas de Health Safety Environment HSE pueden brindar información acerca del tipo de lesiones, enfermedades profesionales, indicadores de ausentismo y tasa de mortalidad, siendo este último el más significativo y el que puede dar información relevante acerca de las medidas de prevención que la empresa toma para cuidar a sus empleados. Se propone el siguiente indicador: % Reducción del índice de mortalidad.

LA7: Trabajadores cuya profesión tiene una incidencia o un riesgo elevados de enfermedad

Las actividades repetitivas, las posiciones sedentes, y el uso prolongando del computador puede derivar en enfermedades. El seguimiento que las empresas que comercializan o distribuyen energía realicen sobre el porcentaje de empleados que presentan riesgo elevado de enfermedad habla por sí solo del compromiso con el bienestar de su capital más importante; esto, sumado a los programados que se establezcan como medida de prevención, serán los que al final podrán contribuir a que las empresas mejoren su reputación frente a la parte interesada. El indicador propuesto es el siguiente: % de empleados con riesgo elevado de enfermedad.

LA8: Asuntos de salud y seguridad cubiertos en acuerdos formales con sindicatos

La resolución 1348 de 2009, por la cual se adopta el Reglamento de Salud Ocupacional en los procesos de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica en empresas del sector eléctrico, decreta que dicho reglamento debe ser obligatorio y su principal fin es proteger a las personas contra los riesgos relacionados con agentes químicos, físicos, biológicos, psicosociales, mecánicos, eléctricos y otros que puedan afectar la salud individual o colectiva de la fuerza de trabajo.

Estos acuerdos entre empresa y trabajadores deben estar legalizados en acuerdos formales, de tal forma que permitan hacer seguimiento a los programas, planes y estrategias y se posibilite el bienestar de su colectivo y la toma de acciones correctivas, preventivas y de mejora ante eventos como accidentes de trabajo y enfermedades laborales.

Se propone el siguiente indicador para evidenciar el compromiso de la alta dirección con la prevención y protección de todas las personas que participan en los procesos de la empresa: % de acuerdos en los que se incluyen tema de SST.

Tabla 10. Principio No 6 Pacto Mundial e indicadores GRI (LA9, LA10, LA11, LA12, LA13)

GUÍA DE GRI (4)				
CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA	ASPECTO	NOMBRE DEL INDICADOR	FÓRMULA INDICADOR SEGÚN AUTORES
Desempeño Social	Prácticas laborales y trabajo digno	Capacitación y educación	LA9: Promedio de horas de capacitación anuales por empleado, desglosado por sexo y por categoría laboral	Horas de formación por empleado=(Total de horas de formación de los empleados)/(Número de empleados).
			LA 10: Porcentaje de programas de gestión de habilidades y formación continua que fomentan la empleabilidad de los trabajadores y les ayudan a gestionar el final de sus carreras profesionales	Porcentaje de ejecución de programas de formación=(No total de programas de formación ejecutados)/(No total de programas de formación planeados)*100.
			LA 11: Porcentaje de empleados que reciben evaluaciones regulares del desempeño y de desarrollo profesional, desglosado por sexo y por categoría profesional	Porcentaje de empleados que reciben evaluaciones de desempeño=(No total de empleados a los cuales se les ha realizado evaluación de desempeño)/(No total de empleados de planta activa)*100.
		Diversidad e igualdad de oportunidades		Número de empleados por sexo
			LA 12: Composición de los órganos de gobierno y desglose de la plantilla por categoría profesional y sexo, edad, pertenencia a minorías y otros indicadores de diversidad	Número de empleados en grupos de edad: Menores de 30; entre 30 y 50; mayores de 50 años. Número de personas pertenecientes a grupos minoritarios (indígenas, negritudes)
		Igualdad de retribución entre mujeres y hombres	LA 13: Relación entre el salario base de los hombres con respecto al de las mujeres, desglosado por ubicaciones significativas de actividad	Índice de igualdad de retribución salarial = Salario Básico de la mujeres/ Salario Básico hombres.

Fuente: Los autores.

A continuación, una breve explicación de los indicadores relacionados en la tabla 10.

LA9: Promedio de horas de capacitación anuales por empleado, desglosado por sexo y por categoría laboral

Se propone el indicador de Horas de formación por empleado, desglosado por sexo y categoría laboral.

LA 10: Programas de gestión de habilidades y formación continua que fomentan la empleabilidad de los trabajadores y les ayudan a gestionar el final de sus carreras profesionales.

Las empresas que comercializan y distribuyen energía deben establecer programas que faciliten al trabajador adaptarse a los cambios que pueden suceder como su jubilación o un despido. El indicador que se propone es el siguiente: % Ejecución de programas de formación.

LA 11: Porcentaje de empleados que reciben evaluaciones regulares del desempeño y de desarrollo profesional, desglosado por sexo y por categoría profesional.

Las evaluaciones de desempeño son un medio para encontrar oportunidades de mejora, porque posibilitan encontrar aquellos aspectos en los cuales el trabajador puede desarrollar otras competencias o fortalecer las que posee, para garantizar a la empresa perfiles idóneos, eficiencia operacional y excelencia en el servicio. El indicador que se propone es el siguiente: % Empleados que reciben evaluaciones de desempeño.

LA 12: Composición de los órganos de gobierno y desglose de la plantilla por categoría profesional y sexo, edad, pertenencia a minorías y otros indicadores de diversidad.

El Convenio 111 de la OIT (1958) sobre la discriminación (empleo y ocupación) de 1958 expresa que el término discriminación comprende: “Cualquier distinción, exclusión o preferencia basada en motivos de raza, color, sexo, religión, opinión política, ascendencia nacional u origen social que tenga por efecto anular o alterar la igualdad de oportunidades o de trato en el empleo y la ocupación”. Las empresas que se consideran socialmente responsables deben demostrar igualdad de oportunidades, de tal manera que las distinciones mencionadas no sean un obstáculo, sino una oportunidad de mostrar respeto por la diversidad cultural y étnica que posee un país como Colombia.

LA 14: Porcentaje de nuevos proveedores que se examinaron en función de criterios relativos a las prácticas laborales y LA 15: Impactos significativos, reales y potenciales, de las prácticas laborales en la cadena de suministro y medidas al respecto.

Las empresas deben tener criterios y mecanismos claros de evaluación de proveedores, en los cuales un aspecto para mantener la relación comercial debe ser el nivel de desempeño en cuanto a prácticas laborales. Es necesario que la empresa demuestre compromiso social y éste sería un claro mensaje ante sus “stakeholders”. Una vez aprobado el proveedor, la empresa debería hacer seguimiento al nivel de desempeño del proveedor en cuanto a prácticas laborales justas. Los indicadores que se proponen son: % de Proveedores aprobados y Nivel de desempeño del proveedor según las categorías establecidas en la empresa.

A continuación se presenta en la tabla 11 la propuesta de indicadores para evaluar las prácticas laborales de la evaluación de desempeño de los proveedores contratados

Tabla 11. Principio No 6 Pacto Mundial e indicadores GRI (LA14, LA15, LA16, HR3)

GUÍA DE GRI (4)				FÓRMULA INDICADOR SEGÚN AUTORES
CATEGORÍA	SUSUBCATEGORÍA	ASPECTO	NOMBRE DEL INDICADOR	
Desempeño Social	Prácticas laborales y trabajo digno	Evaluación de las prácticas laborales de los proveedores	LA 14: Porcentaje de nuevos proveedores que se examinaron en función de criterios relativos a las prácticas laborales LA 15: Impactos significativos, reales y potenciales, de las prácticas laborales en la cadena de suministro, y medidas al respecto	Porcentaje de Proveedores aprobados=(No. de proveedores aprobados en la evaluación de desempeño/Total de proveedores)*100. Nivel de desempeño del proveedor según las categorías establecidas en la empresa.
		Mecanismos de reclamación sobre las prácticas laborales	LA 16: Porcentaje de reclamaciones sobre prácticas laborales que se han presentado, abordado y resuelto mediante mecanismos formales de reclamación	Porcentaje de reclamaciones sobre prácticas laborales resueltas=(No de reclamaciones sobre prácticas laborales resueltas/No de reclamaciones sobre prácticas laborales presentadas)*100.
	Derechos humanos	No. discriminación	HR3: Porcentaje de casos de discriminación y medidas correctivas adoptadas	Porcentaje de quejas atendidas para casos de discriminación=(No total de quejas atendidas para casos de discriminación) / (No total de quejas registradas para casos de discriminación)*100. Porcentaje de eficacia de los planes de acción establecidos=(No total de planes de acción en caso de discriminación cerrados eficazmente)/(No total de planes de acción establecidos para casos de discriminación)*100.

Fuente: Los autores.

A continuación se realiza una breve explicación de los indicadores relacionados en la tabla 11.

LA 16: Número de reclamaciones sobre prácticas laborales que se han presentado, abordado y resuelto mediante mecanismos formales de reclamación

Las empresas que comercializan y distribuyen energía deben tener procedimientos claros para que sus grupos de interés puedan hacer reclamaciones sobre sus prácticas laborales, tanto para cliente interno (empleados, accionistas), como para cliente externo (usuarios, proveedores, comunidad). El indicador que se propone es el siguiente: % de reclamaciones sobre prácticas laborales resueltas.

A continuación se hará la relación entre los principios 7, 8 y 9 del Pacto Mundial y los indicadores GRI:

Principio No. 7. Las empresas deben apoyar los métodos preventivos con respecto a problemas ambientales

Según el Centro Regional de Apoyo para América Latina y el Caribe, este principio se basa en la prevención como elemento clave de la estrategia del gobierno local; estrategia que según el Pacto Global se puede realizar a través de siete elementos:

- **La aplicación de métodos preventivos:** Las empresas que comercializan y distribuyen energía, deben identificar sus aspectos e impactos ambientales, de acuerdo con la normatividad aplicable, establecer los recursos apropiados para gestionar los impactos que considere significativos y tomar las acciones necesarias para proteger el medio ambiente.

- **Adopción de normas y regulaciones en todos los lugares de impacto de la empresa:** según el Sistema de Información Ambiental Minero-Energético (2005) en la Guía Ambiental para Proyectos de Distribución Eléctrica describe la normatividad que aplica para el recurso agua, residuos sólidos, aire, suelo, ruido. Además, describe los estudios ambientales aplicables a proyectos de distribución eléctrica, permisos de uso y aprovechamiento de recursos naturales, vertimientos, aprovechamiento forestal, entre otros.

- **Garantizar manejo de cadenas de abastecimiento:** La empresa debe acordar con sus proveedores el cumplimiento de las exigencias legales y, en particular, en materia de sostenibilidad que incluyen temas éticos, laborales, de derechos humanos y ambientales.

- **Crear conciencia ambiental:** Hoy más que nunca es necesario concientizar a todo nivel en la organización, acerca del deterioro que estas empresas pueden ocasionar al medio ambiente y cómo se puede contribuir a mitigar estos impactos con acciones de prevención.

- **Diálogos con comunidad local:** La Participación Comunitaria en los proyectos de distribución de energía se encuentra demarcada por la reglamentación y la normatividad de la Constitución Nacional de 1991, la Ley 99 de 1993, la Ley 134 de 1994, la Ley 143 de 1994 (Título X), el Decreto 1320 de 1998 y, en general, todos aquellos decretos, leyes, resoluciones y acuerdos vigentes al momento de la construcción y operación de un proyecto de esta naturaleza.

- **Valor compartido:** Los proyectos de comercialización y distribución de energía deben incorporar programas de gestión social dentro de las actividades del proyecto con el fin de lograr el mínimo impacto ambiental y social y el máximo beneficio para las comunidades.

Principio No. 8. Las empresas deben adoptar iniciativas para promover una mayor responsabilidad ambiental.

El Centro Regional de Apoyo para América Latina y el Caribe describe y relaciona este principio con la aplicación de prácticas administrativas, operativas y de producción, que garanticen la protección medioambiental. Las empresas deben adoptar mecanismos de evaluación y mejora continua de sus actividades operacionales, de tal manera que año tras año se minimicen los impactos y, por el contrario, se potencien los beneficios sociales y económicos de las regiones en donde las empresas tienen su núcleo de acción.

Principio No. 9. Las empresas deben fomentar el desarrollo y la difusión de tecnologías inofensivas para el medio ambiente.

Las empresas deben dar a conocer a la parte interesada los impactos ambientales significativos, los planes de mitigación y plan de capacitación a todos los involucrados.

La relación de los principios 7, 8 y 9 del Pacto Mundial de las Naciones Unidas y los indicadores GRI, se puede evidenciar en las Tablas 12 y 13, tal como se describe a continuación.

Tabla 12. Principio No 7, 8 y 9 Pacto Mundial y GRI (EN1 hasta EN14)

GUÍA DE GRI (4)			
CATEGORÍA	ASPECTO	NOMBRE DEL INDICADOR	FÓRMULA INDICADOR SEGÚN AUTORES/ UNIDAD DE MEDIDA
Medio ambiente	Materiales	EN1: Materiales por peso o volumen	kg o m3 de materiales empleados en la operación.
		EN2: Porcentaje de los materiales utilizados que son materiales reciclados	$\text{Materiales reciclados} = (\text{Total materiales reciclados}) / (\text{Total de materiales empleados}) * 100$.
	Energía	EN3: Consumo energético interno	kW hora consumidos.
		EN4: Consumo energético externo	kW hora consumidos.
		EN5: Intensidad energética	$\text{Intensidad energética} = (\text{kWh consumidos}) / (\text{Unidades monetarias (ingresos o ventas)})$.
		EN6: Porcentaje de reducción del consumo energético.	$\text{Porcentaje de reducción del consumo energético} = (\text{kwh consumidos año anterior} - \text{kWh consumidos año actual}) / (\text{kWh consumidos año anterior}) * 100$.
		EN7: Porcentaje de reducciones de los requisitos energéticos de los productos y servicios.	$\text{Porcentaje de reducción del consumo energético} = (\text{kwh consumidos año anterior} - \text{kwh consumidos año actual}) / (\text{kwh consumidos año anterior}) * 100$.
	Agua	EN8: Porcentaje de captación total de agua según la fuente.	$\text{Porcentaje de captación de agua} = (\text{m3 de agua captados}) / (\text{m3 de agua consumidos}) * 100$.
		EN9: Fuentes de agua que han sido afectadas significativamente por la captación de agua.	Listado de fuentes afectadas por captación de agua.
		EN 10: Porcentaje y volumen total de agua reciclada y reutilizada.	$\text{Porcentaje de crecimiento de reutilización de agua} = (\text{m3 de agua reciclada y reutilizada año actual} - \text{m3 de agua reciclada y reutilizada año anterior}) / (\text{m3 de agua reciclada y reutilizada año anterior})$.
	Biodiversidad	EN 11: instalaciones operativas propias, arrendadas, gestionadas que sean adyacentes, contengan o estén ubicadas en áreas protegidas y áreas no protegidas de gran valor para la biodiversidad.	Listado de instalaciones operativas ubicadas en áreas protegidas y no protegidas.
		EN 12: Impactos más significativos en la biodiversidad de áreas protegidas o áreas de alto valor en términos de diversidad biológica no protegidas que se derivan de las actividades, los productos y los servicios.	Matriz de impactos derivados de actividades, productos y servicios.
		EN 13: Hábitats protegidos o restaurados.	Listado de hábitats protegidos o restaurados.
		EN 14: No. de especies incluidas en la Lista Roja de la UICN y en listados nacionales de conservación cuyos hábitats se encuentran en áreas afectadas por las operaciones, según el nivel de peligro de extinción	No. de especies incluidas en lista roja UICN y en listados nacionales de conservación.

Fuente: Los autores.

A continuación una breve explicación de los indicadores relacionados en la tabla 12.

EN1: Materiales por peso o volumen

Según Roser y Vázquez (2008), los recursos energéticos deben ser producidos y utilizados de modo que se proteja y preserve el medio ambiente. Las empresas que comercializan y distribuyen energía eléctrica están implementando tecnologías limpias que incluyen el cambio de materiales, como por ejemplo, el uso de transformadores que no contienen Bifenilo Policlorados (PCBs).

Según GRI 4, los materiales que las empresas utilizan se pueden clasificar como (Sustainability Reporting Guidelines, 2014):

Materias primas (es decir, recursos naturales empleados para su conversión en productos o servicios, tales como minerales, madera, entre otros); materiales auxiliares (es decir, materiales necesarios para el proceso de fabricación, pero que no son parte del producto final, como los lubricantes para la maquinaria) y productos o piezas semiacabados, incluido todo tipo de materiales y componentes que no son materias primas y que forman parte del producto final; y materiales de embalaje, tales como papel, cartón y plástico.

EN5: Intensidad energética

Según la GRI 4 (Sustainability Reporting Guidelines, 2014), la intensidad determina el consumo energético de una organización en el contexto de una medida específica de la organización. Esta medida se puede establecer como unidades monetarias (ingresos, ventas).

EN6: Reducción del consumo energético y EN7: Reducciones de los requisitos energéticos de los productos y servicios

En el contexto actual, la demanda energética tiende a crecer; es por ello que las empresas del sector han ampliado su capacidad de producción para atender a sus clientes. Según Roser y Vázquez (2008), cuando parte del crecimiento de la demanda corresponde a ineficiencias, es responsabilidad de las empresas educar a su cliente interno y externo acerca del uso eficiente y racional del consumo de la energía. El indicador que se propone relaciona los kilowatios consumidos de un año a otro.

EN8: Captación total de agua según la fuente

La captación total de agua indica el tamaño y la importancia relativa de la organización en términos de consumo de agua.

EN 10: Porcentaje y volumen total de agua reciclada y reutilizada

La ley 373 de 1997 obliga a las entidades a desarrollar proyectos que propendan por el uso eficiente de agua. Una de las formas a utilizar es el reciclaje y reutilización de este recurso, mediante estudios de factibilidad técnica y económica para el reúso de aguas utilizadas.

EN 11: instalaciones operativas propias, arrendadas, gestionadas que sean adyacentes, contengan o estén ubicadas en áreas protegidas y áreas no protegidas de gran valor para la biodiversidad.

Nombrar subestaciones, oficinas, o áreas en donde se distribuya energía, las cuales estén ubicadas en zonas protegidas o de gran biodiversidad.

EN 12: Descripción de los impactos más significativos en la biodiversidad de áreas protegidas o áreas de alto valor en términos de diversidad biológica no protegidas que se derivan de las actividades, los productos y los servicios.

Las empresas cuentan con matriz de aspectos e impactos, en donde se establece por categoría cuáles son los impactos significativos.

EN 13: Hábitats protegidos o restaurados

Los hábitats que las empresas de comercialización o distribución de energía eléctrica están impactando con su actividad económica, están sujetos a verificación por parte de la autoridad ambiental. Es importante que la empresa muestre acciones de restauración, en el caso de que haya afectación sobre los hábitats. Esta información puede estar disponible en la matriz de aspectos e impactos o en los informes de desempeño ambiental que se entreguen a las corporaciones regionales.

EN 14: Número de especies incluidas en la Lista Roja de la UICN y en listados nacionales de conservación cuyos hábitats se encuentran en áreas afectadas por las operaciones, según el nivel de peligro de extinción de la especie.

Las empresas pueden informarse acerca del listado de especies en peligro de extinción con las ONGs de la región en donde operan y con las corporaciones autónomas regionales.

Tabla 13. Principio No 7, 8 Y 9 Pacto Mundial e indicadores GRI (EN15 hasta EN28)

GUÍA DE GRI (4)			FÓRMULA INDICADOR SEGÚN AUTORAS/ UNIDAD DE MEDIDA
CATEGORÍA	ASPECTO	NOMBRE DEL INDICADOR	
Medio ambiente	Emisiones	EN 15: Emisiones directas de gases de efecto invernadero (Alcance 1).	Volumen de emisiones de CO ₂
		EN 16: Emisiones indirectas de gases de efecto invernadero al generar energía (Alcance 2).	Volumen de emisiones de CO ₂
		EN 17: Otras emisiones indirectas de gases de efecto invernadero (Alcance 3).	Volumen de emisiones de CO ₂
		EN 18: Intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero.	Intensidad emisiones efecto invernadero = (vol emisiones GEI) / (Unidades monetarias (ingresos o ventas)).
		EN 19: Porcentaje de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.	Porcentaje de reducción GEI=(vol emisiones año anterior-vol emisiones año actual)/(vol emisiones año anterior)*100.
		EN 20: Emisiones de sustancias que agotan el ozono.	Volumen de emisiones de CFC11.
		EN 21: NOX, SOX, y otras emisiones atmosféricas significativas	kg de emisiones atmosféricas significativas.
		EN 22: Vertimiento total de aguas, según su naturaleza y destino.	Volumen total de vertimientos.
	Efluentes y residuos	EN 23: Peso total de residuos gestionados, según tipo y método de tratamiento.	Peso total de residuos por método de eliminación.
		EN 24: Número total y volumen de los derrames accidentales más significativos.	Volumen total de derrames significativos. Multas o sanciones por derrames.
		EN 25: Peso de los residuos transportados, importados, exportados o tratados que se consideran peligrosos en virtud de los anexos I, II, III y VIII del Convenio de Basilea2 y porcentaje de residuos transportados internacionalmente.	Peso total de los residuos peligrosos transportados, desglosado por destino.
		EN 26: Identificación, tamaño, estado de protección y valor de biodiversidad de las masas de agua y los hábitats relacionados afectados significativamente por vertidos y escorrentía procedentes de la organización.	Listado de fuentes de agua donde se han realizado vertimientos.
	Productos y servicios	EN 27: Mitigación del impacto ambiental de los productos y servicios.	Porcentaje de reducción de sustancias =(sustancias emitidas año anterior -sustancias emitidas año actual)/(sustancias emitidas año anterior)*100.
			Porcentaje de reducción consumo agua = (consumo año anterior -consumo año actual)/(consumo de agua año anterior)*100.

Fuente: Los autores.

A continuación, una breve explicación de los indicadores relacionados en la tabla 13.

EN 15: Emisiones directas de gases de efecto invernadero (Alcance 1)

Según el Protocolo de Kyoto (Naciones Unidas, 1998) los gases de efecto invernadero de alcance 1 son:

- Dióxido de carbono (CO₂);
- Metano (CH₄);
- Óxido nitroso (N₂O);
- Hidrofluorocarburos (HFC);
- Hidrocarburos perfluorados (PFC);
- Hexafluoruro de azufre (SF₆); y
- Trifluoruro de nitrógeno (NF₃).

EN 16: Emisiones indirectas de gases de efecto invernadero al generar energía (Alcance 2)

Las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero que se producen al generar la electricidad, la calefacción, la refrigeración y el vapor que se adquieren a otras organizaciones para su consumo, deben ser identificadas y cuantificadas y de ser posible desglosadas por:

- Unidad de negocio o instalación
- País
- Tipo de fuente (electricidad, calefacción, refrigeración y vapor); y
- Tipo de actividad.

EN 17: Otras emisiones indirectas de gases de efecto invernadero (Alcance 3)

Según la GRI 4 (Sustainability Reporting Guidelines, 2014), las emisiones de Alcance 3 se derivan de las actividades de la organización cuando se producen en fuentes que ésta no posee ni controla.

EN 18: Intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero.

La intensidad determina las emisiones de gases de efecto invernadero de una organización en el contexto de una medida específica. En este caso, se sugiere como denominador las unidades monetarias (ingresos, ventas).

EN 19: Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Se propone el indicador que mida la disminución de las emisiones con respecto al año anterior.

EN 20: Emisiones de sustancias que agotan el ozono

Según el Protocolo de Montreal (Naciones Unidas, 1987), la disminución de la capa de ozono debido al uso de sustancias que la agotan, es motivo de preocupación, ya que ésta filtra la mayor parte de las radiaciones ultravioletas dañinas procedentes del sol. Es por esto que las empresas deben disminuir sus emisiones año tras año, como parte del compromiso con el cuidado del medio ambiente.

Las sustancias agotadoras de la capa de ozono según este Protocolo son:

- Clorofluorocarbonados (CFC)
- Halones
- Otros halogenados
- Tetracloruro de Carbono
- Metil Cloroformo
- Bromoclorometano
- Bromuro de metilo

EN 21: NOX, SOX, y otras emisiones atmosféricas significativas se pueden desagregar de las siguientes emisiones atmosféricas significativas:

- NOX
- SOX
- Contaminantes orgánicos persistentes (COP);
- Compuestos orgánicos volátiles (COV);
- Contaminantes atmosféricos peligrosos (CAP);
- Partículas (MP); y
- otras categorías de emisiones atmosféricas estandarizadas identificadas en la normativa pertinente.

EN 26: Identificación, tamaño, estado de protección y valor de biodiversidad de las masas de agua y los hábitats relacionados, afectados significativamente por vertidos y escorrentía procedentes de la organización.

Principio N.10. Las empresas deben trabajar contra la corrupción en todas sus formas, incluyendo la extorsión y el soborno.

Según Transparency International (2009), organización no gubernamental dedicada a combatir la corrupción, la definición de corrupción se puede describir como “el abuso del poder encomendado para el beneficio propio” (pp7). Por su parte, en el principio No. 10 del Pacto Mundial se define el soborno como “Un ofrecimiento o recepción de cualquier regalo, préstamo, honorario, recompensa u otra ventaja para o de cualquier persona como una forma de inducir a que se haga algo deshonesto o ilegal en la conducta de la gestión de una empresa”. También, se define la extorsión como “el acto de pedir o tentar a otro a cometer soborno”. Se convierte en extorsión cuando esta exigencia está acompañada por amenazas que ponen en peligro la integridad personal o la vida de las personas involucradas”.

Las empresas deben establecer políticas claras contra la corrupción; estos mecanismos deben ser divulgados a todos los empleados puesto que esta cultura debe permearse a todos los niveles. Adicionalmente, los canales a través de los cuales los empleados pueden denunciar la corrupción, deben ser ampliamente divulgados para que cuando se conozca que alguna actividad pueda estar enmarcada dentro del concepto de corrupción, estas actuaciones se puedan informar a través de mecanismos seguros y en los que se garantice que no habrá retaliaciones contra quien da a conocer la denuncia.

El Código de Conducta y Código de Buen Gobierno, deben estar dentro de las políticas que se implementen en cualquier organización, como una de las estrategias anticorrupción; así mismo, es importante que estos documentos sean parte de la inducción y reinducción de los empleados, de tal manera que se tenga claridad en los mecanismos de reporte y que se conviertan en un medio para que la gestión de la empresa sea transparente ante sus clientes internos y externos.

La relación del principios 10 del Pacto Mundial de las Naciones Unidas y los indicadores GRI, se puede evidenciar en la tabla 14, tal como se describe a continuación.

Tabla 14. Principio No 10 Pacto Mundial e indicadores GRI

GUÍA DE GRI (4)				
CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	ASPECTO	NOMBRE DEL INDICADOR	FÓRMULA INDICADOR SEGÚN AUTORES
Desempeño Social	Sociedad	Lucha contra la corrupción	SO3: Porcentaje de centros en los que se han evaluado los riesgos relacionados con la corrupción y riesgos significativos detectados.	Porcentaje de centros evaluados en aspecto de corrupción=(No. de centros aprobados en el seguimiento de corrupción / Total de centros evaluados)*100. Porcentaje de eficacia en la gestión del riesgo = (No. de controles eficaces en la gestión del riesgo/ No de controles determinados para gestionar el riesgo)*100.
			SO4: Políticas y procedimientos de comunicación y capacitación sobre la lucha contra la corrupción.	Impacto en los procedimientos empleados en el aspecto de corrupción=Nivel de aceptación e implementación de los instrumentos en las encuestas realizadas contra la corrupción.
			SO5: Porcentaje de casos confirmados de corrupción y medidas adoptadas.	Porcentaje de casos confirmados de corrupción=(Número de casos confirmados de corrupción/Total de casos investigados)*100. Porcentaje de implementación de medidas adoptadas=(Total casos confirmados con medidas adoptadas/Total casos confirmados de corrupción)*100.
		Política pública	SO6: Porcentaje de valor de las contribuciones políticas, por país y destinatario.	Porcentaje de contribuciones políticas =(Total de pagos realizados por contribución política)/Total de pagos de contribución)*100.

Fuente: Los autores.

A continuación, se realiza una breve explicación de los indicadores relacionados en la tabla 14.

SO3: Número y porcentaje de centros en los que se han evaluado los riesgos relacionados con la corrupción y riesgos significativos detectados.

Las empresas que comercializan y distribuyen energía, deben buscar mecanismos de identificación y evaluación de riesgos. Uno de ellos, el fraude y la corrupción, que puede presentarse, por ejemplo, cuando se adjudican proyectos de energía sin licitación. El indicador que se propone, siguiendo la recomendación de la G4, es: Centros evaluados en aspecto de corrupción.

Pero no sólo es suficiente con la evaluación de los riesgos; las empresas deben determinar medidas de control que mitiguen los riesgos considerados significativos; es decir, aquellos que impidan que el riesgo se materialice y afecte los resultados de la organización. Se propone otro indicador que permita evaluar la eficacia de los planes de acción propuestos: % de eficacia en la gestión del riesgo.

SO4: Políticas y procedimientos de comunicación y capacitación sobre la lucha contra la corrupción.

Las empresas que comercializan y distribuyen energía han establecido políticas contra el fraude y la corrupción, los cuales deben permearse a todos los niveles de la organización. Esto es, desde los socios y accionistas, hasta los empleados. La información puede obtenerse de procesos como Gestión Humana y Gestión Jurídica, los cuales son los responsables de permear esta información a todos los niveles. Se propone el siguiente indicador: Impacto en los procedimientos empleados en el aspecto de corrupción

SO5: Casos confirmados de corrupción y medidas adoptadas

Las empresas que comercializan y distribuyen energía, cuentan con diferentes mecanismos para el reporte de sospechas de casos de corrupción. Esta información es vital para dar inicio a investigaciones que pueden generar, en muchos casos, el despido del empleado involucrado o la toma de acciones para prevenir la reincidencia en el futuro. Se propone entonces el siguiente indicador: Casos confirmados de corrupción y % de implementación de medidas adoptadas.

SO6: Valor de las contribuciones políticas, por país y destinatario

Este indicador podría arrojar información sobre la valoración del nivel de corrupción; en la actualidad muchas empresas que comercializan y distribuyen energía tienen procedimientos y códigos de conducta y de gobierno en donde se establecen las directrices a seguir para mantener las relaciones apropiadas con los gobiernos. Áreas como Jurídica y Gestión Humana pueden facilitar la información para alimentar el indicador que se propone.

Conclusiones

La metodología propuesta facilita la elaboración de informes de sostenibilidad anual en las empresas del sector eléctrico de los agentes comerciales y distribuidores, dado que permite cuantificar, medir, controlar y hacer seguimiento a la gestión de los impactos significativos que afectan el entorno interno y externo de sus grupos de interés.

En la actualidad, son muchas las herramientas que permiten evidenciar el desempeño en RSE; la integración GRI vs Pacto Mundial de las Naciones Unidas facilita a las empresas que comercializan y distribuyen energía diagnosticar su comportamiento en los ámbitos social, económico y ambiental; implementar planes de acción para incrementar su eficiencia; hacer seguimiento y monitoreo para que se pueda propender por la mejora continua y por el bienestar de todos sus stakeholders. Integración que permite a los líderes convertir los principios del Pacto Mundial de las Naciones Unidas en parte de la estrategia, de su quehacer institucional, el cual se hace transparente mediante la GRI.

Recomendaciones

Los indicadores de gestión han sido formulados y revisados con los encontrados en la literatura científica. Se sugiere que por su estructura puedan ser usados en diferentes áreas estratégicas de otras industrias, ya que permiten demostrar un desempeño sostenible, independientemente de la naturaleza de la operación comercial a la que se dedique.

Referencias

- Arias, E. C., y Cadavid, J. V. (2004). La regulación económica de la distribución de la energía eléctrica. *Ecos de Economía*, 8(18), 99-139. Recuperado de: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ecos-economia/article/view/2014>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (22 de Diciembre de 1999). *Resolución No. 080*. Recuperado de: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resoluci%C3%B3n-1999-CREG080-99>
- Congreso de Colombia. (22 de Diciembre de 1993). Ley 99 de 1993. *Diario Oficial No. 41146*. Recuperado de: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0099_1993.html
- Congreso de Colombia. (11 de Julio de 1994). Ley 142 de 1994. *Diario Oficial 41.433*. Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=2752>
- Congreso de Colombia. (11 de Julio de 1994). Ley 143 de 1994. *Diario Oficial 41434*. Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4631>
- Congreso de Colombia. (31 de Mayo de 1994). Ley 134 de 1994. *Diario Oficial No. 41373*. Recuperado de: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0134_1994.html
- Congreso de Colombia. (6 de Junio de 1997). Ley 373 de 1997. *Diario Oficial No. 43058*. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf
- Congreso de Colombia. (30 de Junio de 2011). Ley 1468 de 2011. *Diario Oficial 48116*. Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=43212>
- Cuervo, J. I. (2007). *Ensayos sobre política pública*. Bogotá: Universidad Externo de Colombia.
- García, D., Cruz, E., y Corredor, G. (2006) Impactos y consecuencias de la reforma del sector electrico en Colombia. *UN Periódico*, Bogotá.
- Gestión ambiental social y biofísica (2008). (2008, 1 de Diciembre). Recuperado de: <http://www.ideaspaz.org/tools/download/47234>
- ICONTEC. (2008). *Guía técnica colombiana GTC 180. Responsabilidad Social*. Incotec: Bogotá, Colombia. Recuperado de: <http://www.valledelcauca.gov.co/planeacion/descargar.php?id=8871>
- International Energy Agency. (20 de Julio de 2018) *Electricity Information 2018: Overview*. Recuperado de: <https://webstore.iea.org/electricity-information-2018-overview>
- Ministerio de la Protección Social. (30 de Abril de 2009). Resolución 1348 de 2009. *Diario Oficial 47342*. Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=36213>
- Ministerio de Minas y Energías. (13 de febrero de 2007). Decreto 387 de 2007. *Diario Oficial 46541*. Recuperado de http://www.creg.gov.co/html/Ncompila/htdocs/Documentos/Energia/docs/decreto_0387_2007.htm
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (31 de Julio de 2002). Decreto 1607 de 2002. *Diario Oficial 44892*. Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=5536>
- Ministerio del Interior. (13 de Julio de 1998). Decreto 1320 de 1998. *Diario Oficial 43340*. Recuperado de: <https://>

www.mininterior.gov.co/sites/default/files/co-decreto-1320-98-consulta-previa-indigenas-2.pdf

- Naciones Unidas. (1987). *Protocolo de Montreal del Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono*. Montreal, Canadá.
- Naciones Unidas. (1998). *Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. Kyoto, Japón. Recuperado de: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Naciones Unidas. (2000) *Pacto Mundial*. Recuperado de: https://www.unido.org/sites/default/files/2010-11/GC_Brochure_Spanish_0.PDF
- Oficina Internacional del Trabajo (OIT). (2001). *Declaración tripartita de principios sobre las empresas multinacionales y la política social*. Tercera edición, Ginebra. Pág.3. Recuperado de: <http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@dgreports/@dcomm/documents/normativeinstrument/kd00121es.pdf>
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). (25 de junio de 1958). *C111 - Convenio sobre la discriminación (empleo y ocupación)*, (núm. 111). Recuperado de: http://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C111
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). (28 de junio de 1930). *C029 - Convenio sobre el trabajo forzoso, 1930 (núm. 29)*. Recuperado de: https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:55:0::NO::P55_TYPE,P55_LANG,P55_DOCUMENT,P55_NODE:CON,es,C029,/Document
- Programa de Emisión y Colocación de Bonos EMGESA. (2015). Programa de Emisión y Colocación de Bonos Emgesa Séptimo Tramo. Recuperado de: <http://www.emgesa.com.co/ES/ACCIONISTAS/INFORMACIONFINANCIERA/PresentacionResultados/Presentaci%C3%B3n%20Roadshow%20Emgesa.pdf>
- Romero, L. D., y Vargas, R. A. (2010). Modelo de incentivos para la reducción de pérdidas de energía eléctrica en Colombia, *Revista de la Maestría en Derecho Económico*, (6), 221-257.
- Roser, I., y Vázquez, O. (Eds.). (2008). *La Responsabilidad Social de la Empresa Española en Latinoamérica. El caso del sector eléctrico*. Barcelona: Media responsable.
- Royal Danish Ministry of Foreign Affairs y United Nations Development Programme (Editores). (2005). *Implementando el Pacto Mundial*. Recuperado de: http://www.bibliotecavirtual.info/wp-content/uploads/2011/05/Implementando_el_Pacto_Mundial.pdf
- Secretaría de Energía (México). (2017). *Balance Nacional de Energía 2016*. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/288692/Balance_Nacional_de_Energ_a_2016_2_.pdf
- Sistema de Información Ambiental Minero Energético (2005). *Guía ambiental para proyectos de distribución* (Página 47, Num 7.2). Recuperado de: http://www.siame.gov.co/siame/documentos/Guias_Ambientales/Gu%C3%ADas%20Resoluci%C3%B3n%201023%20del%2028%20de%20julio%20de%202005/SECTOR%20ENERG%C3%89TICO/Guia%20Ambiental%20para%20proyectos%20de%20distribuci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica.pdf
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2017, 2 de Mayo). *Diagnóstico de la calidad del servicio de energía eléctrica en Colombia 2016*. Informe Técnico. Recuperado de: <http://www.celsia.com/Portals/0/Documentos/PDF/informe-calidad-del-servicio-2016-superservicios.pdf?ver=2017-05-25-143508-477>

Sustainability Reporting Guidelines. (2014). *Global Reporting Initiative (GRI). Sustainability Reporting Guidelines*. Recuperado de: <https://www.globalreporting.org/Pages/default.aspx>

Transparency International. (2009). *Informe Global de la Corrupción 2009. Corrupción y Sector Privado*. Cambridge: University Press. Recuperado de: https://www.transparency.org/whatwedo/publication/informe_global_de_la_corrupcion_2009_corrupcion_y_sector_privado

Descripción de las saponinas en quinua (*Chenopodium quinoa* willd) en relación con el suelo y el clima: Una revisión

Description of saponins in quinoa (*Chenopodium quinoa* willd) with relation to the soil and the climate: a review

Miguel Ángel García-Parra¹
Nubia Zoraida Plazas-Leguizamón^{2*}
Diana Carolina Carvajal Rodríguez³
Shayla Kayeth Ferreira Torrado⁴
Joel David Parra⁵

¹ Colombiano. Ingeniero Agropecuario. Fundación Universitaria Juan de Castellanos. Tunja, Boyacá, Colombia. Grupo de investigación en Agricultura Organizaciones y frutos.

^{2*} Colombiana. M.Sc. en desarrollo Rural. Docente Fundación Universitaria Juan de Castellanos. Tunja, Boyacá, Colombia. Grupo de investigación en Agricultura Organizaciones y frutos.
*Autor de correspondencia: nplazas@jdc.edu.co.

³ Colombiana. Ingeniera Agropecuaria. Fundación Universitaria Juan de Castellanos. Tunja, Boyacá, Colombia. Grupo de investigación en Agricultura Organizaciones y frutos.

⁴ Colombiana. Ingeniera Agropecuario. Fundación Universitaria Juan de Castellanos. Tunja, Boyacá, Colombia. Grupo de investigación en Agricultura Organizaciones y frutos.

⁵ Colombiano. Ingeniero Agropecuario. Fundación Universitaria Juan de Castellanos. Tunja, Boyacá, Colombia. Grupo de investigación en Agricultura Organizaciones y frutos.

Recibido: 22- 05 - 2018 Aceptado: 27-08-2018

Resumen

Cada vez, toma mayor importancia la producción de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en diferentes regiones del mundo, debido a que se ha buscado posicionar el cultivo como una alternativa de seguridad alimentaria. Sin embargo, esta planta presenta metabolitos como taninos y saponinas que son sustancias químicas que sirven de barreras de protección a factores bióticos y abióticos. En el caso de las saponinas, se reconocen 31 estructuras químicas, presentes en hojas, tallos, panojas, cascarilla y semillas de diferentes especies y genotipos. Al respecto, esta revisión busca describir características generales de las saponinas presentes en la quinua y su relación con el suelo y el clima. Encontrando que las edafoclimáticas propias de cada lugar, así como las características genéticas de cada variedad son determinantes en el contenido de compuestos saponínicos, estimulados principalmente por estrés de tipo hídrico y salino.

Palabras clave: Edáficas; clima; saponinas; salinidad.

Abstract

Increasingly, the production of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in different regions of the world becomes more important, due to the fact that it has been sought to position the crop as an alternative to food security. However, this plant has metabolites such as tannins and saponins, which are chemical substances that serve as protective barriers to biotic and abiotic factors. In the case of saponins, 31 chemical structures are recognized, present in leaves, stems, panicles, husk and seeds of different species and genotypes. In this regard, this review seeks to describe general characteristics of the saponins present in quinoa and its relations with soil and climate. Finding that the edaphoclimatics characteristic of each place as

Cómo citar: García-Parra, M. Á., Plazas Leguizamón, N. Z., Carvajal Rodríguez, D. C., Ferreira Torrado, S. K., Parra, J. D. (2018). Descripción de las saponinas en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en relación con el suelo y el clima: una revisión. *Informador Técnico*, 82(2), 241-249. doi: <https://doi.org/10.23850/22565035.1451>

well as the genetic characteristics of each variety are determinants in the content of saponin compounds stimulated mainly by water and saline stress.

Keywords: Edaphic; climate; saponins; salinity.

Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), también denominada como parca (quechua), supha, jopa, juira y vocali (aymara) (Cáceres-Ríos, 2016), es una especie perteneciente a la familia *Amaranthaceae*, originaria de la región sur de América, principalmente de países como Perú, Ecuador, Chile, Bolivia y Colombia, caracterizada por ser la base económica, social y alimentaria de pueblos indígenas desde hace 2000 años a.C., siendo símbolo de abundancia, religiosidad y fertilidad (Andrews, 2017), así Bolivia se ha reconocido por ser el principal productor y exportador mundial de quinua real orgánica con un 46 % (Lozano, Ticona, Carrasco, Flores y Almanza, 2012); tomando relevancia durante los últimos años en Norte américa, Europa y África (Vilcacundo y Hernández-Ledesma, 2017).

Por tanto, la quinua se ha convertido en una de las principales estrategias agroalimentarias de diferentes regiones del mundo, dado su contenido de proteína de 12-21 % (Comai *et al.*, 2007), grasa de 2-9,5 % (García-Parra, García-Molano y Carvajal-R, 2018) y fibra de 8,8-14,1 % (Navruz-Varli, 2016), así como a la presencia de todos los aminoácidos esenciales y la ausencia de gluten (Nowak, Du y Charrondie, 2016), además de expresar buenos resultados de adaptabilidad a condiciones extremas de clima y suelo, lo que ha permitido colonizar zonas improductivas (Carrasco, 2016), puesto que a raíz de los cruzamientos naturales que se generaron con *C. carnosulum*, *C. petiolare* y *C. pallidicaule*, le confirieron la capacidad de soportar en mayor proporción estrés por salinidad y resistencia a heladas (Mujica y Jacobsen, 2006).

Por otro lado, esta especie se clasifica en cinco grandes grupos agroecológicos, según los requerimientos edáficos y climáticos, correspondiendo a las quinuas del nivel del mar, de los salares, de las junglas, de los valles interandinos y de altiplano (Bazile, Bertero y Nieto, 2014), aspecto que ha fortalecido la expresión de su potencial genético. Sin embargo, el desarrollo agroindustrial de la quinua se ha visto desfavorecido, debido a que las semillas sintetizan compuestos bioactivos como respuesta a la adaptabilidad (Cruces, 2016), lo que ha generado que el consumo cause toxicidad al organismo, por efecto de la irritación en el tracto digestivo y las mucosas intestinales, inhibiendo la absorción de nutrientes y produciendo lisis celular (Costa, Yendo, Fleck, Gosmann y Fett-neto, 2011).

Además, la quinua se ha clasificado en variedades dulces y amargas, de acuerdo al contenido de saponinas (Vega-Gálvez *et al.*, 2010), metabolito secundario que se sintetiza a partir de la biosíntesis de ácido acético que se transforma en ácido mevalónico, tras pasar a farnecil pirofosfato y formar una molécula de escualento que es capaz de convertirse en una sapogenina triterpénica o sapogenina esteroideal (Szakiel, Paczkowsky y Henry, 2011), es así como la estructura de compuestos sapogénicos se encuentra constituido de una molécula de aglicona unida mediante un enlace glucosídico a un azúcar (Ahumada, Ortega, Chito, y Benítez, 2016), generando cerca de treinta diferentes saponinas que son construidas mediante la combinación de azúcares y agliconas presentes en tallos, hojas, semillas, panojas y flores, e influenciadas por las condiciones de suelo y clima, que son determinantes de la cantidad de estos compuestos y que permiten la adaptabilidad a factores bióticos y abióticos (Apaza, Smeltekop, Flores, Almanza, y Salcedo, 2016).

Además, se ha establecido que el cultivo cuenta con una diversidad genética y amplia capacidad de adaptación a diferentes climas y suelos con diversa textura y pH entre 4,5-9, así como su alta resistencia a sequías, heladas y salinidad, (Carrillo, Vilcacundo y Carpio, 2015; Veloza, Romero y Gómez, 2016). Por esta razón, se hace necesario conocer teóricamente las características generales de las saponinas presentes en la quinua y su relación con el suelo y el clima.

Generalidades de saponinas en quinua

Las saponinas son un metabolito secundario, abundante en las plantas del género *Chenopodiaceae*, siendo uno de los principales anti-nutrientes que poseen las plantas de *C. quinoa* y que le dan la característica amarga a sus granos, constituidos

por un amplio grupo de glucósidos presentes en órganos como hojas, tallos y panojas, siendo producidas en el citosol, a partir de la síntesis del escualento y estructurado con una secciones lipofílicas e hidrofílicas (Francis, Kerem, Makkar y Becker, 2002; Rodríguez, 2017). Este glucósido se caracteriza por ser de alto peso molecular, siendo conformado estructuralmente por una aglicona (terpenoide o esteroideal) unida a carbohidratos (azúcares) a través de enlaces glucosídicos (Ahumada *et al.*, 2016), que forman saponinas monoglicosídicas, diglicosídicas o triglicosídicas según el número de sustituciones (Guzmán, Cruz, Alvarado y Mollinedo, 2013).

De acuerdo con lo anterior, la síntesis de las saponinas se da con la mezcla de carbohidratos estructurales principalmente pentosas, hexosas o ácidos urónicos (Moses, Papadopoulou y Osbourn, 2014) y las agliconas pueden ser ácido oleanólico, hederagenina, ácido 3 β ,23,30-trihidroxiolean-12-eno-28-oico, gipsogenina, ácido espergulagénico, ácido 3 β -hidroxiolean-12-eno-28-oico, ácido serjanico y ácido fitolacagénico (Cuadrado, Ayet, Burbano, Muzquiz y Caviares, 1995) dando como origen a cerca de 31 saponinas, logrando así identificar tipos de agliconas especializadas, según lo descrito por Mizui, Kasai, Ohtani y Tanaka, (1990), quienes encuentran que la hederagenina es la aglicona que predomina en las semillas, pero que sin embargo, esto puede cambiar dependiendo de la variedad, el clima y el suelo

Dentro de las propiedades biológicas de las saponinas se encuentra la capacidad antibacterial, así como su uso para tratamientos del colesterol y del cáncer (Apaza *et al.*, 2016); por otro lado se han hecho investigaciones encaminadas a la sanidad vegetal, donde se le ha reconocido la capacidad del control de plagas y enfermedades principalmente de origen fúngicos, como por ejemplo: *Botrytis sinerea*, *Pomácea canaliculata* Lamarck, *Aspergillus* y *Fusarium* (Guzmán *et al.*, 2015).

Así, las saponinas son caracterizadas como sustancias que las plantas de quinua producen en mayores o menores concentraciones, independiente de que se encuentren en las variedades dulces o amargas según Gómez-Caravaca, Lafelice, Verardo, Marconi y Caboni. (2014), las variedades dulces tienen menos de 0,11 %, mientras que las variedades amargas presentan valores superiores, siendo un factor cambiante y dependiente de la variedad y las condiciones edafoclimáticas.

Relación Saponina – Clima

El clima es un factor indispensable en el desarrollo de las plantas de quinua, dado a que su funcionamiento y respuesta ecofisiológica varía dependiendo de la zona de producción, en tanto que según Bazile *et al.* (2014) las condiciones de clima y suelo son variantes de acuerdo con los grupos agroecológicos en los que se caracterizan las diferentes variedades. Es de esta manera como la disponibilidad de agua se hace indispensable en la disolución de nutrientes presentes en el suelo que son bases del crecimiento y desarrollo de todas las especies vegetales; así mismo la radiación solar actúa sobre las láminas foliares siendo captada en forma de energía lumínica y transformada en energía solar, además la temperatura es una variable influyente en actividades y reacciones químicas, enzimáticas y metabólicas (García-Parra, García-Molano, Melo y Deaquiz-Oyola, 2017), donde encontramos compuesto del metabolismo secundario como ácido fítico y saponinas, que son sintetizados cuando la planta es expuesta a estrés biótico o abiótico.

Sin embargo, las fuertes variaciones climáticas han generado que las plantas logren desarrollar estrategias como respuesta a los efectos del estrés, que principalmente se dan por efecto del déficit hídrico o como respuestas adaptativa a un efecto brusco de las condiciones donde se ha implementado (Delatorre-Herrera, González y Martínez, 2015), lo que ha permitido observar según Szakiel, *et al.* (2011), la síntesis de metabolitos secundarios como la saponina cuando las condiciones de clima no son las adecuadas para el tipo de variedad o ecotipo.

Según lo reportado por Mori (2015), la quinua es una planta que expresa contenidos de saponina de acuerdo con la disponibilidad de agua, debido a que el punto de marchitez permanente o anegamiento estimulan la expresión metabólica de este compuesto, ya que la presencia y disponibilidad de agua en el suelo facilita la absorción y el transporte activo y pasivo de los nutrientes, en tanto que el aumento de la presión osmótica reduce el flujo de moléculas y minerales hacia el interior de la planta, estimulando el estrés y disminuyendo el desarrollo normal de las actividades fisiológicas (Deaquiz-Oyala, 2014).

Otro de los factores influyentes en la síntesis de saponinas es la temperatura ya que incide directamente en la acumulación de compuestos bioactivos en los diferentes órganos de la planta, tolerando así rangos de temperaturas entre

0 y 30 °C (Gómez y Aguilar, 2016), lo que es determinante según la condición térmica en la variación de la síntesis de glucósidos y especialmente de saponinas (Schwarzbach, Scheiner y Knorr, 2005).

Asimismo, el fotoperiodo se reconoce como una de las principales fuentes de energía a partir de la radiación solar, capturada como energía lumínica y transformada en energía química a través de la fotosíntesis, siendo determinante en procesos que logran generar cambios en el comportamiento de las plantas, debido a que la onda de captación de luz debe encontrarse entre 400 y 700 nm, que permite correlacionarse con la presencia de metabolitos en ciertas etapas productivas como la floración para las *Chenopodiaceas* (Janick y Whipkey, 2002). Por su parte, la relación entre la precipitación, la temperatura y el fotoperiodo, evidencian su efecto sobre la expresión metabólica de las plantas y principalmente frente a la síntesis de sustancias que se sintetizan por efectos del estrés (ver Tabla 1).

Tabla 1. Efecto de la temperatura, precipitación y fotoperiodo en la presencia de saponinas

País	Variedad	Clima			Contenido de Saponina	Autor
		T (°C)	Precipitación (mm)	Fotoperiodo (h/luz)		
Chile	Regalona	20 °C	----	16	0,52 mg.L ⁻¹	(Delatorre-Herrera <i>et al.</i> , 2015)
		30 °C	----	16	0,62 mg.L ⁻¹	
Perú	INIA Salcedo	25 °C	1,15	----	0,168 %	(Mori, 2015)
			0,55	----	0,089 %	
Perú	Blanca de Junin	13 °C	65,3	----	0,0150 %	(Canales, 2016)
		13 °C	54,5	----	0,0210 %	

Fuente: Los autores.

La tabla anterior correlaciona las condiciones climáticas establecidas para variedades de quinua diferentes y su efecto en la presencia de saponina, para el caso de la variedad regalona, es notable el efecto de la temperatura en la concentración de saponina; concordado con lo expuesto por Gómez-Caravaca *et al.* (2014), los extremos térmicos tienen influencia en el aumento de saponina presente en los diferentes órganos de las plantas de quinua. Así mismo, se puede observar el efecto de los niveles de precipitación en los estudios de Perú, en donde el aumento y reducción de la precipitación generan efectos en la concentración de saponina en las semillas de quinua, seguramente siendo inducido por el efecto del estrés por sequía o anegación y las condiciones propias de los subsistemas que permiten evidenciar la respuesta de la planta a las condiciones edafoclimáticas (Motta-Delgado y Ocaño-Martínez, 2018).

Saponina – Suelo

El suelo es el recurso más importante para las plantas al momento de la nutrición, ya que contiene gran parte de los minerales necesarios para desarrollar las actividades fisiológicas y metabólicas, que junto con los microorganismos actúan en correlación y en muchos casos en coevolución para satisfacer las necesidades uno del otro. Sin embargo, a las *Chenopodiaceas* no se les reconocen hasta ahora poblaciones simbióticas a nivel rizosférico que aporten a la nutrición de la planta y que favorezcan el desarrollo de éstas en condiciones edafoclimáticas adversas (Carvajal, 2011). No obstante, las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo, generan efectos en la síntesis de sustancias como metabolitos primarios y secundarios que aportan al normal desarrollo de la planta, creando barreras de protección ante agentes bióticos y abióticos, dado que la toma de elementos como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) son absorbidos en mayor cantidad y hacen parte de la estructura de algunos compuestos del grupo de los glucósidos dentro de los que se encuentra la saponina (Rosero, Maraunek, Bienova y Lukessova, 2013).

Algunos estudios se han enfocado en el efecto que tiene la salinidad edáfica y la irrigación en el contenido de la saponina, estimulada a través del estrés que estos causan cuando están con déficit de agua o en encharcamiento, sin embargo se afirma que cuando las plantas de quinua son expuestas a estos factores, la presencia de este grupo de metabolitos secundarios se reduce (Troisi *et al.*, 2014), lo que podría influir en el potencial agroindustrial de las semillas. No obstante Janick y Whipkey (2002), determinaron que por el contrario, la quinua aumenta su contenido de saponina en semilla cuando esta se encuentra

en estrés por déficit hídrico, siendo las condiciones del suelo un factor importante en la concentración de saponina según la variedad y el entorno (ver Tabla 2).

Tabla 2. Contenido de saponinas dependiendo de la variedad y las condiciones de suelo y clima

Variedad	Lugar	Saponina (%)	m.s.n.m	Suelo	Temperatura (°C)	Autor
PEQPC-461 grano negro	Perú	0,91	243	50-69-00	16-24	(Mendoza, 2013)
Quinua variedad Zolapozada	----	1,1	2800	Suelos arcillosos, sin fertilización	25	(Zerraga, 2010)
Ingapirca Blanca opaca	Ecuador	0,07	2600	80-40-30	14	(Nieto, Vimos, Monteros, Caicedo y Rivera, 1992)
INIAP Pata de venado	----	0,27	3058	----	14	(Maggi, 2016)
Real de Bolivia (Amarga)	Bolivia	2,6	27	Suelo	22	(Pappier, Fernández, Larumbe y Vaamonda, 2008)
Piabiru Amarga.	Brasil	3,3	8	Suelo	14	(Nickel, Spanier, Botelho, Gularte y Helbing, 2016)
Regalona Chile (dulce)	Chile	0,002	10	----	25	(Kuljanabagavad, Thongphasuk, Chamulitrat y Wink, 2008)
Blanca de Nariño	Colombia	0,5	2800	Francos arcilloso	12	(Guzmán, 2017)
Regalona	Chile (costa)	2,2	20	Suelos arenosos (salinos)	22	(Orsini <i>et al.</i> , 2011)

Fuente: Los autores

De acuerdo con la tabla anterior, se evidencia que la quinua variedad PEQPC-461 de Perú presenta un porcentaje de saponina alto, lo que seguramente se debe a la temperatura en la que se desarrolló, teniendo en cuenta que a ese nivel del mar los climas son en su gran mayoría secos e influenciados por las corrientes de aguas marinas subterráneas y superficiales, así mismo sucede con la quinua Zolapozada que se desarrolló en un clima cálido sin fertilización y con suelos arcillosos. Además, se puede evidenciar que el estrés hídrico es un factor importante en el comportamiento de la planta, porque al ser escaso, se genera un leve aumento en la producción de sustancias metabólicas secundarias que son expresadas como resultado de los efectos (Santacoloma y Granados, 2012), lo que además sucede en la variedad Real de Bolivia, donde los contenidos de saponina fueron de 2,6 % con temperaturas de 22 °C durante el ensayo (Pappier *et al.*, 2008).

De otra parte, la variedad Piabiru del Brasil es un genotipo cultivado en las condiciones edáficas y climáticas brasileñas, reconocida por la síntesis de altos contenidos de saponinas, dado a que esta zona geográfica no es caracterizada como técnicamente apta para la producción de quinua (Nickel *et al.*, 2016), a lo que se le puede atribuir el aumento de este metabolito, junto con la excesiva presencia de sales a nivel del suelo. Esto como respuesta a la capacidad halófila facultativa que expresan las plantas (De Santis *et al.*, 2016) en tanto que el contenido de humedad edáfico y ambiental son determinantes en la toma, asimilación y eliminación moderada de partículas de sal, que según Ruiz-Carrasco *et al.* (2011) este mecanismo estimula la síntesis de saponinas a nivel foliar por efecto de la prolina. Además, para el caso de las variedades cultivadas en la zona costera de Chile, el aumento permanente de la presión osmótica del suelo es dado por la irrigación natural de aguas marinas que presentan altos contenidos de sal que influyen en el estrés y el posterior aumento de compuestos saponínicos (Orsini *et al.*, 2011).

Conclusiones

La concentración de saponinas en la semilla de quinua se ve influenciada por las características agroclimáticas de la zona de producción, principalmente por los cambios de temperatura, que inciden en la acumulación de bioactivos en los diferentes órganos de la planta, la disponibilidad de agua y el fotoperiodo, ya que tienen un efecto sobre la actividad metabólica de las plantas y la síntesis de estas sustancias que se da por efectos del estrés.

De otra parte, los suelos con contenidos de salinidad afectan el potencial agroindustrial de las semillas de quinua, ya que estimulan la concentración de compuestos saponínicos.

Referencias

- Ahumada, A., Ortega, A., Chito, D., y Benítez, R. (2016). Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): Un subproducto con alto potencial biológico. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 45(3), 438-469. doi: <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v45n3.62043>
- Andrews, D. (2017). Race, Status, and Biodiversity: The social Climbing of Quinoa. *Journal of Culture & Agriculture*, 39(1), 15-24. doi: <https://doi.org/10.1111/cuag.12084>
- Apaza, R., Smeltekop, H., Flores, Y., Almanza, G. y Salcedo, L. (2016). Efecto de saponias de *Cheneopodium quinoa* Willd contra fitopatogeno *Cercospora*. *Revista de protección vegetal.*, 31(1), 63-69.
- Bazile, D., (Ed.) Bertero, D., (Ed.) y Nieto, C. (Ed.) (2014). *Estado del arte de la quinua en el mundo 2013*. FAO, (Santiago de Chile) y CIRAD (Montpellier, Francia). 274.
- Canales, C. (2016). *Parcelas de comparación de compuestos de quinua en dos localidades del valle de Mantaro*. (Tesis de investigación), Universidad Nacional del Centro de Perú, Perú.
- Carrasco, F. (2016). Efecto del cambio climático en la producción y rendimiento de la quinua en el distrito de Juli periodo 1997-2014. *Comunic@cción*, 7(2), 38-47.
- Carrillo Terán, W. I., Vilcacundo, R., y Carpio, C. (2015). Compuestos bioactivos derivados de amaranto y quinua. *Actualización en Nutrición*, 16(1), 18-22.
- Carvajal, R. (2011). La quinua y la necesidad de realizar investigación agroambiental. *T'inkazos. Revista Boliviana de Ciencias Sociales*, (30), 187-190.
- Cáseres Ríos, M. D. (2016). *Evaluación sensorial del sabor amargo de doce accesiones de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) Y su correlación con el contenido de saponinas*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú
- Comai, S., Bertazzo, A., Bailoni, L., Zancato, M., Costa, C. V., y Allegri, G. (2007). The content of proteic and nonproteic (free and protein-bound) tryptophan in quinoa and cereal flours. *Food Chemistry*, 100(4), 1350-1355. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.072>
- Costa, F., Yendo, A., Fleck, J., Gosmann, G., Y Fett-neto, G. (2011). Immunoadjuvant and anti-inflammatory plant saponins: Characteristics and biotechnological approaches towards sustainable production. *Journal Medicinal Chemistry*, 11(10), 857-880. doi: <https://doi.org/10.2174/138955711796575470>
- Cruces, L. M. (2016). *Quinua manejo integrado de plagas, estrategias en el cultivo de la quinua para fortalecer el sistema agroalimentario en la zona andina*. Santiago: Organización de las naciones unidas para la alimentación de la agricultura FAO. 198.

- Cuadrado, C., Ayet, G., Burbano, C., Muzquiz, M., y Caviarés, L. (1995.). Occurrence of saponins and sapogenols in Andean crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 67(2), 169-172. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740670205>
- De Santis, G., Maddaluno, C., Dambrosio, T., Rascio, A., Rinaldi, M., y Troisi, J. (2016). Characterisation of quinoa accessions of the saponin content in Mediterranean environment. *Italian Journal Of Agronomy*, 11(4), 277-281.
- Deaquiz-Oyola, Y. (2014). Los frutos y su fotosíntesis. *Conexión Agropecuaria*, 4(1), 39-47.
- Delatorre-Herrera, J., Gonzalez, J., y Martinez, E. (2015). Efecto del fotoperiodo y la temperatura sobre la concentración de saponinas en tres variedades de quinua provenientes de tres latitudes. *V Congreso Mundial de Quinua*. Argentina. 1-10.
- Francis, G., Kerem, Z., Makkar, H y Becker, K. (2002). The biological action of saponins in animal systems: A review. *British journal of Nutrition*, 88(6), 587-605. doi: <https://doi.org/10.1079/BJN2002725>
- García-Parra, M., García-Molano, J. F., Melo, D y Deaquiz-Oyola, Y. (2017). Respuesta Agronómica de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) variedad dulce de Soracá a la fertilización en Ventaquemada – Boyacá. *Cultura científica*, 66-77.
- García-Parra, M., García-Molano, J., y Carvajal-R, D. (2018). Evaluación del efecto de la fertilización química y orgánica en la composición bromatológica de semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en Boyacá – Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 1-10. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2282/2569>
- Gómez, L., y Aguilar, E. (2016). *Guía del cultivo de la quinua*. Lima, Perú: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Universidad Nacional Agraria la Molina. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i5374s.pdf>
- Gómez-Caravaca, A., Lafelice, G., Verardo, V., Marconi, E., y Caboni, M. (2014). Influence of pearling process on phenolic and saponin content in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Food Chemistry*, 157, 174-178. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.023>
- Guzmán, A. (2017). *Propiedades de pasta en harina de quinua durante el proceso de lavado*. (Tesis de pregrado). Universidad Perunana Unión, Juliaca.
- Guzmán, B., Cruz, D., Alvarado, J., y Mollinedo, P. (2013). Cuantificación de saponinas en muestras de cañihua *Chenopodium pallidicaule* aellen. *Revista Boliviana de Química*, 30(2), 131-136.
- Guzmán, B., Tenorio, R., Cruz, D., Espinal, C., Alvarado, J., y Mollinedo, P. (2015). Saponins from *Chenopodium quinoa* Willd. and *Chenopodium pallidicaule* aellen as biocontrollers of Phytopathogen fungi and Hemolysis agents. *Revista Boliviana de química*, 32(1), 8-14.
- Janick, J., y Whipkey, A. (2002). Trends in New Crops and New Uses. *National Symposium NEW CROPS and NEW USES: Strength in Diversity 2001*: Atlanta, Ga.). ASHS Press.
- Kuljanabhadgavad, T., Thongphasuk, P., Chamulitrat, W., y Wink, M. (2008). Triterpene saponins from *Chenopodium quinoa* Willd. *Journal Phytochemistry*, 69(9), 1919-1926. doi: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2008.03.001>
- Lozano, M., Ticona, E., Carrasco, C., Flores, Y., y Almanza, G. R. (2012). Cuantificación de saponinas en residuos de Quinua Real *Chenopodium Quinoa* Willd. *Revista Boliviana de Química*, 29, (2), 131-138.

- Maggi, J. (2016). *Efecto de la escarificación en el contenido de saponina en dos variedades de quinua*. (Tesis de grado). Universidad Central de Ecuador, Quito, Ecuador.
- Mendoza, V. (2013). *Comparación de accesiones de quinua *Chenopodium quinoa* Willd en condiciones de Costa*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Mizui, F., Kasai, R., Ohtani, K., y Tanaka, O. (1990). Saponins from Bran of quinoa, *Chenopodium quinoa* Willd. *Chemical and pharmaceutical bulletin*, 38(2), 375-377. doi: <https://doi.org/10.1248/cpb.38.375>
- Mori, A. M. (2015). *Efecto de cinco láminas de riego en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) mediante el riego por goteo*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Moses, T., Papadopoulou, K., y Osbourn, A. (2014). Metabolic and functional diversity of saponins, biosynthetic intermediates and semi-synthetic derivatives. *Critical reviews in biochemistry and molecular biology*, 49(6), 439-462. doi: <https://doi.org/10.3109/10409238.2014.953628>
- Motta-Delgado, P., y Ocaña-Martínez, H. (2018). Caracterización de subsistemas de pasturas braquiarias en hatos de tropico húmedo, Caquetá-Colombia. *Ciencia y Agricultura*, 15(1), 81-92.
- Mujica, A., y Jabobsen, S. (2006). La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y sus parientes silvestres. *Botanica económica de los Andes Centrales*, 32, 449-457.
- Navruz-Varli, S. y Sanlier, N. (2016). Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Cereal Science*, 69, 371-376. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.05.004>
- Nickel, J., Spanier, P., Botelho, F., Gularte, M., y Helbing, E. (2016). Effect of different types of processing on the total phenolic compound content, antioxidant capacity, and saponin content of *Chenopodium quinoa* Willd grain. *Food Chemistry*, 209, 139-143. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.031>
- Nieto, C., Vimos, C., Monteros, C., Caicedo, C., y Rivera, M. (1992). INIAP. *Incapirca e Tunkahuan dos variedades de quinua de bajo contenido de saponina*. Boletín Divulgativo no. 228. Quito, EC: INIAP I
- Nowak, V., Du, J., y Charrondie, R. (2016). Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 193, 47-54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.111>
- Orsini, F., Accorsi, M., Guianquitino, G., Dineli, G., Antognoni, F., y Biondi, S. (2011). Beyond the ionic and osmotic response to salinity in quinoa. *Functional Plant Biology*, 38(10), 818-831. doi: <https://doi.org/10.1071/FP11088>
- Pappier, U., Fernández, P., Larumbe, G., y Vaamonda, G. (2008). Effect of processing for saponin removal on fungal contamination of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd). *International Journal food Microbiological*, 125(2), 153-157. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.03.039>
- Rodríguez, E. A. (2017). *Concentración de saponinas en Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) según la relación suelo-planta-clima*. Tunja, Boyacá, Colombia: Fundación Universitaria Juan de Castellanos.
- Rosero, O., Maraunek, M., Bienova, N., y Lukessova, D. (2013). Phytase activity and comparison of chemical composition, phytic acid P content of four varieties of quinoa grain (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Acta Agronómica*, 62(1), 13-20.
- Ruiz-Carrasco, K., Antognoni, F., Coulibaly, A., Lizardi, S., Covarrubias, A., Martínez, E., . . . Zurita-Silva, A. (2011). Variation in salinity tolerance of four lowland genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as assessed by growth, physiological traits, and sodium transporter gene expression. *Plant Physiology and Biochemistry*, 49(11), 1333-1341. doi: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2011.08.005>

- Santacoloma, L., y Granados, J. (2012). Interrelación entre el contenido de metabolitos secundarios de las especies *Gliricidia sepium* y *Tithonia diversifolia* y algunas propiedades fisicoquímicas del suelo. *Revista de investigación Agraria y Ambiental*, 3(1), 53-62. doi: <https://doi.org/10.22490/21456453.934>
- Schwarzbach, A., Scheiner, M., y Knorr, D. (2005). Effect of cultivars and deep freeze storage on saponin content of white sparagus spears (*Asparagus officinalis*). *European Food Research and Technology*, 222(1), 32-35.
- Szakiel, A., Paczkowsky, C., y Henry, M. (2011). Influence of environmental abiotic factors on the content of saponins in plants. *Phytochemistry Reviews*, 10(4), 471-491. doi: <https://doi.org/10.1007/s11101-010-9164-2>
- Troisi, J., Fiore, R., Pulvento, C., Dandria, R., Vega, A., Miranda, M., . . . Lavini, A. (2014). *Saponinas. Estado del arte de la quinua 2014*. 317-330.
- Vega-Galvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., y Martinez, E. A. (2010). Nutrition facts and funtional potencial of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(15) 2541-2547. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.4158>
- Veloza Ramírez, C., Romero Guerrero, G., y Gómez Piedras, J. J. (2016). Respuesta morfoagronómica y calidad en proteína de tres accesiones de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la sabana Norte de Bogotá. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 19(2), 325-332.
- Vilcacundo, R., y Hernández-Ledesma, B. (2017). Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*). *Current Opinion in Food Science*, 14, 1-6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.11.007>
- Zerraga, G. (2010). *Actividad detergente y acaricida de principios activos de quinuas amargas, aceites esenciales y tarwi*. (Tesis de grado). Pontificia Universidad Católica de Perú, Perú.



SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

ASTIN
CENTRO NACIONAL DE ASISTENCIA
TÉCNICA A LA INDUSTRIA

Entre los años 2016 y 2017 la Dirección de Formación Profesional y la Coordinación del Grupo de Bienestar al Aprendiz convocó a todos los centros de formación y equipos regionales a participar de manera activa y entusiasta en la estrategia de Formación Fórmula SENA Eco+. El Informador Técnico se vinculó en esta iniciativa publicando algunos desarrollos, soluciones sostenibles e innovadoras de los diferentes sectores productivos, donde se integraron las nuevas tecnologías y el uso de energías renovables que van en vía de la mejora de procesos, calidad de vida y conservación del medio ambiente.

Entre las metodologías y resultados que se presentan se abordan diseños e implementaciones arquitectónicas que resuelven necesidades habitacionales de la comunidad del frente marítimo a través de la identificación de las características socio-culturales y tipologías arquitectónicas y urbanas de la zona a intervenir, así como el reconocimiento de los aspectos bioclimáticos. Una vivienda social en altura económicamente viable que permita crecer en área, evolucionar y modificar la funcionalidad de sus espacios, a través del desarrollo de un módulo básico al que se le pueden unir módulos estructurales en voladizo con uniones articuladas. En temas de autosustentabilidad, una vivienda rural que utiliza tecnologías relacionadas con energías renovables, sistemas fotovoltaicos, molino eólico y aprovechamiento del recurso hídrico. Otro estudio instauró acciones de eco-rehabilitación en las instalaciones para construcciones, efectuando tres intervenciones con el aprovechamiento de residuos plásticos, aguas lluvias y sol. Por otro lado, se presentan resultados sobre el desarrollo de una central mini-hidroeléctrica para suministro de energías para zonas no interconectadas en el departamento de Nariño, esta alternativa contribuirá a la disminución del impacto ambiental generado por otros tipos de energías, incentivando el uso eficiente de estos recursos renovables en pro de una mejor calidad de vida de las personas que puedan acceder a esta fuente. Por último, se presenta el desarrollo de un sistema híbrido que garantiza un café secado con condiciones controladas y en un menor tiempo, esto logra introducir al agricultor en una dinámica de precisión en su objetivo de mantener los porcentajes permitidos de humedad. Se espera que los trabajos aquí presentados sean de su agrado, que conecten al país inquietando y utilizando estos desarrollos innovadores en pro de las comunidades que habitan zonas no interconectadas.

Carolina Caicedo Cano
Investigadora ASTIN
SENA Regional Valle
Editora Informador Técnico

Caracterización y aprovechamiento del potencial energético renovable de afluentes hídricos de ríos y quebradas del departamento de Nariño, con el fin de suministrar energía a zonas no interconectadas

Characterization and exploitation of the renewable energy potential of water tributaries of rivers and streams of the department of Nariño in order to supply energy to Non-Interconnected Zones

David Martínez¹
Tito Piamba²
Anthony Fierro³
Andrea Gualguan⁴

¹ Colombiano. M.Sc. en Diseño industrial, Investigador SENNOVA. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Internacional de Producción Limpia Lope, Grupo de Investigación LOPE INVESTIGACIONES, Regional Nariño. E-mail: odmartinez43@misena.edu.co.

² Colombiano. Ingeniero especialista en Automática industrial, Docente tiempo completo. Universidad Autónoma de Nariño. Grupo de Investigación LOPE INVESTIGACIONES, Nariño, Colombia. E-mail: titopia23@gmail.com.

³ Colombiano. Ingeniero e Instructor PLM. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Internacional de Producción Limpia Lope, Grupo de Investigación LOPE INVESTIGACIONES, Regional Nariño. E-mail: affierro@misena.edu.co.

⁴ Colombiana. Estudiante de Ingeniería Industrial, tecnóloga en Diseño de Productos Industriales, Instructora Diseño de Producto. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Internacional de Producción Limpia Lope, Grupo de Investigación LOPE INVESTIGACIONES, Regional Nariño. E-mail: andrea.920832@outlook.com

Recibido: 13- 12 - 2017 Aceptado: 13-05-2018

Resumen

Las zonas no interconectadas ZNI en el departamento de Nariño requieren una solución de energización local, que ofrezca un servicio constante y confiable y cuyos costos de generación sean asequibles a las personas que pertenecen a este grupo poblacional. Nariño es uno de los departamentos que posee un gran potencial de fuentes hídricas que pueden ser aprovechadas para la generación de energía eléctrica a través de pequeñas centrales hidroeléctricas. El desarrollo de una central mini-hidroeléctrica para suministro de energías representa una alternativa que puede permitir mejorar las condiciones de vida de las personas que habitan estas zonas; además de contribuir a la disminución del impacto ambiental generado por otros tipos de energías, incentivando el uso eficiente de estos recursos renovables. Con lo anterior, es necesario identificar en primera instancia un modelo metodológico que permita identificar el potencial energético que poseen fuentes hídricas como ríos y quebradas que se encuentran cerca a estas zonas no interconectadas. Se establecen las condiciones para involucrar una etapa de pre-factibilidad para implementarse un sistema hidroeléctrico con el cual se busque abastecer la demanda de energías de estas comunidades, determinando la aplicabilidad de éste tipo de tecnologías y el potencial que estas pueden generar. Se resalta la importancia de desarrollar este tipo de tecnologías en la región con el fin de trasladar el conocimiento a la comunidad por medio de su divulgación.

Cómo citar: Martínez, D., Piamba, T., Fierro, A. y Gualguan, A. (2018). Caracterización y aprovechamiento del potencial energético renovable de afluentes hídricos de ríos y quebradas del departamento de Nariño, con el fin de suministrar energía a zonas no interconectadas. *Informador Técnico*, 82(2), 251-259. doi: <https://doi.org/10.23850/22565035.1499>

Palabras clave: Energías alternativas; energía hidroeléctrica; caracterización potencial hídrico; desarrollo tecnológico; diseño y desarrollo de prototipo.

Abstract

The Non-Interconnected Zones (NIZs) in the department of Nariño require a local energization solution that offers a constant and reliable service and whose generation costs are affordable to the people belonging to this population group. Nariño is one of the departments that have a great potential of water sources that can be used for the generation of electricity through small hydroelectric plants. The development of a mini-hydroelectric power plant represents an alternative that can improve the living conditions of the people who live in these areas; besides contributing to the reduction of the environmental impact generated by other types of energies, encouraging the efficient use of these renewable resources. With the above, it is necessary to identify in the first instance a methodological model that allows identifying the energy potential of water sources such as rivers and streams that are close to these non-interconnected areas. The conditions are established to involve a pre-feasibility stage to implement a hydroelectric system with which it seeks to supply the energy demand of these communities, determining the applicability of this type of technologies and the potential that these can generate. It concludes highlights the importance of developing this type of technologies in the region in order to transfer the knowledge to the community through its dissemination.

Keywords: Alternative energies; hydroelectric power; potential water characterization; technological development; prototype design and development.

Introducción

Según cifras ofrecidas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (2011) sobre cobertura de energía eléctrica, Nariño es uno de los departamentos más afectados debido a la falta de suministro de energía eléctrica, ocupando el primer lugar como una de las regiones que más zonas no interconectadas posee con 51.447 usuarios de los cuales 8.717 pertenecen a las cabeceras municipales y 42.730 al sector rural. El sector rural en nuestra región presenta una gran problemática para abastecerse de un suministro energético para desarrollar necesidades de alta prioridad, como, por ejemplo, iluminación, cocinar, comunicación, y tareas básicas de los hogares.

Colombia ha sido clasificada como el cuarto país en el mundo con capacidad hidráulica, según las estadísticas, Colombia tiene un caudal en los principales ríos de 52.075 m³/s y un área total de 1.141.748 km² (Torres Quintero, 2014).

La falta de conocimiento sobre nuevas tecnologías acerca de fuentes energéticas renovables, genera una falta de aprovechamiento de las capacidades y potencial energético que brindan todas las fuentes hídricas del departamento.

Actualmente, no existen proyectos que fortalezcan los conocimientos sobre el aprovechamiento de las fuentes hídricas para captar toda la energía requerida para estas zonas, por lo cual desde la formación y la academia se debe empezar a abordar proyectos que brinden soluciones a necesidades locales y/o regionales.

Es importante resaltar la necesidad que desde la formación de aprendices del SENA se logre transferir conocimiento de las bondades que los recursos naturales poseen para generar energía eléctrica.

Las ZNI y las energías renovables

Las zonas no interconectadas ZNI en el departamento de Nariño requieren una solución de energización local, que ofrezca un servicio constante y confiable, y cuyos costos de generación sean asequibles a las personas que pertenecen a este grupo poblacional. Debido a la abundancia de fuentes hídricas en estas zonas, la energía eléctrica producida por su potencial cinético representa una alternativa que puede permitir mejorar las condiciones de estas personas; además de contribuir a

la disminución del impacto ambiental generado por otros tipos de energías, incentivando el uso eficiente de estos recursos, por ello, es necesario desarrollar un proyecto que permita reconocer las bondades de aprovechar este tipo de recursos.

Según los datos reportados por los operadores de red IPSE y proyecciones del DANE a partir del censo 2005, sobre cobertura de energía eléctrica a 2014, el departamento de Nariño es una de las regiones que presenta el índice más alto de personas que viven en zonas no interconectadas (ZNI) con un total de 51.447 usuarios (Ministerio de Minas y Energía, 2004) que podrían beneficiarse por medio de este proyecto.

En la actualidad el componente hidrográfico del departamento de Nariño está constituido por las vertientes Pacífica y Amazónica. El recurso hídrico nariñense se manifiesta en ocho cuencas hidrográficas en las cuales se encuentran 20 lagunas y 28 importantes subcuencas. A la vertiente Pacífica pertenecen las cuencas de los ríos Patía, Mayo, Juanambú, Guaitara, Mira - Mataje, Iscuandé, y Telembí; a la vertiente Amazónica corresponden las cuencas del Guamuez y San Miguel.

Metodología

Descripción de la metodología de proyectos

Método volumétrico para medición de caudales pequeños

El método consiste en tomar el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de volumen conocido. Posteriormente, se divide el volumen en litros entre el tiempo promedio en segundos, obteniéndose el caudal en Litros / segundo (L/s).

Caudal = n cantidad de Litros / n cantidad de Segundos promedio

Método de velocidad por área conocida

Con este método se mide la velocidad del agua superficial que circula en la fuente, tomando el tiempo que demora un objeto flotante en trasladarse de un punto a otro en una sección uniforme.

Cálculo del área de lecho del río (m^2) = Ancho (m) X Profundidad (m)

Cálculo de la velocidad del recorrido (m/s) = Distancia (m) / tiempo (s)

Cálculo del caudal del río m^3/s = Lecho del río (Área) X velocidad del recorrido (m/s) (Fundación Solar, 2013)

Con lo anterior se procedió a analizar 13 afluentes hídricos (quebradas) cercanos al centro de formación con el fin de caracterizar su potencial energético hidrológico y así determinar las características y parámetros de diseño del prototipo a desarrollar (ver Figura 1, Tabla 1 y Figura 2).



Figura 1. Aprendices e instructores del Centro Internacional de Producción Limpia LOPE, desarrollando la caracterización del potencial hídrico renovable en uno de los ríos de los cuales se obtuvo parámetros importantes en cuanto a identificación de caudal, profundidad y volumen.

Fuente: Los autores.

Tabla 1. Identificación de características de los ríos, muestra tomada a doce pertenecientes a nuestra región y a un río perteneciente al departamento del Putumayo.

Río	profundidad (m)	velocidad (m/s)	caudal (m ³ /s)
SENA ALTO	0,673	0,51	2,83
SENA COMERCIAL	0,415	1	1,09
SAN FERNANDO	0,283	0,723	0,9
CABRERA	0,283	0,723	0,9
SAPUYES	0,531	0,45	1,4
PATIA	0,657	0,8	1,485
PUTUMAYO	0,9	2,5	5,06
SAN JUAN	0,5	0,7	1,6
RIO BOBO	0,7	1,08	3,7
BOYACA	0,7	0,38	0,167
CUTIPAZ	0,65	0,43	0,267
NARIÑO	0,57	1,47	0,98
PROMEDIO	0,59	0,9	1,7

Fuente: Los autores

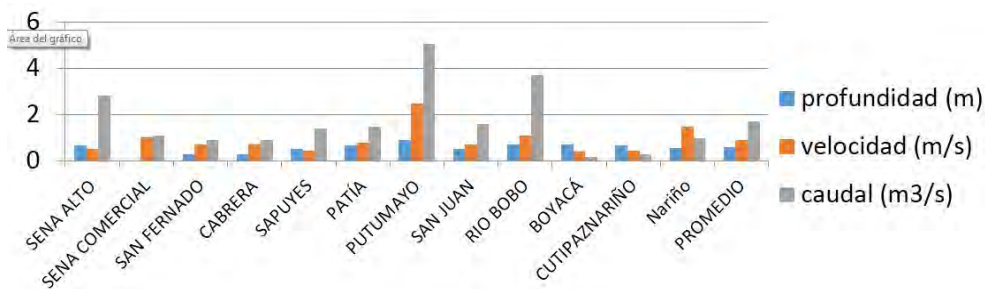


Figura 2. Características de los caudales de río relacionada con la profundidad, la velocidad y el caudal promedio de cada uno de los ríos analizados.

Fuente: Los autores

Metodología PLM (product lifecycle management)

El proceso metodológico de trabajo está basado en la metodología de diseño y desarrollo de productos en contexto con la aplicación de la Estrategia PLM como se muestra en la Figura 3 para el monitoreo, control, seguimiento y evaluación de las diferentes fases que hacen parte del desarrollo del proyecto. La administración del Ciclo de Vida del Producto PLM (Product Lifecycle Management) es un término usado para la gestión global del ciclo de vida de un producto, desde su concepción, pasando por su diseño y fabricación hasta su distribución, venta y reciclaje o reutilización. Por tanto, son aplicaciones que permiten controlar, desarrollar, innovar, describir y comunicar información acerca de los productos (InnoSutra, 2008).

Por lo tanto, se pueden señalar como ventajas:

- Facilita (más rápido, menos errores, menos tiempo de aprendizaje) la comunicación a todos los niveles.
- Favorece los procesos de innovación.
- Puede ahorrar costes de inversión y mantenimiento.
- Simplifica el control de todos los procesos, horizontal y verticalmente, en el seno de la empresa, así como en los procesos de externalización.
- Reduce el tiempo de comercialización.

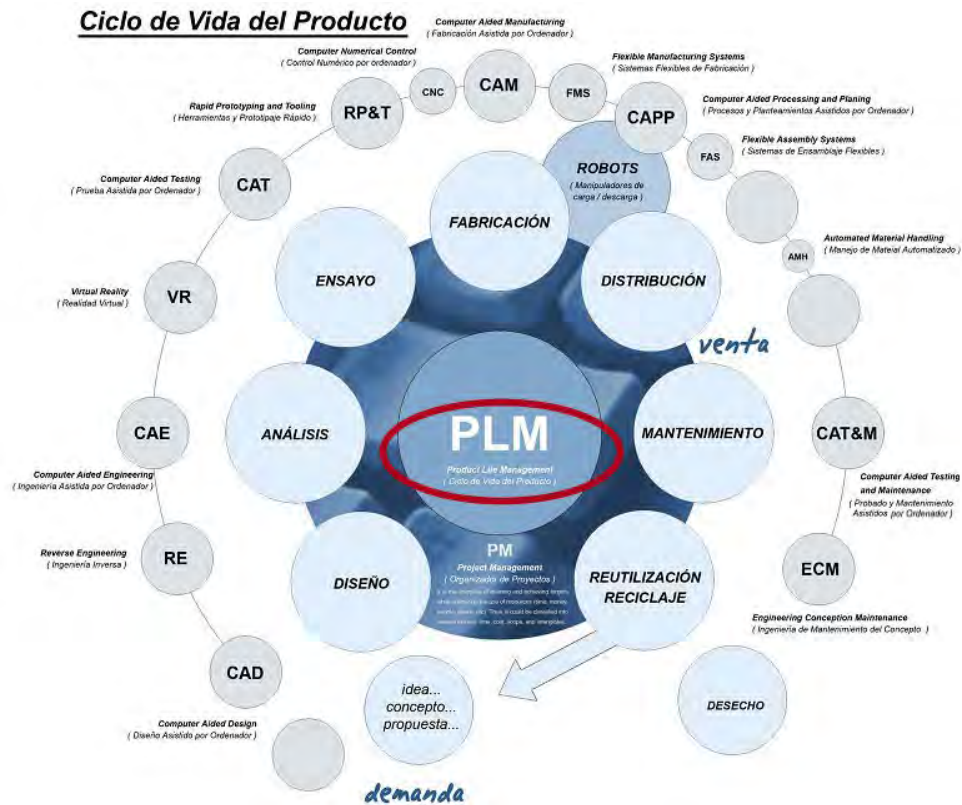


Figura 3. Diagrama de aplicación metodológica relacionada con la Administración del Ciclo de Vida del Producto.
Fuente: (Arion Data System, 2010).

Las fases inician con la concepción: definición de variables de la caracterización a estudiar para la eficiencia energética del punto de instalación de captura energética de la mini-central hidroeléctrica a desarrollar, para ser implementada y probada en uno de los ríos caracterizados, el cual se encuentra ubicado dentro de las instalaciones del Centro LOPE.

La segunda fase es el diseño detallado de la ubicación estratégica de la mini-central hidroeléctrica con todos los elementos que la conforman (el generador, elevador de voltaje, regulador, baterías, inversor) para ello, se desarrollaron los bocetos y planos detallados del sistema a establecer, planos mecánicos, desarrollo y mecanizado de piezas y desarrollo de acabados.

En seguida, vendrá la fase de ensambles e implementación de los sistemas anteriormente mencionados con el fin de suplir de energía eléctrica para ser almacenada en las baterías y posteriormente ser consumida por el usuario.

Finalmente, se culmina con la fase de terminación que incluiría la documentación completa de las diferentes fases y el estudio final del proyecto con una verificación de eficiencia de las variables y un seguimiento previo para obtener una mayor calidad de eficiencia y productividad.

Esta metodología de trabajo se debe fundamentar con las fases del ciclo de vida del producto que garantiza eficiencia, menor tiempo utilizado, menos costos definidos y mayor productividad y eficiencia en los procesos de producción y gestión.

Diseño

Fase de potencia

Descripción circuito principal

En primer lugar, encontramos el generador Dooms Day que nos permite transformar la energía mecánica generada por la turbina a energía eléctrica, esta energía DC pasará por el Elevador de carga, este elemento permite elevar el voltaje inicial al que se desee dependiendo de la capacidad del elevador, si el generador produce 4,5 V el elevador lo lleva a 12 V. Luego pasará por el controlador de carga PWM de 12 V, este dispositivo permite trabajar a la misma tensión que las baterías, permitiendo su carga y su desconexión automática si ya están cargadas, luego iría conectado a las baterías de ciclo profundo 12 V donde se almacenará la energía DC. Para transformar de DC a AC se utiliza un inversor de carga de 1500 W y esta energía AC será suministrada a los hogares para ser aprovechada (Ver Figura 4).

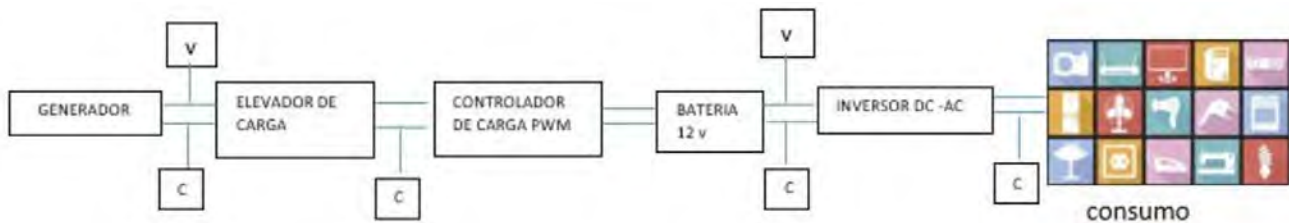


Figura 4. Descripción gráfica relacionada con el funcionamiento del circuito principal del sistema de carga y generación de energía de la mini-hidroeléctrica desarrollada por el equipo de CIPLL del SENA regional Nariño.

Fuente: Los autores.

Diseño de prototipo

Teniendo en cuenta el estudio previo realizado, relacionado con la caracterización del potencial energético hídrico renovables en 12 ríos y quebradas del departamento de Nariño, se procede a diseñar un prototipo (ver Figura 5) que permita aprovechar las características y el potencial anteriormente identificado. Lo anterior permitió identificar los parámetros de diseño que fueron tenidos en cuenta para desarrollar una mini central hidroeléctrica portable flotante para implementarse en zonas no interconectadas del departamento de Nariño.

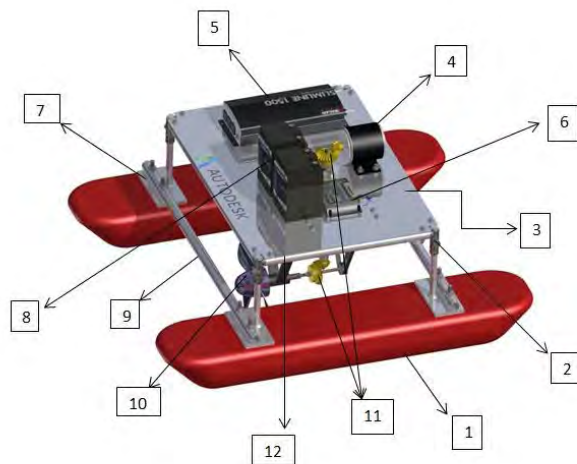


Figura 5. Descripción en detalle de cada uno de los elementos que componen el prototipo de generación de energía de la central mini-hidroeléctrica portable desarrollada por el equipo de CIPLL del SENA regional Nariño.

Fuente: Los autores.

El prototipo posee una hélice tipo turbina de río, la cual permite aprovechar de una manera adecuada la energía cinética del caudal del río.

Partiendo de la energía cinética producida por las fuentes hídricas, se diseña y construye una turbina que aprovecha toda esa energía. Al establecer contacto con el agua las hélices comienzan a girar transformando en este punto la energía cinética en un movimiento mecánico. Por medio de los engranes ubicados en la parte inferior y la parte superior del prototipo se transmite el movimiento producido a los piñones que se encuentran en la base y estos a la vez lo transmiten al generador eléctrico, el cual alimentará las baterías que a su vez almacenan la energía y la distribuyen a los electrodomésticos que se desea alimentar para su funcionamiento.

A continuación, se procede a identificar el diseño final del prototipo con el fin de describir cada una de sus partes.

Descripción de la planta mini hidroeléctrica

- **Flotadores:** Mantienen en equilibrio a toda la estructura en general
- **Ejes esquineros:** Permiten modificar y graduar la altura de la turbina.
- **Base:** Su función principal es soportar al generador, inversor y regulador.

Las dimensiones son 68 cm de largo por 52 cm de ancho con un espesor de 3 mm.

- **Generador:** Genera corriente y voltaje.
- **Inversor:** Convierte la corriente directa a corriente alterna.
- **Regulador:** Carga las baterías y realiza su desconexión automática cuando ya estén cargadas.
- **Ejes de elevación:** Permiten el ensamble de flotadores a la estructura y junto con los ejes esquineros permiten modificar la altura de la turbina.
- **Baterías:** Almacenan la energía producida por el generador.
- **Ejes de soporte:** Permiten ensamblar los flotadores generando un equilibrio a todo el sistema.
- **Turbina:** Aprovecha la energía cinética y la convierte en un movimiento.
- **Piñones:** Convierten y transportan la energía producida por el generador.
- **Soporte de la base:** Permite asegurar la base y aporta estabilidad.

Validación preliminar

Resultados

Teniendo en cuenta el diseño presentado (ver Figura 6), se procedió a realizar unas pruebas con el fin de demostrar el funcionamiento del prototipo desarrollado, se realizaron dos pruebas en uno de los ríos caracterizados al interior del centro de formación y se obtuvieron los siguientes resultados:



Figura 6. Desarrollo de pruebas de generación y almacenaje de energía en campo real del prototipo de generación de energía de la central mini-hidroeléctrica portable desarrollada por el equipo de CIPLL del SENA regional Nariño.

Fuente: Esta investigación.

Prueba 1

A un caudal de $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$, con una relación de piñones 1: 2 en la turbina y 1:3 en el generador, se obtuvo la producción de 12 V sin carga (sin conectar batería) y con carga se obtuvo 8 V y una corriente de 2.3 A.

Prueba 2

A un caudal de $2,9 \text{ m}^3/\text{s}$, con una relación de piñones 1:2 en la turbina y 1:2 en el generador produjo 8,7 V sin carga y respectivamente con carga 4,9 V y una corriente de 2 A.

Se concluye que la producción de energía depende de las revoluciones del generador. Para las anteriores pruebas, las revoluciones varían según las relaciones, en la primera prueba las revoluciones fueron aproximadamente de 1000 y en la segunda prueba de 600 revoluciones. Para la producción máxima de potencia, el generador debe llegar a 2800 revoluciones (se estima aproximadamente 12 V y 18 A).

Discusión y conclusiones

Se debe acelerar la diversificación energética dentro del centro de formación, ya que la variabilidad y diversidad de fuentes de energías renovables deben ser aprovechadas en sentido tal que toda la comunidad del SENA tenga acceso a tan importante información.

Debido a la situación climática y la dependencia de las fuentes hídricas en el medio de la ubicación del Centro Internacional de Producción limpia Lope, se hace necesaria la realización de grandes esfuerzos para gestionar y afrontar los riesgos que generan no ajustarse a la actual coyuntura mundial relacionada con el cambio climático, buscando adaptarse a ellos, por un lado, y paralelamente estudiar y aprovechar el potencial en otras fuentes renovables y alternativas, de tal modo que asegure su abastecimiento en el futuro.

Colombia, por su estratégica posición en el trópico y en el sistema montañoso de los Andes, tiene un potencial importante en energías, pues se han generado nuevas expectativas que podrían equiparar los progresos en las renovables. Más aún, un nivel de precios bajos del crudo y el gas sostenido en el tiempo puede dar al traste con la industria solar y eólica y frenar los esfuerzos en I&D de las otras fuentes de energía renovables (Unidad de Planeación Minero Energética UPME, 2015). que en su gran mayoría se pueden identificar y aprovechar de manera práctica dentro de las instalaciones del Centro Internacional de Producción limpia Lope, tal como lo son la energía hídrica, la energía eólica, la solar fotovoltaica y biomasa, pero debe crear las condiciones para desarrollarlas en firme, lo cual le permitirá mantenerse como una estrategia de aprendizaje transversal y posicionarse además como desarrolladores de energías limpias y de productos con una huella igualmente baja en carbono.

Es necesaria una política que desde el Estado intervenga en forma integral los territorios donde se desarrollan los macro proyectos de impacto regional y nacional, que son la columna vertebral para la competitividad y la sostenibilidad del país.

Y desde luego, se deben impulsar iniciativas que conduzcan a la reducción de emisiones a través de la eficiencia energética y la transferencia y apropiación de tecnologías más limpias y eficientes, entre otras.

Agradecimientos

El presente trabajo de investigación es el resultado de un arduo trabajo y aporte de ideas, proyectos y esfuerzos previos que corresponden a otras personas. En este caso nuestro más sincero agradecimiento a Gustavo Galvis, Ángela Morillo, Nicolás Rosero, Yuri Díaz y Juan Delgado, aprendices de ambiente pluritecnológico de mecatrónica e investigadores del semillero FORSENAR MECATRÓNICA, con cuyo trabajo estaremos siempre en deuda. Gracias por su amabilidad, su disposición, su interés por el aprendizaje, su tiempo y sus ideas.

Referencias

- Arion Data System. (2010). *PLM, Gestión del Ciclo de Vida del Producto*. Barcelona: ArionData.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. (2011). Dirección de Regulación, Planeación, Estandarización y Normalización DIRPEN. *Caracterización temática de servicios públicos domiciliarios*. Bogotá D.C.
- Fundación Solar. (2013). *Medición del potencial hidrológico para generación de energía renovable, la experiencia de la fundación solar en Guatemala*. Ciudad de Guatemala: PURE.
- InnoSutra. (2008). *InnoSupportTransfer – Apoyo a la Innovación en las PYMES . Estrategias de Producción Innovadoras*.
- Ministerio de Minas y energía (Unidad de Planeación Minero Energética UPME). (2004). *Costos indicativos de referencia de proyectos de generación. Plan de expansión de referencia 2003 - 2012*.
- Torres Quintero, E. (2014). Investigación en pequeñas centrales en Colombia. *Revista Ingenio Libre*, 121.

Diseño estructural de un secador continuo y herramienta para volteo de cafés especiales

Structural design of a continuous dryer and turning tool of special coffee

Juan Esteban Luna Valencia¹
Catalina Espinosa Bayer²
Yuli Marcela Ordóñez Castañeda³
Andrea Melisa Vásquez Riascos⁴

¹ Colombiano. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, Tecnoparque Nodo La Angostura, Regional Huila. Campoalegre, Colombia. E-mail: jlunav@sena.edu.co.

² Colombiana. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, Tecnoparque Nodo La Angostura, Regional Huila. Campoalegre, Colombia. E-mail: cespinosab@sena.edu.co.

³ Colombiana. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, Tecnoparque Nodo La Angostura, Regional Huila. Campoalegre, Colombia. E-mail: yordonez@sena.edu.co.

⁴ Colombiana. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, Tecnoparque Nodo La Angostura, Regional Huila. Campoalegre, Colombia. E-mail: amvasquezr@sena.edu.co.

Recibido: 04-12-2017 Aceptado: 18-05-2018

Resumen

El presente artículo comprende el diseño estructural de un secador con sistema de volteo para cafés especiales en el departamento del Huila el cual incluye: (i) Análisis de diseño para determinar la forma de la “uña de volteo” con la correspondiente herramienta definida, (ii) deducción de una ecuación aproximada para el cálculo del torque requerido para el volteo del café en pasera y (iii) un análisis CFD (computational fluid dynamics) del secador desde el punto de vista térmico para validar las variables de diseño. Se logró proponer un sistema híbrido con un factor de innovación que garantiza un café secado con condiciones controladas y en un menor tiempo, que introduce al agricultor en una dinámica de precisión en su objetivo de mantener los porcentajes permitidos de humedad, garantizando un café de calidad en taza.

Palabras clave: Secador de café; calidad de café; CFD; volteo de café.

Abstract

This paper comprise the structural design of a dryer with stirring system to obtain specialty coffee of highest quality, which includes: (i) Design analysis to determine the shape of a advantageous stirring device, (ii) deduction of an equation to calculate the required torque for turning tool and (iii) a computational fluid dynamics (CFD) analysis of the dryer for thermal conditions, in order to validate the design variables. It was possible to propose a hybrid system with an innovation factor that guarantees a dried coffee with controlled conditions and in a shorter time, which introduces the farmer in a dynamic of precision in his objective of maintaining the permitted percentages of humidity, guaranteeing a quality coffee in a cup.

Keywords: Coffee dryer; quality of coffee; CFD; stirring coffee seeds.

Cómo citar: Luna Valencia, J. E., Espinosa Bayer, C., Ordóñez Castañeda, Y. M. y Vásquez Riascos, A. M. (2018). Diseño estructural de un secador conitnuo y herramienta para volteo de cafés especiales. *Informador Técnico*, 82(2), 260-269. doi: <https://doi.org/10.23850/22565035.1500>

Introducción

Colombia es el mayor productor mundial de café arábigo suave lavado, para febrero del año 2017 se reportó una producción de 1.293.000 sacos de 60 kg (Federación Nacional de Cafeteros, 2017). Es importante resaltar que 35 de los municipios del Huila son cafeteros o realizan actividades relacionadas con este cultivo, con un área sembrada de 138.067 ha, aproximadamente. Existe además un factor diferenciador donde se adjudicó al café de este departamento con denominación de origen garantizando alta calidad en el producto final y una diferenciación en el mercado (Trujillo y Rengifo, 2015), donde los productores han valorizado sus cafés recibiendo un valor adicional por carga de 300 mil pesos colombianos, permitiendo que mejoren sus procesos productivos y por ende su calidad de vida (Andrade, Bernal, y Silva, 2015). En café, la mejor calidad se obtiene a partir de frutos maduros y sanos, sin embargo, en los procesos postcosecha se deben considerar buenas prácticas que garanticen una producción de calidad en todos los procesos agronómicos, secado, almacenamiento, transporte, tostación, lo anterior, siendo amigables con el medio ambiente (Puerta *et al.*, 2016). Dentro de estas prácticas, el secado de café es una de las etapas de mayor importancia teniendo en cuenta que el fruto fresco contiene entre 75-85 % de agua y es susceptible al ataque microbiano y al deterioro químico, el cual puede afectar las características del café, tales como el cuerpo, sabor y aroma (Batista, Chalfoun, Batista, y Schwan, 2016; Ladino-Garzón, Cortés-Macías, y Amorochocruz, 2016; Puerta, 2001; Federación Nacional de Cafeteros, Cenicafe y Fundación Manuel Mejía. (2009).

El exceso de humedad contenida por los materiales puede eliminarse por métodos mecánicos (sedimentación, filtración, centrifugación), sin embargo, la eliminación más completa de la humedad se obtiene por evaporación mediante el secado térmico, ya sea con ayuda o no de corrientes de aire (Knoule, 1968; Perry, 1985; Sherwood, 1936). En el café, el proceso de secado es realizado tradicionalmente usando el calor generado por radiación solar, igualmente, debe complementarse con el proceso de revuelto (volteo) que permita la uniformidad en el contenido de humedad final de los lotes. Este proceso se realiza extendiendo la almendra de café sobre una base (concreto, madera o guadua) y revolviendo usando rastrillos contruidos en madera o en láminas de hierro (Jurado, Montoya, Oliveros, y García, 2009), dichas herramientas son pesadas y con brazos cortos que limitan que el operario realice la actividad correctamente, además, se ven en la necesidad de pisar el café con el fin de cubrir la zona para volteo, generando granos pelados, resquebrajados, contaminación con materiales extraños y aplastamiento que afecta la calidad final (Velásquez y Álvarez, 1991). Este proceso se realiza en el día, actividad que varía por las condiciones climáticas, sin embargo, se frena en las noches o cuando las condiciones climáticas no permiten aprovechamiento del calor generado por radiación solar (Roa, Oliveros, y Ramírez, 2000). Lo anterior afecta el contenido de humedad del café almacenado, generando varios inconvenientes como: mancha o germinación de la almendra, mal olor, café pálido después del trillado, mal sabor en taza, ser considerado de menor calidad y por ende un menor precio (Puerta, 2006).

Considerando lo anterior, el objetivo del presente artículo es mostrar el diseño estructural de un secador continuo para cafés especiales, su correspondiente herramienta para volteo y la simulación de dos variables (velocidad del aire y temperatura) que permitan conocer la distribución de la temperatura al interior del secador.

Metodología y Materiales

Tipo de estudio y lugar de desarrollo

Se planteó un estudio exploratorio, considerando que no existen investigaciones previas que incluyan en conjunto: herramienta y mecanización del volteo, y secado continuo para cafés especiales. Este tipo de estudio se define porque se desarrolló un prototipo (estudio a menor escala), con el cual se pretende analizar metodologías, técnicas y finalmente, mostrar la viabilidad de los instrumentos utilizados antes de iniciar con la recolección de información (Muñoz Aguirre, 2011). El presente proyecto fue desarrollado en el Centro de Formación Agroindustrial "La Angostura" Regional Huila. Kilómetro 38 vía al sur de Neiva, Campoalegre, Colombia.

Análisis de sistemas objetuales – herramienta de volteo

La metodología aplicada para el desarrollo de la uña de volteo consistió en tres momentos, la etapa inicial en la que se plantea o estructura el problema, en este caso se revisaron los sistemas y herramientas existentes y se evaluó su rendimiento, eficacia en el proceso y relación en supervisión del operario, obteniendo así un mapa que guía el análisis en la cultura material (sistemas objetuales y objetos) de los secadores de café, integrando aspectos desde la etnografía, como una estrategia de conocimiento y acercamiento de la técnica. La segunda etapa, definida como desarrollo proyectual, permitió establecer los requerimientos de diseño, integrando la morfología y dimensiones del grano de café, para finalmente escalar el diseño de la uña de acuerdo con el elemento, esto para garantizar una rotación homogénea de la masa a revolver, sin causar daños a los granos durante el proceso de volteo. La tercera etapa consistió en la fabricación de la propuesta, articulándose con el prototipado del sistema completo (Rodríguez, 2006).

Condiciones del secador continuo

Humedad y temperatura

A nivel térmico el secador debe impedir una reversión en el secado y debe evitar la cristalización del grano de café, es decir, debe sostener una temperatura estable durante todo el proceso sin superar los 50 °C (Puerta, 2006). Para tal fin, se propone un diseño basado en un sistema híbrido de aprovechamiento de la energía solar y la energía de biomasa de los tallos de café desechados del cultivo, con un sistema de dos paseras horizontales con el fin de que durante el día la radiación solar térmica transfiera calor a los objetos que contiene, incrementando su temperatura y permitiendo que el aire aumente su capacidad de absorber agua, logrando así mejorar el secado. En la noche o cuando baje la temperatura, se generaría la energía necesaria para calentar el aire y continuar el proceso de secado a partir de biomasa, mediante un horno y un intercambiador de calor. La determinación de las condiciones de humedad del secador se trabajó bajo dos conceptos: humedad específica (ω) y humedad relativa (ϕ).

Adicionalmente, se realizó una simulación en el software Solidworks versión 2015, para verificar la distribución del aire caliente dentro de la estructura de manera que se valide la ubicación de la tubería de alimentación y la tubería de recirculación de aire para que cada una tenga una corriente adecuada de aire caliente, disminuyendo la diferencia de secado en los granos de café; además para validar la ubicación adecuada de los ventiladores que controlan la temperatura al interior del secador. Para dicho análisis se tomó temperatura promedio del aire atmosférico 15 °C y 1 atm de presión.

Motor

Para determinar el torque requerido para el volteo de café deberían considerarse una multitud de variables entre las que están: rozamiento generado entre los granos, entre uña y grano, volumen de café levantado en cada vuelta, dependiendo a su vez de la velocidad lineal de la uña y de la geometría de la uña, pérdidas en la transmisión de potencia, y densidad del grano, entre otras.

Considerando lo anterior, se puede evidenciar que el cálculo del torque de manera precisa es más complejo que útil debido a la variedad en la ubicación de los granos de café, tamaño de grano, cantidad a secar y variedad del café a procesar, por lo tanto se definió realizar un cálculo general agregando un factor de seguridad. Una posible aproximación al torque se puede lograr calculando el volumen máximo de café que podría soportar la uña en cada volteo, lo cual es definido por la geometría de la uña. Por tal motivo se evaluó el diseño que más torque requiera.

Resultados

Diseño herramienta de volteo – uña

En la Figura 1, se muestran las tipologías existentes de los métodos de secadores solares para café, evidenciando las principales falencias al hacer un análisis de las tipologías relacionando la triada ser humano-objeto-actividad, en el contexto en el que se desarrolla el proceso de secado del café. Algunas de las falencias identificadas fueron: (i) carencia de precisión en el proceso de secado, específicamente en el nivel de humedad presente en el grano, que puede causar que se exceda el tiempo de exposición generando un café reseco; (ii) la dependencia de las condiciones climáticas que pueden hacer que en periodo de invierno se prolongue el tiempo de secado lo que podría deteriorar la calidad del grano; (iii) por ser procesos dependientes de la energía térmica solar presentan un retroceso en el tratamiento de secado durante la noche; (iv) en cuanto a la relación instrumento-usuario, en todos los sistemas identificados es requerida mano de obra para el volteo.

Mediante este análisis se observó que es pertinente generar un sistema de secado que mantenga una relación formal y funcional de los subsistemas, como son; la herramienta de volteo, el elemento contenedor de la producción de café o pasera, buscar alternativas para reducir las pérdidas de calor, permitiendo la continuidad al proceso de secado, identificar datos numéricos concretos que reduzcan el grado de incertidumbre al agricultor (Figura 2) (Federación Nacional de Cafeteros y Centro Nacional de Investigaciones de Café., 2004; Jurado *et al.*, 2009; Oliveros, López, Sanzs, y Ramírez, 2006).



Figura 1. Métodos de secado de café solares,
Fuente: Los autores.



Figura 2. Instrumentos en proceso de secado de café.

Fuente: Los autores. Imágenes tomadas de Federación Nacional de Cafeteros y Centro Nacional de Investigaciones de Café (2004); Oliveros *et al.* (2006).

De acuerdo con los objetivos establecidos, se desarrolló un elemento que se denominó uña de volteo (Figura 3), que surge de integrar las características de forma y tamaño del referente natural, que son los granos de café, en un elemento de rotación continua para reemplazar la mano de obra. Para tal fin se tomaron las cualidades morfológicas descritas, donde el lado externo es convexo y liso, y el interno plano con un surco longitudinal, cuyas medidas en los tipos comerciales son de 9 a 18 mm de largo por 6 a 10 mm de ancho y 4 a 8 mm de grosor (León, 1968).

Las determinantes de diseño permitieron establecer la necesidad de generar un elemento de una proporción cercana al grano de café, para el desarrollo formal se partió del carácter convexo y plano para el diseño del extremo de la uña, a fin de garantizar el levantamiento y posterior rotación de los granos de café. La uña se ubica sobre un eje de rotación, en un módulo que se repite aplicando un giro de 180°. El ancho de cada uña es de 2 cm lo que permite la remoción de la masa de granos de café contenida en la pasera.

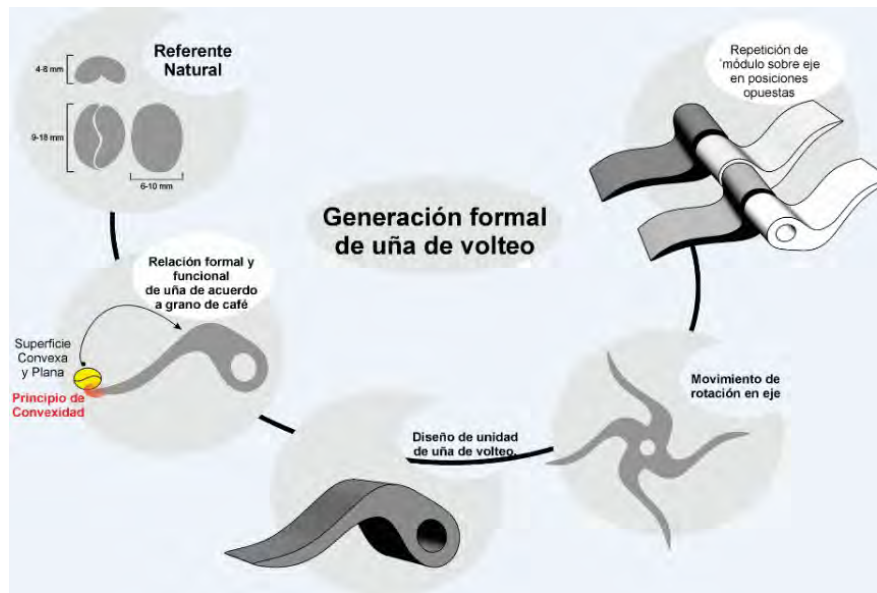


Figura 3. Generación formal de la uña de volteo.
Fuente: Los autores.

Sistema de Secado Continuo

En cuanto a humedad y temperatura, el funcionamiento del sistema de aprovechamiento del calor latente del aire húmedo se presenta en la Figura 4:

1. Succión de aire húmedo en la parte superior del secador.
2. El aire húmedo atraviesa un intercambiador de calor reduciendo la temperatura del aire, esto genera una condensación de agua alrededor de las paredes de la tubería del intercambiador y por ende disminuye la humedad específica del aire.
3. El aire deshumidificado aumenta la temperatura y disminuye la humedad relativa al entrar en contacto con el aire caliente proveniente del horno.
4. Aire calentado y deshumidificado entra al secador para seguir retirando la humedad del café.

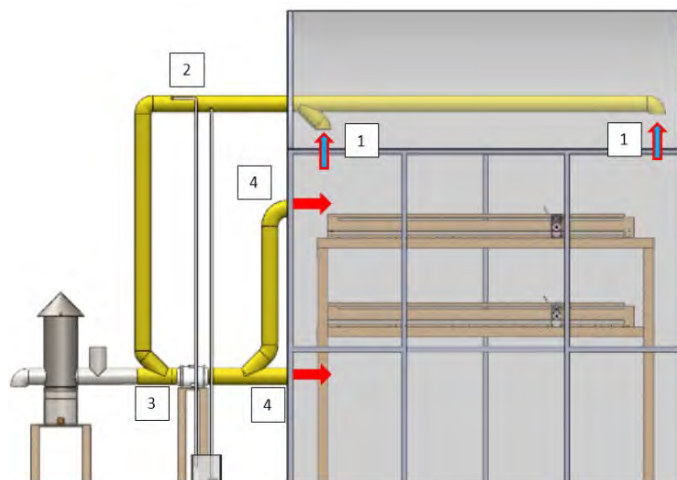


Figura 4. Sistema de des-humidificación del aire.

Fuente: Los autores.

El correcto funcionamiento del secador se garantiza con sensores de temperatura y humedad ubicados en las tuberías y en puntos definidos dentro del secador, los cuales operan de la siguiente manera:

1. Cuando la temperatura o humedad excedan los límites fijados, se encienden los extractores de aire ubicados en las paredes del secador, así el aire fresco ingresa al sistema mientras el húmedo y/o caliente sale.
2. Si la humedad del aire externo es superior al 60 % y esta excede la humedad del aire al interior se enciende el sistema de des-humidificación del aire.
3. Si falta energía solar disponible y la humedad del aire al interior del secador superó el tope establecido se enciende el sistema de des-humidificación del aire.

El sistema de volteo consistió en un mecanismo accionado por motor paso a paso que permitirá un secado homogéneo del café mediante el traslado de los granos del fondo de pasera a la parte superior de la misma, trabajando sobre una capa de 5 cm. La Figura 5 ilustra la geometría de dos tipos de uñas: la geometría *a* permite obtener la mayor cantidad de volumen de café en cada vuelta, sin embargo, la distribución del café sometido al volteo posiblemente no sea homogénea, debido a que su diseño hace que el café se acumule al final de la vuelta por lo que no cumpliría con uno de los principales requerimientos del diseño. Por este motivo se sacrifica el volumen máximo, pero se mejora la homogenización del volteo con la segunda geometría *b*, la cual permite que el café se distribuya de una manera más uniforme mientras es volteado, para cálculos posteriores se toma el diseño optimizado.



Figura 5. a) Uña máximo volumen y b) uña optimizada entre volumen homogeneidad.

Fuente: Los autores.

El café arábico variedad Colombia lavado tiene una densidad aparente de 704,85 kg.m³ al final de la cosecha (Montilla *et al.*, 2008), por lo que es válido decir que una aproximación al torque máximo requerido por el motor para el volteo de café se puede calcular de acuerdo con las ecuaciones 1 y 2:

$$T = \frac{a^3 L n \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} \cdot 705 \frac{kg}{m^3} \left(\frac{\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{4} \right) \cdot F_S}{2} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$F_S = \frac{V}{V_{max}} + 0.25 \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde F_S es el factor de seguridad, una forma de determinar este factor es fijando un 25 % de torque requerido extra causado por las fuerzas de rozamiento involucradas y aquellas que generen imprecisión, a la altura entre el fondo de la pasera y el eje de la uña, L es el ancho de la uña, V es el volumen de la uña diseñada y V_{max} es el volumen de la uña de máximo volumen optimizado. Para un V al 50 % el torque requerido sería de 0,57Ncm

El café genera una fuerza en las dos hileras de uñas, por un lado por el peso del café y por el otro por la fuerza de rozamiento generada por el movimiento de la uña mientras pasa por el café en la pasera, esto se ilustra en la figura 6. Para el ensamblaje de las “uñas de volteo” se propone un sistema (Figura 7) que se basa en uñas giratorias que se trasladan linealmente, además, se requiere que cuando el eje gire en sentido de las manecillas del reloj las uñas se trasladen a la izquierda, cuando se traslade hacia la derecha el sentido de giro debe cambiar, para lograr esto se propuso el sistema cremallera piñón.

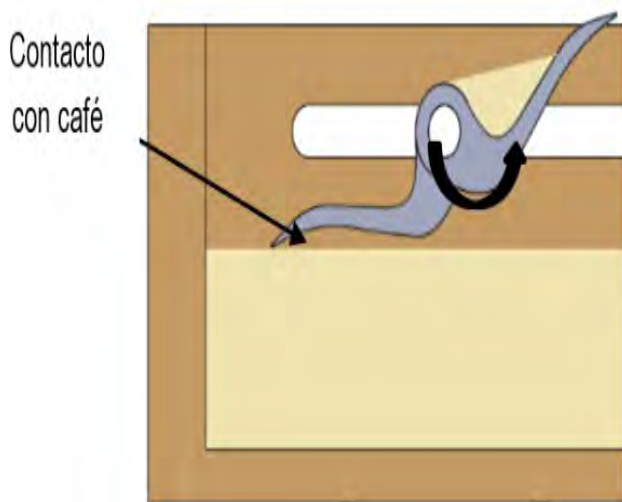


Figura 6. Uñas de café en funcionamiento.
Fuente: Los autores.

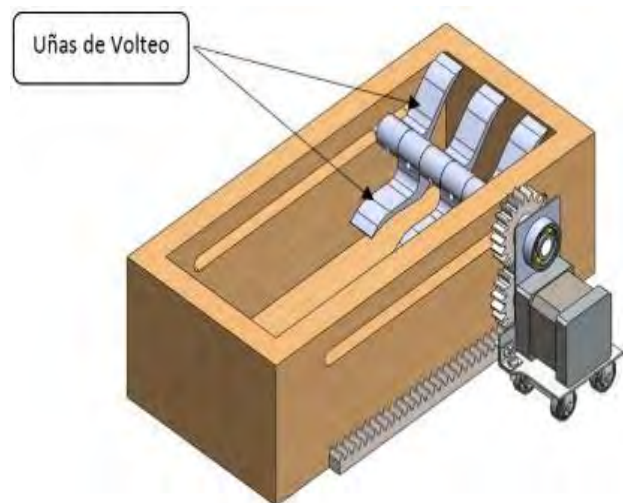


Figura 7. Sistema propuesto para el volteo de café lavado con 5cm de profundidad.
Fuente: Los autores.

Validación térmica

Se evaluaron tres factores fundamentales de diseño: i) Distribución uniforme de temperatura a lo largo de las paseras, ii) temperatura máxima de 313,15 K al interior del secador y iii) temperatura máxima de 333,15 K para tubería de aire caliente a la salida del ventilador. Se validó las características del ventilador y de la altura de la tubería de salida del ventilador en tres configuraciones diferentes, la figura 8 representa la configuración seleccionada: 700 mm la altura del ventilador respecto al suelo y 1700 mm la altura de la tubería de salida del ventilador respecto al suelo. Las pérdidas de calor calculadas en la noche fueron de 676 W de acuerdo con las condiciones iniciales seleccionadas.

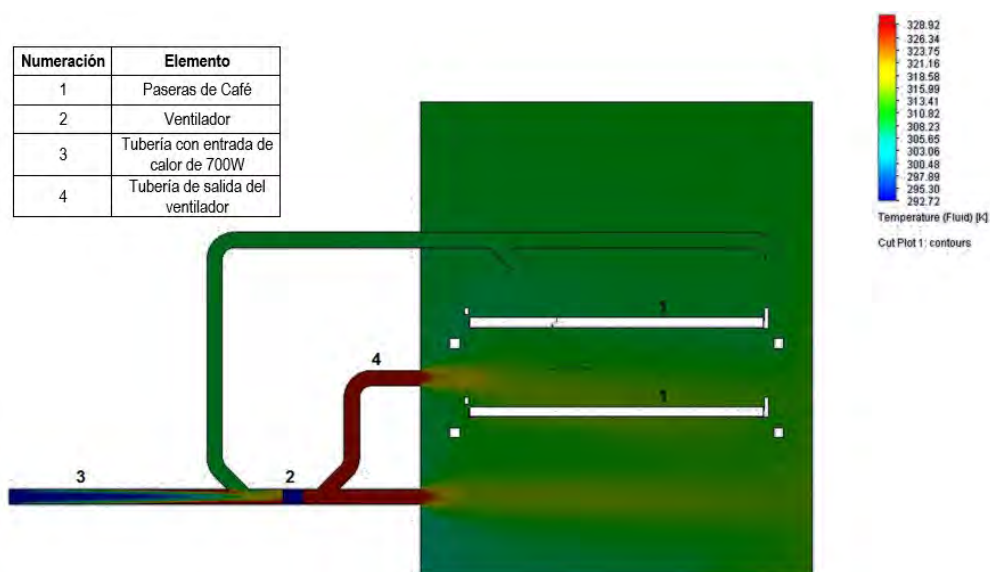


Figura 8. Vista en corte de la distribución de temperatura del secador según simulación CFD.

Fuente: Los autores.

Discusión y conclusiones

En Colombia el secado se realiza tradicionalmente por método solar, donde se expone la almendra directamente al sol, logrando reducir el contenido de humedad hasta un 10 - 12 %, rango de comercialización para cafés diferenciados (Puerta, 2006). La estandarización del proceso de secado de café en las zonas rurales no ha sido alcanzada a la fecha y las alternativas presentadas en los últimos años se dirigen hacia el diseño de invernaderos adaptados, herramientas de volteo y la implementación de métodos indirectos para la medición de la humedad del grano.

El diseño de invernadero descrito en este estudio presentó algunas ventajas sobre los modelos existentes: (i) La implementación de tuberías con intercambiador de calor y los ventiladores, que favorecen el control de temperatura del aire dentro del invernadero y permiten un secado continuo controlado, reduciendo el tiempo de secado del grano de café, comparado con el tiempo en invernaderos tipo capilla, donde se puede tardar hasta 30 días en periodos lluviosos (Puerta, 2006). Una ganancia en el tiempo de secado se convertiría en una ventaja competitiva en el mercado, además que reduce la posibilidad de defectos en taza (Federación Nacional de Cafeteros, 2010), (ii) Por su tamaño y diseño portable, es un elemento que se puede guardar bajo techo en las épocas donde no se cosecha, lo cual reduce el desgaste del plástico de invernadero causado por las lluvias y rayos del sol. (iii) Por otra parte, invernaderos comerciales con paseras de 2-4 niveles han sido diseñados para terrenos montañosos, por lo cual el presente modelo ayudaría a solucionar la limitante de espacio plano extenso proporcional al número de hectáreas sembradas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, 2010) y de la ubicación en terrenos montañosos con pendientes considerables, donde no podrían localizarse amplios invernaderos.

Las herramientas de volteo diseñadas por Cenicafé han sido una alternativa creada fundamentalmente para reducir el porcentaje del daño del grano por pisadas y asegurar la inocuidad del producto, además que pueden ser utilizadas en terrazas o invernaderos, para el volteo del café durante el día (Oliveros *et al.*, 2006; Velásquez y Álvarez, 1991). Sin embargo, esta herramienta no reemplaza el operario y por lo tanto no reduce costos en el proceso, no favorece la calidad de vida del caficultor por las jornadas de volteo del grano; y tampoco mejora la calidad del producto respecto al porcentaje de humedad obtenido.

Para la determinación de humedad del grano de café, se realizaron estudios donde las características sensoriales como el color fueron tomadas en cuenta, sin embargo este parámetro es subjetivo e impreciso para determinar la eficiencia del secado (Cenicafé, 1984). Métodos de fácil uso y bajo costo, como el método gravimétrico desarrollado por CENICAFÉ, se han convertido en una alternativa para medir de forma indirecta la humedad del café en campo y que requiere pocos

implementos con una eficiencia del 97 % (Oliveros, Peñuela, y Jurado, 2009). Sin embargo sigue existiendo la necesidad de integrar diferentes sistemas a través de la automatización, donde el diseño completo de la alternativa presentada en este artículo, incluya la instalación de sensores de humedad, y la evaluación de diferentes rangos de temperatura que determinen el mejor tiempo de secado para obtener la mejor calidad sensorial en taza.

Referencias

- Andrade, J. M., Bernal, J., y Silva, J. G. (2015). Factores motivacionales que permitieron el surgimiento de los productores de cafés especiales en el departamento del Huila. *Revista de Investigaciones Agroempresariales*, 1, 55–67.
- Batista, L. R., Chalfoun, S. M., Batista, C. F. S., y Schwan, R. F. (2016). *Coffee: types and production*. In B. Caballero, P. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *The Encyclopedia of Food and Health*. Oxford: Academic Press (p. 244).
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. (1984). *Análisis de la encuesta sobre beneficio y calidades de café. Documento interno, Sección Ingeniería Agrícola*. Cenicafé.
- Federación Nacional de Cafeteros y Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2004). *Beneficio del Café II: secado del café pergamino*. Cartilla cafetera Capítulo 21.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. (2010). *Introduction to Coffee Drying*.
- Federación Nacional de Cafeteros. (2010). *Defectos de Café Verde*. Recuperado de: http://www.cafedecolombia.com/clientes/es/regulacion_nacional/exportadores/2831_calidades_de_exportacion/.
- Federación Nacional de Cafeteros. (2017). *Producción de Café de Colombia aumenta 18% en febrero*. (2017, Marzo). Recuperado de: https://www.federaciondecafeteros.org/clientes/es/sala_de_prensa/detalle/produccion_de_cafe_de_colombia_aumenta_18_en_febrero/
- Jurado, J., Montoya, E., Oliveros, C., y García, J. (2009). Método para medir el contenido de humedad del café pergamino en el secado solar del café. *Cenicafé*, 60(2), 135-147.
- Knoule, F. (1968). *El secado*. Bilbao. Ediciones Urno, 50–150.
- Ladino-Garzón, W., Cortés-Macías, E. T., Gutiérrez-Guzmán, N., y Amorocho-Cruz, C. M. (2016). Calidad de taza de café (*Coffea arabica* L.) procesado en fermentación semi-seca. *Agronomía Colombiana*, 34 (1Supl), S281-S283.
- León, J. (1968). *Fundamentos botánicos de los cultivos tropicales*. Lima, Perú: IICA, Ed.
- Montilla, J., Arcila, J., Aristizábal, M., Montoya, E. C., Puerta, G. I., Oliveros, C. E., y Cadena, G. (2008). Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio tradicional. *Cenicafé*, 59(2), 120–142. Recuperado de: [http://www.cenicafe.org/es/publications/arc059\(02\)120-142.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc059(02)120-142.pdf)
- Muñoz Aguirre, N. (2011). El estudio exploratorio. Mi aproximación al mundo de la investigación cualitativa. *Revista Investigación y Educación en Enfermería*, 29(3), 492–499.
- Oliveros, C., Lopez, U., Sanzs, J., y Ramírez, C. (2006). Nuevo rastrillo para revolver café en proceso de secado al sol. *Cenicafé, Avances Técnicos* 346.

- Oliveros, C., Peñuela, A., y Jurado, J. (2009). Controle la humedad del café en el secado solar utilizando el método gravimet. *Cenicafé, Avances Técnicos* 387.
- Perry J, H. (1985). *Chemical Engineering Handbook*. (Mc Graw Hill, Ed.) (Sexta Edic). New York.
- Puerta, G.I. (2006). La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. *Cenicafe. Avances Técnicos*, 352.
- Puerta, G.I., González, F.O., Correa, P.A., Álvarez, I.E., Ardila, J.A., Girón, O.S., Ramirez C.J., Baute, J.E., Sanchez, P.M., Santamaria, M.D., Montoya, D.F. (2016). Diagnóstico de la calidad del café según altitud, suelos y beneficio en varias regiones de Colombia. *Revista Cenicafé*, 67(2), 15–51.
- Puerta, G. I. (2001). Cómo garantizar la buena calidad de la bebida del café y evitar los defectos. *Cenicafé* (Vol. AT284).
- Roa, G., Oliveros, C., y Ramirez, C. (2000). Utilice la energía solar para secar correctamente el café. *Cenicafe. Avances Técnicos*, 281.
- Rodríguez, G. (2006). *Manual del Diseño Industrial*. (Ediciones G Gili S.A, Ed.) (Tercera). México. Recuperado de: <http://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselect/16ManualDI.pdf>
- Sherwood, T. (1936). *Secado de los sólidos*. Moscú: Goslesizg, Ed.
- Trujillo, J., y Rengifo, S. (2015). *Análisis del posicionamiento estratégico del café del Huila y el desarrollo de los cafés especiales*. (Tesis Pregrado Administración de Empresas). Universidad del Rosario. Bogotá, Colombia.
- Federación Nacional de Cafeteros, Cenicafé y Fundación Manuel Mejía. (2009). *Sistema de mejoramiento continuo en la producción de café. Módulo: calidad del café*. (No. 1). Recuperado de: <https://rhes.ruralhorizon.org/uploads/documents/ciscalidad.compressed.pdf>
- Velásquez, H., y Álvarez, G. (1991). Rastrillo revolvedor para el secado solar del café pergamino. *Cenicafé, Avances Técnicos*, 169, 1–4.

Diseño de un sistema de construcción modular en acero para vivienda social en altura

Design of a modular steel construction system for social housing in height

Jorge Romero¹
Rafael Rojas²

¹ Colombiano. Profesional. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Tecnologías para la Innovación en la Construcción, Cali, Colombia. E-mail: jeromero@sena.edu.co.

² Colombiano. Profesional. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Tecnologías para la Innovación en la Construcción, Cali, Colombia. E-mail: rrojasg@sena.edu.co.

Recibido: 04- 12 - 2017 Aceptado: 17-05-2018

Resumen

La estrategia de densificar para ocupar menos suelo de alto valor ecológico y de biodiversidad implica un desarrollo de vivienda en altura, determinando comúnmente condiciones definitivas en el tamaño de las mismas; si a lo anterior adicionamos la escasez de recursos y el alto déficit de soluciones de vivienda social, los resultados son unidades habitacionales definitivas muy pequeñas para sostener la evolución y crecimiento de una familia con sus necesidades y aspiraciones básicas. Este fenómeno se hace evidente con el inconformismo de las familias usuarias con respecto a la unidad de vivienda asignada y claramente es una situación que no aporta a los aspectos de sostenibilidad con el que se quiere desarrollar la vivienda social. Por esta razón, la unidad básica de vivienda social en altura que es económicamente viable en nuestro país debe poder crecer en área, evolucionar y permitir la permutación funcional de sus espacios, lo cual, mejora las condiciones de capacidad, confort y funcionalidad en una dinámica de apropiación que es diversa. La necesidad generada por el dinamismo arquitectónico requiere una estructura que también se pueda adaptar a estos cambios evolutivos, por lo tanto se desarrolló una estructura que consiste en un módulo básico al que se pueden unir módulos estructurales en voladizo con uniones articuladas.

Palabras clave: Arquitectura; modular; progresivo; altura; estructura; acero.

Abstract

The strategy of densifying to occupy less land of high ecological value and biodiversity implies a development of housing at height, commonly determining definitive conditions in the size of the same; If we add to the above the scarcity of resources and the high deficit of social housing solutions, the results are very small definitive housing units to sustain the evolution and growth of a family with its basic needs and aspirations. This phenomenon is evident with the non-conformity of the user families with respect to the assigned housing unit and it is clearly a situation that does not contribute to the sustainability aspects with which the social housing is to be developed. For this reason, the basic unit of social housing in height that is economically viable in our country must be able to grow in area, evolve and allow the functional permutation of its spaces, which improves the conditions of capacity, comfort and functionality in a dynamic of appropriation that is diverse. The need generated by the architectural dynamism requires a structure that can also be adapted to these evolutionary changes, therefore a structure was developed consisting of a basic module to which cantilevered structural modules can be joined with articulated joints.

Keyword: Architecture; modular; progressive; height; structure; steel.

Cómo citar: Romero, J. y Rojas, R. (2018). Diseño de un sistema de construcción modular en acero para vivienda social en altura. *Informador Técnico*, 82(2), 270-276. doi: <https://doi.org/10.23850/22565035.1501>

Introducción

En Colombia hay un déficit de 3,3 millones de viviendas, de los cuales 1,3 millones corresponden a hogares que no tienen casa, lo que se define como déficit cuantitativo y 2 millones de hogares que tienen casa que no cumple con estándares, definido como déficit cualitativo (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas DANE, 2017).

Las ciudades más densamente pobladas en el país reflejan los valores más altos en cuanto al déficit de vivienda actual y a su crecimiento anual convirtiéndose en uno de los tópicos más importantes e inminentes en las políticas y programas de gobierno nacional y local. El gobierno nacional viene ejecutando un proyecto de un millón de viviendas que corresponden a cerca de la tercera parte del déficit total, que sin embargo sigue creciendo.

La construcción de proyectos habitacionales masivos tan ambiciosos en número de unidades de vivienda y tiempos de ejecución genera un importante consumo de recursos materiales y energía, afectarán territorios, su mantenimiento y transformación generarán más consumo de recursos.

La demanda a gran escala de recursos y la afectación que este tipo de proyectos hace sobre el territorio ha generado desde el año 2006 iniciativas para el desarrollo del concepto de vivienda de interés social sostenible (Bedoya Montoya, 2011) entre las que se puede mencionar algunas políticas locales sobre la re-densificación de áreas urbanas ya conformadas y la densificación de algunas zonas de expansión para evitar el crecimiento desmedido de las ciudades, denotando entre otros aspectos el valor ecológico y de biodiversidad del suelo; aspecto que conduce al planteamiento de vivienda social en altura.

Debido a la demanda habitacional por parte de una gran proporción de la población que no puede acceder a la vivienda propia por el nivel de ingresos económicos o estado de vulnerabilidad, el estado asume subsidiar el costo de construcción de las mismas. Con el gran déficit habitacional y recursos propios o del Estado insuficiente para abordar su solución, las unidades de vivienda que se construyen actualmente resultan con un desarrollo de área que no satisface las expectativas creadas a partir del tipo de hábitat establecido y mantenido por el mercado inmobiliario.

Se ha evaluado la forma de ocupar el territorio y se han establecido parámetros que acercan a un desarrollo urbano sostenible, pero, ¿somos conscientes sobre nuestros hábitos de habitar, de ocupar el espacio de la vivienda, sobre sus consecuencias?

En la arquitectura habitacional actual los espacios se generan y organizan directamente relacionados con la función, en una interpretación del principio funcionalista de la arquitectura moderna del siglo XX, dando como resultado la intención de diseño en la cual se debe dar un espacio a cada uso o necesidad; de esta manera los estándares de calidad y costo se miden de acuerdo con la cantidad de espacios con uso específico.

Ante la dificultad económica de proveer todos los espacios que supone un programa de necesidades o usos estándar de una vivienda e insistir con el diseño arquitectónico que los demanda, el resultado es la insatisfacción de las expectativas de la familia porque la necesidad de habitar no cesa en el hecho de adquirir el espacio físico para hacerlo, es un proceso de evolución donde hay inclusive una necesidad de identificación que sienten los habitantes llevándolos a adaptarlo y personalizarlo (Habraken, 2000); es decir, involucra también aspectos emocionales y espirituales. Cuando el espacio arquitectónico se entrega terminado al individuo, viene a ser la creación de otros y no refleja sus espacios existenciales (Norberg-Schulz, 1975).

El núcleo familiar que habita una vivienda también evoluciona en la cantidad y antropometría de sus integrantes, en sus posibilidades económicas y en las relaciones sociales y culturales que repercuten en el espacio privado; en las primeras fases por ejemplo, el núcleo familiar tiende al crecimiento del número de sus integrantes destacando por lo general la presencia de infantes; en una fase intermedia los integrantes adultos suelen aumentar en número por la evolución de los infantes o por la integración de nuevos adultos; en las fases finales las características físico motrices de los adultos mayores definirá nuevos parámetros de accesibilidad y probablemente la cantidad de integrantes sea menor porque se produce una natural migración de los hijos para crear nuevos núcleos familiares (Ver Figura 1).



Figura 1. Cambio del núcleo familiar.
Fuente: Los autores.

La transformación del espacio de la vivienda asociada a la evolución de la familia es un aspecto importante a considerar también en el contexto de la sostenibilidad, porque esta última demanda un equilibrio no solo en la satisfacción apropiada de las necesidades habitacionales, sino también en no caer en los excesos; por lo tanto el diseño de la vivienda debe dar posibilidad no solo al crecimiento espacial sino también a la sustracción de espacios que puedan llegar a ser inútiles.

Al respecto de la estrategia del crecimiento progresivo de las unidades básicas habitacionales que han intentado resolver aspectos de la inversión inicial de recursos y la composición y necesidades variables de las familias, se pueden estudiar casos a nivel internacional desarrollados desde principios del siglo pasado hasta la fecha. Las modalidades de crecimiento progresivo (Gelabert Abreu & González Couret, 2013) han venido desarrollándose con algunas características que las diferencian, de las cuales se hace mención solo de aquellas que se refieren a la conformación espacial y estructural:

- Viviendas que crecen en uno y dos pisos adicionando módulos espaciales, generando urbanizaciones de baja densidad. Hay crecimiento espacial sin un aporte importante en la flexibilidad de los mismos.

- Viviendas en edificios de altura media con su estructura completamente desarrollada y una unidad básica habitacional que puede crecer en la estructura existente. Las fachadas en esta modalidad también pueden ir creciendo y evolucionando. Modalidad conocida como soporte (Habraken, 2000).

- Viviendas en edificios de altura media desarrolladas completamente en estructura y fachada, pero permitiendo crecimiento y flexibilidad a partir de elementos divisores internos. El edificio desde el exterior se ve completamente terminado.

En las tres modalidades es común la presencia de espacios y mobiliario para el procesamiento de alimentos, el aseo personal y de la ropa.

En algunos casos, como por ejemplo las torres Nakagin Capsule (Kurokawa, 1992) en Japón, se conciben como ciudad-máquina cambiante y adaptable, donde las unidades habitacionales serían desechables en la medida en que lo marcara el mejoramiento de la técnica; aspecto muy lejano de nuestro contexto económico y de los lineamientos de sostenibilidad.

La estrategia de crecimiento progresivo que se propone para el desarrollo del modelo estructural fusiona aspectos de las tres modalidades mencionadas.

- Viviendas en edificios de altura media para obtener un mejor aprovechamiento del suelo.
- Estructura modular base que no marca el tamaño definitivo del edificio y permite crecimiento por adición de módulos en voladizo, es decir una estructura progresiva.
- Crecimiento por adición de módulos espaciales que se resuelven dentro de los módulos estructurales en voladizo.
- Unidad básica habitacional con módulos espaciales que pueden permutar sus funciones para satisfacer las necesidades de la familia en sus primeras fases.

- Elementos de cerramiento y estructura modulares y desmontables para la sustracción de espacios y estructuras inútiles.

- Módulos espaciales con mobiliario ergonómico y dinámico para el procesamiento de alimentos y aseo personal y de la ropa.

“La casa, por lo tanto, sigue siendo el lugar central de la existencia humana, el sitio donde el niño aprende a comprender su existencia en el mundo y el lugar donde el hombre parte y al que regresa” (Norberg-Schulz, 1975).

Metodología

Se realizan diseños arquitectónicos modulares y flexibles que permitan el crecimiento progresivo por medio de módulos adicionales, se escogió un diseño que inicialmente tuviera un área aproximada de cincuenta metros cuadrados (50 m²) como la mayoría de soluciones de vivienda de interés social multifamiliar que se manejan en Colombia (Ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial, 2014) y que permitan el crecimiento modular. Se estudian los ejemplos de construcción modular que existen con los diferentes materiales y sistemas estructurales, de acuerdo con opciones de industrialización y suficiente existencia en el mercado para poder ofrecer soluciones de vivienda masivas en bloques de edificios de cinco pisos para el corto y mediano plazo, se opta por la utilización del acero como material estructural y como sistema constructivo el de pórticos de acero resistentes a momentos y pórticos de acero con diagonales concéntricas avalado en la normatividad colombiana vigente del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR 10, Título A, Capítulo A3, Tabla A.3, se debe tener en cuenta en los diseños la protección para estos materiales como son la protección contra el fuego NRS 10, Título J, requisitos de protección contra incendios en edificaciones y protección a la corrosión NSR 10 Título F, F.2.2.3.12 Diseño para efectos de la corrosión (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Una vez definido el diseño arquitectónico, los materiales y el sistema constructivo que consta de una estructura base conformada por elementos tubería estructural cuadrada y rectangular con uniones pernadas y unos módulos adicionales que funcionan en voladizo, adosados a la estructura base por medio de uniones articuladas, se realiza el diseño y cálculo estructural de la edificación, para emitir los planos de construcción definitivos.

Una vez obtenidos los planos de la estructura, se construye como prototipo el último piso de la edificación, para así definir el apropiado proceso de construcción, realizando el montaje y desmonte de la estructura y una vez armado se pueda verificar la evolución espacial arquitectónica del prototipo.

Finalmente se realiza un manual constructivo con los planos y procesos definidos en el prototipo y el cuidado y mantenimiento de la estructura.

Resultados y discusiones

En este proceso se obtuvo una estructura metálica adicionable (Figura 2) que muestra una adaptabilidad a la dinámica espacial arquitectónica de una vivienda sostenible de acuerdo con el cambio económico y del número de integrantes de la familia (Figura 1). Cambios que son factibles por la modularidad del diseño arquitectónico y a la solución de módulos estructurales en voladizo de fácil ensamble y desensamble, la propuesta arquitectónica es de múltiples configuraciones respondiendo a la necesidad de los habitantes de adaptar sus espacios a sus gustos y necesidades, con la posibilidad de que su vivienda pueda crecer en área progresivamente de 50 m² hasta 80 m² (Figura 3).

Conformando finalmente bloques de vivienda multifamiliar con cambios dinámicos en su estructura (Figura 4).

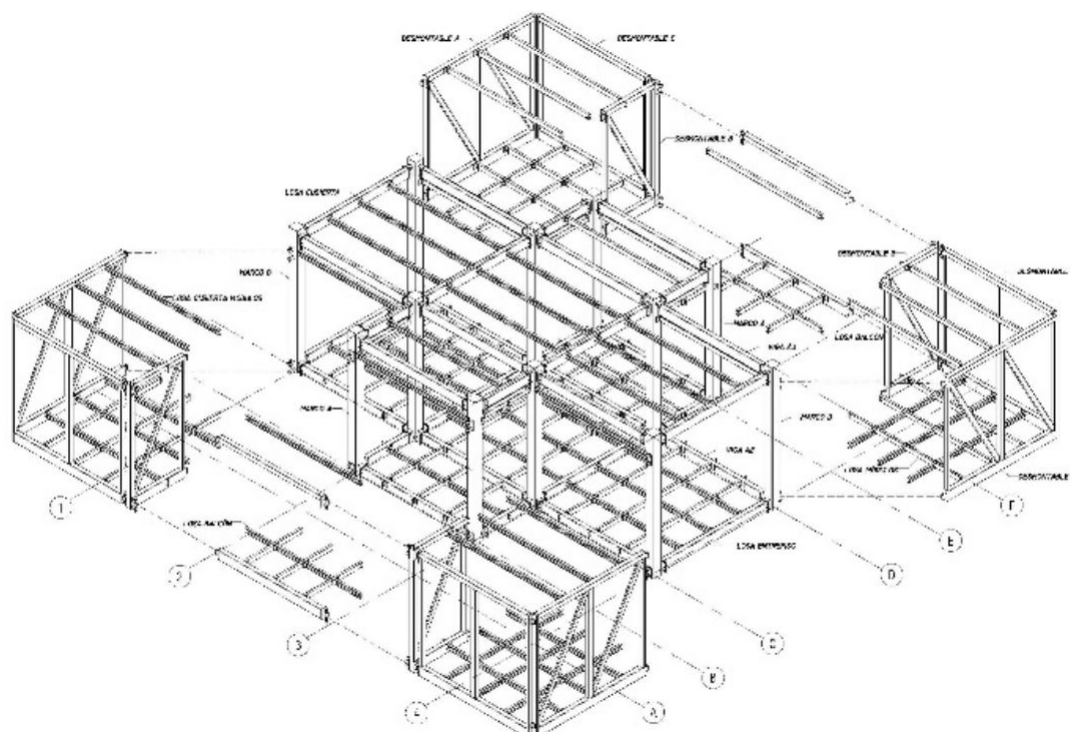


Figura 2. Estructura metálica adicional.
Fuente: Los autores.



Figura 3. Dinámica espacial arquitectónica (lado izquierdo: vivienda de área 50 m², lado derecha: vivienda 80 m²).
Fuente: Los autores.



Figura 4. Conformación dinámica de la estructura
Fuente: Los autores.

Conclusiones

El diseño del sistema constructivo propuesto permite la industrialización y prefabricación de vivienda social en alturas, gracias a su modularidad y sus elementos estructurales de fácil ensamble y desensamble, que conllevan ahorros en los recursos para la construcción (energía de producción, huella de carbono, huella ecológica, mano de obra). Propicia a su vez una mejor calidad y control del producto terminado, disminución en la producción de escombros de construcción y disminución en accidentes de trabajo.

El ahorro económico que proporciona el sistema industrializado propuesto, permite trasladarlo al usuario con un mayor margen de utilidad al productor.

Esta propuesta genera flexibilidad espacial, utilización sistemas de cerramiento liviano, optimización de los materiales de construcción, permite desarrollar soluciones constructivas que generen edificaciones transformables en el tiempo y mejoran las condiciones habitacionales y de sostenibilidad en la vivienda social en altura.

La estructura propuesta tiene la capacidad para resistir en su módulo base las solicitaciones de carga laterales y verticales debidas al crecimiento aleatorio de los voladizos adicionados.

Referencias

- Bedoya Montoya, C. M. (2011). *Construcción Sostenible. Para volver al camino..* Medellín, Colombia: Biblioteca Jurídica Dike: Mares Consultoría Sostenible.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas DANE. (2017). *Vivienda VIS y NO VIS*. Recuperado de: <http://www.dane.gov.co/index.php/52-espanol/noticias/noticias/4184-vivienda-vis-y-no-vis-i-trimestre-2017>.
- Gelabert Abreu , D., y González Couret, D. (2013). Progresividad y flexibilidad en la vivienda. Enfoques teóricos. *Arquitectura y Urbanismo*, 34(1), 17-31.

Habraken, N. (2000). *Diseño de soportes* (2 ed.). Barcelona, España: Esitorial Gustavo Gilli, S.L.

Kurokawa, K. (1992). *From Metabolism to Symbiosis*. New York, NY: St Martin's Press.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *NRS 10 - Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR 10*. Recuperado de: <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/2titulo-b-nsr-100.pdf>

Norberg-Schulz, C. (1975). *Existencia, espacio y arquitectura*. Barcelona: Barcelona: Blume.

Ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial. (2014). *Anexo Técnico. Especificaciones Técnicas. Vivienda y Obras de Urbanismo*. Recuperado de: <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioVivienda/141127%20ANEXO%20TECNICO%20PVG%202.pdf>

Vivienda Tecno Ambiental Palafítica en guadua y madera para el litoral Pacífico colombiano en el municipio de San Andrés de Tumaco

Techno environmental plaitic housing built in bamboo and timber for the colombian pacific coast, study case "San Andres de Tumaco" Town

Carlos Alberto Castaño Aguirre^{1*}
Iván Darío García Ordóñez²
Edgar José Erazo Ramos³

¹ Colombiano. M.Sc. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro para el desarrollo tecnológico de la construcción y la industria, grupo de investigación GIDA, Armenia, Colombia. *Autor de correspondencia: cacastanoa@gmail.com.

² Colombiano. Esp. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro para el desarrollo tecnológico de la construcción y la industria, grupo de investigación GIDA, Armenia, Colombia. E-mail: igarciao@sena.edu.co.

³ Colombiano. Arq. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro para el desarrollo tecnológico de la construcción y la industria, grupo de investigación GIDA, Armenia, Colombia. E-mail: arq.edgarerazo@misena.edu.co.

Recibido: 13- 12 - 2017 Aceptado: 24-05-2018

Resumen

La presente investigación consta del diseño de una propuesta arquitectónica y de hábitat que aporte a la mejora de las viviendas en los frentes marítimos de San Andrés de Tumaco, Nariño, específicamente de los territorios llamados de bajamar, para esta se hace el estudio de determinantes físicas, sociales y culturales propias del lugar y sus dinámicas familiares y barriales de manera que se haga un acercamiento a la innovación del hábitat partiendo del reconocimiento de la heterogeneidad del vivir; se utilizaron recursos como mapeo social, taller de diseño participativo y entrevistas, que permiten tener un acercamiento a la cultura del Pacífico y su apropiación al territorio. Se plantea el factor cultural como eje estructurante potenciado con los recursos naturales y físicos del entorno, categorías esenciales en el hábitat del Pacífico donde se brinde un habitáculo con arraigo, soluciones de energía, recurso hídrico, manejo de residuos, legitimidad y estrechas relaciones barriales.

Palabras clave: Vivienda; palafítico; Pacífico colombiano; hábitat; guadua; territorio.

Abstract

The aim of this research is to design an architectural and habitation proposal to provide improvement with the housing in waterfront of San Andres de Tumaco (Nariño), especially in "bajamar" zone. The research has been carried out on the dynamic behavior of families and neighborhood, considering the social, cultural and physical features at the study zone. The study approaches the innovation in habitational solution from the community way of life. The analysis of social map, interviews and participating design were used to characterize the Pacific zone in Colombia. The culture is considered the central concept in the architectural design, joining with the environment and the features of the pacific zone. Those characterizations help to provide habitation solution, energy solutions, waste management, and support among the neighbors.

Keywords: Dwelling; palafitic; Colombian pacific; habitat; bamboo; territory.

Cómo citar: Castaño Aguirre, C. A., García Ordóñez, I. D. y Erazo Ramos, E. J. (2018). Vivienda Tecno Ambiental Palafítica en guadua y madera para el litoral pacífico colombiano en el municipio de San Andrés de Tumaco. *Informador Técnico*, 82(2), 277-283. doi: <https://doi.org/10.23850/22565035.1498>

Introducción

Las condiciones habitacionales de las viviendas de poblaciones que ocupan suelo de bajamar en el municipio de San Andrés de Tumaco no ofrecen escenarios óptimos de higiene, confort y seguridad necesarios para el desarrollo adecuado de las actividades humanas básicas, sumado que por su condición de borde costero no son consideradas legítimamente ante los entes territoriales lo cual detona su deterioro progresivo. Sin embargo esta ha sido la única solución habitable que tienen las diferentes poblaciones que llegan al municipio desde sus orígenes, son los mismos habitantes quienes han tratado de resolver sus necesidades habitacionales, utilizando materiales locales y de desecho, y adaptándose de manera empírica al lugar de su vivir, marcándolo con características culturales propias de sus conocimientos ancestrales. “Las necesidades no sólo son carencias sino también, y simultáneamente, potencialidades humanas individuales y colectivas.” (Max Neef, 1998)

Alsasua (2013) en su estudio a las políticas de regularización integral en Brasil, reconoce a la arquitectura popular como una solución de hábitat para un 40% de la población urbana promedio en las ciudades latinoamericanas. Esto cruzado con la información establecida en el Plan de Ordenamiento Territorial POT, donde se identifica que actualmente el déficit cuantitativo en gran parte es consecuencia de fenómenos de desplazamiento, representada por unos 2.000 habitantes por año (500 viviendas por año) (Alcaldía municipal de Tumaco, 2008). Lo cual evidencia la necesidad de soluciones alternas de vivienda que respondan a un entorno ecosistémico y cultural sin desconocer las potencialidades de los habitantes del Pacífico colombiano. “Hoy, es cada vez más necesario reconocer la vivienda como elemento constituyente del hábitat (bien como realización o como deseo) e integrante de la urdimbre y de las tramas de la vida humana -social, económica, ambiental, espacial y cultural-, que se van configurando como soportes en la existencia, realización y creación para los grupos humanos que habitan.” (Echeverría, 2003).

“El mejor enfoque a esta idea de un mínimo social básico es proporcionado por un enfoque que se centra en las capacidades humanas, es decir, cómo son las personas realmente capaces de hacer y de ser - de una manera informada por una idea intuitiva de una vida que es digna del ser humano.” (Nussbaum, 2000). Las comunidades del litoral pacífico tienen una fuerte conexión con lo natural, el mar y lo selvático ha sido parte de su desarrollo doméstico, su cultura como expresión de adaptabilidad a este refleja la necesidad de cercanía y contacto vital con el entorno, “Habitar el hábitat es localizar en el territorio un proceso de reconstrucción de la naturaleza desde identidades culturales diferenciadas.” (Leff, 1998). “Más allá de la naturaleza espacial de estas tipologías constructivas es necesario que se entienda, se respete y se valore el contexto cultural ligado intrínsecamente a las manifestaciones culturales, las costumbres e inclusive los aspectos parentales que denotan la importancia de los grupos familiares dentro de un entorno donde prima la colectividad” (Mosquera, 2010). El hábitat es una respuesta a esa relación entorno- cultura indispensable en la solución de nuevas propuesta arquitectónicas habitables sin desconocer esta relación ya tejida entre el habitante y su naturaleza, de acuerdo con Ángel (2003) “El ecosistema no es un espacio ocupado por diferentes poblaciones, sino un conjunto de relaciones dinámicas formadas a lo largo de la evolución, entre los seres vivos y los elementos físico-químicos. Las formas vivas no son, sin embargo, el resultado pasivo de los cambios ambientales. Los seres vivos introducen a su vez transformaciones en el medio en el que se originan”. La Figura 1 muestra el marco conceptual abordado en la investigación y elementos que componen el paisaje y la dinámica del vivir en el litoral Pacífico colombiano, como lo son el cacao, la piangua, el manglar, la ceiba, la pesca, la vivienda, entre otros.



Figura 1. Collage marco conceptual
Fuente: Los autores.

Diseño metodológico

La investigación es participativa, donde se involucra la comunidad en la solución habitacional mediante el reconocimiento del entorno y el planteamiento de sus necesidades espaciales, desarrollando una agrupación y unidad de vivienda que responda a las características culturales y al entorno físico en busca de mejorar las relaciones de confort, salud y bienestar de la población del municipio de San Andrés de Tumaco desde una perspectiva de la cultura del lugar, es una investigación aplicada ya que se valoran aspectos culturales, climáticos de confort y sensaciones sobre el espacio para establecer una solución de vivienda. Se consideran cuatro momentos investigativos.

- **Momento 1:** Identificar las características socio-culturales y tipologías arquitectónicas y urbanas de la zona a intervenir.

Recolección de información relacionada con el hábitat del Pacífico colombiano.

Mapeo social reconociendo las dinámicas urbanas y habitacionales de la comunidad, tipología y zonas palafíticas reconocidas de la municipalidad.

Entrevista con líderes representantes de zonas de estudio.

Registro fotográfico de los sectores de estudio.

- **Momento 2:** Reconocer los aspectos bioclimáticos que intervienen en la implantación de la propuesta.

Matriz de factores del entorno mediante recolección de datos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), establecer acciones que potencien el confort del hábitat en el Pacífico colombiano, y el uso de estrategias de manejo de recursos del entorno.

- **Momento 3:** Proponer soluciones arquitectónicas que resuelvan las necesidades habitacionales de la comunidad del frente marítimo de San Andrés de Tumaco, Nariño.

Taller diseño participativo, “La casa ideal”, identificando las necesidades y características espaciales de la unidad habitacional y la relación barrial.

- **Momento 4:** Diseñar propuesta arquitectónica y de hábitat que aporte a la mejora de las viviendas en los frentes marítimos de San Andrés de Tumaco, Nariño.

Desarrollo formal y funcional.

Planimetrías.

Modelados.

La unidad de análisis de la investigación son las relaciones habitacionales en los frentes marítimos de San Andrés de Tumaco en los sectores de bajamar, la unidad de trabajo son los habitantes de los frentes marítimos como sujetos que han transformado su entorno para sus necesidades del vivir.

Resultados y discusiones

Uno de los hallazgos más frecuentes es la fuerte conexión cultural de las comunidades del Pacífico con el modo de habitar el lugar, de lo cual se puede identificar la familia extensa como modelo asociativo que permite la subsistencia de estas “Las mismas comunidades de algunas partes del Pacífico se refieren a la familia como grandes troncos de los cuales se desprenden muchas ramas. A veces, en una casa vive una parte de los troncos familiares. Pero por lo general, una familia extensa tiende a habitar en varias casas construidas unas muy cerca de las otras en un mismo río, estero, playa, poblado o barrio.” (Restrepo, 2013). A su vez el entorno natural facilita la adquisición de recursos tales como madera, pesca, recolección, desplazamiento e intercambio, evidenciando el mutualismo entre un modo de vivir y un medio específico que además ha permitido un arraigo y un sentir de las comunidades por su territorio, “Empecé mi vida fue... o sea, yo soy de

pescadores, empecé pescando con mis padres, estudiando y pescando” (Participante 5, comunicación personal, 25 de mayo 2017), el municipio de San Andrés de Tumaco sigue estando estrechamente relacionado con la vida rural, dentro de su modelo habitacional no se pierden las costumbres ancestrales de las antiguas comunidades desde su forma de construir, su relación con el entorno, sus actividades económicas y sus expresiones culturales. La vivienda palafítica ha sido la expresión simbólica y física del vivir del Pacífico, un vivir desde lo vernáculo que ha dado solución habitacional a generaciones y que hoy representa una cultura que en condiciones económicas complejas despliega sus capacidades como comunidad y se apropia de un territorio marcándolo y haciéndolo propio.

Los aspectos climatológicos y físicos del emplazamiento han influido el modo de habitar de las comunidades del Pacífico de carácter adaptativo y con un reconocimiento por las condiciones del lugar del vivir, es precisamente esta arquitectura adaptativa la que da valor a las expresiones autóctonas de la vivienda y se hacen necesarias en la búsqueda de confort y bienestar en las nuevas intervenciones al territorio. El uso de materiales de construcción endógenos, los sistemas de ventilación pasiva, el reconocimiento a las dinámicas marítimas, la recolección de agua lluvia y la relación con el paisaje son algunos de los aspectos generados desde lo empírico que ha dado soluciones a las necesidades humanas a partir de una perspectiva de sostenibilidad. “En la arquitectura vernácula, los materiales empleados, al ser regionales, son manejados de manera tradicional. Con ello el uso de los mismos evita caer en el abuso o explotación indiscriminada, lo cual ayuda a que una vez terminada su vida útil se reintegren al medio natural; generando así una arquitectura sustentable” (Torres, 2007). Es así como en la lectura de las historias de los habitantes del municipio se identifica esta estrecha relación, “Todo era las casas de puente...puente puente...puente porque Tumaco era rodeado de agua, inclusive partía un estero que dividía desde el puente el Pindo y reposaba aquí en el puente El Progreso, entraba la marea, subía y luego cuando bajaba, bajaban canoas, subían canoas” (Participante 4, comunicación personal, 25 de mayo 2017).

En la Figura 2 se plantea la propuesta barrial y el modelo de ocupación para el sector de “Playa arrecha” en el municipio de San Andrés de Tumaco, Nariño, una solución de vivienda para este municipio debe ser pensada desde la escala barrial, ya que culturalmente es un modo habitacional constituido desde lo comunitario y familiar, la propuesta pretende el desarrollo de 238 unidades habitacionales con aproximadamente 1190 habitantes potenciando las actividades en colectivo con una respuesta de generación de espacio público en razón de 15,8 m² por habitante, así mismo la relación mar- manglar- hábitat como reconocimiento de la dinámica adaptativa de una cultura al entorno; se valora y se establece la recuperación de zonas eco-sistémicas endógenas, el mar como fuente de conexión ancestral aprovechado mediante el uso de muelles y barreras naturales que permitan mitigar la condición de riesgo de las zonas costeras. “La norma, en el espacio público, debe permitir lo fugaz, lo efímero, lo que permanece en movimiento; no puede ser una norma excluyente ni jerarquizadora, pues nadie puede ser excluido de la experiencia de lo público” (Noguera, 2004).



Figura 2.Emplazamiento urbano
Fuente: Los autores.

Como se puede evidenciar en la Figura 3 la unidad de vivienda es un espacio dinámico donde se reconocen los diferentes cambios de usos de acuerdo a las necesidades de la familia, se registra el “porche” como espacialidad transicional y extensión de las actividades sociales con un trasfondo barrial, un gran espacio recibe el acceso, el cual puede transformarse en zona social (Sala- comedor) o zona de descanso (Habitación), el baño partiendo de la composición de familia extensa se establece compartimentado permitiendo el uso simultáneo, la cocina como culturalmente ha sido localizada, se encuentra en la parte final relacionada con el patio y este a su vez con el exterior y patios de otras unidades, es este espacio el que permite al igual que el “porche” las relaciones interbarriales. La zona privada (habitaciones) se encuentra protegida del espacio de recibimiento para generar intimidad y protección de la zona social. “Para nosotros la casa tiene que ser un espacio muy amplio sobre todo la sala de la casa si, tiene que ser un lugar muy amplio porque como la familia es, tan grande y la relación campo poblado se mantiene todavía, entonces cuando la familia llega tiene que haber un lugar donde acomodarlos sí, no necesariamente estamos hablando de habitaciones, estamos hablando de la sala, además porque la sala es el lugar donde todos y todas nos encontramos para chismorrear” (Participante 2, comunicación personal, 25 de mayo 2017).



Figura 3.Plantas arquitectónicas tipo.

Fuente: Los autores.

La propuesta sanitaria, energética e hidráulica establece la búsqueda de soluciones alternas que sean amables con el medio y la satisfacción de las necesidades básicas con las que actualmente un alto porcentaje de las viviendas del municipio de San Andrés de Tumaco no cuenta, de acuerdo con estudios de la Secretaría de Salud municipal, se identifica que el 86 % de las viviendas urbanas tienen problemas sanitarios de uno o varios tipos (Alcaldía municipal de Tumaco, 2008). Se establece el uso de energía solar para el sistema de alumbrado público y el cubrimiento de un porcentaje del consumo de la unidad habitacional, 52.560,0 kWh energía producida por el barrio anuales; ancestralmente la cultura del Pacífico ha aprovechado el recurso hídrico generado por la pluviosidad mediante sistemas de recolección manual, se plantea la consolidación de esta práctica mediante sistemas de canales y almacenamiento, el cual estaría cerca de una producción de 37.205 m³ y una demanda total barrial aproximada de 86.870 m³ anual, es decir el cubrimiento del 43 % de la demanda del recurso hídrico total; en el manejo sanitario, uno de los factores de solución que permiten el mantenimiento del hábitat se establece por la construcción de pozos sépticos barriales que permitan el tratamiento y posterior mantenimiento de las aguas residuales así como también la producción energética mediante gas propano.

Los materiales de construcción utilizados en las estructura son pilotes en concreto, que permitan dar estabilidad física y a la comunidad, se relacione esta materialidad con la permanencia en el lugar, los palafitos y estructura en laminados de guadua que reconoce y da valor a las construcciones vernáculas e indígenas de la región, elementos estructurales de piso y cubierta en guadua, identificado como un material de uso en los poblamientos sobre ríos (rurales) y la vivienda indígena ancestral. Un sistema de cerramientos en esterilla laminada que da resistencia y acabados relacionados con la cultura propia del lugar (tejidos, calados, ventilación,) como muestran la Figura 4 y la Figura 5. Por último se propende por el uso de alternativas pasivas de ventilación, dentro de la propuesta urbana el efecto Venturi para el aprovechamiento desde la posición de la circulación del viento, la ventilación cruzada con el uso de vanos, cubiertas inclinadas y la generación de microclimas por la relación con las zonas verdes existentes y la recuperación del manglar.



Figura 4. Fachada frontal.
Fuente: Los autores.



Figura 5. Fachada lateral.
Fuente: Los autores.

Conclusiones

Los frentes marítimos del municipio de San Andrés de Tumaco han evidenciado uno de los procesos habitacionales más complejos y grandes del litoral Pacífico colombiano, en lugares que son considerados tierra de todos y en medio de un abandono que demuestra la incapacidad de control del territorio por parte del estado, se sostienen en el aire casas que parecen caminar sobre el mar y dentro de ellas hermanos, ahijados, abuelos, hijos que han apropiado cada metro cuadrado ganado al agua con una forma de vivir llena de sabor, música, recuerdos, color y magia. “La identidad como una articulación particular de la diferencia, y la política de la identidad como una instancia de la política de la diferencia que opera en gran parte en el registro cultural, aunque por supuesto implicando la diferencia ecológica y económica de ciertas maneras.” (Escobar, 2010).

De acuerdo con Restrepo (1996) “En el caso del Pacífico colombiano se han configurado unos modelos económicos y culturales que, aunque articulados en mayor o menor medida a las dinámicas del capital en sus múltiples manifestaciones y a los procesos de globalización traducidos en el consumo y en la presencia de algunos mass media, conserva una especificidad en aspectos fundamentales como la construcción y manejo del entorno”. El entorno en el Pacífico colombiano es un lienzo sobre el cual se tiñe armoniosamente cada vida, cada hogar, cada casa, en donde el palafito constituye la anatomía de su formalidad y lo vernáculo recuerda la sabiduría ancestral del vivir en un medio con condiciones climáticas particulares, el vivir se mimetiza con la espesa selva que lo rodea ante toda incredulidad de belleza y la conveniencia estatal que desconoce la heterogeneidad de sus habitantes. Las nuevas propuestas de intervención en el hábitat del municipio de San Andrés de Tumaco deben responder a una cultura propia del lugar dando homenaje a años de vivir a la sombra de lo ilegítimo y, como los ancianos e indígenas de la región lo hacían, una relación y respeto por el medio natural, como lo estableció Ropoport

(1969) “La construcción de una casa es un fenómeno cultural, su forma y su organización están muy influidas por el milieu cultural al que pertenece”.

Referencias

- Alsasua, I. (2013). *Políticas de regularización integral en Brasil. Incidencia del nivel de formulación e implementación en sus resultados*. (Tesis de maestría). Facultad de Arquitectura, urbanismo y edificación, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 94pp.
- Ángel, A. (2003). *La diosa Némesis: Desarrollo sostenible o cambio cultural*. Santiago de Cali, Colombia: Corporación Universitaria Autónoma de Occidente. Recuperado de: http://bdigital.uao.edu.co/bitstream/10614/27/1/T00_03124.pdf.
- Alcaldía municipal de Tumaco. (2008). *Plan de ordenamiento territorial POT 2008-2019: Tumaco, Territorio Empresarial, Portuario, Biodiverso y Ecoturístico de Colombia*. Recuperado de: http://cdim.esap.edu.co/bancomedios/Documentos%20PDF/tumaco-pot_2008_2019.pdf
- Echeverría, M (2003). *Hábitat Versus Vivienda: Mirada crítica sobre el viviendismo*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín- Colombia.
- Escobar, A. (2010). *Territorios de diferencia: Lugar, movimientos, vida, redes*. Departamento de Antropología Universidad de Carolina del Norte, Chapel Hill. Carolina del Norte. EEUU: Enviñon Editores.
- Escobar, A. (2000). *El lugar de la naturaleza y la naturaleza del lugar: ¿Globalización o Postdesarrollo?* Buenos Aires, Argentina: CLACSO, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.
- Leff, E. (1998). *Racionalidad ambiental, La reapropiación social de la naturaleza*. Ciudad de México, México: Siglo XXI editores, s.a. de c.v. en coedición con el centro de investigaciones interdisciplinarias en ciencias y humanidades, unam y con el programa de naciones unidas para el medio ambiente, pnua.
- Max-Neef, M. (1998). *Desarrollo a escala humana. Conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones*. Montevideo. Uruguay: Editorial Nordan-Comunidad. Recuperado de: http://www.maxneef.cl/download/MaxNeef_Desarrollo_a_escal_a_humana.pdf
- Mosquera, G. (2010). *Vivienda y Arquitectura Tradicional en el Pacífico Colombiano Patrimonio Cultural Afrodescendiente*. Santiago de Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Noguera, A. (2004). *El reencantamiento del mundo*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. IDEA.
- Nussbaum, M. (2000). *Women and human development*. The University of Chicago. New York: Cambridge University Press,
- Restrepo, E (1996). *Cultura y Biodiversidad. Pacífico ¿Desarrollo o Diversidad?* (pp. 220- 241). Editorial CEREC.
- Restrepo, E. (2013). *Comunidades Negras del Pacífico Colombiano*. Colección de Antropología Herencia, Patrimonio y Memoria. 104- 135. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Ropoport, A (1969). *House Form and Culture*. Foundations of Cultural Geography Series. University of Wisconsin-Milwaukee.
- Torres, G (2007). *Arquitectura vernácula, fundamento en la enseñanza de la sustentabilidad*. Recuperado de: <http://www.arquitecturaypatrimonio.com.mx/html/ARTICULO18.pdf>

Vivienda Rural Ecoamigable

Eco Friendly Rural Housing

Elkin Ramiro Prieto Aguilar¹

¹ Colombiano. M.Sc. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro de Desarrollo Agroempresarial, GITACE. Cundinamarca, Colombia. E-mail: erprieto6@misena.edu.co.

Recibido: 13- 12 - 2017 Aceptado: 23-05-2018

Resumen

Este artículo describe de forma general el diseño, la construcción de una vivienda rural autosustentable, la implementación de tecnologías por medio del uso de aplicaciones tales como energías renovables (Sistemas Fotovoltaicos, Colector Solar, Molino Eólico), domótica, aprovechamiento del recurso hídrico, entre otros; para su implementación como un ambiente de formación para toda la comunidad académica del Centro de Desarrollo Agroempresarial, SENA Chía Cundinamarca, el cual sirve como un modelo para ser implementado en ámbito colombiano. Uno de los aspectos que se ha tenido en cuenta son los modelos de desarrollo regionales los cuales han mostrado un gran déficit en el acceso a viviendas rurales auto-sostenibles, que incluyan conceptos del hábitat rural y el hábitat urbano con características autónomas en relación con el uso de energías renovables, lo cual permitiría generar una conciencia sobre el medio ambiente y el cubrimiento de necesidades básicas del ser humano en equilibrio con la naturaleza, es decir, reduciendo al máximo los impactos negativos en el medio, a través de la formación práctica y vivencial.

Palabras clave: Sostenible; energías renovables; hábitat rural.

Abstract

This article describes in a general way the design, the construction of a self-sustaining rural housing, the implementation of technologies through the use of applications such as renewable energies (Photovoltaic Systems, Solar Collector, Windmill), domotics, use of water resources, others; for its implementation as a training environment for the entire academic community of the agribusiness development center, SENA Chía Cundinamarca, which serves as a model to be implemented in the Colombian sphere. One of the aspects that has been taken into account are the regional development models which have shown a large deficit in access to self-sustainable rural housing, which include concepts of rural habitat and urban habitat with autonomous characteristics in relation to the use of renewable energies, which would generate an awareness of the environment and the covering of basic needs of the human being in balance with nature, that is to say, minimizing negative impacts on the environment, through practical and experiential training.

Keywords: Sustainable; renewable energy; rural habitat.

Introducción

El Centro de Desarrollo Agroempresarial como líder en gestión, sostenibilidad ambiental y Paz a nivel regional y nacional ha venido creando dinámicas que buscan potencializar el empoderamiento de comunidades frente a los desafíos que nos impone el cambio climático, "Existe en la actualidad un alto nivel de consenso acerca de que existe un aumento en la temperatura global de más de 2 °C" (Greenpeace Colombia, 2016), "El cambio climático da lugar a fenómenos

Cómo citar: Prieto Aguilar, E. R. (2018). Vivienda Rural Ecoamigable. *Informador Técnico*, 82(2), 284-293.
doi: <https://doi.org/10.23850/22565035.1502>

meteorológicos extremos, tales como tempestades, inundaciones, sequías y olas de calor. En la última década, ha habido en el mundo tres veces más catástrofes naturales de origen meteorológico principalmente” (Comisión Europea, 2006) y las oportunidades que se presentan en el ámbito del ordenamiento territorial (Concejo Municipal de Chía, 2016), por ejemplo el uso eficiente del agua lluvia como fuente de obtención accesible para las comunidades a nivel nacional y mundial como lo demuestra el siguiente dato: “Se prevé que la demanda mundial de extracciones de agua aumente en un 55 % para el 2050” (División de Ciencias del Agua, UNESCO, 2014), la gestión del riesgo por parte de las autoridades municipales y nacionales, el uso de fuentes de energías alternativas son una opción para reducir este impacto y las que podemos incluir como alternativas viables y potencialmente accesibles (sistemas fotovoltaicos, colector solar, molino eólico, estufa eficiente con el uso de biomasa entre otros), huertas verticales autosustentables, la inclusión de conceptos como: la gobernanza y las dinámicas de adaptación, mitigación e implementación en el contexto del post acuerdo; estos aspectos son promovidos en múltiples perspectivas, articulando diversos procesos y ajustando los mismos a las condiciones específicas de los territorios atendidos, por tal razón el centro requiere consolidar el primer ambiente especializado que fomente de manera práctica la atención, generación y apropiación de conocimiento al entorno a los aspectos ambientales, ecológicos, económicos y estructurales; que les permitan a las comunidades identificar su impacto y/o el aporte a la gestión ambiental y económica de las comunidades, apalancando el progreso sostenible del territorio.

Gracias a la obtención de recursos energéticos de fuentes renovables, se tendrá un hábitat totalmente sustentable logrando así tener una oportunidad de vivienda y bienestar familiar para las comunidades rurales y urbanas de Colombia a un bajo costo, utilizando materiales de fácil adquisición y tecnología comercialmente accesible en su implementación, y a su vez se crea una cultura de preservación de recursos y uso racional de la energía con el uso de estas tecnologías.

Parte experimental

La propuesta contempla el diseño de una eco-vivienda con material constructivo de guadua por ser un cultivo que se encuentra disponible en diferentes zonas del país, sus características fibrosas y de resistencia mecánica, sismo-resistencia y su bajo costo, además del uso de perfiles metálicos para la conformación de la estructura que da rigidez y fortaleza mecánica a la construcción, así como teja termo-acústica ideal para el aprovechamiento responsable del agua lluvia, buscando consolidar un modelo en la administración responsable de este recurso, que permita satisfacer una necesidad básica de las familias a partir de las condiciones propias de la región y aportando a la protección de los ecosistemas de la zona, adicionalmente, se incluye para la reducción en el consumo de energía eléctrica un sistema fotovoltaico eficiente, en este caso la vivienda está construida en zona de clima frío por lo que se incluyó la implementación de un colector solar, la fabricación de bloques circulares de biomasa para alimentar la estufa eco eficiente, así como una alternativa de transporte de agua recolectada mediante el uso de un molino con el aprovechamiento de la energía eólica disponible en especial a ciertas horas del día, el uso eficiente de la iluminación de la vivienda con lámparas con sensores de presencia incorporados, introduciendo el concepto de ahorro de energía y como alternativa de reducción de costos y mejoramiento en calidad de vida. En lo referente al tema de alimentación se incluye la implementación de huerta vertical controlada por PLC (Controlador Lógico Programable) para el caso de la administración eficiente del riego.

Explicación fundamentada de la alternativa de solución “propuesta alternativa de diseño y estructuras”

Este tipo de actividades deben promoverse en los territorios, toda vez que estimaciones recientes sugieren que el cambio climático será responsable de alrededor del 20% del incremento de la escasez global de agua (División de Ciencias del Agua, UNESCO, 2014), por lo que en este proyecto se aplican tecnologías como los sistemas fotovoltaicos con paneles solares y sistemas eólicos para el transporte y redistribución del agua, la aplicación domótica como tecnología para garantizar la eficiencia de los diferentes sistemas instalados en la vivienda (hidráulicos y eléctricos). Finalmente se incluyó la implementación de jardines y huertas verticales muy necesarias para el aprovechamiento de los espacios y el manejo integral y controlado de los cultivos.

Procedimiento de implementación de la propuesta

El presente proyecto se realizó bajo una metodología mixta (cualitativa y cuantitativa) que permite analizar objetivamente el impacto que tendrá la implementación de dichas viviendas a nivel económico, energético y ambiental, y subjetivamente a nivel social la concienciación de temas de sostenibilidad.

Los métodos de recolección utilizados para verificar la efectividad del proyecto son datos históricos del gasto energético por viviendas en la comunidad, el acceso a luz, agua potable, distribución de la población, zonas de reubicación para el postconflicto y los planes de gobierno y de ordenamiento territorial de las zonas identificadas con mayores problemas de acceso a vivienda digna dentro del área de cobertura del Centro.

Resultados y discusiones

Diseño Conceptual de la Vivienda Rural

De acuerdo con las consideraciones establecidas por el concurso de Fórmula ECO, sobre las dimensiones del proyecto de 72 m² y la limitante correspondiente a la disponibilidad del recurso económico, el grupo de trabajo contempló diferentes tipos de materiales y la disponibilidad de los mismos, llegando a un consenso final del uso de la guadua como material estructural, de placas de fibrocemento para exteriores, de yeso interno y finalmente la inclusión de cubierta arquitectónica.

Lo anterior se definió con el apoyo del instructor y Arquitecto Mauricio Bejar del Centro de Tecnologías para Construcción y las Maderas del SENA en Soacha. Teniendo en cuenta las consideraciones correspondientes para la construcción de estructuras se determinó un modelo tridimensional (Ver Figura 1) que fue elaborado en cartón paja y listones de madera, siguiendo las normativas NSR - 10 Título G - Estructuras de madera y Estructuras de Guadua (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2010). Teniendo en cuenta dichas consideraciones se estableció un diseño bastante interesante con grandes voladizos, que le dan una estética muy moderna y actual, con cubiertas al centro con el propósito de conducir las aguas lluvias e integrar conceptos de iluminación y aireación natural.



Figura 1. Modelo Tridimensional Ajustado.

Fuente: Elaborado por grupo de Investigación Fórmula ECOSENNOVA Chía-Cundinamarca

El diseño de los planos del proyecto fue realizado por el Arquitecto Jheysson Fernando Montaña Santana, que mediante el uso del Software AutoCAD y de acuerdo con las características del terreno y las consideraciones constructivas hechas en la maqueta configuró finalmente los planos de la obra como se observa en las Figuras 2 y 3.

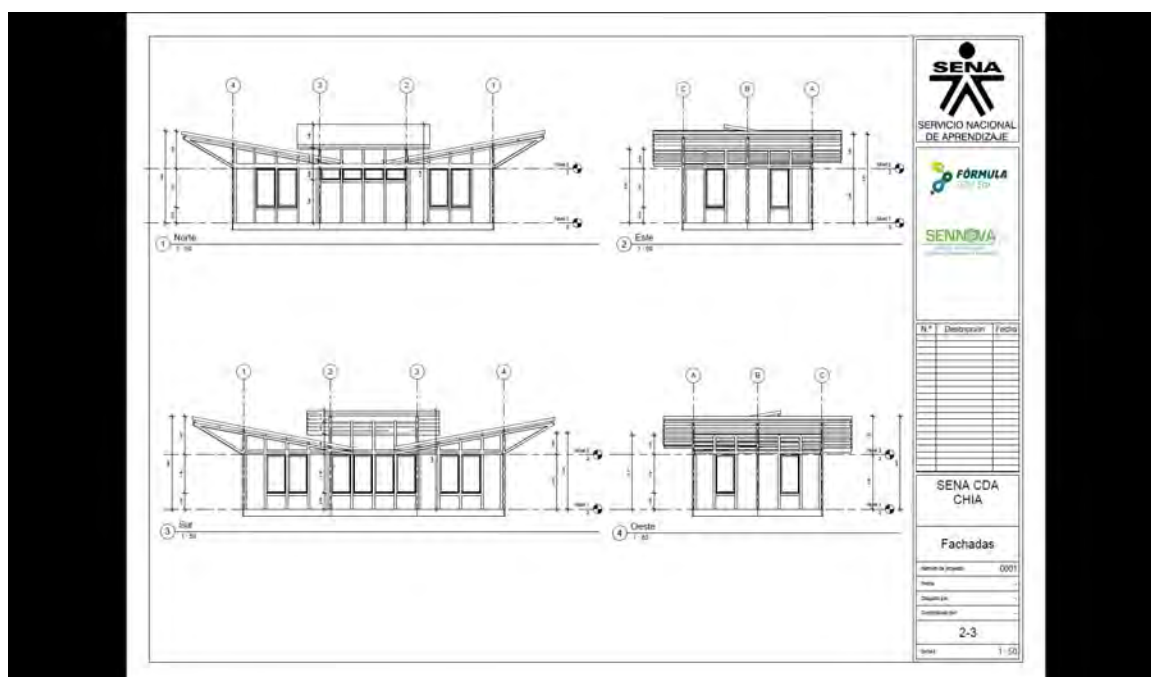


Figura 2. Plano Fachada, Cubierta.

Fuente: Elaborado por Grupo de Investigación Fórmula ECOSENNOVA Chía-Cundinamarca

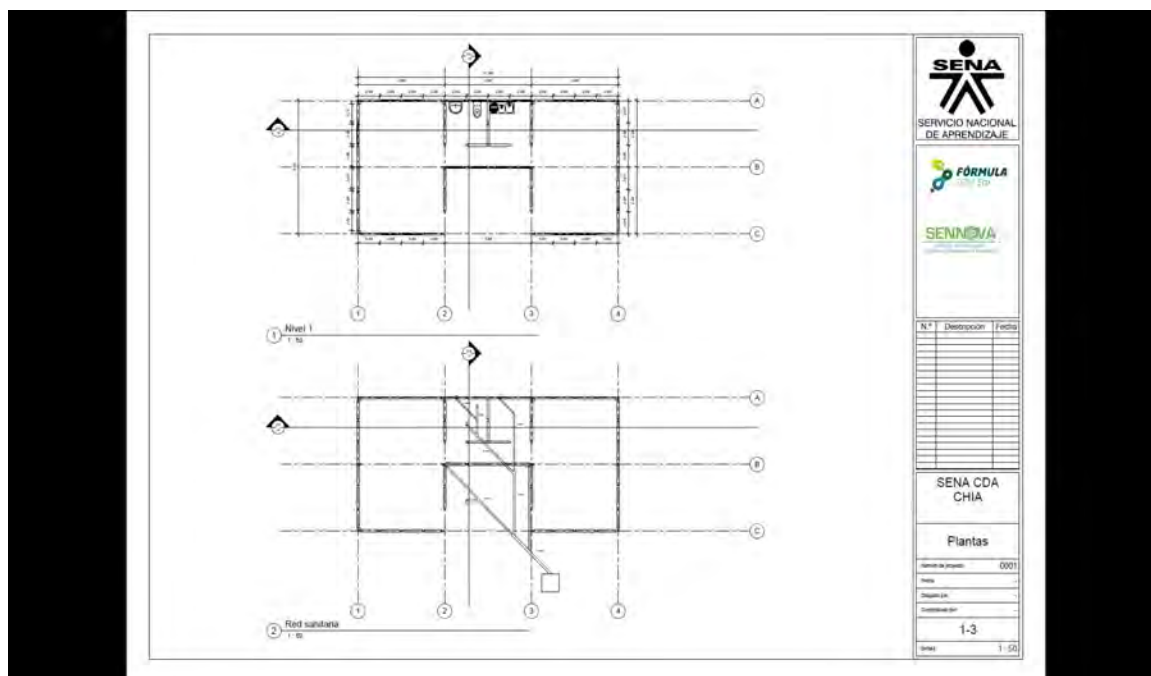


Figura 3. Plano Planta.

Fuente: Elaborado por Grupo de Investigación Fórmula ECOSENNOVA Chía-Cundinamarca

Renderizado de los planos

Este modelo 3D obtenido desde la elaboración de la maqueta, se somete a diversos procesos, que con el uso de técnicas de texturizado de materiales, iluminación, distribución, así como técnicas fotográficas, crean una serie de efectos ópticos que se asemejan a una situación específica en el mundo real, dando como resultado una imagen fotorrealista, es decir, que aparenta ser una fotografía, tal como se muestra en la figura 4. Esta actividad fue desarrollada por el instructor y diseñador John Fredy Pérez Rodríguez utilizando el software 3DMAXStudio y los otros por el Arquitecto Jheysson Fernando Montaña Santana utilizando el software REVIT de Autodesk.



Figura 4. Renderizado de la Vivienda ECO Sostenible.

Fuente: Elaborado por Grupo de Investigación Fórmula ECOSENNOVA Chía-Cundinamarca

Proceso constructivo

Para el proceso constructivo se definió localización, descapote, mejoramiento, aplicación de material seleccionado, excavación de vigas, cimentación por terraza, colocación de columnas y vigas estructurales, colocación de las placas, cubiertas, canales de aguas lluvias (ver Figura 5).



Figura 5. Proceso Constructivo Vivienda ECO Sostenible.

Fuente: Elaborado por Grupo de Investigación Fórmula ECOSENNOVA Chía-Cundinamarca

Sistema solar fotovoltaico

Como apoyo al proyecto de la Vivienda ECO Amigable, la ficha Mantenimiento e Instalación de Sistemas Solares Fotovoltaicos con la dirección del Instructor Carlos Arturo Beltrán idearon el diseño y desarrollo de un Entrenador para Sistema Fotovoltaico como se observa en la Figura 6, el cual incluye un panel fotovoltaico, un regulador de 24 V a 60 A, un inversor de 1500 W y dos baterías de 12 V a 200 A/h, con un sistema de posicionamiento por medio de motores, en el cual el aprendiz puede realizar prácticas con conexiones en serie paralelas o mixtas, incluyendo otros bancos de trabajo, también con la inclusión de sistemas de control para prácticas domóticas.



Figura 6. Entrenador de Paneles Fotovoltaicos.

Fuente: Elaborado por Grupo de Investigación Fórmula ECOSENNNOVA Chía-Cundinamarca

Sistema de recolección y tratamiento de aguas lluvias

El proyecto de la Vivienda ECO Amigable implementó un sistema de recolección y tratamiento de aguas ya que en “Colombia el comportamiento de las precipitaciones es en general muy constante en el transcurso del año, se presentan dos temporadas las que corresponden a los meses de febrero, marzo y abril y las correspondientes a los meses (octubre, noviembre y diciembre). Los meses de menos precipitaciones se comportan con niveles que no son inferiores a los 50mm” (IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2017)

Disposición del sistema de aprovechamiento del agua lluvia

- **Área de captación:** Consistente en el tejado y las cubiertas, el material es inocuo para el agua (piedras, tejas de cerámica, entre otros). Se optó por una teja de tipo económico arquitectónica.
- **Conductos de agua:** Ya sea la propia inclinación del tejado y/o una serie de canalones o conductos que dirijan el agua captada al depósito. Se escogió una canal resistente a la corrosión del óxido y a los rayos ultravioleta, con sello que impide fugas en el sistema y en material PVC y de fácil limpieza y mantenimiento.
- **Filtros:** Eliminan el polvo y las impurezas que porte el agua. Existen múltiples sistemas de filtrado que van desde la simple eliminación de las impurezas más gruesas hasta los sistemas que permiten la potabilización y el pleno uso del agua.
- **Depósitos:** Espacios de almacenamiento del agua recolectada, las paredes del depósito son de materiales que permitan la correcta conservación del agua. Se consideran los tanques en PVC de uso extensivo y de fácil obtención.

• **Sistemas de control:** Implementado con un PLC gestionan la alternancia de la utilización del agua de la reserva, el filtrado y el almacenamiento de los depósitos.

Sistema de conducción de aguas lluvias utilizando tecnología eólica

Una de las alternativas consideradas es la instalación de un sistema eólico para suministro de agua y que puede servir de complemento al sistema de bombeo por bombas sumergibles. Esta alternativa complementaria permite primero el uso de un recurso disponible no contaminante y que, aunque su uso no está tan extendido en nuestro país, puede ofrecer unas grandes posibilidades por nuestras condiciones geográficas y por los vientos alisios, los cuales circulan entre los trópicos desde los 30-35° de latitud hacia el Ecuador y se dirigen desde las altas presiones subtropicales, hacia las bajas presiones ecuatoriales. El modelo de molino de viento considerado es definitivamente el desarrollado por la Fundación Centro Experimental Las Gaviotas, que estableció un modelo de molino de viento adecuado para nuestro país, que puede funcionar con niveles mínimos de viento.

Huerta vertical

El huerto vertical como sistema modular donde se pueden sembrar hortalizas, plantas aromáticas y/o medicinales. La propuesta del grupo de fórmula eco del centro es el uso de una estructura vertical con contenedores (botellas de plásticas), las cuales se puede instalar en cualquier vivienda a bajo costo, con el propósito de producir alimentos de consumo humano como estrategia para mejorar la calidad de vida de las familias que opten por este sistema, para nuestro caso las viviendas rurales.

Para una vivienda rural la producción de alimentos a bajo costo durante todo el año, utilizando el método vertical de siembra usando las paredes exteriores de las viviendas, con riego por goteo para minimizar el consumo de agua, es una alternativa viable por espacio y economía para las familias de bajos ingresos, ya que se hace con materiales reciclados. Para este modelo se realizó un aprovechamiento de la guadua no utilizada en la construcción y se abrió espacios para la colocación de botellas recicladas, conectadas con tubería plástica que mediante electroválvulas permite el suministro de agua utilizando como dispositivo de control un PLC Logo Siemens (ver Figura 7).



Figura 7. Sistema de siembra vertical mediante el uso de riego por goteo.

Fuente: Elaborado por Grupo de Investigación Fórmula ECOSENNOVA Chía-Cundinamarca

Ventajas:

• Aprovechamiento de espacios verticales (paredes) de casas y edificios para incrementar la producción y ayudar al sustento familiar en sitios donde no cuentan con terreno para la siembra, en familias de escasos recursos económicos y como jardines para empresas o casas de estratos altos.

- Uso racional del agua al reciclar el líquido que las plantas no consumen en su metabolismo y transpiración y que no se evapora por efectos del sol y el viento, permitiendo su recirculación.
- Ayudan en la absorción del gas carbónico, uno de los agentes causantes del calentamiento global.
- En días soleados mantienen la temperatura por debajo del calor exterior de la vivienda en clima cálido, ahorrando energía de ventiladores eléctricos y sistemas de aire acondicionado, y en días y noches de clima frío, conservan el calor interior de las mismas con el consecuente ahorro de energía en sistemas de calefacción en hogares y lugares que pueden pagar este servicio, mejorando la calidad de vida de aquellos que no lo pueden costear.
- La estructura se puede reutilizar para múltiples ciclos de vida de las plantas de vida corta como lechugas, espinacas, apio y otras.

Colector solar térmico

El propósito de un sistema de colector solar es convertir la radiación solar en calor y conducirlo al fluido del colector, es decir, al agua en la mayoría de los casos; para el agua caliente, el tipo de colector térmico vendrá definido por la temperatura final del agua. Para la mayoría de los casos es de (60 °C como máximo), el colector solar plano suele ser suficiente (Orbegozo y Arivilca, 2010).

Estufa eficiente con biomasa

El hábitat rural necesita de estufas eficientes que reduzcan los impactos ambientales por tala de bosques y le dé una alternativa al campesinado para el aprovechamiento eficiente para la cocción de alimentos utilizando diferentes tipos de materiales, disponibles. “La Alianza Mundial para Estufas Limpias (The Global Alliance for Clean Cookstoves) desarrolló un conjunto de definiciones sobre lo que significa una “estufa limpia” y “estufa eficiente” con el propósito específico de hacer seguimiento al objetivo de que 100 millones de hogares en todo el mundo adopten estufas y combustibles limpios y eficientes para el año 2020” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

Prensa para briquetas de biomasa

El prototipo de prensa para fabricar briquetas de biomasa permite generar la fuerza de presión suficiente para extraer casi la totalidad de la humedad de las briquetas hechas de biomasa para estufa eficiente, además de lograr compactar dicho material (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, 2014). Prensa de madera en forma de palanca para aplicar presión necesaria sobre el molde de las briquetas, molde en PVC (tubo de 4 pulgadas) para dar forma a las briquetas. El prototipo mecánico que permite la fabricación de briquetas de material biomásico para combustión de estufa eficiente. (proyecto fórmula sena eco + 2017. Actividad desarrollada por el Instructor Luis Fernando Rincón Amarillo (ver Figura 8).



Figura 8. Modelo de Prensa para conformación de las briquetas, para estufa eco-eficiente.
Fuente: Elaborado por Grupo de Investigación Fórmula ECOSENNNOVA Chía-Cundinamarca

Conclusiones

- La posibilidad de que comunidades campesinas y/o rurales puedan acceder a tecnologías e innovaciones en el ámbito de construcción sostenible con materiales durables y que pueden conseguirse fácilmente, en especial el uso de la guadua como elemento de construcción.
- La Vivienda Ecoamigable incluye uso de energías alternativas, para reducir el consumo energético de las viviendas mediante paneles solares, energía eólica, estufa ecoeficiente, colector solar y aplicaciones de control mediante el uso del PLC para generar un óptimo ahorro de energía.
- Mayor retención del presupuesto familiar, disminución total o parcial de las facturas de los servicios públicos, ya que se incluye el concepto de manejo eficiente de los recursos energéticos y con ello la sostenibilidad.
- Producción alimentaria local, con la posibilidad de aumentar el área de producción de la huerta horizontal y generar con ello ganancias para la familia campesina.

Agradecimientos

Dra. Leonora Barragán Bedoya, Subdirectora Centro de Desarrollo Agroempresarial, lbarraganb@sena.edu.co

Bárbara Ivonne Prieto Rodríguez, Instructora, biprietor@misena.edu.co

Fabián Andrés Ardila Galvis, Instructor Centro de Desarrollo Agroempresarial, fabianardila@misena.edu.co

Luis Fernando Rincón Amarillo, Instructor Centro de Desarrollo Agroempresarial, lfrincon333@misena.edu.co

Johon Alver Hidalgo Cardona, Instructor, ing.johonhidalgo2508@gmail.com

John Fredy Pérez Rodríguez, Instructor, fredyhtml5@gmail.com

Álvaro Martínez Peña, Instructor Centro de Desarrollo Agroempresarial, amartinezp@sena.edu.co

Mauricio Bejar Roa, Instructor Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera, mbejarr@sena.edu.co

Dayana Clemencia Benavides Erazo, Instructora Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano, dcbenavides2@misena.edu.co

Juan Francisco Guzmán Zabala, Instructor Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera, jfguzmanz@sena.edu.co

Jheysson Fernando Montaña Santana, Instructor Centro de Desarrollo Agroempresarial, jfmontano@sena.edu.co

Referencias

Comisión Europea. (2006). *El cambio climático: ¿qué es?*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Recuperado de www.oei.es/historico/decada/portadas/climate_change_youth_es.pdf

Concejo Municipal de Chía. (2016). ACUERDO 100 POT 2016. Recuperado de: <http://www.chia-cundinamarca.gov.co/index.php/pot-2016>

- División de Ciencias del Agua, UNESCO. (2014). *Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo 2014*. Recuperado de unesdoc.unesco.org/images/0022/002269/226961S.pdf
- Greenpeace Colombia. (22 de Abril de 2016). *Los países firman el acuerdo climático de París en las Naciones Unidas*. Recuperado de: <http://www.greenpeace.org/colombia/es/Noticias/Los-paises-firman-el-acuerdo-climatico-de-Paris-en-las-Naciones-Unidas/>
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2017). *Pronóstico IDEAM*. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/seguimiento>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). *Lineamientos para un programa nacional de Estufas eficientes para cocción con Leña*. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/mitigacion/LINEAMIENTOS_ESTUFAS_MEJORADAS_PARA_COCCI%C3%93N_CON_LE%C3%91A.pdf
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *NSR - 10 Título G - Estructuras de madera y Estructuras de Guadua*. Recuperado de: <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/7titulo-g-nsr-100.pdf>
- Orbegozo, C., y Arivilca, R. (2010). *Energía solar térmica. Manual técnico para termas solares, GREEN ENERGY*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. (2014). *Bioenergía y seguridad alimentaria: evaluación rápida (BEFS RA)*. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-bp845s.pdf>

Proyecto Piloto Eco-rehabilitación de las instalaciones de centro ambiental y ecoturístico del nororiente amazónico

Pilot Project Ecorehabilitation of environmental and ecotourism center facilities of northeastern Amazonia

Luis Alberto Caycedo¹
Cynthia Patricia Coley B.²
Fernando González T.³
Hans Crwitzer V.⁴

¹ Colombiano. Profesional. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Ambiental y Ecoturístico del Nororiente Amazónico-GINA, Grupo de Investigación del Nororiente Amazónico GINA, Inírida, Colombia. E-mail: lcaycedop@sena.edu.co.

² M.Sc. Gestión y auditoría ambiental. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Ambiental y Ecoturístico del Nororiente Amazónico-GINA, Grupo de Investigación del Nororiente Amazónico GINA, Inírida, Colombia. E-mail: ccoleyb@sena.edu.co.

³ Colombiano. Esp. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Ambiental y Ecoturístico del Nororiente Amazónico-GINA, Grupo de Investigación del Nororiente Amazónico GINA, Inírida, Colombia. E-mail: fgonzalez@sena.edu.co.

⁴ Colombiano. Tecnólogo. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Ambiental y Ecoturístico del Nororiente Amazónico-GINA, Grupo de Investigación del Nororiente Amazónico GINA, Inírida, Colombia. E-mail: hcrwitzer@sena.edu.co.

Recibido: 12- 12 - 2017 Aceptado: 21-05-2018

Resumen

El objetivo de este estudio instaure acciones de Eco-rehabilitación en las instalaciones del Centro Ambiental y Ecoturístico de Nororiente Amazónico, efectuando tres intervenciones con el aprovechamiento de residuos plásticos, aguas lluvias y sol. El proyecto abarca desde campañas de sensibilización, recolección y transformación masiva de residuos plásticos, complementado con el aprovechamiento de aguas lluvias y energía fotovoltaica. Contribuyendo a la sostenibilidad, y promoviendo procesos de investigación, emprendimientos orientados a la preservación y conservación de los recursos naturales, para ello, se realizó la recolección junto con la comunidad, de residuos plásticos PET (polietileno tereftalato), PEAD (polietileno de alta densidad), PP (polipropileno) y ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), para realizar procesos de recuperación y transformación mediante intrusión de plásticos, con el fin de obtener bloques en madera plástica, evaluando posteriormente propiedades mecánicas como tracción y flexión, con el fin de obtener un producto de calidad para la construcción de una Ecofachada.

Palabras clave: Eco-rehabilitación; madera plástica; residuos sólidos; sostenibilidad.

Abstract

The objective of this study establishes Eco-rehabilitation actions in the facilities of the Environmental and Ecotourism Center of Northeast Amazonia, making three interventions with the use of plastic waste, rainwater and sun. The project covers from awareness campaigns, collection and massive transformation of plastic waste, complemented with the use of rainwater and photovoltaic energy. Contributing to sustainability, and promoting research processes, entrepreneurship aimed at the preservation and conservation of natural resources, for this, was collected together with the community, plastic waste PET (polyethylene terephthalate), HDPE (high density polyethylene), PP (polypropylene) and ABS (acrylonitrile butadiene styrene), to carry out processes of recovery and transformation by plastic intrusion, with the aim of obtaining blocks in plastic wood, subsequently evaluating mechanical properties such as traction and flexion, with the aim of obtaining a quality product for the construction of an Eco-facade.

Cómo citar: Luis Alberto, C., Cynthia Patricia, C. B., Fernando, G. T., Hans, C. V. (2018). Proyecto Piloto "Eco-rehabilitación de las instalaciones de centro ambiental y ecoturístico del nororiente amazónico". *Informador Técnico*, 82(2), 294-299. doi: <https://doi.org/10.23850/22565035.1503>

butadiene styrene), to perform recovery and transformation processes by means of plastic intrusion, in order to obtain blocks in plastic wood, evaluating later mechanical properties such as traction and bending, in order to obtain a quality product for the construction of an Ecofachada.

Keyword: Eco-rehabilitation; plastic wood; Solid waste; sustainability.

Introducción

En América Latina la eficiencia energética y las energías renovables representan un potencial inmenso para mitigar los efectos dramáticos del consumo energético en continuo crecimiento, inducido tanto por el desarrollo económico, como por estilos de vida que incorporan un mayor consumo de energía y por el empeño de lograr sociedades más prosperas y equitativas. No obstante, los problemas para integrar las energías renovables en las políticas energéticas de los países de América Latina muestran las barreras que existen para alcanzar patrones de desarrollo más sustentables (Coviello, 2003).

El Servicio Nacional de Aprendizaje -SENA en el desarrollo e implementación de la política ambiental de la entidad (Resolución 407 de 2007), además de aplicar los lineamientos legales vigentes en materia ambiental dentro de su compromiso, y para salvaguardar el medio ambiente, incluye los componentes como: Desarrollo y aplicación de tecnologías y alternativas para lograr una mejora continua y permanente en el desempeño ambiental y Desarrollo de tecnologías que puedan ser aprovechadas para la minimización y prevención de los impactos ambientales generados por las empresas de todos los sectores.

Según estudio desarrollado por Wadel, López, Sagrera, y Prieto (2011), el esfuerzo económico o de gestión de la administración podría orientarse a las acciones de impacto ambiental tales como: reducción del consumo de agua potable, materiales de menor impacto ambiental, gestión para la reducción del consumo energético, gestión para la reducción de la generación de residuos de construcción y uso, entre otros.

Derivado de esta problemática, este estudio, en consecuencia, busca iniciar acciones de Eco-rehabilitación en las instalaciones del Centro Ambiental y Ecoturístico de Nororiente Amazónico, implementando tres (3) intervenciones ambientalmente sostenibles con el aprovechamiento de residuos plásticos, aguas lluvias y sol. Por medio de la construcción de una ecofachada con madera plástica y con plantas nativas irrigadas por un sistema fotovoltaico de aprovechamiento de las aguas lluvias, para la disminución de la temperatura ambiente en las instalaciones del CAENA; construir un sistema de optimización del recurso hídrico para la extracción de agua de pozo y reutilización de aguas lluvias impulsado con energía fotovoltaica para el consumo de la comunidad SENA, e implantar un sistema de luminarias fotovoltaicas.

Materiales y métodos

Área de Estudio. El municipio de Inírida se encuentra posicionado en las coordenadas geográficas 67°55' Este y 3° 50' Norte, en la zona centro y nororiental del Departamento del Guainía y comprende aproximadamente la cuarta parte del territorio departamental, con una extensión de 17.829 km². Limita: al Norte, con el Corregimiento Departamental de Barranco Minas y con el Departamento del Vichada. Al Sur limita con el Corregimiento Departamental de Puerto Colombia. Al Oriente, con el Estado Amazonas (República de Venezuela) y con el Corregimiento Departamental de Cakahual. Al Occidente, con el Corregimiento Departamental de Garza Morichal y por el Sur Occidente con el Corregimiento Departamental de Pana y posee el 17,9 % del área total de la Amazonía Colombiana. Inírida es la Capital del Departamento del Guainía y único municipio con un núcleo urbano y una extensa área rural de su jurisdicción. (Alcaldía Inírida, 2016). En la Tabla 1 se pueden comparar las temperaturas mínimas y máximas promedio del primer semestre de cada año.

Tabla 1. Temperaturas de los meses comprendidos entre enero y Junio de 2016 del Municipio de Inírida.

MEDIOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TMAX	36	37	39	36	40	35	35	35	39	35	35	39
TMIN	17	18	18	19	18	18	17	17	18	19	18	16
TM-MÁX	33	34	33	32	31	30	30	31	31	32	32	32
TEMP	27	28	27	27	26	26	25	26	26	26	26	26
HUME	84	79	79	88	88	89	88	87	86	86	86	86

Fuente: <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/inirida/tabla.htm>.

El Centro Ambiental y Ecoturístico del Nororiente Amazónico imparte formación a los habitantes de todos los municipios del departamento a través de sus diferentes Centros de Formación Profesional. La infraestructura con la que el SENA cuenta en Guainía le permite fortalecer todos los sectores económicos de las diferentes subregiones del departamento. Sus instalaciones colindan al Norte con el barrio La Primavera, al sur con el barrio La Vorágine y 5 de diciembre, al oeste con el coliseo cubierto Capitán Toro y al este con la granja Cubanare. Este centro de formación cuenta con tres (3) bloques destinados a formación, (1) bloque que consta de la regional Guainía y zona administrativa, área deportiva con una cancha de fútbol y un gimnasio, un (1) laboratorio de suelos y un (1) laboratorio de extracción de aceites esenciales.

Para el desarrollo de este estudio se reunió un equipo interdisciplinar integrado por un profesional en la rama de arquitectura, un profesional en Ingeniería Ambiental, Ingeniería agrónoma, un profesional experto en electricidad y un comunicador social, y a partir de una matriz de debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas en la Tabla 2. se identificaron las oportunidades para cada problema.

Tabla 2. Matriz de problemas y oportunidades.

PROBLEMA	OPORTUNIDAD
Residuos sólidos	Materia prima, material
Plásticos	para la construcción.
Reservorio de aguas	Fuente para disminuir el
Lluvias desperdiciadas	agua de consumo.
Altas temperaturas por radiación solar.	Aprovechamiento de la energía fotovoltaica.

Fuente: Autores

El equipo interdisciplinar trabajó a su vez mancomunadamente con la comunidad SENA y con líderes de la comunidad externa como directores de entidades oficiales y rectores de instituciones públicas educativas.

Teniendo en cuenta la estrategia de PML, es el punto de encuentro entre la productividad y el manejo ambiental, en la que se aplica el concepto de la prevención de la contaminación y eficiencia energética, mediante la implementación de las tres R's (Reciclaje, Reúso, Recuperación) tratamiento y disposición final de desechos, (BENITEZ-CAMPO, N. E. Y. L. A. (2013). Los programas de formación principalmente vinculados con el proyecto fueron: Técnico en Conservación de Recursos Naturales, Tecnología Agropecuaria Ecológica, Tecnología en Biocomercio Sostenible y Técnico en Instalaciones de Redes Eléctricas.

También se realizaron convenios con las instituciones educativas y empresas del sector dedicadas a la recolección de residuos sólidos. Se realizó la recolección masiva de residuos plásticos, y se realizó un préstamo de equipos un molino de cuchillas para la recuperación de residuos y se transportaron las máquinas a las instalaciones del centro para procesar el material plástico recolectado en los puntos de acopio, campañas y eventos.

Por otro lado se hicieron cálculos de diseño y de materiales necesarios para la construcción, posterior a ello se elaboraron los diseños de la ECO-fachada por parte de la oficina de arquitectura del centro, con el software AUTO CAD como se muestra en la figura 1. Simultáneamente se elaboraron los puntos de acopio dentro del centro de formación por los mismos aprendices con la colaboración de toda la comunidad SENA.

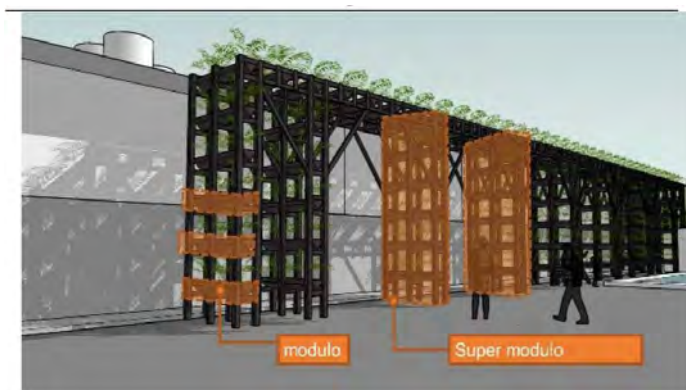


Figura 1. Vistas de la modulación de la Eco- fachada.

Fuente: Autores

Para el desarrollo de la ecofachada y teniendo en cuenta que el concepto de Eco-rehabilitación se basa en la asociación de los conocimientos y prácticas de la rehabilitación arquitectónica con los del desarrollo sostenible. (García Grinda, Flores Soto, y Martínez González, 2011), se escogieron dos moldes para la extrusora, el primero de 5 cm x 10 cm x 200 cm (conocido en la región como cinco diez), esta sección es utilizada frecuentemente en construcción, en desarrollo de formaleas, y por su sección rectangular es útil para diferentes aplicaciones en el desarrollo de mobiliario urbano o para cerramientos entre otros. El otro molde seleccionado es de 2,5 cm x 25 cm x 200 cm, (tabla), que es útil como elemento de cerramiento o superficie. Con el objetivo de facilitar los procesos constructivos, se realizó el diseño de la eco fachada a partir de un módulo (materia) elaborado con los cinco diez y las tablas, que se repite para la conformación de un supermódulo pared, que a su vez se repite para la conformación de la composición total, que conforma la estructura y rematada con la repetición de módulo a nivel superior en forma de pérgola. Como elemento adicional se complementa con elementos de refuerzo. Todo lo anterior busca optimizar el uso de material y facilitar el proceso de construcción.

Se efectuaron jornadas de sensibilización del diseño de la Eco-fachada a toda la comunidad Sena con la finalidad de asociar el trabajo de recolección a un producto final y así generar expectativa y un mayor trabajo colaborativo, autónomo, para fortalecer las competencias blandas como tolerancia, trabajo en equipo y competitividad.

Los aprendices líderes Fórmula ECO en conjunto con sus compañeros e instructores, el equipo de bienestar y la oficina de comunicaciones ejecutaron la campaña "*soy EcoGuainiano y hago parte de la fórmula*" en los barrios del municipio, así mismo asistieron a eventos destacados como **salsa al parque en Inírida**, para recolectar gran cantidad de residuos plásticos polietileno de alta densidad y polipropileno, siendo estos recibidos con mucho agrado por parte de los líderes regionales y la comunidad en general.

Para las jornadas de recolección y sensibilización se utilizaron carpas del programa de comunicación, adhesivos con el logo de fórmula ECO, papelería (cartulinas, marcadores, papel craft,) bolsas grandes, guantes para la recolección de residuos. Importante mencionar el transporte terrestre de los residuos plásticos a los puntos de acopio en la institución gracias a las camionetas institucionales.

En cuanto a las especies de flora nativas utilizadas para la elaboración de la Ecofachada, Figuras 2 y 3, fueron reproducidas en el vivero del centro de Formación, En primera instancia para el nivel del suelo utilizamos plantas de la familia *passifloracea*, las cuales son unas plantas de crecimiento trepador, sus nombres comunes son: Badea y la Magenta, la primera frutal y la segunda ornamental. Para el primer nivel de la Eco fachada se sembraron plantas de la familia *apocynacea*, cuyo nombre común es flor de oro. El método de propagación utilizado fue reproducción asexual, Se empleó compost

del elaborado por los aprendices del Programa Tecnólogo en Producción Agropecuaria ecológica, las estacas fueron reproducidas en camas con sustratos suaves de 50 % de aserrín, 20 % de arena y 30 % de materia orgánica. Se utilizaron bolsas de polietileno negras de 1 kg de capacidad, dicho proceso duró 45 días.

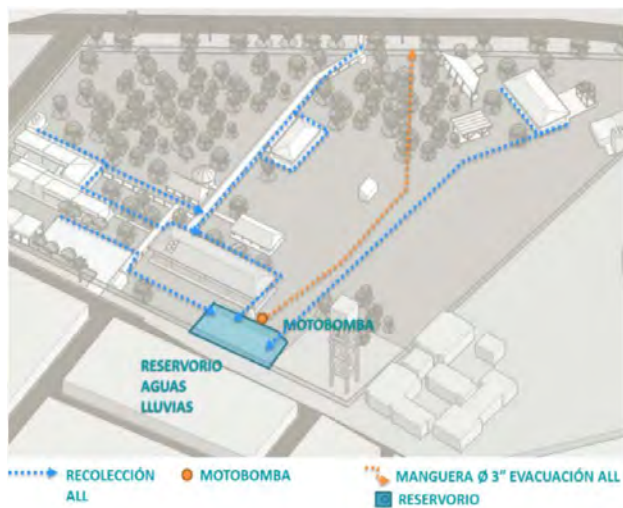


Figura 2. Sistema de recolección de aguas lluvias antes de la intervención del proyecto.
Fuente: Autores



Figura 3. Sistema de recolección de aguas lluvias antes de la intervención del proyecto.
Fuente: Autores

De acuerdo con varios estudios analizados en este trabajo, las edificaciones funcionan como almacenamientos de calor durante el día, mientras que la energía almacenada se libera en su espacio interior a lo largo de la noche; así se presenta un efecto negativo, puesto que la demanda de climatización artificial se aumenta y el potencial para la ventilación pasiva se reduce durante la noche. (Muñoz Campillo, y Torres Sena, 2013) Se pretende resolver la carencia de un sector del centro que no cuenta con iluminación ni cableado que permita alimentar lámparas convencionales. Por lo anterior los sistemas foto voltaicos que no requieren conexión a fuente de alimentación, posibilitan verificar y dar a conocer sus beneficios a la comunidad, que dadas las condiciones del Guainía que no está conectado al sistema nacional, es muy pertinente como alternativa de solución viable y rápida que posibilite acceder a los beneficios de la energía a comunidades alejadas.

Resultados y discusión

El desarrollo de este proyecto en primera instancia permitió impactar de manera positiva el reciclaje de residuos sólidos plásticos en el municipio de Inírida, mediante las estrategias de recolección llevadas a cabo con la comunidad, donde se logró recopilar el 4 % de material plástico distribuido en 2 % polietileno tereftalato, 1,5 % polietileno de alta densidad y un 5 % de polipropileno, para su posterior transformación mediante el proceso de extrusión, con el fin de realizar la construcción de la ecofachada. Sin embargo es necesario desarrollar otras estrategias de recolección y sensibilización junto con la comunidad, que permitan aumentar las cantidades en la recolección, lo que converge en un aprovechamiento más significativo de los residuos sólidos.

Conclusiones

Con este trabajo se evidenció que la comunidad iniridense está dispuesta a cambiar sus patrones de comportamiento ambiental, pero que sin lugar a dudas, se carece de programas de educación ambiental y proyectos técnicos ambientales de mayor trascendencia, seguimiento y control.

También se pudo constatar que si bien existen políticas de planeación municipales que buscan potenciar las soluciones amigables con el medio ambiente, en la realidad su implementación no alcanza a transformar la cultura inmersa entre

los habitantes, por lo que se requiere de un mayor trabajo pedagógico y comunitario, una labor mancomunada con las entidades autónomas regionales ambientales y con las autoridades municipales y departamentales.

La construcción de la eco fachada con base en residuos plásticos redujo la inadecuada disposición de los residuos en el municipio y contribuyó a la separación en la fuente por los habitantes, por tanto este proyecto podría ser motivo de réplica en otras instituciones del municipio y del país que tengan las mismas condiciones, en cuanto a la carencia de gestión integral de residuos sólidos y fuerte deforestación en sus áreas naturales.

Entre las limitaciones que presentó el proyecto, comprobamos que aún no se cuenta con una cultura generalizada de la separación de residuos, lo que dificulta el proceso de consecución de la materia prima y no se cuenta con información sobre el comportamiento del material (madera plástica) en la región y sus condiciones climáticas, el proyecto contribuyó a la superación de esta limitación. De igual manera con la realización de este proceso se logró recolectar sólo el 3 % de los residuos plásticos generados en el municipio, en la primera jornada, lo cual equivale a 2 ton, por lo tanto se hace necesario determinar una estrategia municipal de recolección con el fin de incrementar el impacto en la recolección y aprovechamiento de estos residuos.

Agradecimientos

Para la realización de este proyecto un especial agradecimiento a los aprendices de todos los programas de Formación del primer, segundo y tercer trimestre del año 2016 del centro ambiental y eco turístico del Nororiente Amazónico, a todos los instructores, administrativos y funcionarios que hicieron posible su ejecución, integrantes del semillero de investigación para aprendices en Investigación Diferenciada-SAID y del grupo de investigación del Nororiente Amazónico GINA, Al doctor Biliardo Tello Toscano por abrirnos la puerta a la participación de Fórmula ECO, a la doctora Elizabeth García Pérez quien nos apoyó en la ejecución del mismo, al coordinador de Formación Jorge Guerrero Giraldo Rosero por su disposición al trabajo en equipo, a la comunidad del Instituto Integrado Custodio García Rovira y a la empresa Reciclemos que en este proceso de enseñanza-aprendizaje buscan en las transferencias tecnológicas las respuestas a un mejor desarrollo económico y social del municipio de Inírida.

Referencias

- Coviello, M. (2003). *Entorno internacional y oportunidades para el desarrollo de las fuentes renovables de energía en los países de América Latina y el Caribe*. CEPAL.
- Wadel, G., López, F., Sagrera, A., y Prieto, J. (2011). Rehabilitación de edificios bajo objetivos de reducción de impacto ambiental: un caso piloto de vivienda plurifamiliar en el área de Playa de Palma, Mallorca. *Informes de la Construcción*, 63(Extra), 89-102.
- Alcaldía Inírida, (2016). *Plan de desarrollo municipal 2016-2019 "Volvamos a Creer"*.
- Benítez-Campo, N. (2013). Producción limpia y biorremediación para disminución de la contaminación por cromo en la industria de curtiembres. *Ambiente y sostenibilidad*, 1, 25-31
- García Grinda, J. L., Flores Soto, J. A., y Martínez González, F. (2011). La eco-rehabilitación y el desarrollo local: el proyecto ECO-ARQ. Aplicaciones de eco-rehabilitación en la arquitectura tradicional del sudoeste de Europa. *VI Congreso Ibérico de Agroingeniería*. E.T.S. Arquitectura (UPM). Évora, Portugal
- Muñoz Campillo, L. M., y Torres Sena, R. D. (2013). Las fachadas verdes como herramienta pasiva de ahorro energético en el bloque administrativo de la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Montería. *Dearq. Revista de Arquitectura*, (13), 140-149.

Indice de Autores

Authors

Alana Payán Valero. Colombiana. Estudiante de odontología, Universidad del Valle. Cali, Colombia.
E-mail: apava-94@hotmail.com

Benjamín Betancourt Guerrero. Colombiano M.Sc. Universidad del Valle Cali Colombia. Grupo de investigación Previsión y Pensamiento Estratégico.

Carlos Humberto Valencia Llano. Colombiano. Ph.D. en Ciencias Biomédicas. Universidad del Valle. Cali, Colombia. E-mail: carlos.humberto.valencia@correounivalle.edu.co

Cristian Ricardo Rubio Ramírez. Colombiano. Ing. Mecánico Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia. Grupo de investigación de Fluidos y Térmicas FLUTER.
E-mail: cristianricardorr@ufps.edu.co

Diana Carolina Rodríguez. Colombiana. Ingeniera Agropecuaria. Fundación Universitaria Juan de Castellanos. Tunja, Boyacá, Colombia. Grupo de investigación en Agricultura Organizaciones y frutos.

Francisco Javier Sánchez E. Colombiano. M.Sc. Mercadeo. Universidad Libre. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro de Gestión Tecnológica de Servicios CGTS. Cali, Colombia.
E-mail: sanchez_94@hotmail.com

Guillermo Alfredo Martheyn Lizarazo. Colombiano. Ing. Mecánico Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia. Grupo de investigación de Fluidos y Térmicas FLUTER.
Email: guillermoalfredomli@ufps.edu.co

Humberto Alejandro Rolón Ortiz. Colombiano. Ing. Mecánico Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia. Grupo de investigación de Fluidos y Térmicas FLUTER.
Email: humbertoalejandrero@ufps.edu.co

Joel David Parra. Colombiano. Ingeniero Agropecuario. Fundación Universitaria Juan de Castellanos. Tunja, Boyacá, Colombia. Grupo de investigación en Agricultura Organizaciones y frutos.

José Antonio Gallo-Corredor. Colombiano. M.Sc. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia. Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. Grupo de Investigación en Química Analítica Ambiental (GIQA). E-mail: jagallo@unicauca.edu.co

Juan Pablo Gil Bedoya. Colombiano. Estudiante de odontología, Universidad del Valle. Cali, Colombia.
E-mail: jpgilb2@hotmail.com

Julián Andrés Cruz Jaramillo. Colombiano M.Sc. ITA. Grupo de investigación EMTEMDER.
E-mail: cruz.julian@correounivalle.edu.co

Juliana Guzmán Valencia. Colombiana. Estudiante de odontología, Universidad del Valle. Cali, Colombia.
E-mail: juliana.guzman@correounivalle.edu.co

Karen Jessenia Lozano Nieva. Colombiana. M.Sc. en Ingeniería, Universidad del Valle. Cali, Colombia.
E-mail: kajeloni@gmail.com

Lorena Grueso Ruiz. Colombiana. Estudiante de odontología, Universidad del Valle. Cali, Colombia.
E-mail: lorena.grueso@correounivalle.edu.co

Luis Emilio Vera Duarte. Colombiano. Ing. Mecánico Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia. Grupo de investigación de Fluidos y Térmicas FLUTER. Email: luisemiliovd@ufps.edu.co

María Carolina Pustovrh Ramos. Argentina. Ph.D. en Ciencias Básicas, Docente Escuela de Odontología, Universidad del Valle. Cali, Colombia. E-mail: maria.pustovrh@correounivalle.edu.co

Martha Lucía Quintero G. Colombiana. Ph.D. en Gestión de Empresas. Profesora Escuela de Ingeniería Industrial. Universidad del Valle. Cali, Colombia. Grupo de investigación en Logística y Producción. E-mail: martha.quintero@correounivalle.edu.co

Mary Luz Muñoz Z. Colombiana. M.Sc. Maestría en Ingeniería Industrial. Universidad del Valle. Cali, Colombia. E-mail: maryluz10@gmail.com

Miguel Ángel García-Parra. Colombiano. Ingeniero Agropecuario. Fundación Universitaria Juan de Castellanos. Tunja, Boyacá, Colombia. Grupo de investigación en Agricultura Organizaciones y frutos.

Mónica Andrea Cortés V. Colombiana. M.Sc. Ingeniera Industrial. Universidad Santiago de Cali. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro de gestión tecnológica de servicios CGTS. Cali, Colombia. E-mail: monica.cortes02@usc.edu.co

Nubia Zoraida Plazas-Leguizamón. Colombiana. M.Sc. en desarrollo Rural. Docente Fundación Universitaria Juan de Castellanos. Tunja, Boyacá, Colombia. Grupo de investigación en Agricultura Organizaciones y frutos. E-mail: nplazas@jdc.edu.co

Ricardo Benítez-Benítez. Colombiano. Ph.D. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia. Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. E-mail: rbenitez@unicauca.edu.co

Rodrigo Andrés Sarria-Villa. Colombiano. Ph.D. Universidad del Cauca. Popayán, Colombia. Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. Grupo de Investigación en Química Analítica Ambiental (GIQA). E-mail: rodrigov@unicauca.edu.co

Shayla Kayeth Ferreira Torrado. Colombiana. Ingeniera Agropecuario. Fundación Universitaria Juan de Castellanos. Tunja, Boyacá, Colombia. Grupo de investigación en Agricultura Organizaciones y frutos.

Silvio Delvasto Arjona. Colombiano. Ph.D. Profesor Titular, Universidad del Valle. Grupo Materiales Compuestos GMC. Cali, Colombia.

William Gustavo Valencia Saavedra. Colombiano. Estudiante de Doctorado en Ingeniería de los Materiales. Ingeniero de Materiales. Universidad del Valle. Grupo Materiales Compuestos GMC. Cali, Colombia.

Yesenia Moreno Cepeda. Colombiana. Estudiante de odontología, Universidad del Valle. Cali, Colombia. E-mail: yesenia.moreno@correounivalle.edu.co

Yimmy Fernando Silva Urrego. Colombiano. Estudiante de Doctorado en Ingeniería de los Materiales. M.Sc. en ingeniería. Universidad del Valle. Grupo Materiales Compuestos GMC. Cali, Colombia. E-mail: yimmy.silva@correounivalle.edu.co

Índice de autores

Casos exitosos

Andrea Gualguan. Colombiana. Estudiante de Ingeniería Industrial, tecnóloga en Diseño de Productos Industriales, Instructora Diseño de Producto. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Internacional de Producción Limpia Lope, Grupo de Investigación LOPE INVESTIGACIONES, Regional Nariño. E-mail: andrea.920832@outlook.com

Andrea Melisa Vásquez Riascos. Colombiana. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, Tecnoparque Nodo La Angostura, Regional Huila. Campoalegre, Colombia. E-mail: amvasquezr@sena.edu.co

Anthony Fierro. Colombiano. Ingeniero e Instructor PLM. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Internacional de Producción Limpia Lope, Grupo de Investigación LOPE INVESTIGACIONES, Regional Nariño. E-mail: affierro@misena.edu.co

Carlos Alberto Castaño Aguirre. Colombiano. M.Sc. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro para el desarrollo tecnológico de la construcción y la industria, grupo de investigación GIDA, Armenia, Colombia. E-mail: cacastanoa@gmail.com

Catalina Espinosa Bayer. Colombiana. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, Tecnoparque Nodo La Angostura, Regional Huila. Campoalegre, Colombia. E-mail: cespinosab@sena.edu.co

Cyntia Patricia Coley B. Colombiana. M.Sc. Gestión y auditoría ambiental. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Ambiental y Ecoturístico del Nororiente Amazónico-GINA, Grupo de Investigación del Nororiente Amazónico GINA, Inírida, Colombia. E-mail: ccoleyb@sena.edu.co

David Martínez. Colombiano. M.Sc. en Diseño industrial. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Investigador SENNOVA, Centro Internacional de Producción Limpia Lope, Grupo de Investigación LOPE INVESTIGACIONES, Regional Nariño. E-mail: odmartinez43@misena.edu.co

Edgar José Erazo Ramos. Colombiano. Arq. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro para el desarrollo tecnológico de la construcción y la industria, grupo de investigación GIDA, Armenia, Colombia. E-mail: arq.edgarerazo@misena.edu.co

Elkin Ramiro Prieto Aguilar. Colombiano. M.Sc. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro de Desarrollo Agroempresarial, GITACE. Cundinamarca, Colombia. E-mail: erprieto6@misena.edu.co

Fernando González T. Colombiano. Esp. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Ambiental y Ecoturístico del Nororiente Amazónico-GINA, Grupo de Investigación del Nororiente Amazónico GINA, Inírida, Colombia. E-mail: fgonzalez@misena.edu.co

Hans Crwitcher V. Colombiano. Tecnólogo. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Ambiental y Ecoturístico del Nororiente Amazónico-GINA, Grupo de Investigación del Nororiente Amazónico GINA, Inírida, Colombia. E-mail: hcrwitcher@sena.edu.co

Iván Darío García Ordóñez. Colombiano. Esp. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro para el desarrollo tecnológico de la construcción y la industria, grupo de investigación GIDA, Armenia, Colombia. E-mail: igarciao@sena.edu.co

Jorge Romero. Colombiano. Profesional. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Tecnologías para la Innovación en la Construcción, Cali, Colombia. E-mail: jeromero@sena.edu.co

Juan Esteban Luna Valencia. Colombiano. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, Tecnoparque Nodo La Angostura, Regional Huila. Campoalegre, Colombia. E-mail: jlunav@sena.edu.co

Luis Alberto Caycedo. Colombiano. Profesional. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Centro Ambiental y Ecoturístico del Nororiente Amazónico-GINA, Grupo de Investigación del Nororiente Amazónico GINA, Inírida, Colombia. E-mail: lcaycedop@sena.edu.co

Rafael Rojas. Colombiano. Profesional. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Tecnologías para la Innovación en la Construcción, Cali, Colombia. E-mail: rrojasg@sena.edu.co

Tito Piamba. Colombiano. Ingeniero especialista en Automática industrial, Docente tiempo completo. Universidad Autónoma de Nariño. Grupo de Investigación LOPE INVESTIGACIONES, Nariño, Colombia. E-mail: titopia23@gmail.com

Yuli Marcela Ordóñez Castañeda. Colombiana. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, Tecnoparque Nodo La Angostura, Regional Huila. Campoalegre, Colombia. E-mail: yordonez@sena.edu.co



IV Simposio DE MATERIALES POLIMÉRICOS



Pres. No. 16740, 2017-2021.



Vigilada MinEduación.

Septiembre 13 y 14 de 2018

Cali (Colombia)

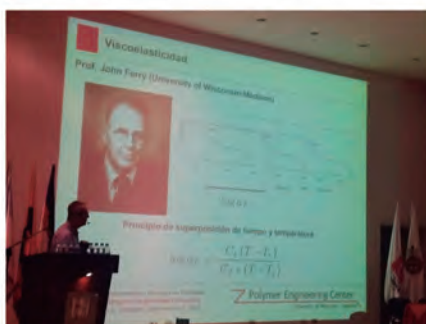
ASTIN
CENTRO NACIONAL DE ASISTENCIA
TÉCNICA A LA INDUSTRIA

Cali sede del IV Simposio de Materiales Poliméricos Santiago de Cali (Valle)



Desde hace cuatro años el Centro Nacional de Asistencia Técnica a la Industria -ASTIN- del SENA en Cali, genera este espacio para hablar del futuro de los biopolímeros y materiales compuestos poliméricos, dada la importancia de fortalecer los conocimientos en la formación de cada uno de los futuros investigadores.

“Este Simposio es una oportunidad para socializar las últimas tendencias de materiales poliméricos, biocompuestos y sus problemáticas en temas relacionados con sus aplicaciones a diferentes industrias como las del plástico, caucho, construcción y automotriz”, afirmó Carolina Caicedo, líder del GIDEMP y editora del Informador Técnico.



En esta oportunidad, la Universidad Autónoma de Occidente -UAO- fue la sede escogida para realizar el Simposio, gracias a la cooperación académica que se ha realizado entre el Grupo de Investigación en Tecnologías para la Manufactura de la UAO y el Grupo de Investigación en Desarrollo de Materiales y Productos - GIDEMP del ASTIN.

Durante los dos días que duró el Simposio se contó con la presencia de siete ponentes nacionales y diez internacionales, quienes dieron a conocer sus procesos de investigación y los grandes avances en materiales poliméricos que han logrado realizar.

Con apoyo de alcaldes, Gobernación y SENA, semilla del emprendimiento se multiplica en el Valle



Cali, (Valle), 27 de septiembre de 2018. Las alianzas del SENA con la Gobernación del Valle y varias alcaldías del departamento continúan dando buenos frutos en las fértiles tierras de este departamento. Gracias a ello, 91 emprendedores, y generadores de nuevos empleos, recibieron esta semana en Cali beneficios por una suma superior a \$8.000 millones. Dentro de estos emprendedores se encuentra un egresado del centro ASTIN con su empresa **Ralph Studios**.

Ralph Studios



**CENTRO NACIONAL DE ASISTENCIA
TÉCNICA A LA INDUSTRIA ASTIN**
Calle 52 No. 2Bis - 15
Teléfonos: 57 (2) 431 5847 Ext. 22667 - 22695
Fax: (2) 4471075 - 4467182
www.sena.edu.co
<http://centroastinsena.blogspot.com/>
E-mail: astin@sena.edu.co

INFORMADOR TÉCNICO
Calle 52 No. 2Bis - 15
Teléfonos: 57 (2) 431 5800 Ext. 22694
Email: revistaitastin@sena.edu.co
<http://informadortecnico.senaastin.com>
http://biblioteca.sena.edu.co/paginas/revistas_info.html
Cali, Valle del Cauca, Colombia