

IDEA



Construcción y Madera

Volumen 6 - Año: 2024 - ISSN: 2590-4612



Centro de Tecnologías para
la Construcción y la Madera

SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



**CTCM
SENNOVA**



**Este obra está bajo una licencia de Creative Commons
Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional.**



**Centro de Tecnologías para
la Construcción y la Madera**
Bogotá D.C.

Revista IDEA Construcción y Madera

Volumen 6 - año 2024

ISSN: 2590-4612

Periodicidad: Anual

- Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA
- Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico
e Innovación SENNOVA
- Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera
Autopista Sur 4 # 53-64
Soacha, Cundinamarca - Colombia
Complejo Cazucá
E-mail: sennovactcm@sena.edu.co
<http://construccionymadera.blogspot.com/>
www.sena.edu.co



Director General

Jorge Eduardo Londoño Ulloa

Subdirector Centro

William Darío Riaño Barón

Coordinador SENNOVA Nacional

Manuel Fernando Monsalve Ahumada

Director Regional Distrito Capital

Gerardo Arturo Medina Rosas

Dinamizadora Sennova

Nubia Stella Marroquín del Río

Lider de investigación

Leonardo Enrique Esguerra Hoyos

Coordinadores Académicos

Alba Lucía Olmos Trujillo

Martha Lucía Cardozo Pavas

Leonardo Enrique Esguerra Hoyos

Edgar Elías Parra Rubio

Luis Orlando Cortés Vega

Comité Editorial

Julián Alonso Barragán Porras

Leidy Tatiana Bermejo Cabrera

Sergio Enrique Soracá Castaño

Enrique Páez Rodríguez

Nubia Stella Marroquín del Río

Diagramación

Julián Alonso Barragán Porras

Editorial

SENA

Comité Científico

Martha Cecilia Díaz Hernández

Kelly Johanna Escudero Eguis

Nelson Eduardo Velandia Torres

Yazmina Clemencia Bayona Rodríguez

Oscar Herny Guayacán Díaz

Geraldine Moreno Niño

Isaac Guzmán Bautista

Wilson Martínez Cuesta

Dery Esmeralda Corredor Pulido

Luis Fernando Rodríguez Lozano

Iván Ernesto Barragán Gutiérrez

Jesús Eduardo Guzmán Atehortúa

Hellen Jowanna Calderón López

Antonio Martín Borré Ruiz

Jairo Enrique Ballén Ramos

Grupo de investigación

Nubia Stella Marroquín del Río

Julián Alonso Barragán Porras

Leidy Tatiana Bermejo Cabrera

Luis Enrique Yate Calvo

Sergio Enrique Soracá Castaño

Cristian Andrés Abril Baquero

Hellen Jowanna Calderón López

Gabriel Hernando Carvajal Barajas

Óscar Herny Guayacán Díaz

Enrique Páez Rodríguez

Luis Rodolfo Martínez Pineda

Mario Fernando Bucheli Caicedo

Kelly Johanna Escudero Eguis

Traductores

Sandra Rubiela Feo Arias

Editorial



William Darío Riaño Barón
Subdirector - Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera

En un mundo cada vez más moldeado por el desarrollo tecnológico, la relación entre el ser humano y la técnica representa mayor relevancia. La tecnología moderna no es simplemente un conjunto de herramientas que utilizamos para transformar el mundo, sino una forma de entender la realidad, un modo de explorar las posibilidades que brinda la naturaleza. En el contexto actual, donde la crisis ambiental y los retos de sostenibilidad son necesarios, esta concepción tecnológica nos plantea preguntas fundamentales sobre cómo mejorar la calidad de vida de las poblaciones rurales y urbanas frente a los cambios globales que actualmente enfrentamos.

Desde un enfoque técnico, las soluciones constructivas contemporáneas deben ir más allá de la eficiencia funcional para integrar principios de sostenibilidad. Esto implica adoptar materiales renovables, como la guadua, la madera y sus alternativas tecnológicas que proporcionen soluciones basadas en la naturaleza y reduzcan el impacto de la construcción tradicional. También se requiere diseños bioclimáticos que optimicen el uso de energía natural mediante estrategias como la orientación solar, la ventilación cruzada y el aislamiento térmico. Estas soluciones no solo responden a la demanda, sino que también reflejan alternativas efectivas frente a los retos actuales.

La investigación aplicada e innovación son fundamentales en la exploración de nuevos materiales, el desarrollo de tecnologías de bajo impacto ambiental y el perfeccionamiento de técnicas constructivas no solo permite responder a los retos presentes, sino también anticiparse a las necesidades futuras. Además, innovar en el campo de la construcción sostenible implica democratizar el acceso a soluciones tecnológicas, haciendo que estas sean asequibles y replicables en diversas escalas y contextos. Los avances en tecnología, como el modelado de información de edificación (BIM) y las simulaciones bioclimáticas, permiten integrar estas variables desde el inicio del proceso constructivo, garantizando que los proyectos sean eficientes y aplicados a casos de la vida cotidiana.

En la sexta Edición de la revista *Idea, Construcción y Madera*, exploramos cómo la tecnología aplicada en el ámbito de la construcción puede alejarse de una visión puramente instrumental y convertirse en un medio para crear espacios sostenibles que sean eficientes y técnicamente sostenibles. Porque, como nos recuerda Heidegger, solo cuando comprendamos la técnica no como dominación, sino como posibilidad de apertura y diálogo con el mundo, podremos construir un futuro verdaderamente sostenible y humano.

Que estas páginas sean una invitación a pensar, construir e innovar para habitar de una manera más consciente y sostenible.

Editorial



William Darío Riaño Barón
Deputy Director - Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera

In a world increasingly shaped by technological development, the relationship between humans and technology takes on greater significance. Modern technology is not merely a set of tools we use to transform the world; it is also a way of understanding reality—a means of exploring the possibilities nature provides. In today's context, marked by environmental crises and sustainability challenges, this technological conception raises fundamental questions about how to improve the quality of life for rural and urban populations amid the global changes we currently face.

From a technical perspective, contemporary constructive solutions must go beyond functional efficiency to integrate sustainability principles. This involves adopting renewable materials such as bamboo, wood, and their technological alternatives which provide nature-based solutions and reduce the impact of traditional construction methods. It also requires bioclimatic designs that optimize the use of natural energy through strategies such as solar orientation, cross-ventilation, and thermal insulation. These solutions not only address demand but also reflect effective alternatives to current challenges.

Applied research and innovation are essential to explore new materials, develop low-impact environmental technologies, and refine construction techniques. This approach not only responds to present challenges but also anticipates future needs. Furthermore, innovation in sustainable construction requires democratizing access to technological solutions, making them affordable and replicable across different scales and contexts. Advances in technology, such as Building Information Modeling (BIM) and bioclimatic simulations, allow these variables to be integrated from the beginning of the construction process, ensuring that projects are efficient and applicable to real-life scenarios.

In the sixth edition of the magazine *Idea, Construcción y Madera*, we delve into how technology applied in the field of construction can move away from a purely instrumental view to become a means of creating sustainable spaces that are both efficient and technically sustainable. As we are reminded by Heidegger, only when we understand technology not as domination but as an opportunity for openness and dialogue with the world, we'll be able to build a truly sustainable and humane future.

May these pages serve as an invitation to think, build, and innovate in order to live more consciously and sustainably.

Contenido

6

Caracterización y análisis de las propiedades anatómicas y físicas de la madera de *Polylepis quadrijuga*; proveniente de Guanentá Alto Río Fonce, Santander

- Characterization and analysis of the anatomical and physical properties of *Polylepis quadrijuga* wood from Guanentá Alto Río Fonce, Santander
- Caracterização e análise das propriedades anatómicas e físicas da madeira de *Polylepis quadrijuga* de Guanentá Alto Río Fonce, Santander

22

Propuesta arquitectónica de vivienda de emergencia temporal para la atención post-desastre en el contexto del Archipiélago San Andrés y Providencia

- Architectural Proposal for Temporary Emergency Housing for Post-Disaster Response in the Context of the San Andrés and Providencia Archipelago
- Proposta Arquitetônica de Habitação de Emergência Temporária no Contexto de Resposta Pós-Desastre no Arquipélago de San Andrés e Providência

36

Estudio y diseño de una vivienda campesina mediante el uso de materiales sostenibles y la aplicación de energías alternativas

- Study and design of a rural home using sustainable materials and the application of alternative energies
- Estudo e projeto de uma casa camponesa através da utilização de materiais sustentáveis e aplicação de energias alternativas

52

Diseño de mezclas y elaboración de prototipos de bloques, adoquines de concreto con la utilización de materiales de residuos de construcción y demolición (RCD)

- Design of mixes and development of prototypes of concrete blocks and pavers using construction and demolition waste (CDW) materials
- Desenho de misturas e desenvolvimento de protótipos de blocos e pavers de concreto com a utilização de materiais de resíduos de construção e demolição (RCD)

66

Comunidades rurales sostenibles, valoración de una comunidad del suroriente de Bogotá

- Sustainable rural families: a proposal for a community in southeastern Bogotá
- Comunidades rurais sustentáveis, avaliação de uma comunidade no sudeste de Bogotá.

84

Estimación de la Masa Crítica a Partir de Valores Históricos (1999 a 2019) del Valor de Acción en el Mercado Versus el Número de Usuario en Cinco Ecommerce

- Estimation of the Critical Mass from Historical Values (1999 to 2019) of the Share Value in the Market Versus the Number of Users in Cinco Ecommerce
- Estimativa da Massa Crítica a partir de Valores Históricos (1999 a 2019) do Valor da Ação no Mercado versus o Número de Usuários no Cinco Ecommerce

96

Liderazgo Empresarial: Evolución, Modelos y Retos Futuros

- Business Leadership: Evolution, Models, and Future Challenges
- Liderança Empresarial: Evolução, Modelos e Desafios Futuros

Caracterización y análisis de las propiedades anatómicas y físicas de la madera de *Polylepis quadrijuga*; proveniente de Guanentá Alto Río Fonce, Santander

Johan Sebastián Solorzano Leal¹, Valentina Ali Ospina², Luisa Fernanda Betancourt Murillo³.

¹ cjsolorzano@udistrital.edu.co, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

² lvalio@udistrital.edu.co, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

³ lfbetancourt@udistrital.edu.co, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

- Characterization and analysis of the anatomical and physical properties of *Polylepis quadrijuga* wood from Guanentá Alto Río Fonce, Santander

- Caracterização e análise das propriedades anatômicas e físicas da madeira de *Polylepis quadrijuga* de Guanentá Alto Río Fonce, Santander

Artículo de investigación



Fuente: propia

Resumen

Los bosques de *Polylepis* representan una comunidad vegetal de amplia importancia, lo que implica estados de vulnerabilidad considerables de estos bosques frente a la constante pérdida de la cobertura vegetal a la que son sometidos. El principal objetivo de este estudio es proporcionar información acerca de las propiedades físicas: densidad, contenidos de humedad y la caracterización anatómica: macroscópica y microscópica de la madera de ramas principales de siete individuos de *Polylepis quadrijuga*, provenientes de Guanentá Alto Río Fonce, Santander. Se emplearon probetas de dimensiones específicas (Microscopía: 1cmx3cm; microscopia: 1cmx1cm; propiedades físicas: 5cmx1.5cmx1.5cm), orientadas en los tres planos de estudio de la madera. Finalmente, los resultados reflejan que la especie tiene porosidad semicircular, poros solitarios y en múltiples radiales cortos con presencia de gomas. El parénquima es de tipo paratraqueal vasicéntrico escaso. Presenta platinas de perforación simples, punteaduras intervaseculares circulares areoladas y opuestas, con vasos de engrosamiento espiralado. Los radios son uniseriados o con hasta 4 células radiales todas procumbentes, punteaduras radiovasculares similares a las intervaseculares, con contenidos de sílice y células oleíferas. Las fibras son septadas con pared celular delgada y con presencia de punteaduras circulares y areoladas. La densidad anhidra y básica presentaron valores de 0,57 g/cm³ y 0,48 g/cm³ respectivamente y un CHPSF de 32,90%, CH máximo de 142,35% y un CH libre de 109,44%, confirmando una clasificación de madera medianamente pesada.

Palabras clave: Caracterización Anatómica, Contenido de humedad, Densidad, *Polylepis quadrijuga*.

Abstract

Polylepis forests represent a (a far-reaching importance) plant community which implies significant vulnerability states in these forests with regards to constant loss of vegetation coverage to which they are subjected. This study is designed to provide information about physical properties: density, moisture content and anatomical characterization: seven *Polylepis quadrijuga* subjects in the macroscopic and microscopic main branches wood from Guanentá Alto Río Fonce, Santander. Specimens

of specific dimensions were used (macroscopy: 1cmx3cm; microscopy: 1cmx1cm; physical properties: 5cmx1.5cmx1.5cm), focused on the three wood study plans. Finally, the results reflect that the species has semicircular porosity, solitary pores and in short radial multiples with gums. The parenchyma a sparse vasicentric paratracheal type. It presents simple perforation plates, areolate and opposite circular intervessel pits, with spiral thickening vessels. The rays are uniseriate or with up to 4 radial cells all procumbent, similar to the intervessel-ray pits, with silica contents and oleiferous cells. The fibers are septate with thin cell wall and the presence of circular and areolate pits. The anhydrous and basic density presented values of 0,57 g/cm³ and 0.48 g/cm³ respectively and a CHPSF of 32,90%, maximum CH of 142,35% and a free CH of 109,44%, conferring a medium heavy wood classification.

Keywords: Anatomical Characterization, Moisture Content, Density, Wood, *Polylepis quadrijuga*.

Resumo

As florestas de *Polylepis* representam uma comunidade vegetal de grande importância, o que implica considerável estado de vulnerabilidade dessas florestas à constante perda de cobertura vegetal a que estão sujeitas. O principal objetivo deste estudo é fornecer informações sobre as propriedades físicas: densidade, teor de umidade e caracterização anatômica: macroscópica e microscópica da madeira dos galhos principais de sete indivíduos de *Polylepis quadrijuga*, provenientes de Guanentá Alto Río Fonce, Santander. Foram utilizados espécimes de dimensões específicas (macroscopia: 1cmx3cm; microscopia: 1cmx1cm; propriedades físicas: 5cmx1,5cmx1,5cm), orientados nos três planos de estudo da madeira. Finalmente, os resultados mostram que a espécie tem porosidade semicircular, poros solitários e múltiplos radiais curtos com a presença de gomas. O parênquima é do tipo paratraqueal vasicêntrico esparso. O parênquima tem placas de perfuração simples, circulares, areoladas e fossas circulares opostas entre vasos, com vasos espiralados e espessados. Os raios são unisseriados ou com até 4 células radiais, todas procumbentes, semelhantes às fossas intervaseculares de raios-raios, com conteúdo de

sílica e células oleíferas. As fibras são septadas, com parede celular fina e presença de pontuações circulares e areoladas. A densidade anidra e a densidade básica apresentaram valores de 0,57 g/cm³ e 0,48 g/cm³, respectivamente, e μm CHPSF de 32,90%, CH máximo de 142,35% e CH livre de 109,44%, conferindo uma classificação de madeira média pesada.

Palavras-chave: Caracterização anatômica, Teor de umidade, Densidade, *Polylepis quadrijuga*.

Introducción

Los páramos son ecosistemas propios de la alta montaña los cuales se presentan en específicamente la cordillera de los Andes. El páramo propiamente dicho son extensiones de regiones desarboladas que se presentan por encima de los bosques alto andinos, desde los 3200 msnm hasta los 3800 msnm más o menos y por encima de los 3800 msnm se considera como ecosistema de superpáramo (Cuatrecasas, 1958). En estos ecosistemas se encuentran casi todos los tipos de vegetación, pero generalmente predominan los pastizales, pajonales y frailejones, la vegetación arbustiva y arbórea tiene mucho menos cobertura (Rangel, 2000). Dentro de las especies arbóreas, una de gran importancia corresponde a *Polylepis quadrijuga* la cual crea pequeños parches de bosque pequeños que predominan sobre los otros tipos de vegetación.

Polylepis quadrijuga es una especie de la familia Rosaceae la cual se caracteriza por presentar corteza rojiza laminada, hojas pequeñas, gruesas y cubiertas por resinas. Esta especie tiene una gran adaptación al frío altoandino debido a que su corteza se desprende formando un paquete alrededor del tronco a modo de aislante térmico para protegerlo contra las heladas. Al igual que las otras especies del género, es el único árbol en los andes que crece dentro de la matriz de pastizales de páramo y sobrepasa la línea continua de los bosques (Simpson, 1986, citado en Arellano & Rangel, 2007).

Debido a que es una de las pocas especies maderables de páramo, el uso de su madera para carbón, la tala y la quema de bosques por actividades agrícolas y de pastoreo, los individuos de esta especie son explotados insosteniblemente, no son protegidos en ningún

programa de conservación in situ o ex situ y no se encuentra evaluada en las categorías de la UICN (Arellano & Rangel, 2007).

Por ende, el objetivo de este estudio es realizar la caracterización de las propiedades anatómicas y físicas de la madera de las ramas principales de 7 individuos de la especie *Polylepis quadrijuga*, proveniente de Guanentá Alto Río Fonce, Santander. Con el fin de aportar información de la especie y así tomar acciones de conservación y manejo, en particular, por su uso maderable y por ser una especie endémica en Colombia. (Villarraga, 2018).

Metodología

Área de estudio

El Parque Nacional Natural Santuario de Fauna y Flora Guanentá Alto Río Fonce, se encuentra ubicado en jurisdicción de los departamentos de Santander (municipios Encino, Charalá y Gambita) y Boyacá (municipio de Duitama). Su altitud oscila entre los 2150 - 4000 msnm, con una temperatura entre 10°C-18°C, presentando una vegetación de Bosque andino (70%) y Páramo (30%) (Parque Nacionales Naturales de Colombia, 2018).

Recolección del material vegetal

Se recolectaron muestras de ramas principales de 7 individuos en los bosques de *Polylepis* ubicados en el Parque Nacional Natural Santuario de Fauna y Flora Guanentá Alto Río Fonce. Posteriormente se obtuvieron probetas de dimensiones específicas y orientadas en los tres planos de estudio. El excedente de material fue inventariado y guardado en el Laboratorio de Maderas José Anatolio Lastra Rivera de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Fase de laboratorio

Las pruebas de laboratorio para la identificación de las características anatómicas y propiedades físicas se realizaron en el Laboratorio de Maderas José Anatolio Lastra Rivera de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Bogotá.

Microscopía

Se obtuvo para la caracterización anatómica macroscópica 1 muestra de 3cm de altura para cada individuo.

La caracterización macroscópica se realizó mediante la observación de imágenes de cada plano de orientación obtenidas con el scanner del laboratorio de suelos de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Microscopia

Las muestras utilizadas para microscopía presentan una forma cuadrada de 1 cm por cada lado. Para lograr su hidratación y facilitar el corte, las probetas son sumergidas en agua durante un periodo aproximado de una semana. Luego de ello, se realizan cortes de cada una de las tres secciones: transversal, tangencial y radial en el micrótopo de rotación Leica RM2255. Dichos cortes son sumergidos en safranina durante 1 minuto para el proceso de tinción. El exceso de safranina es retirado con alcohol al 50% primeramente y luego al 90%. Posteriormente, las muestras son mantenidas en xilol puro hasta el momento del montaje para su fijación. El montaje finaliza dejando caer una gota del pegamento Eukitt sobre una lámina portaobjetos en donde previamente se colocan los cortes de las tres secciones, perfectamente cortados y orientados; para sellar con una laminilla.

Biometría

Las imágenes microscópicas fueron obtenidas por medio del Microscopio Carl Zeiss Primo Star con un aumento de 5X, 10X y 40X, y con la utilización del software ImageJ se realizaron las mediciones biométricas teniendo en cuenta las mediciones estipuladas en la Tabla 1. Por lo tanto, se realizaron 70 mediciones para el diámetro y longitud de los vasos y 19 mediciones para la frecuencia de estos; para diámetro de punteaduras y para grosor de las fibras 50 mediciones; y finalmente para radios se hicieron 25 mediciones de altura y ancho cada una y 10 de número de radios/mm. Para el conteo de número de vasos por superficie (mm²) se tuvo en cuenta a los vasos solitarios y agrupados, y cada vaso que conforma a los vasos agrupados se contó como vaso solitario. Para la medición de los diámetros se realizó de manera perpendicular a los radios.

Para la descripción y el análisis de los caracteres anatómicos de la madera, se siguió la nomenclatura propuesta por la International Association of Wood Anatomists (IAWA, 2007).

Tabla 1.

Número de mediciones para cada variable IAWA (2007).

Elemento	Variable	No. Mediciones	Unidad	Plano
Vasos	Diámetro**	70	µm	Transversal
	Frecuencia*	19	Nro poros/mm ²	Transversal
	Diámetro de punteaduras*	50	µm	Transversal
	Longitud*	50	µm	Transversal
Fibras	Grosor*	50	µm	Transversal
	Longitud*	50	µm	Tangencial
Radios	Altura**	25	µm	Tangencial
	Ancho***	25	µm	Tangencial
	Número**	10	Nro radios/mm	Tangencial / Transversal

Fuente: *Número de mediciones mínimas según Scholz et al. (2013), ** Richter y Dallwitz (2000) en Pulido et al. (2011), *** Pulido Rodríguez et al. (2018), *** López Camacho et al. (2020)

Densidad

En el estudio de las propiedades físicas se utilizaron probetas libres de defectos con 5cmx1.5cmx1.5 cm de dimensión, con 4 repeticiones por individuo; se llevó a cabo el proceso metodológico de determinación de densidad mediante desplazamiento de agua, en el cual se mide el volumen de la probeta de madera en función del peso del líquido desplazado por su inmersión (IRAM, 2011), donde se busca estimar el volumen verde y posteriormente, el peso seco, con el peso constante después de la pérdida de agua por secado en estufa a 103 ± 2 °C. Para el análisis estadístico se utilizó el software SPSS, encontrando los parámetros estadísticos para los 28 datos de las respectivas densidades (básica y anhidra).

Resultados y discusión

Microscopía

La madera presenta anillos de crecimiento visibles a simple vista Figura 1E, con porosidad semicircular, los poros son pequeños difícilmente observables con lupa de 10X, su agrupación va desde poros solitarios (Figura 1B) a múltiples radiales cortos (Figura 1A). Se evidencia la presencia de parénquima axial paratraqueal vasicéntrico escaso (Figura 1A). Los radios presentan un

tamaño fino sin estratificación, y no se evidencia canales o floema incluido.

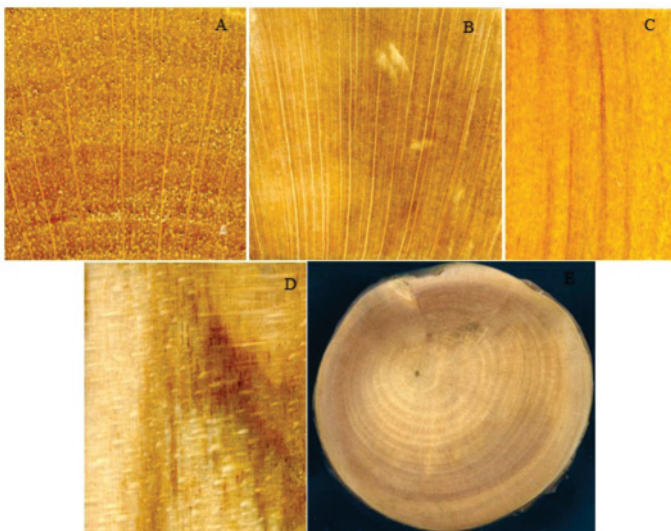
Microscopia

Poros

Como se evidencia en la figura 2 en la sección transversal, los poros presentan una porosidad semicircular, ubicados en disposición radial y su agrupación corresponde a múltiples radiales cortos y solitarios, el parénquima axial es de tipo paratraqueal vasicéntrico escaso y presenta engrosamiento espiralado en los vasos. Su tamaño fluctúa entre 12 y 34 μm y la frecuencia de estos representa una cantidad de 153.08 poros en un área de 1 mm^2 . Teniendo en cuenta la clasificación según IAWA Committee (2007) el diámetro de los poros al ser de >50 μm se clasifican como poros diminutos o muy pequeños, y en cuanto a su frecuencia al ser >100 vessels mm^2 se clasifica como poros muy numerosos.

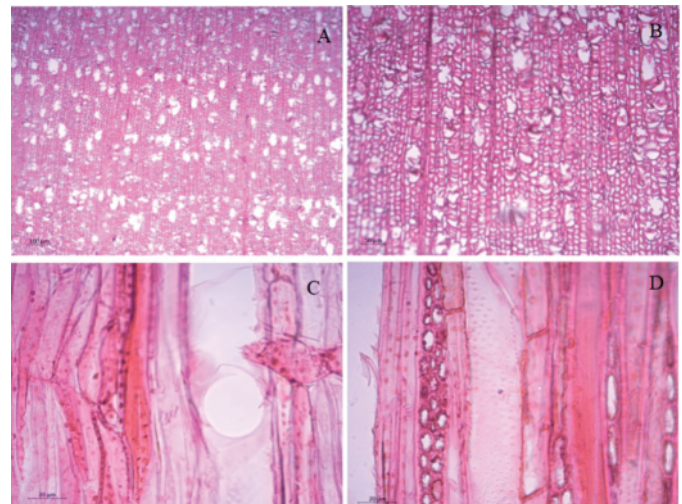
Los vasos presentan platinas de perforación simple en el plano radial y punteaduras intervasculares circulares, areoladas y opuestas las cuales tiene un diámetro promedio de 2.41 μm que las clasifica como diminutas siendo estas <4 μm .

Figura 1.
Descripción macroscópica.



Nota: a y b) Plano transversal. c) Plano tangencial. d) Plano radial. e) Muestra de la descripción macroscópica. Elaboración propia

Figura 2.
Descripción microscópica.



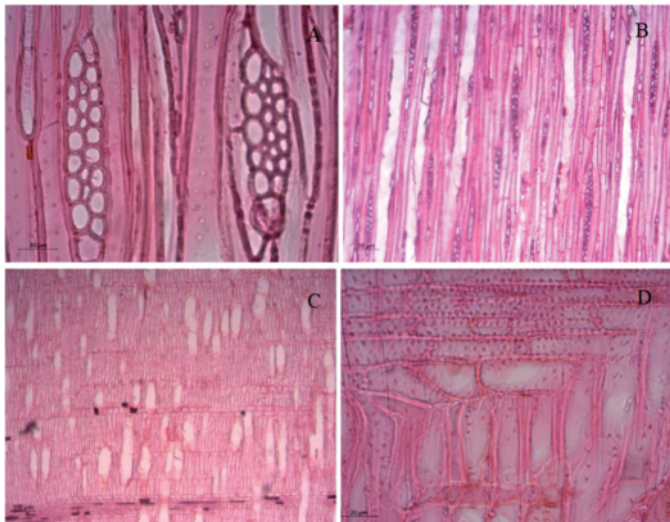
Nota: a) Porosidad semicircular. b) Poros múltiples radiales y solitarios c) Platina de perforación simple. d) Punteaduras intervasculares circulares areoladas opuestas. Elaboración propia

Radios

En la sección tangencial se pueden identificar radios desde uniseriados hasta de 4 células, todas de tipo procumbente. En la sección radial se identificaron punteaduras radiovasculares similares a las intervasculares, y se distinguieron células oleíferas y contenidos de goma y sílice en los radios.

La altura de los radios presenta un promedio de 116,37 μm que los clasifica como bajos estando estos en un rango de 50 a 300 μm , en cuanto a su ancho presentan un promedio de 12.37 que los clasifican en el rango de (10 - 30) los cuales corresponden a una clasificación de radios finos (IAWA Committee, 2007).

Figura 3.
Descripción microscópica.

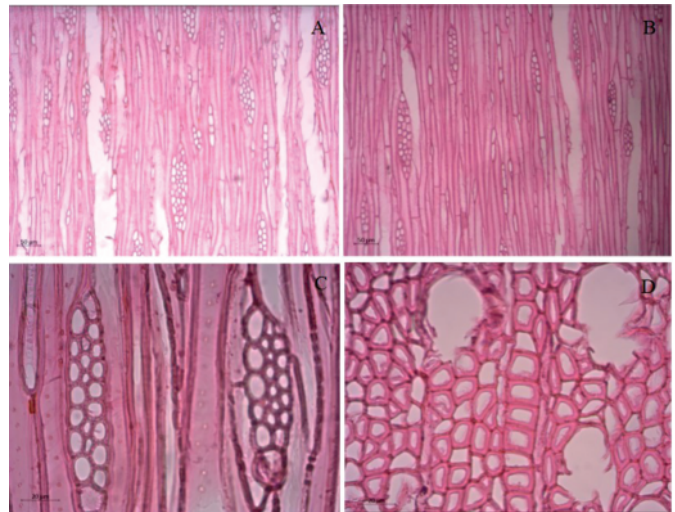


Nota: a) Grosor de los radios b) Radios uniseriados y multiseriados en plano tangencial c) Presencia de células oleíferas y de contenido en los radios. d) Contenido de sílice en los radios. Elaboración propia.

Fibras

Las fibras son septadas con pared celular delgada e igualmente con traqueidas circulares, areoladas y opuestas, de similar tamaño a las traqueidas que presentan los vasos. Estas fibras presentan un grosor entre 1.05 y 1.78 μm , lo cual según IAWA (2007) lo clasifica como fibras de diámetro fino.

Figura 4.
Descripción microscópica.



Nota: a y b) Fibras septadas. c) Punteaduras en fibras. d) Grosor de fibras en plano transversal. Elaboración propia.

Biometría

Tabla 2.
Clasificación de estructuras anatómicas IAWA (1989).

Rasgo anatómico	Medición	Clasificación (IAWA 1989)
Diámetro de poros/vasos	17 a 27 μm	Poros diminutos
Frecuencia de poros/vasos	153,08 und/mm ²	Poros muy numerosos
Grosor de Fibras	5.3 μm	Grosor fino
Altura de radios	116,37 μm	Bajo
Ancho de radios	12.37 μm	Fino
Diámetro de punteaduras	2.4 μm	Diminutas

Fuente: IAWA (2007)

A los elementos microscópicos se les aplicó análisis paramétrico de la varianza ANOVA para medidas repetidas con un alfa $\alpha = 0.05$ para determinar patrones anatómicos entre las imágenes analizadas, correlación y diferenciación de variables.

Tabla 3.

Análisis de ANOVA. A: Frecuencia de los poros. B: Diámetro de los poros. Fuente: Autores.

A	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Selección	5	9649	1929,8	1,948	0,154
Residuales	13	12877	990,5		
B	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
					0,000307
Selección	5	527,7	105,55	5,374	***
Residuales	70	1374,7	19,64		

Elaboración propia.

Se obtuvo según la tabla 3, que los datos de frecuencia de los poros (A) no se tiene diferencias significativas dado a que su valor de Pr es mayor al 0,05 correspondiente al factor de nivel de confiabilidad α . Dado este resultado podemos tomar la hipótesis nula la cual corresponde a que no existen diferencias significativas entre los valores de frecuencia entre cada uno de los individuos, esto se correlaciona a que no hay cambios significativos de las medianas de la frecuencia de los poros dentro de los diferentes individuos evaluados.

Por otro lado, en la tabla 3, el valor de Pr para los datos de diámetros de los poros es cercanos a 0 menor al factor de nivel de confiabilidad $\alpha = 0.05$ por lo tanto esta medición corresponde a una hipótesis alterna lo

cual representa que hay diferencias significativas de los diámetros de los poros dentro de los diferentes individuos, significando esto que el diámetro de los poros si es una variable que puede tener cambios altos dentro de cada individuo.

Para corroborar la distribución y los resultados obtenidos en el ANOVA se realizaron de igual manera la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk tanto para la frecuencia de los poros (A) como para el diámetro de los poros (B), también dado el resultado del ANOVA para el diámetro de los poros (B) se aplicó la prueba de Tukey para verificar y determinar que individuos presentan las diferencias significativas dentro de la medición.

Tabla 4.

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. A: Frecuencia de los poros. B: Diámetro de los poros.

Prueba de normalidad Shapiro-Wilk	
A	W = 0,95205, p-value = 0,4279
B	W = 0,9818, p-value = 0,3468

Elaboración propia.

Como se evidencia en la tabla 4. Para ambas variables, Frecuencia de poros (A) y diámetro de poros (B), el valor de p-value es mayor a 0,05 correspondiente al factor de nivel α , esto nos indica que para ambas variables los resultados tienen una distribución normal de sus mediciones.

Tabla 5.

Prueba múltiple de Tukey para comparación de variables para diámetros de poros entre los diferentes individuos.

Prueba múltiple de Tukey para comparación de variables				
95% family-wise confidence level				
Diferencias entre Individuos				
	Diff	Lwr	Upr	P adj
2-1	5,0804769	-0,3813538	10,542308	0,082923
3-1	-1,1941789	-6,1572178	3,87886	0,9825355
4-1	4,3024	-1,0739508	9,678751	0,1904773
5-1	4,6375	-1,1696225	10,444623	0,1923192
6-1	4,181	-1,626225	9,988123	0,2944366
3-2	-6,2746559	-10,9484815	-1,60083	0,0025836
4-2	-0,7780769	-5,7794837	4,22333	0,9974301
5-2	-0,4429769	-5,9048076	5,018854	0,9998918
6-2	-0,8994769	-6,3613076	4,562354	0,9966335
4-3	5,4965789	0,9229372	10,070221	0,0095172
5-3	5,8316789	0,7586401	10,904718	0,0150054
6-3	5,3751789	0,3021401	10,448218	0,0315437
5-4	0,3351	-5,0412508	5,711451	0,9999706
6-4	-0,1214	-5,4977508	5,254951	0,9999998
6-5	-0,4565	-6,2636225	5,350623	0,9999073

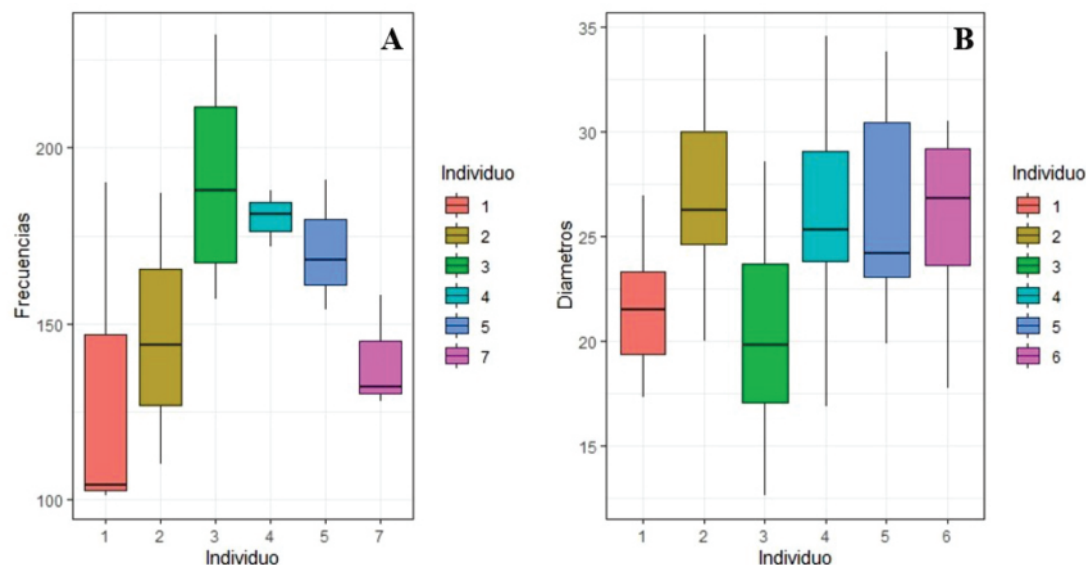
Elaboración propia.

Como se mencionó anteriormente la variable correspondiente a el diámetro de los poros en el análisis de ANOVA se obtuvo que los datos presentan diferencias significativas, este resultado hace referencia a que hay una variabilidad alta del diámetro de los poros dentro de los diferentes individuos evaluados, por ende, es necesario corroborar la información y determinar que individuos son los que presentan dichas diferencias. La prueba de Tukey permite la comparación múltiple dentro de los distintos datos y dentro una de una variable factor (Clifford y Taylor, 2008), en este caso corresponde a los individuos. Esta comparación entre los componentes de la variable factor deben corresponder a un $p < 0,05$ para

considerar que existe diferencias significativas entre los diferentes componentes.

La tabla 5 muestra un resumen de los resultados al comparar el diámetro entre los diferentes individuos. Teniendo esto se evidencia que los resultados determinan que la comparación entre los individuos 3 y 2, los individuos 4 y 3, 5 y 3, y 6 y 3 presentan valores p menores a 0,05, por ende, existe una mayor diferencia de las mediciones de los diámetros de los poros entre los individuos mencionados al ser comparadas, esto representan la diferencia significativa dentro de los resultados del ANOVA.

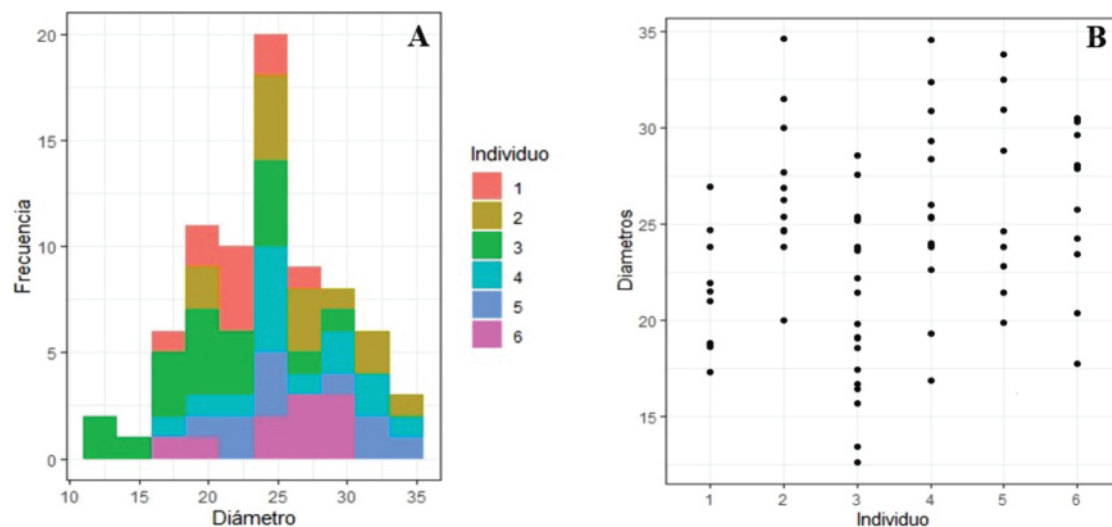
Figura 5.
Distribución del grupo de datos principal con respecto a los individuos analizados.



Nota: a) Frecuencia de los poros. b) Diámetro de los poros. Elaboración propia.

En la figura 5, se evidencia que para la frecuencia de los poros (A), se presenta variabilidad entre los distintos individuos; sin embargo, la mayoría de mediciones de todos los individuos están dentro de un mismo rango por lo que no presenta diferencias significativas dentro de la prueba de ANOVA, también se puede evidenciar que algunos individuos como el 4, 5 y 7 tienen un rango de diámetros más pequeño por lo que son lo que presentan diámetros de poros más homogéneos. Para el diámetro de los poros (B), vemos que los individuos 1 y 3 tienen valores por debajo y un rango menor de variabilidad con respecto a los demás individuos, cual determina la diferencia significativa con respecto a los otros individuos, hecho que se corrobora con la prueba de ANOVA realizada para esta variable la cual muestra diferencias significativas como se mencionó anteriormente y con la prueba de Tukey (Tabla 5) que al comparar estos dos individuos con los demás individuos muestra también diferencias significativas con respecto a la comparación entre los otros individuos

Figura 6.
Dispersión de los valores para el diámetro de los poros.



Nota: a) frecuencia de los valores de los diámetros para cada individuo, b) Dispersión de los valores de diámetro de los poros para cada individuo. Elaboración propia

Para evidenciar mejor la diferencia de los diámetros de los poros para cada individuo también se muestra la frecuencia de los datos de cada individuo dentro de cada una de los rangos de valores de cada una de las medidas (A) donde evidenciamos que donde todos los individuos presentan valores es en el rango de 25 μm donde también la mayor parte de datos se encuentran de 20 a 25 μm y 25 a 30 μm determinando así una distribución normal de los valores como corrobora la prueba de Shapiro-wilk (Tabla 4).

También es importante observar que el individuo 3 es el único individuo que presenta valores por debajo de los 15 μm , el individuo 1 también presenta valores bajos, pero por encima de los 15 μm y no presenta valores altos como los demás individuos lo cual hace referencia los valores significativos determinados anteriormente. Valores que también

se pueden observar en la dispersión de estos valores en la imagen B.

Propiedades físicas

Densidad

En el análisis estadístico se obtuvo que los valores medios de densidad anhidra y densidad básica son: 0,58 g/cm³ y 0,48 g/cm³, respectivamente. Se encontraron diferencias significativas ya que los valores de ($P \leq 0,05$) son muy cercanos a cero, lo cual hace referencia a diferencia entre la distribución de los datos de cada individuo y de las medianas de cada uno de los individuos. La varianza de la densidad anhidra y de la densidad básica se evidencia en las tablas 6 y 7 respectivamente, tal variación se debe a la estructura anatómica, el contenido de humedad y la relación albura-duramen de la especie.

Tabla 6.
Estadística descriptiva.

Estadística Descriptiva			
	<i>Db</i>	<i>Do</i>	<i>Dsa</i>
Media	0,484497785	0,57900872	0,609883409
Error típico	0,009925274	0,01275451	0,01306455
Desviación estándar	0,049626371	0,063772548	0,06532275
Varianza de la muestra	0,002462777	0,004066938	0,004267062
Mínimo	0,382077366	0,417721519	0,448944688
Máximo	0,583202512	0,696100246	0,728514657
Cuenta	25	25	25
Nivel de confianza(95,0%)	0,020484759	0,026324014	0,026963906

Nota: densidad básica (Db), densidad anhidra (Do) y densidad seca al aire (Dsa). Elaboración propia.

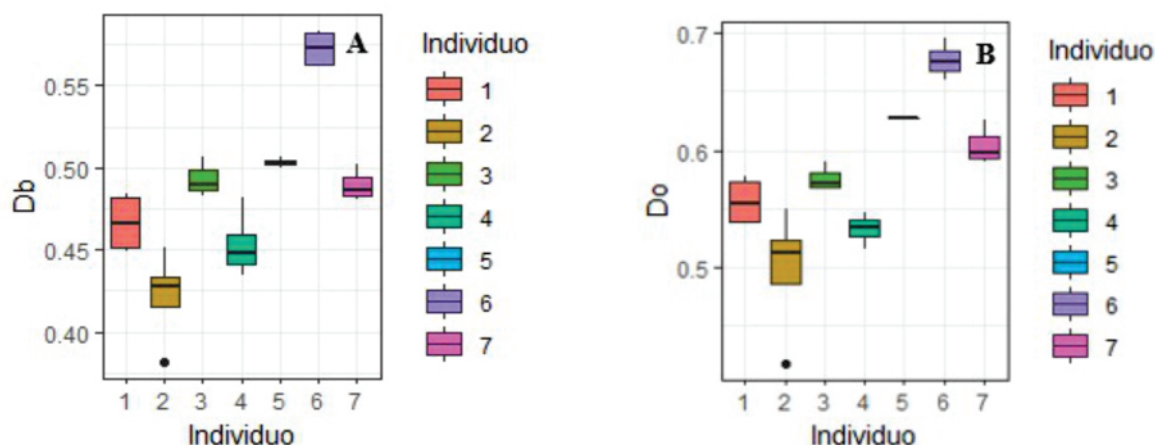
Tabla 7.
Análisis de varianzas (ANOVA) para densidad básica y densidad anhidra.

ANOVA	Pr (>F)
Db	3.44e-08 ***
Do	6.06e-07 ***

Elaboración propia.

Esta información se corrobora en la figura 7, donde se evidencia tanto en la densidad básica (Db) como en la densidad anhidra (Do) la variación de la distribución de las medianas y de los datos en general no se relacionan entre sí, lo que determina los valores cercanos a cero en el ANOVA.

Figura 7.
Densidades determinadas para *Polylepis quadrijuga*.



Nota: A) Densidad básica (Db). B) Densidad anhidra (Do). Elaboración propia.

La figura 7 además de mostrar la diferencia entre las medianas, muestra la diferencia de la distribución de los valores para cada uno de los individuos, donde tanto para densidad básica como para densidad anhidra se evidencia que el individuo 6 es que presenta valores más altos de densidad superando los 0,6 gr/cm³, así mismo el individuo 2 presenta los valores de densidad más bajos para cada una de las densidades, los demás individuos presentan valores de densidad más cercanos entre ellos entre valores de 0,50 gr/cm³ y 0,60 gr/cm³, lo que también evidencia que la diferencia significativa se muestra tanto para densidad básica como anhidra en los individuos 2 y 6.

Contenido de Humedad

El contenido de humedad está en función de la especie,

la densidad básica de la madera, y las condiciones de crecimiento (calidad de sitio, clima, altitud, latitud, composición y espaciamiento de especies en el bosque); de tal forma que influye en el tamaño y espesor de la pared celular y por tanto en la densidad.

El volumen poroso de la madera de *P. quadrijuga* es de 56,95%, tiene una relación directa con el agua libre (109,44%) que se encuentra en el lumen de las células, presentando también una relación inversa con la densidad, es decir que a mayor volumen poroso menor es la densidad de la madera, algo similar ocurre con la cantidad y distribución de parénquima axial y radial. A su vez, el máximo contenido de humedad 142,35%, manifiesta una relación inversamente proporcional al valor de la densidad básica.

Tabla 8.
Estadística descriptiva.

CONTENIDOS DE HUMEDAD			
	CH PSF (%)	CH LIBRE (%)	CH MAX1 (%)
Media	32,90913369	109,4458132	142,3549468
Error típico	1,274795783	4,588396952	4,798539439
Desviación estándar	5,979322231	21,52148938	22,50714501
Varianza de la muestra	35,75229434	463,1745049	506,5715765
Mínimo	22,01030928	76,99080305	104,8003589
Máximo	40,469921	172,7272727	195,0604309
Cuenta	22	22	22
Nivel de confianza(95,0%)	2,651082959	9,542093826	9,979109052

Nota: contenido de humedad punto de saturación de fibras (CH PSF), contenido de humedad libre (CH libre) y contenido de humedad máximo (CH max1).
Elaboración propia.

Discusión

La madera de un árbol presenta una amplia variación entre sus características anatómicas que cambian a nivel género, especie y en algunos casos de individuos, por eso existe la necesidad de categorizarlas ya que la dimensión de estas tiene una gran influencia sobre sus propiedades físicas y sobre su comportamiento frente a las condiciones bióticas y abióticas en las que se encuentra. (Burdon et al, citado en Chumbimune, 2017).

Poros

Como se mencionó anteriormente, los anillos de crecimiento se encuentran definidos por una porosidad semicircular que al ser uno de los rasgos que más varía con la disponibilidad de agua, confirma lo propuesto por Salgado-Negret et al. (2015) ya que hay una tendencia a prestar porosidad difusa en ambientes húmedos y una porosidad semicircular en ambientes xéricos como es el caso de esta especie.

Otro aspecto que cabe resaltar acerca de los poros es su tamaño y agrupación, ya que estos describen la forma en que se conectan los vasos y la agrupación de estos puede ser un mecanismo para evitar el bloqueo del flujo del agua. Por lo tanto, las condiciones xéricas generan que el caudal sea restringido, pero al ser diminutos, agrupados y numerosos aseguran el transporte de la poca cantidad de agua disponible en el ambiente. (Giménez & Moglia, 2017). De igual manera, el número de vasos aumenta a medida que hay déficit de agua lo cual se encuentra relacionado con el índice de vulnerabilidad (Gámez, 2013).

Punteaduras

Esta especie presenta punteaduras diminutas areoladas en disposición opuesta. Las cuales actúan como filtros porosos que permiten el transporte de agua y nutrientes entre los vasos y restringen el paso de burbujas de aire. De igual manera como en los poros, el tamaño diminuto permite evitar la cavitación que se genera con el déficit de agua y mantener el flujo de agua adecuado (Salgado-Negret et al., 2015).

Platinas de perforación

Las platinas al presentarse como perforaciones en los extremos de los vasos permiten la conducción de agua y sales en la planta. Su forma, en el caso de *P. quadrijuga*, están relacionados con la eficiencia que tenga la especie para el transporte de agua y evitar el paso de burbujas de aire (Salgado-Negret et al., 2015).

Fibras

Las fibras representan más del 50% de la estructura celular de la madera (Salgado-Negret et al., 2015) y estas son las encargadas de determinar la resistencia de la madera, ya que funcionan como columnas individuales las cuales reciben parte de las acciones y se apoyan con las células restante (Pazos et al, 2005). Para la especie se clasifican como fibras finas a gruesas, sin embargo, para determinar aspectos funcionales de la especie es necesario tomar otras medidas que se obtienen mediante el desfibrado del tejido xilemático. Esau (2000), citado en Novaes, (2011) menciona que, en los taxones en los que el parénquima axial es extremadamente raro, como en la especie estudiada, las fibras septadas son responsables del transporte y almacenamiento de los productos fotosintéticos.

Punteaduras intervasculares

La especie presenta punteaduras alternas a lo largo de la pared del vaso, poros solitarios y platinas de perforación simple, lo cual según Polanco & Grande, (2009) esto permite una comunicación más eficiente; dado que esta comunicación puede presentarse entre vasos y fibras (también con punteaduras), lo cual supone que las fibras tienen función de almacenaje para situaciones de insuficiencia hídrica, lo cual sería una adaptación para evitar el embolismo.

Radios

Novaes et al. (2010) mencionan una relación directa entre la altura de los radios y la disponibilidad de agua en el sitio, de modo que los radios bajos que presenta la especie reflejan que, en el sitio, existe poca disponibilidad de agua. Así mismo, según lo estipulado por IAWA (2007), León & Espinoza de Pernía (2001), y

Kribs, citado por Polanco & Grande, (2009) la especie tiene un alto grado de evolución al presentar radios bajos con células de tipo procumbente.

Propiedades físicas

Los valores determinados para la densidad básica y anhidra de la madera de *Polylepis quadrijuga* clasifican a la especie como madera moderadamente pesada según dickinson citado en Guevara (2001), ya que sobrepasada valores de densidad anhidra de 0,50 gr/cm³.

También se evidencia la variación entre individuos para las dos densidades (anhidra y básica). Esta variación de la densidad para cada especie e intraespecífica para la misma especie se relaciona con la anatomía y a las condiciones ecológicas en las que se encuentra cada individuo. En cuanto a la anatomía Ziemińska et al. (2013) mencionan que el principal impulsor de la densidad de la madera es el tejido fuera de la luz de los vasos, es decir, se tiene en cuenta el grosor del tejido de las fibras que componen la estructura de la madera de cada especie y el diámetro del lumen de la fibra. Para esta especie tenemos fibras de finas a gruesas lo que explica los valores medios de densidad de la especie.

Según Spavento (2008) en especies con porosidad difusa como la presente, la relación entre el crecimiento anual y la densidad es más compleja debido a la homogeneidad en el diámetro de los poros a lo largo del anillo de crecimiento. En estos casos, la respuesta de la densidad ante variaciones en el crecimiento es especie-dependiente, pudiendo presentar incrementos, decrementos o permanecer constante, en este caso la respuesta a la densidad se ve influenciada por el crecimiento del árbol, que a la vez está influenciado por las condiciones microecológicas que se dan para cada uno de los individuos como la disponibilidad de agua, la temperatura y el suelo, por ende, varía la velocidad de crecimiento para cada uno de los individuos.

Es importante tener en cuenta la densidad de cada especie arbórea y la densidad a nivel de individuo ya que tanto para especie como para individuos, estas

varían y pueden ser importantes para determinar su función en su ecosistema y sus usos potenciales para las comunidades junto con otros aspectos de la tecnología de la madera

El contenido de extractos, que ocupan sitios dentro de la pared celular limitan la atracción entre las moléculas de agua y la madera; lo cual se expresa en CHPSF bajos (Taramit & Fuentes, 2003).

Conocer los parámetros de humedad como: el punto de saturación de la fibra, el contenido de humedad libre y máximo, las características anatómicas y la densidad, permite establecer condiciones de operación y obtener materia prima de excelente calidad para potenciar los usos de la madera de la especie (Taramit & Fuentes, 2003).

Conclusiones

La especie presenta porosidad semicircular, agrupadas en disposición múltiples radiales cortos, presenta un gran número de poros y de tamaño diminutos según la clasificación de IAWA Committee. Esto en rasgos funcionales representa que *Polylepis quadrijuga* tiene características anatómicas establecidas para la conservación y el flujo adecuado de niveles bajos de agua disponible.

En cuanto a la densidad, la especie se clasifica como una especie moderadamente pesada para todos los individuos, sin embargo; hubo una variación de los valores de densidad tanto básica como anhidra, lo cual responde a la anatomía de la madera, que a su vez, esta responde a las condiciones microecológicas a la que cada uno de los individuos está sometido, esto evidencia que la madera es un aspecto ecológico importante para la adaptación y sobrevivencia de las especies a nichos ecológicos específicos.

La medición biométrica permite evidenciar dicho proceso adaptativo de manera cuantificable como en el presente caso que se relaciona grosor de la fibra, diámetro de los poros y frecuencia de los poros a las condiciones ecológicas en las que se encuentra esta especie, más específicamente a la baja disponibilidad de agua en el suelo, dada las condiciones generales

que se encuentran en la vegetación de páramo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por los insumos y los equipamientos necesarios para la realización de este trabajo.

De igual manera agradecen a la Docente e Ingeniera Forestal Nancy Pulido, al Ingeniero Forestal y Auxiliar de Laboratorio de Maderas Juan Felipe Solórzano por su guía, apoyo y aporte de conocimientos en este trabajo. Y finalmente, a la compañera Katherine Mora por aportar el material de campo para este trabajo.

Contribución de autoría

Sebastián Solórzano (ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3891-6494>): metodología, logística, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, revisión y edición.

Valentina Ali Ospina (ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3028-439X>): metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, revisión y edición.

Luisa Betancourt (ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0094-7572>): Investigación, logística, conceptualización, escritura y revisión.

Referencias

- Arellano, H., & Rangel, J. O. (2010). Bosques de Polylepis: Un tipo de vegetación destinada a la extinción. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Chumbimune-Vivanco, S. (2017). Caracterización anatómica y propiedades físicas de la madera de ulcumano (*Retrophyllum rospigliosii*) de una plantación de 32 años asociada con café en villa rica, Perú. (Tesis para optar el título de ingeniero forestal) universidad nacional agraria la molina.
- Clifford, B., Taylor, R., 2008 Bioestadística. Pearson Educación. México.
- Cuatrecasas, J., 1958. Aspectos de la vegetación natural de Colombia. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (40): 221-268.
- Gámez, L. (2013). Estudio ecoanatómico de cuatro especies arbóreas de malvaceae en la estación experiment. Piieria, 37, 45-55.
- Giménez, A. M., & Moglia, J. G. (2017). Ecoanatomía del xilema secundario de las leñosas arbóreas del chaco argentino. In Los Bosques actuales del Chaco semiárido argentino. E (pp. 127-152). Giménez A. M. y J. G. Moglia. <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/publicaciones/libro-ecoanatomia/ecoanatomia-p2-01-gimenez-Ecoanatomia-del-xilema-secundario-de-las-lenosas-arboreas-del-chaco-argentino-Variables-cuantitativas%20%20.pdf>.
- Guevara, H. (2001). Propiedades físico-mecánicas de la madera. Bogotá D.C.: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

- IAWA Committee. (2007). IAWA LIST OF MICROSCOPIC FEATURES FOR HARDWOOD IDENTIFICATION: With an appendix on non-anatomical information (3.a ed., Vol. 10). E.A. Wheeler, P. Baas and P.E. Gasso.
- IRAM. (2011). Norma IRAM 9663. <https://caeau.com.ar/wp-content/uploads/2018/08/Norma-IRAM-9663.doc>.
- López Camacho, R. L., Quintero Gómez, A. Q., & Amado Ariza, S. M. A. (2020). Rasgos funcionales de la madera de tres bosques en Colombia: Bosque Seco, Andino y Alto-Andino. *Ciência Florestal*, 30(3), 856-872. <https://doi.org/10.5902/1980509839184>.
- Novaes, F., Callado, C., Pereira-Moura, M., Lima, H. (2010). Wood anatomy of *Mollinedia glabra* (Spreng) Perkins (Monimiaceae) in two Restinga Vegetation Formations at Rio das Ostras, RJ, Brazil. *Biological Sciences*, 82(4).
- Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2018). Plan de Manejo Santuario de Fauna y Flora Guanentá Alto Río Fonce.
- Pazos, B., Escalona, O., Álvarez, A., & Ronzón, P. (2005). Relación estructura-propiedades de la madera de angiospermas mexicanas. *Revista Universidad y ciencias, Trópico Húmedo*. Vol. 21(42). 45-55.
- Polanco-Tapia, C., & Grande-Pulido, C. (2009). Análisis ecoanatómico, evolutivo y comparativo de la madera de 40 especies de dos asociaciones del bosque altoandino colombiano. *Colombia Forestal*, 12, 183-203.
- Pulido, N., Mateus, D., & Lozano, I. (2011). Vista de anatomía xilemática de Caesalpiniaceae registradas en la xiloteca de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. *Colombia Forestal*, 14(2). <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/3559/5240>.
- Pulido Rodríguez, N., Rodríguez, E., Solórzano, J. F., Mogollón, S., Quintero, A., Amado, S., Suárez, S., & Ariza, J. C. (2018). Propiedades físico-mecánicas y uso de 17 especies forestales Unidad de Ordenación Forestal Yari-Caguán, municipio de Cartagena del Chairá, departamento del Caquetá. Edgar Otavo Rodríguez & Esperanza Nancy Pulido Rodríguez. https://www.researchgate.net/publication/343375809_Propiedades_fisico-mecanicas_y_uso_de_17_especies_forestales_Unidad_de_Ordenacion_Forestal_Yari-Caguan_municipio_de_Cartagena_del_Chaira_departamento_del_Caqueta.
- Rangel, J. O. (2000). COLOMBIA BIODIVERSA III. La región de la vida paramuna de Colombia. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá Colombia.
- Salgado-Negret, B., Paz, H., Pulido Rodríguez, E. N. P., Cabrera, M., Ruíz Osorio, C. R., López Ordoñez, J. P. L., Stiles, F. G., Parra Vergara, J. L. P., Cortés Gómez, Á. M. C., Ramírez Pinilla, M. P. R., Urbina Cardona, N. U., Zamudio, J. E., Herrera-Collazos, E. E., Maldonado Ocampo, J. A., DoNascimento, C., González, M. A., Baptiste, M. P. B., Ruíz Agudelo, C. A. R., & García Martínez, H. G. (2015). La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones (1.a ed.). Beatriz Salgado Negret. http://repository.humboldt.org.co/bitstream/20.500.11761/9299/1/Rasgos_alta.pdf.

- Scholz. A., Klipsch. M., Karimi. Z & Jansen. S. (2013). How to quantify conduits in wood? Frontiersin Volume (4)1. Institute for systematic and ecology, Ulm University. Ulm, Germany .
- Spavento, E., Keil, G. & Monteoliva, S. (2008). Curso de Xilotecnología. Propiedades físicas de la madera. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata.
- Tamarit, J., & Fuentes, M. (2003). Parámetros de humedad de 63 maderas latifoliadas mexicanas en función de su densidad básica. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. 9 (2), 155-164.
- Villarraga. E. (2018). BOSQUES DE POLYLEPIS (ROSACEAE): BIODIVERSIDAD, DISTRIBUCIÓN Y VULNERABILIDAD EN LA CORDILLERA ORIENTAL DE COLOMBIA. Maestría en Ingeniería ambiental. Universidad de los Andes, Bogotá D.C. Colombia.
- Ziemińska, K., Butler, D. W., Gleason, S. M., Wright, I. J., & Westoby, M. (2013). Fibre wall and lumen fractions drive wood density variation across 24 Australian angiosperms. AoB Plants, 5. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plt046>.

Propuesta arquitectónica de vivienda de emergencia temporal para la atención post-desastre en el contexto del Archipiélago San Andrés y Providencia

Mario Fernando Bucheli Caicedo¹, Leidy Tatiana Bermejo Cabrera², Cristian Andrés Abril Baquero³.

¹mbuchelic@sena.edu.co, ²ltbermejo@sena.edu.co, ³caabril266@soy.sena.edu.co.

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, Bogotá, Colombia.

¹Autor de correspondencia.

- Architectural Proposal for Temporary Emergency Housing for Post-Disaster Response in the Context of the San Andrés and Providencia Archipelago
- Proposta Arquitetônica de Habitação de Emergência Temporária no Contexto de Resposta Pós-Desastre no Arquipélago de San Andrés e Providencia

Artículo de investigación



Fuente: propia

Resumen

El aumento en frecuencia e intensidad de eventos de desastre natural tienen implicaciones negativas en las comunidades humanas debido a que la mayor parte de estas se encuentran expuestas a condiciones de riesgo y son altamente vulnerables ante situaciones catastróficas. Las viviendas de emergencia como respuesta en la fase de manejo del riesgo es una alternativa estratégica para fortalecer a las comunidades ante este tipo de situaciones post desastre. Los elementos de diseño que se deben considerar en la implementación de viviendas de emergencia son: la habitabilidad, composición arquitectónica y viabilidad técnica, aspectos críticos en este tipo de viviendas. El objetivo de este proyecto es proponer un prototipo de vivienda de emergencia desmontable, flexible y de fácil construcción, adaptable a las condiciones locales de San Andrés y Providencia que cumpla con la funcionalidad mínima de habitabilidad y proporcione seguridad a las familias afectadas, mejorando la eficiencia y pertinencia de la respuesta ante desastres en el contexto local. La metodología implementada está relacionada con la arquitectura probada, la cual hace referencia a la verificación de propuestas de diseño ya existentes y mejorar sus características para que se ajusten a los criterios de diseño en el contexto del caso de estudio. La propuesta de diseño del prototipo contempla una estructura en madera de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham., basada en el sistema constructivo de entramado liviano, considera un área efectiva de 17,86 m² unifamiliar, integrando la arquitectura tradicional del Archipiélago de San Andrés y Providencia. Se espera validar su viabilidad ante la comunidad raizal para la implementación de mejoras que permitan su aceptación y uso como respuesta en caso de emergencias futuras.

Palabras clave: *Arquitectura tradicional, desastres naturales, raizales, refugio temporal, vivienda de emergencia, vulnerabilidad.*

Abstract

The increasing frequency and intensity of natural disasters have negative implications for human communities as many are situated in high-risk areas and exhibit substantial vulnerability during emergencies. Emergency housing serves as a critical intervention

during the risk management phase, offering a strategic framework to enhance community resilience in post-disaster scenarios. Key design considerations for emergency housing include habitability, architectural composition, and technical feasibility, which are essential for this type of housing. This project aims to suggest a prototype for detachable, adaptable, and rapidly deployable emergency housing tailored to the specific conditions of San Andrés and Providencia. The proposed design prioritizes minimum habitability standards while providing security and stability for affected families, thereby enhancing the efficiency and contextual relevance of disaster response strategies. The methodology adopted is rooted in evidence-based architecture, emphasizing the evaluation and refinement of existing design models to align with the specific requirements of the case study. The proposed prototype features a wood structural system constructed with *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham., utilizing a lightweight frame construction methodology. The design includes a functional area of 17.86 m², optimized for single-family use, and incorporates elements inspired by the traditional architecture of the San Andrés and Providencia Archipelago. A validation process with the Raizal community is planned to assess the design's viability and integrate feedback, ensuring cultural acceptance and practical applicability as a reliable emergency response solution for future disasters.

Keywords: *Emergency housing, natural disasters, raizales communities, temporary shelter, traditional architecture, vulnerability.*

Resumo

O aumento da frequência e intensidade dos desastres naturais representa desafios significativos para os assentamentos humanos, uma vez que muitos estão localizados em áreas de alto risco e apresentam grande vulnerabilidade durante situações de emergência. A habitação de emergência é uma intervenção crítica na fase de gestão de riscos, oferecendo um marco estratégico para fortalecer a resiliência comunitária em cenários pós-desastre. Os principais aspectos de design a serem considerados para habitações de emergência incluem habitabilidade, integridade arquitetônica e

viabilidade técnica, essenciais para garantir soluções funcionais e sustentáveis. Este projeto tem como objetivo desenvolver um protótipo de habitação de emergência destacável, adaptável e de rápida montagem, adequado às condições específicas do Arquipélago de San Andrés e Providencia. O design proposto prioriza padrões mínimos de habitabilidade, ao mesmo tempo em que proporciona segurança e estabilidade para as famílias afetadas, aumentando a eficiência e a relevância contextual das estratégias de resposta a desastres. A metodologia adotada baseia-se na arquitetura baseada em evidências, enfatizando a avaliação e o refinamento de modelos de design existentes para alinhá-los aos requisitos específicos do estudo de caso. O protótipo proposto apresenta um sistema estrutural construído com *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham., utilizando o método de construção leve em madeira. O design inclui uma área funcional de 17,86 m², otimizada para uso unifamiliar, e integra elementos inspirados na arquitetura tradicional do Arquipélago de San Andrés e Providencia. Um processo de validação junto à comunidade Raizal está planejado para avaliar a viabilidade do design e integrar feedbacks, garantindo aceitação cultural e aplicabilidade prática como uma solução confiável de resposta a emergências futuras.

Palavras-chave: Abrigo temporario, arquitetura tradicional, comunidades Raizais, desastres naturais, habitação de emergência, vulnerabilidade.

Introducción

Durante los últimos años, la frecuencia de ocurrencia e intensidad de eventos de desastre de orden natural han incrementado considerablemente en consecuencia de las dinámicas climáticas, lo que implica una condición mayor de vulnerabilidad en las comunidades (Randy R. Rapp, 2011). Cerca del 70% de la población mundial está localizada en áreas urbanas, lo que ha incidido en la expansión física del área construida de las ciudades de manera creciente y no planificada, perjudicando directamente la calidad de vida y propensa a situaciones de riesgo (ONU, 2023). El objetivo de desarrollo sostenible (ODS) sobre ciudades y comunidades sostenibles plantea la necesidad de establecer estrategias locales para la reducción de riesgo a desastres que proporcionen herramientas de

respuesta y mitigación para enfrentar situaciones de emergencia (UNDP, 2004).

Las fases de la gestión del riesgo y atención de desastres contemplan tres procesos fundamentales entre los cuales están: el conocimiento, la reducción y el manejo del riesgo. En este sentido, las características de dichos eventos están condicionadas al lugar de ocurrencia y proporcionan una perspectiva para definir e identificar las estrategias que mitiguen el impacto en eventos futuros (UNGRD, 2022). Los refugios de emergencia comprenden una alternativa de respuesta dentro del proceso de manejo del riesgo, estos están enfocados en proporcionar protección temporal a las comunidades vulnerables afectadas por alguna eventualidad que limite el acceso a la vivienda y reduzca sus condiciones de habitabilidad en una situación post desastre (Prashan Ranasinghe, 2017).

Las viviendas de emergencia temporal (*Emergency temporary housing*) también llamadas refugios temporales (*Temporary shelter*) surgen como respuesta para atender cualquier evento que requiera una intervención humanitaria rápida y eficaz con el objetivo de brindar refugio a los afectados (Félix et al., 2013). Este tipo de viviendas se caracterizan por ser estructuras de rápido montaje, flexibles a las condiciones de la zona, que permita ser autoconstruida, versátil y de fácil transporte; cumpliendo con criterios de funcionalidad que otorgue a las personas afectadas un refugio con las condiciones básicas de habitabilidad y seguridad (Gordillo Bedolla, 2006).

La arquitectura de emergencia como lo menciona Davis (2011), está relacionada con la identificación de las necesidades para «estructurar hábitats», integrando aspectos socioculturales y su interacción con la condición física de su entorno en un contexto particular. Por tal motivo, entender la relación intrínseca entre los conceptos de vivienda, hogar, casa, refugio, alojamiento, morada en esa estructuración, desde el punto de vista etimológico del concepto “habitar”, proveniente del latín “*habitare*” y la acción “*habere*” que significa “tener”; habitar es tener un lugar permanente definido espacialmente, pertenecer a un lugar, estar «*enraizado*» en él (Gordillo Bedolla, 2006).

Es el modo de habitar de una comunidad, el que define ciertos rasgos y características culturales, sociales y políticas entorno a un lugar. (Davis, 2011), sugiere la importancia de entender la estructura cultural antes de realizar una propuesta de diseño de una vivienda de emergencia, entender estos aspectos naturales de la vivienda local, estilos de vida y modelos socioculturales asociados son la base fundamental para una investigación de este tipo. Luego de un evento de desastre, la ruptura y desconexión de la comunidad ante la incertidumbre y la pérdida genera consecuencias de desarraigo y fragmentación social (Archer & Boonyabancha, 2011). Por lo que, la atención y respuesta inmediata a este tipo de eventos debe considerar aspectos sociales que minimicen el impacto post desastre en la comunidad.

El caso de estudio abordado en este documento hace referencia al huracán IOTA ocurrido en el año 2020; el cual, ha sido de los eventos más extremos que afectó a la población insular del Archipiélago de San Andrés y Providencia. Según el informe de la Unidad de Gestión del Riesgo a Desastres (UNGRD, 2022), la evaluación de daños y necesidades reportó para San Andrés 2514 viviendas afectadas y para la isla de Providencia fueron 1976, donde se evidenciaron daños de colapso total en 85 y 908 viviendas, respectivamente. Dada la trayectoria del huracán, el grado de afectación fue mayor en la isla de Providencia, ocasionando afectaciones en 3716 personas.

Teniendo en consideración estos elementos, la situación problema identificada para el desarrollo de este trabajo está enfocada en la siguiente pregunta de investigación: *¿Cuáles son las características de diseño que se deben considerar en la propuesta de vivienda de emergencia que logre conservar los aspectos socioculturales de la comunidad raizal de San Andrés y Providencia ante eventos de desastre y catástrofes naturales?* De esta manera, se propuso estudiar el proceso de diseño de la vivienda de emergencia a partir de tres dimensiones: social, técnica y material, con el fin de determinar los criterios relevantes que permitan consolidar una propuesta para su posterior verificación y validación con la comunidad, estableciendo mejoras que permitan su aceptación y uso en eventos futuros.

Metodología

El nivel de investigación definido para este trabajo es de carácter exploratorio mediante el método inductivo. La metodología se dividió en dos fases: la primera corresponde a la consolidación de información secundaria a partir de búsquedas en bases de datos y libros para el diagnóstico inicial y el reconocimiento de los valores culturales asociados a la comunidad raizal. Para esto, se consideraron las siguientes secciones:

Área de estudio

La localización geográfica de la isla de San Andrés es Latitud: 12°34'42.9" N Longitud: 81°41.984' W, y Providencia y Santa Catalina Latitud: 13° 19' 24" N y Longitud 81°23' 15" W. El área continental es de aproximadamente de 44 km², con dos cabeceras municipales correspondientes a San Andrés y Santa Isabel, en Providencia. Según los datos de población del (DANE, 2020), para el año 2023 se registraron 65,663 habitantes, de los cuales 52.3% pertenecen a la población raizal, 37.6% no pertenecen a ningún grupo étnico y 10.1% se identifican como afrocolombianos (Gobernación del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, 2020).

Consolidación de información

Para la fase de diagnóstico se realizó una búsqueda de información secundaria en bases de datos como *Scopus*, *Science Direct*, *Proquest*, *EBSCOHost*, entre otras y libros especializados en arquitectura, vivienda y construcción en madera y afines a la temática de investigación. Se utilizaron Tesoros para definir las palabras clave y de esta manera optimizar los resultados. A continuación, se muestra un ejemplo de las ecuaciones de búsqueda utilizadas:

("emergency housing" OR "temporary shelter" OR "disaster shelter" OR "crisis accommodation") AND ("disaster management" OR "emergency management" OR "disaster response" OR "crisis management") AND ("humanitarian aid" OR "relief efforts" OR "disaster relief" OR "emergency assistance") AND ("planning" OR "logistics" OR "coordination" OR "implementation") AND ("vulnerability" OR "resilience" OR "recovery" OR "preparedness").

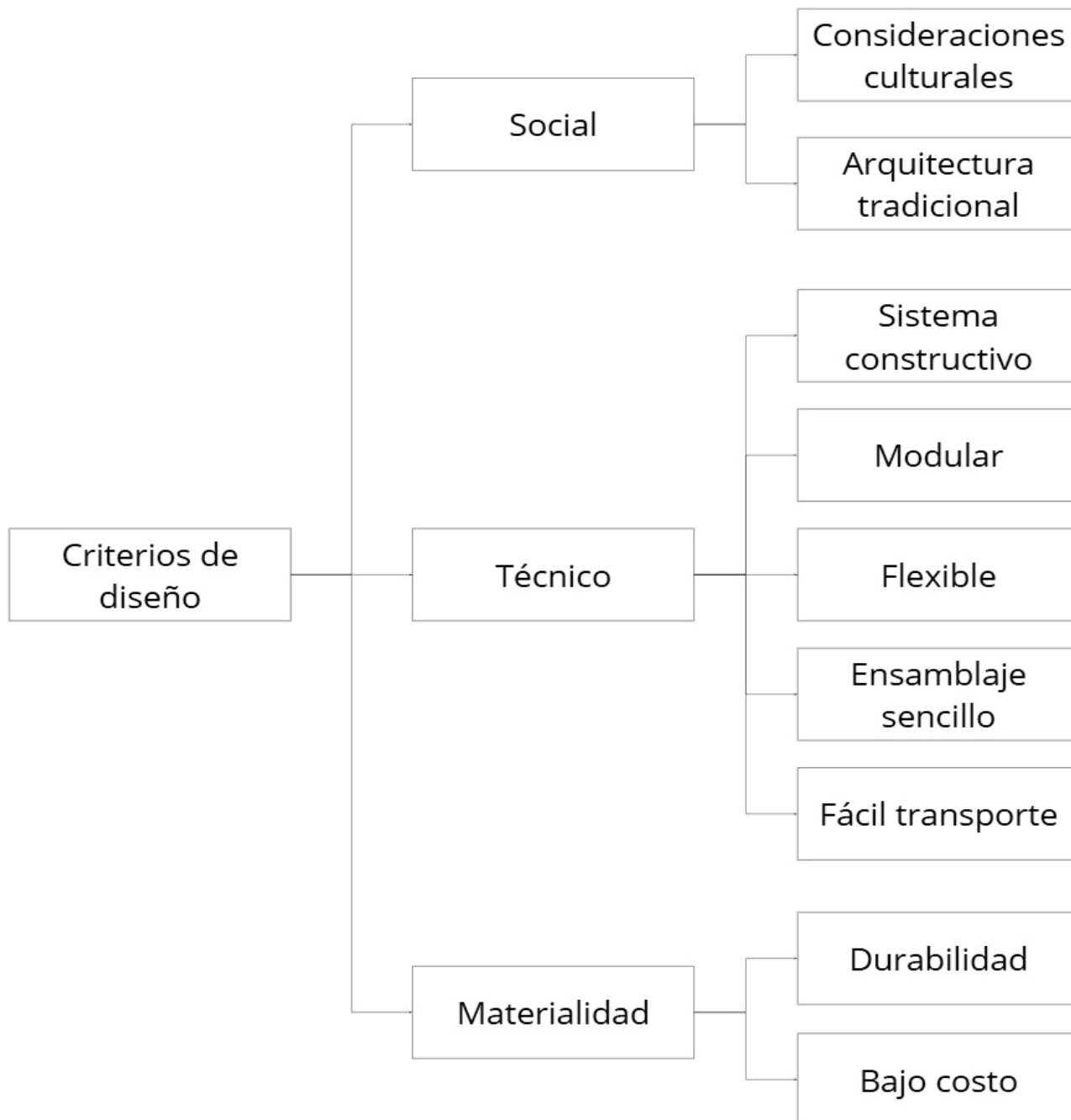
Criterios de diseño

Los criterios de diseño definidos para el prototipo de vivienda de emergencia están enfocados en las tres dimensiones de estudio: social, técnica y material. De acuerdo con Zhu et al., (2018), es indispensable establecer una metodología basada en criterios

previamente definidos que permitan determinar ventajas y desventajas en la fase de uso de la vivienda de emergencia. En este sentido, los criterios seleccionados para la propuesta de diseño de esta investigación son los siguientes (ver Figura 1).

Figura 1.

Criterios de diseño para el prototipo de vivienda de emergencia para San Andrés y Providencia.



Nota. Los criterios de diseño propuestos fueron adaptados al contexto de la presente investigación. Fuente: (Gordillo Bedolla, 2006).

Propuesta de diseño arquitectónica

En la segunda fase, relacionada con el diseño de la vivienda de emergencia, se propuso como metodología la aplicación de la arquitectura probada, la cual busca a través de referentes existentes sobre viviendas de emergencia proponer mejoras que se ajusten a las características particulares del área de estudio. La memoria gráfica de la propuesta se llevó a cabo utilizando *software* CAD (*Computer-Aided Design*) y herramientas BIM (*Building Information Modelling*) Autodesk Revit versión 2023. Para la elaboración de material gráfico en 3D a través de Render se utilizó la versión educativa *Twinmotion* 2023.

Resultados y discusión

Caracterización de la situación de emergencia

Las características del diseño de viviendas de emergencia están dadas por condiciones particulares directamente dependientes del tipo de de desastre, esto incide sobre el grado de vulnerabilidad de las comunidades, la variación de las condiciones de la emergencia y a su vez en los parámetros de diseño de esta. En este sentido, se estableció como referente el evento ocurrido por el huracán IOTA en el año 2020 que afectó el Archipiélago de San Andrés y Providencia. Con el fin de caracterizar la situación de emergencia ocasionada por este fenómeno natural, se presenta en la Tabla 1., la ficha de diagnóstico para el estudio de caso.

Tabla 1.

Ficha de diagnóstico de desastres caso Huracán Iota – San Andrés y Providencia.

Lugar		San Andrés, Providencia y Santa Catalina	
Tipo de fenómeno		Huracán	
Escala Saffir-Simpson		Categoría V (250 km/h)	
Fecha		08 de noviembre de 2020	
Familias afectadas: 1915 San Andrés		Viviendas afectadas: 2514 San Andrés – 1976 Providencia	Descripción de los alojamientos de emergencia utilizados
3716 Providencia.		El martes 17 de noviembre de 2020, se evidenciaron afectaciones en más del 95% de la isla de providencia, generando daños graves en los servicios básicos, en vivienda aproximadamente entre 1.900 y 2.000 viviendas destruidas, agua potable y saneamiento básico, infraestructura hospitalaria, educativa, comercio, y daños ambientales, que impactan gravemente el orden económico y social de su población.	La UNGRD atendió la emergencia otorgando 3000 carpas a los damnificados por el huracán durante los primeros 15 días de sucedido el evento.
Desparecidos:	1 persona desaparecida		
Muertes:	3 personas fallecidas		
Política de alojamiento de emergencia		Política de reconstrucción	
Declaratoria de calamidad pública en el Departamento de San Andrés, Providencia y Santa Catalina - Decreto 0284 del 2020.		Más de 700 mil millones de pesos, se destinaron para la reconstrucción de todo Providencia y Santa Catalina, especialmente para recuperar 1.134 viviendas colapsadas totalmente, 877 viviendas que resultaron afectadas leve o moderadamente, 167 equipamientos turísticos destruidos, 295 establecimientos comerciales e infraestructura de agua potable y saneamiento básico.	
Experiencias			
Luego de cuatro años de ocurrido el huracán IOTA, el informe presentado por la asociación <i>Raizal Development Center Corporation</i> , revela la vulneración de los derechos de la población raizal en el proceso de reconstrucción integral del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. En el cual realizan las siguientes peticiones: i) Finalización de construcción de albergues y refugios, a la fecha no hay ni un solo refugio construido, ii) Construcción de zonas seguras en las viviendas, iii) Recolección y remoción de escombros. En el año 2022, se promueve la Sentencia T333 de 2022: Derecho a la Vivienda Digna, agua potable, saneamiento básico y ambiente sano.			

Nota. La información presentada en esta tabla corresponde al informe de la Unidad Nacional para la Gestión del riesgo de Desastres (UNGRD, 2020) La ficha de diagnóstico fue adaptada y modificada por los autores para el presente estudio. Fuente: (Gordillo Bedolla, 2006).

Según la Gobernación del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (2020), en el registro histórico de huracanes ocurridos en el Departamento, el huracán IOTA ha sido el que mayor impacto ha generado sobre la población de estas islas. Considerando sus características insulares, su vulnerabilidad ante ciclones tropicales es alta, presentándose durante los meses de agosto a septiembre la época de lluvias (Bernet & Torres Acosta, 2022; UNGRD, 2022). Desde la perspectiva de la necesidad de refugio y teniendo en consideración las experiencias vividas a partir de esta situación de emergencia que hasta la fecha sigue ocasionando una problemática social entorno al derecho de la vivienda digna, la necesidad de recuperación del habitar el espacio y la integración de los valores culturales que se han perdido post desastre.

Aplicación de los criterios de diseño

Los resultados obtenidos a partir de la fase de diagnóstico, teniendo en consideración los criterios de diseño planteados desde la metodología, sugieren como aspecto inicial entender las necesidades de vivienda de emergencia de la población del Archipiélago de San Andrés y

Providencia desde una perspectiva social, técnica y material a raíz de las consecuencias generadas por el huracán, siguiendo la dirección de la pregunta de investigación que da origen a este trabajo, a partir del análisis arquitectónico de la vivienda tradicional como lo plantea Davis (2011).

La arquitectura tradicional de San Andrés y Providencia refleja la herencia cultural e histórica, reconocida como Patrimonio Cultural inmaterial de la Nación de acuerdo con la Ley 2134 de 2021. Este estilo arquitectónico no sólo representa una respuesta funcional al entorno, sino que es una representación de la historia, cultura y estilo de vida de la comunidad raizal de San Andrés y Providencia, reflejando una profunda conexión con el entorno natural y una resistencia cultural frente a la modernización. Dicha resistencia, se evidencia en mayor medida en la isla de Providencia, ya que conserva el sistema constructivo tradicional en madera en más del 95% de las viviendas. Caso contrario ocurre en San Andrés, dado que gran parte de los terrenos familiares, ahora corresponden a grandes cadenas de hotelería y turismo, generando un impacto estético sobre el sistema constructivo convencional.

Figura 2.

Tipología de viviendas tradicionales de San Andrés y Providencia.

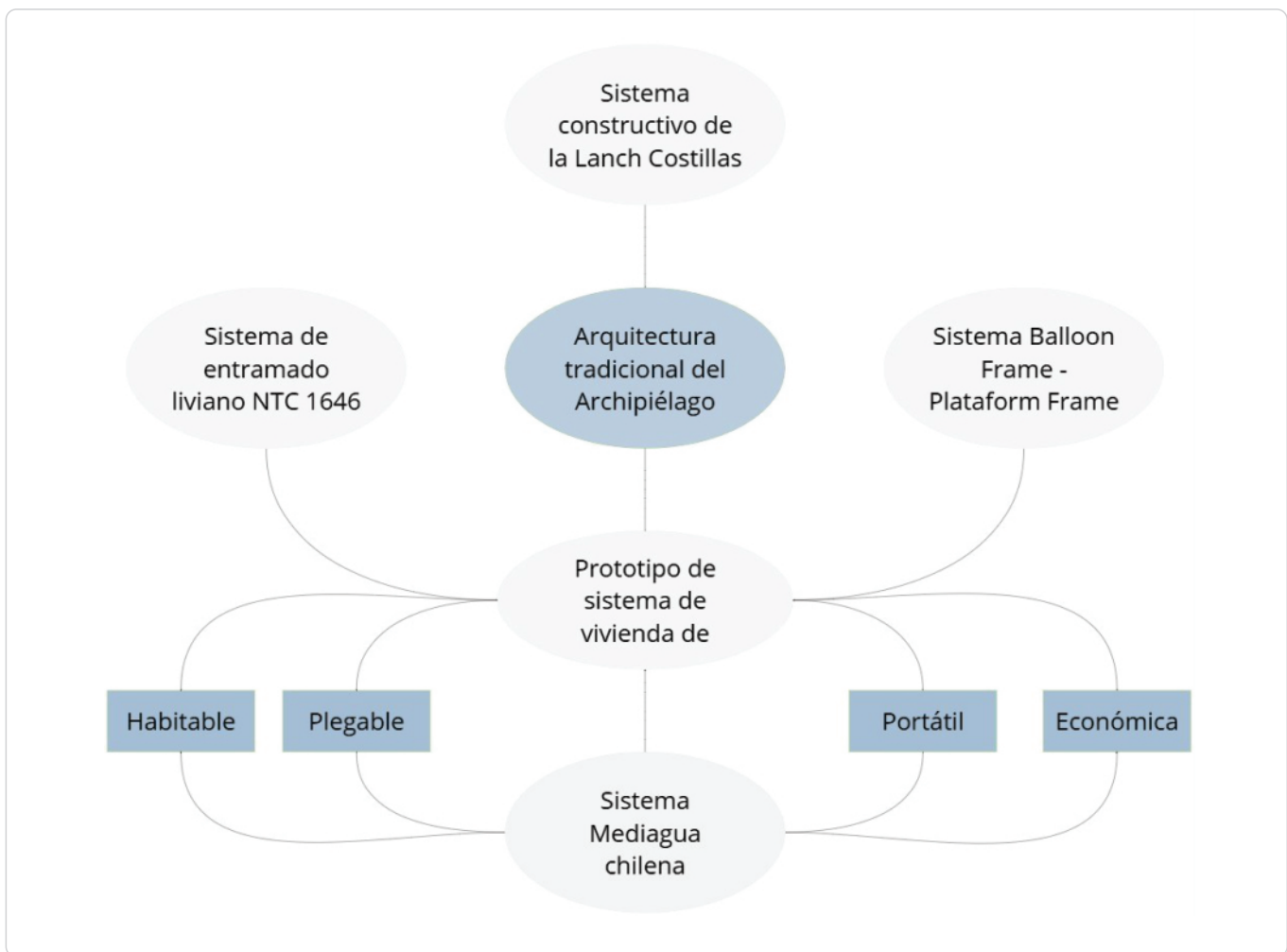


Nota. Las tipologías representadas son modeladas en el Software Autodesk Revit Versión 2023. Fuente: Elaborado por autores.

De acuerdo con Abril Howard (2020), el sistema constructivo arquitectónico está influenciado directamente por las tradiciones culturales entorno a las embarcaciones típicas originarias de las Islas Caimán, denominadas “Cat Boat” la familia Archbold junto a Nicasio Howard y Ricardo Steel, constructores reconocidos de Santa Catalina han contribuido de generación en generación en el sistema constructivo de madera de la isla (Figura 2). La influencia británica en el sistema constructivo refleja el uso particular de sistemas modulares livianos, versátiles como lo son el sistema *Balloon Frame* y *Plataform Frame*, estos sistemas típicos son característicos para entender la arquitectura tradicional (Gordon Pomare, 2020).

En la Figura 3., se esquematizan los componentes identificados como valores culturales necesarios para comprender el contexto de la comunidad afectada desde el punto de vista arquitectónico, en función de incorporar los elementos tradicionales en el proceso de diseño de la propuesta de vivienda de emergencia. Considerando lo anterior, elementos como el sistema constructivo son representativos de la identidad de raizal y establecen una expresión única en el paisaje; así como los detalles arquitectónicos y la distribución de los espacios están ligados a la interacción social propia de la comunidad y la individualidad característica en cada unidad habitacional (Fonseca Ramírez & Saldarriaga Roa, 1984).

Figura 3.
Consideraciones de diseño para el prototipo de vivienda de emergencia.



Nota. Esquema elaborado por autores.

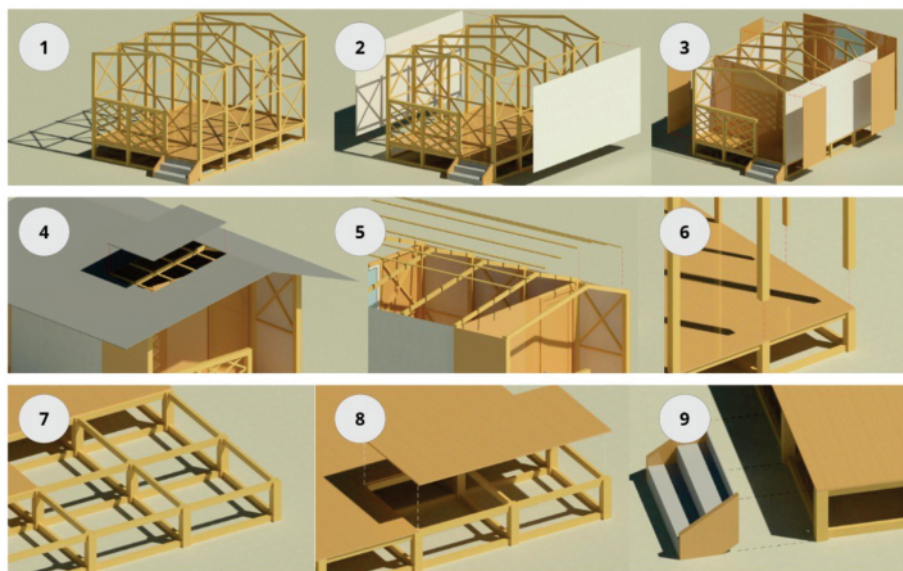
En la revisión bibliográfica sobre viviendas de emergencia temporal, se evidenciaron distintos prototipos con sistemas constructivos enfocados en proporcionar una respuesta inmediata; sin embargo, el sistema de mediagua chilena como referente de vivienda de emergencia, desde la dimensión técnica cumple con los aspectos de habitabilidad, flexibilidad, fácil de transportar y costos mínimos de fabricación (Figura 4). De acuerdo con lo propuesto por Zhu et al., (2018), los criterios técnicos son relevantes a la hora de evaluar un sistema de vivienda de emergencia, ya que esto implica consideraciones operativas para su montaje, luego de ocurrido el desastre.

Figura 4.
Mediagua chilena.



*Nota. Modelado 3D en el Software Autodesk Revit Versión 2023.
Fuente: Elaborado por autores.*

Figura 5.
Proceso constructivo del prototipo de vivienda de emergencia propuesto para San Andrés y Providencia.



Nota. Descripción del proceso constructivo: 1. Instalación del entramado liviano restante, estructura completa. 2. Instalación de lona a los costados. 3. Instalación de paneles. 4. Instalación de tejas en aluzinc. 5. Instalación de correas sobre la cubierta. 6. Instalación de los elementos verticales de la estructura. 7. Estructura base. 8. Instalación de láminas en la base. 9. Instalación de la escalera prefabricada. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo como base estas premisas, se seleccionó este sistema como referente técnico como medio aplicación de la metodología de la arquitectura probada. Estas implicaciones son decisivas para la funcionalidad de la propuesta en términos prácticos (Calle Müller & ElZomor, 2024). En este sentido, el referente de practicidad que ha demostrado el sistema implementado en Chile proporciona elementos para tener en cuenta dentro de la propuesta aquí planteada, a pesar de sus diferencias arquitectónicas con respecto a las viviendas típicas de San Andrés y Providencia.

Propuesta de prototipo de vivienda de emergencia temporal

Integrando las consideraciones de diseño propuestas en las secciones anteriores, el resultado del prototipo de vivienda de emergencia desarrollado busca satisfacer las necesidades de la comunidad desde las tres dimensiones: social, técnica y material. En la Figura 5., se evidencia la visualización gráfica del prototipo, con los detalles constructivos necesarios. El área efectiva de la unidad básica es de $17.86 m^2$, un volumen de $46 m^3$, la estructura base elaborada en madera de *Pinus patula*, siguiendo los principios constructivos del entramado liviano, configurada con un sistema de muros de corte y cerchas que conforman el esqueleto estructural. Esta vivienda de emergencia está pensada para un núcleo familiar de 3 a 4 personas (madre, padre e hijos).

En la Tabla 2., se evidencian las cantidades de material para la elaboración de la estructura base y las dimensiones correspondientes. Para el recubrimiento del prototipo de la vivienda, se empleó tableros de OSB (*Oriented Strand Board*) estructural en los extremos y en la parte media, se contempla el uso de otro material como lona textil para reducir el peso de la estructura, garantizando facilidades en la fase constructiva.

Tabla 2.

Cantidades de material de la estructura de entramado liviano propuesta para la vivienda de emergencia.

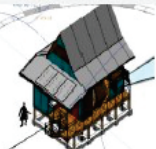
Nombre del elemento	Cantidad	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Longitud (m)	Volumen por pieza (m³)	Vol Total (m³)	Precio Total (\$)
Columnas	20	10	10	0.5	0.01	0.10	\$375,334.60
	20	10	10	2.48	0.02	0.50	\$1,861,659.62
	4	4	8	2.4	0.01	0.03	\$115,302.79
	36	4	8	1.25	0.004	0.14	\$540,481.82
Vigas	26	4	8	1.3	0.004	0.11	\$405,961.90
	21	4	8	1.07	0.003	0.07	\$269,880.59
	18	4	8	1.12	0.003	0.06	\$242,135.86
	5	4	8	2.5	0.01	0.04	\$150,133.84
Cerchas	5	4	8	1.32	0.004	0.02	\$79,270.67
	8	4	8	4.92	0.02	0.13	\$472,741.44
	7	4	8	1.62	0.01	0.04	\$136,201.42
	14	4	8	0.8	0.002	0.04	\$134,519.92
Cortavientos	6	4	8	1.65	0.01	0.03	\$118,906.00
	12	4	8	0.83	0.002	0.03	\$119,626.64
	2	10	10	1.22	0.01	0.02	\$91,581.64
	12	4	4	1.3	0.002	0.02	\$93,683.52
Baranda	8	4	4	1	0.001	0.01	\$48,042.83
Láminas de placa y recubrimiento							
Placa	6	122	2	2.44	N/A	N/A	\$491,400*
Recubrimiento	17	122	1	1.22	N/A	N/A	\$1,919,300*
Total							\$7,666,165.10

*Nota. Las cantidades expuestas en la tabla anterior están sujetas a cambios dimensionales de la unidad básica propuesta. Los precios referenciados en esta tabla están calculados a partir del promedio de varios productos comerciales de madera de P. patula: 3,753,346 \$/m³ para el año 2024. *Los precios de las láminas de placa y recubrimiento corresponden a los precios de tableros de MDF y OSB, respectivamente. Fuente: Elaborado por autores.*

El costo aproximado de los materiales de este prototipo para los elementos de la estructura base en la madera seleccionada es de \$7,666,165 COP, sin considerar los elementos de recubrimiento de lona textil y la cubierta, elementos que incrementan el costo de fabricación en un 30% aproximadamente. Estos costos no consideran impuestos por transporte hasta la isla de San Andrés y Providencia. Dado que el prototipo se encuentra en la primera fase de desarrollo y requiere una aceptación previa por parte de la comunidad, no se presenta un estudio detallado de la viabilidad financiera de la vivienda de emergencia propuesta y se considera como resultado de una investigación posterior.

En la Tabla 3., se presentan algunas propuestas de vivienda de emergencia consultadas a partir de la búsqueda bibliográfica. Si bien, la búsqueda realizada arrojó una cantidad mayor de tipologías de vivienda de emergencia a nivel internacional y nacional, se seleccionaron estas cuatro propuestas, en términos de sistema constructivo, materialidad, tamaño y costo de fabricación. Con el fin de evaluarlas a partir de los criterios de diseño designados para la presente investigación, se evidencian diferencias cualitativas desde la perspectiva del sistema constructivo y la materialidad, el cual se aleja del principio propuesto por Davis (2011), de establecer identidad en el propósito de reconstruir hábitats.

Tabla 3.
Vivienda de emergencia propuestas por otros autores.

No.	Prototipo	Autor	Características	Sistema constructivo	Materiales	Tamaño	Costo (\$)	Imagen
1	Concrete Canvas	Will Crawford y Peter Brewin	El prototipo consiste en "una cubierta dentro de una bolsa". Es una solución de refugio temporal longitudinal que se basa en una tela impregnada de cemento la cual está adherida a un material plástico inflable.	Basado en los principios de la arquitectura efímera.	Utiliza tela de hormigón, adherida a un material plástico inflable, puertas herméticas metálicas y bomba para inflar.	25 m ² - 50 m ²	\$2,585,000 a \$3,964,000 por cada m ²	
2	Mediagua	Noa 18+6.	Vivienda de emergencia auto progresiva, fácilmente adaptada y ampliada por personas o familias en necesidad.	Modular con paneles prefabricados.	Los materiales utilizados con paneles modulares en OBS, con sistema de anclaje de clavos de acero.	18., 27, 36 m ²	\$8,000,000 a \$20,000,000	
3	Arca	Manuel Alejandro Rojas Moreno	Se trata de una combinación entre la arquitectura neumática con los principios estructurales de las tiendas de campaña.	Basado en los principios de la arquitectura neumática.	Se requieren 12 m ² de lona de alta resistencia (polyester) para las paredes, 35,4 m de PVC para la estructura inflable, galgas (0,250 mm) de espesor y 18 m ² de lona morral para el suelo.	15 m ²	\$181,913	
4	Vivienda raíz	Ana María Munar Isaza	Palafítica sobre pilotes en madera, requiere cimentación en concreto reforzado.	Estructura en madera.	Piezas de madera maciza para las columnas, vigas y viguetas. Concreto reforzado para la base, tubería en polipropileno.	35 m ²	\$23,000,000 a \$26,000,000	

Nota. Estas propuestas de vivienda de emergencia son algunos referentes comparativos en cuanto a características, sistema constructivo, materiales tamaño y costo de fabricación. Fuente: Elaborado por autores.

Caso contrario ocurre con la cuarta propuesta realizada por Munar Isaza (2022), enfocada especialmente para el caso de San Andrés. Esta vivienda de emergencia consolida criterios propios de diseño que integran la arquitectura tradicional, lo cual se ve reflejado en el prototipo propuesto. El sistema requiere fases pre constructivas que requieren mano de obra calificada, maquinaria especializada y un tiempo constructivo mayor para su establecimiento, esto afecta considerablemente la operatividad de la vivienda de emergencia. Por otra

parte, el concepto que maneja la autora, está alineado al concepto propuesto por Dutta & Singh (2023), sobre unidades residenciales híbridas, que permite su viabilidad en una fase posterior de la emergencia, brindando posibilidades de estabilidad a la comunidad.

Proponer un sistema de vivienda de emergencia para un contexto particular implica consideraciones de planificación que involucran la participación de diferentes actores territoriales, sociales y políticos (Johnson &

Lizarralde, 2012). El proceso que surge a partir de la consolidación del «objeto», en este caso la propuesta de vivienda de emergencia, visto desde favorecer de manera significativa la integridad de las personas afectadas luego de un evento de desastre y que este sea el medio para alcanzar la estabilidad de la comunidad en la fase posterior a lo ocurrido tras la emergencia, Gordillo Bedolla (2006).

De acuerdo con los autores Dutta & Singh (2023), en las fases de gestión del riesgo, el refugio como medida de atención post-desastre tiene implicaciones muy importantes en la respuesta y la recuperación de la comunidad a corto, mediano y largo plazo. Los autores sugieren, el concepto de unidades residenciales híbridas, este hace referencia a un refugio que cuenta con características particulares de la comunidad y cumple la función de alojamiento provisional, pero con el tiempo tiene la capacidad de modificarse con el fin de satisfacer requerimientos técnicos y estructurales de una vivienda permanente. Esto contribuye de una manera eficiente en la destinación de recursos económicos y a su vez, favorece positivamente la conservación de la estructura social luego de la emergencia.

En contraste con lo anterior, Calle Müller & ElZomor (2024) enfatizan en aspectos críticos que afectan la recuperación de las comunidades si los esfuerzos en la reconstrucción de una zona luego de ocurrido el desastre carece de planificación, estos visibilizan en mayor medida las problemáticas asociadas a la vivienda e infraestructura local. Para el caso de estudio, este factor es relevante dadas las condiciones a las que se ha enfrentado la población luego del huracán, las acciones políticas frente a este hecho no han sido las adecuadas, dado que no considera los criterios mínimos para dar respuesta oportuna a las necesidades de recuperación de la estructura original que da la identidad de la población raizal.

Como lo mencionan Calle Müller & ElZomor (2024), brindar oportunidades de reconstrucción del tejido social como la capacitación de las comunidades en métodos de constructivos y oficios básicos relacionados aportan un cambio significativo en la perspectiva frente a situaciones de emergencia. Esto permite fortalecer la capacidad de acción de las comunidades y su recuperación efectiva (Félix et al., 2013). Teniendo en consideración que, tradicionalmente las viviendas de

San Andrés y Providencia están construidas por personas locales, quienes también han estado ligadas con las construcciones de embarcaciones típicas de la isla (Abril Howard, 2020).

Conclusiones

La propuesta arquitectónica considera los criterios de diseño basados en las tres dimensiones definidas: social, técnica y material, como solución de vivienda de emergencia se consideró un área efectiva de $17,86 m^2$ unifamiliar, basada en el sistema constructivo tradicional de la arquitectura del Archipiélago de San Andrés y Providencia. El costo de fabricación de este prototipo de vivienda de emergencia está aproximadamente alrededor de los \$11.000.000 de pesos, sin considerar costos adicionales de transporte y mano de obra, ya que el prototipo está orientado a que facilite su autoconstrucción por cada familia. Se espera validar su viabilidad ante la comunidad raizal para la implementación de mejoras que permitan su aceptación y uso como respuesta en caso de emergencias futuras.

Finalmente, las características de diseño consideradas en la propuesta de vivienda de emergencia para conservar los aspectos socioculturales de la comunidad raizal requieren la integración a un proceso de planificación de gestión del riesgo para que su viabilidad sea efectiva en términos prácticos. Las fases pre constructivas en la práctica permitirán corregir aspectos generales asociados a las condiciones de infraestructura y servicios básicos deteriorados luego de un evento de emergencia. En este sentido, se considera fundamental la integración de otros actores que contribuyan a la viabilidad de la solución propuesta desde la comunidad, las unidades de gestión del riesgo, la gobernación y demás entes políticos que den continuidad al proyecto y su materialización.

Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado gracias a la financiación del Grupo de Gestión de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA) del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) con recursos de la Ley 344 de 1996, aprobado en la convocatoria 2024 de Proyectos de I+D+i en la línea 66 de investigación aplicada, del Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera (CTCM) – Coordinación de dibujo y modelado Arquitectónico y de ingeniería.

Contribución de autoría

Primer autor (ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1481-3016>): Idea de investigación, metodología, conceptualización del diseño.

Segundo autor (ORCID: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-3078-506X>): Investigación, conceptualización, análisis de información, redacción, revisión y edición.

Tercer autor (ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4997-6781>): Memoria gráfica del prototipo, implementación de herramientas CAD y BIM en el proceso de diseño.

Referencias

- Abril Howard, O. S. (2020). Conocimiento tradicional en la construcción de la embarcación Lanch en las islas de Providencia y Santa Catalina – Caribe Colombiano. Universidad Nacional de Colombia.
- Archer, D., & Boonyabancha, S. (2011). Seeing a disaster as an opportunity – harnessing the energy of disaster survivors for change. *Environment and Urbanization*, 23(2), 351–364. <https://doi.org/10.1177/0956247811410011>
- Bernet, M., & Torres Acosta, L. (2022). Rising sea level and increasing tropical cyclone frequency are threatening the population of San Andrés Island, Colombia, western Caribbean. *BSGF - Earth Sciences Bulletin*, 193, 4. <https://doi.org/10.1051/bsgf/2022003>
- Calle Müller, C., & ElZomor, M. (2024). Addressing Post-Disaster Challenges and Fostering Social Mobility through Origami Infrastructure and Construction Trade Education. *Sustainability*, 16(8), 3415. <https://doi.org/10.3390/su16083415>
- DANE. (2020). Encuesta de Hábitat y Usos Socioeconómicos 2019—ENHAB.
- Davis, I. (2011). What have we learned from 40 years' experience of Disaster Shelter? *Environmental Hazards*, 10(3–4), 193–212. <https://doi.org/10.1080/17477891.2011.597499>
- Dutta, V., & Singh, V. (2023). A Conceptual Plan for Rehabilitation of Disaster-Affected Population in Flood and Cyclonic Regions Using Hybrid Modular Designs. En A. Chakrabarti & V. Singh (Eds.), *Design in the Era of Industry 4.0, Volume 2* (Vol. 342, pp. 467–480). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-0264-4_39
- Félix, D., Branco, J. M., & Feio, A. (2013). Temporary housing after disasters: A state of the art survey. *Habitat International*, 40, 136–141. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2013.03.006>
- Fonseca Ramírez, L., & Saldarriaga Roa, A. (1984). *Vivienda en madera*. San Andrés y Providencia.
- Gobernación del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. (2020). *Ficha técnica de Indicadores Económicos y de Desarrollo* Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

- Gordillo Bedolla, F. (2006). Hábitat transitorio. Vivienda para emergencias por desastres en Colombia. Universidad Nacional de Colombia.
- Gordon Pomare, G. S. (2020). “Raizal flexible house” vivienda flexible en hábitat tradicional. Caso San Andrés islas. Universidad Piloto de Colombia.
- Johnson, C., & Lizarralde, G. (2012). Post-Disaster Housing and Reconstruction. En International Encyclopedia of Housing and Home (pp. 340–346). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-047163-1.00046-1>
- Munar Isaza, A. M. (2022). Modelo de vivienda de emergencia como respuesta a ciclones tropicales. Estudio de Caso San Andrés. Pontificia Universidad Javeriana.
- ONU. (2023). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023: Edición especial. United Nations.
- Prashan Ranasinghe. (2017). Helter-Shelter: Security, Legality, and an Ethic of Care in an Emergency Shelter. University of Toronto Press; eBook
- Randy R. Rapp. (2011). Disaster Recovery Project Management: Bringing Order From Chaos. Purdue University Press; eBook Academic Collection
- UNDP (Ed.). (2004). Reducing disaster risk: A challenge for development, a global report. United Nations Development Programme.
- UNGRD. (2022). Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres: “Una estrategia de desarrollo 2015-2030”.
- Zhu, J., Orooji, F., & Chelson, D. (2018). Optimal Material Selection Algorithm for Post-Disaster Shelters Applying Analytic Hierarchy Process: A Case Study of Refugee Shelters in Germany. Construction Research Congress 2018, 563–572. <https://doi.org/10.1061/9780784481288.055>

Estudio y diseño de una vivienda campesina mediante el uso de materiales sostenibles y la aplicación de energías alternativas

Nelson Castaño Ciro¹, José Alfredo Jiménez², Adrián Londoño Ramírez³, Elizabeth Serna Gutiérrez⁴, Pedro Pablo Díaz Sarmiento⁵.

¹ncastano@sena.edu.co (autor de correspondencia), ²jjjimenezv@sena.edu.co, ³alondonor@sena.edu.co,

⁴eserna@sena.edu.co, ⁵pdiazs@sena.edu.co.

Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción, Medellín, Colombia.

- Study and design of a rural home using sustainable materials and the application of alternative energies.
- Estudo e projeto de uma casa camponesa através da utilização de materiais sustentáveis e aplicação de energias alternativas.

Artículo de investigación



Figura 1. Vivienda rural campesina. Fuente: FreePik con IA.

Resumen

El presente artículo documenta el desarrollo de un proyecto integral para el diseño y análisis de una vivienda campesina sostenible, adaptada a las condiciones y necesidades de comunidades rurales en Colombia. La propuesta busca ofrecer una solución habitacional eficiente y replicable, capaz de responder a los desafíos del déficit habitacional, la sostenibilidad ambiental y las condiciones socioeconómicas del campesinado colombiano. Se seleccionó el emplazamiento dentro de una Zona de Reserva Campesina utilizando herramientas de georreferenciación y sistemas de información geográfica, evaluando aspectos clave como la topografía, las condiciones climáticas y el acceso a recursos naturales. El diseño arquitectónico optimiza la funcionalidad e incluye estrategias bioclimáticas y el uso de materiales locales como bloques de tierra comprimida y guadua. Además, se integraron sistemas renovables como paneles solares y una estufa ecológica de leña. El análisis comparativo entre la vivienda sostenible y un modelo convencional evidenció claras ventajas en términos de costos, consumo energético y huella de carbono.

Palabras clave: *Análisis bioclimático, Energías alternativas, Materiales sostenibles, Vivienda campesina sostenible.*

Abstract

This article documents the development of a comprehensive project to design and analyze a sustainable rural house, adapted to the conditions and needs of rural communities in Colombia. The proposal seeks to offer an efficient and replicable housing solution, capable of addressing the challenges of housing deficit, environmental sustainability, and the socioeconomic conditions of Colombian farmers. The site was selected within a Peasant Reserve Zone using georeference tools and geographic information systems, evaluating key aspects such as topography, weather conditions, and

access to natural resources. The architectural design optimizes functionality and includes bioclimatic strategies and the use of local materials such as compressed earth blocks and bamboo. Additionally, renewable systems such as solar panels and an ecological wood stove were integrated. The comparative analysis between the sustainable house and a conventional model showed clear advantages in terms of costs, energy consumption, and carbon footprint.

Keywords: *Alternative energies, Bioclimatic analysis, Sustainable materials, Sustainable rural housing*

Resumo

Este artigo documenta o desenvolvimento de um projeto abrangente para o design e análise de uma casa rural sustentável, adaptada às condições e necessidades das comunidades rurais na Colômbia. A proposta visa oferecer uma solução habitacional eficiente e replicável, capaz de enfrentar os desafios do déficit habitacional, sustentabilidade ambiental e condições socioeconômicas dos agricultores colombianos. O local foi selecionado dentro de uma Zona de Reserva Camponesa usando ferramentas de georreferenciamento e sistemas de informação geográfica, avaliando aspectos-chave como topografia, condições climáticas e acesso a recursos naturais. O design arquitetônico otimiza a funcionalidade e inclui estratégias bioclimáticas e o uso de materiais locais, como blocos de terra comprimida e bambu. Além disso, foram integrados sistemas renováveis, como painéis solares e um fogão ecológico a lenha. A análise comparativa entre a casa sustentável e um modelo convencional mostrou claras vantagens em termos de custos, consumo de energia e pegada de carbono.

Palavras-chave: *Análise bioclimática, Energias alternativas, Habitação camponesa sustentável, Materiais sustentáveis.*

Introducción

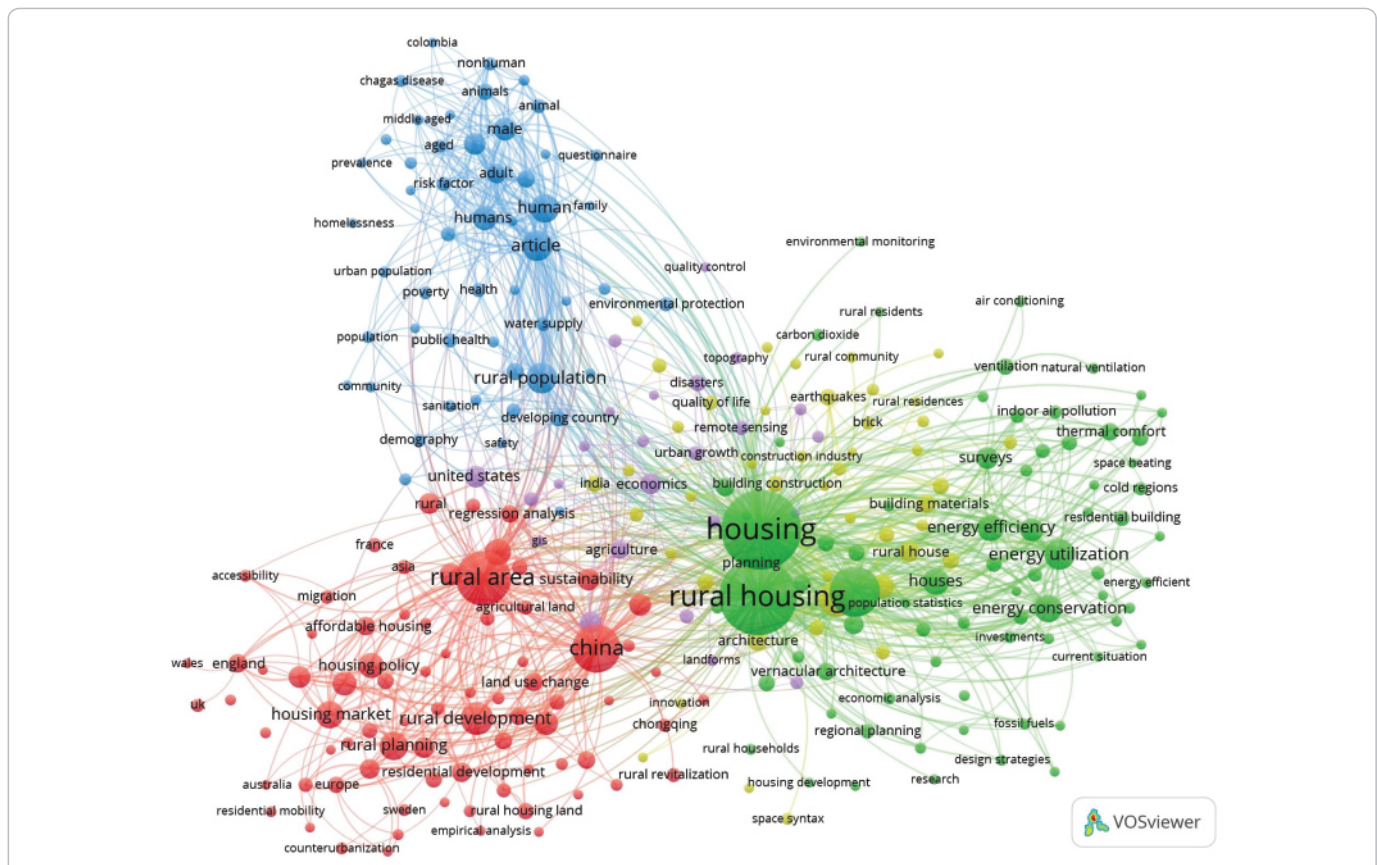
A nivel mundial existe una gran preocupación por el las personas que se encuentran en las zonas rurales y el hábitat en el cual se encuentran. Por ejemplo, la precariedad de salud multidimensional en los campesinos en China (Chen et al., 2024), viviendas campesinas construidas en zonas con pendientes sin estudios geotécnicos (He et al., 2024), resistencia a los sismos de las viviendas rurales en Tanzania (Tibesigwa et al., 2024), la migración y el abandono de los campesinos de sus viviendas por diferentes razones (Han et al., 2024), (Masná et al., 2024), la falta de educación o la calidad de educación muy deficiente (Lu et al., 2025) entre muchos otros aspectos.

Se hizo un análisis cienciométrico en la base de datos Scopus sobre "*rural housing*" que se representan en la figura 2, en esta misma se buscaron las problemáticas asociadas y se encontraron, entre otras, las siguientes: acceso a vivienda, cambio de uso de la tierra, migración

campesina, pobreza, salubridad, confort térmico.

Pero también se encontraron algunas investigaciones que tienden a dar soluciones a estas problemáticas, como, por ejemplo paredes elaboradas con mezclas de arena y caucho para soportar los sismos (Wang et al., 2024), empleo de elementos estructurales reforzados con bandas de polipropileno y bambú para viviendas rurales (Anusha et al., 2022), optimización de la calefacción en viviendas rurales en climas fríos (Xi et al., 2024), optimización de desempeño energético (Sarkar, 2024) y (Cortes Forero, 2024), seguridad alimentaria para los habitantes de viviendas rurales (Alcázar Sanchez, 2022) y (Castañeda Ruiz, 2020), manejo de aguas residuales (Hinestroza & Nickerson, 2022), pero también se encontró investigaciones sobre la importancia de la mujer en el campo (Salas Velásquez, 2022) con miras a cumplir los objetivos de desarrollo sostenible (ONU, 2015).

Figura 2.
Nube de palabras de "rural housing" en Scopus.



Fuente: tomado de VOSviewer.

El campo colombiano no es la excepción a las anteriores problemáticas, enfrenta desafíos significativos, incluyendo la alta concentración de tierras, el aumento de precios de insumos y la escasez de jóvenes en áreas rurales (García Giraldo, 2020). A pesar de su importancia para el desarrollo económico del país, el campo atraviesa una crisis profunda, evidenciada por la importación de aproximadamente 14 millones de toneladas de alimentos al año (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria - UPRA, 2024). La población rural representa más del 30% del total nacional, y gran parte del territorio colombiano es rural (Departamento Nacional de Planeación, 2020).

En este contexto, el proyecto "Estudio y Diseño de una Vivienda Campesina Mediante el Uso de Materiales Sostenibles y la Aplicación de Energías Alternativas" surge como una respuesta a la necesidad de soluciones habitacionales que sean sostenibles y adaptadas a las condiciones específicas del entorno rural colombiano. El objetivo fue diseñar una vivienda campesina con el uso de materiales sostenibles y la aplicación de energías alternativas para el mejoramiento de las condiciones habitacionales del campesinado colombiano aplicado en alguna zona de la geografía colombiana. Este proyecto se enmarca en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la Agenda 2030, que buscan reducir el impacto ambiental y promover el desarrollo sostenible a nivel global (ONU, 2015).

El proyecto se desarrolló en el Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción, utilizando la metodología BIM (Building Information Modeling) para optimizar el diseño y evaluar el rendimiento energético de la vivienda. La propuesta incluye el uso de materiales locales como bloques de tierra comprimida y guadua, así como la integración de sistemas de energía renovable como paneles solares y estufas ecológicas de leña. Estas estrategias buscan no solo mejorar las condiciones de vida de las comunidades campesinas, sino también reducir la huella de carbono y fomentar la autosuficiencia energética.

El análisis comparativo entre la vivienda sostenible y un modelo convencional mostró ventajas significativas en términos de costos, consumo energético y sostenibilidad ambiental. Este artículo presenta los resultados del

proyecto, destacando las estrategias implementadas y su impacto en la mejora de las condiciones habitacionales en el campo colombiano.

Metodología

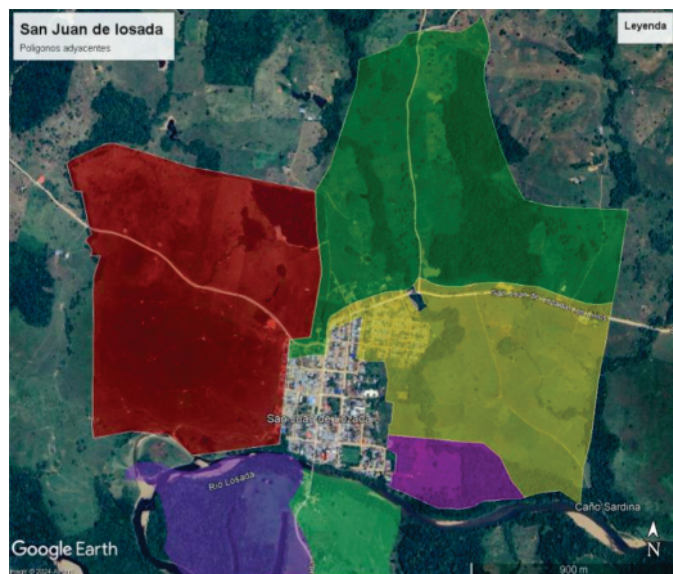
El proyecto se desarrolló bajo un enfoque de investigación aplicada y se llevó a cabo en cuatro etapas principales a lo largo de 10.5 meses.

Una primera etapa de emplazamiento, que si divide en las siguientes etapas:

1. Búsqueda de zonas de reserva campesina (ZRC) declaradas por el actual gobierno nacional, información cartográfica detallada: Se estudió el documento de las ZRC de la Pontificia Universidad Javeriana (Duarte et al., 2023) la cual especifica 7 ZRC a saber: La Tuna (Cauca), Pato Balsillas (Caquetá), Perla Amazónica (Putumayo), Guaviare, Sumapaz, Venecia y Cabrera (Cundinamarca) (Ambiente, 2024).
2. Información estadística de población e índice de pobreza multidimensional de esas zonas cruzada mediante SIG con la información cartográfica.
Después de identificadas las ZRC, se procedió a reanalizar una clasificación del índice de pobreza y de población. Se seleccionó la zona de San Juan de Losada - Meta por presentar los índices más altos, datos suministrados por el DANE (DANE, 2023). Los datos fueron: 10.000 habitantes con un índice de pobreza que oscila entre un 65.9% y 63.2%
3. Selección de las zonas para la implantación de la vivienda: Se empleo una herramienta digital llamada Green Building Studio para hacer análisis del clima, temperatura, humedad relativa y otra información importante para la investigación (Cong, 2024).
4. Selección del sitio del emplazamiento de la vivienda: La ZRC es muy grande para ubicar una vivienda, por lo que se diseñaron poligonales. Se seleccionó una poligonal relativamente plana y situada fuera de la población principal, con el fin de reducir el impacto ambiental y facilitar el acceso a

recursos naturales para la construcción la cual se presenta en la figura 3 de color verde. En esta fase también se hizo un estudio topográfico de la zona mediante herramientas digitales como Google Earth.

Figura 3.
Poligonales de lotes adyacentes al corregimiento de San Juan de Losada.



Fuente: elaboración propia.

Una segunda etapa fue el modelo de la vivienda campesina con materiales sostenibles con el software Revit que incluye: modelo estructural, modelo de redes hidrosanitarias, modelo de redes eléctricas, modelo de interior de la vivienda. Lo anterior teniendo en cuenta el número de habitantes promedio de una familia de esa región. Se incluyó sistemas de recolección de aguas lluvias integrando una bomba de ariete, un sistema de paneles solares fotovoltaicos de acuerdo a un consumo energético de la unidad habitacional.

En una tercera etapa se hizo el estudio bioclimático y estudio energético, también empleando la aplicación de Autodesk Green Building Studio, para luego comparar su desempeño con un modelo de una vivienda típica con materiales convencionales. Con el mismo software de Civil 3D se consiguió la información necesaria sobre la topografía y las condiciones climáticas de la ZRC seleccionada, lo cual se observa en la figura 4. Estos datos

son fundamentales para diseñar una vivienda que se adapte adecuadamente a las condiciones locales y que cumpla con principios de sostenibilidad y eficiencia energética.

Figura 4.
Topografía de San Juan de Losada.



Fuente: elaboración propia.

La cuarta y última etapa fue el análisis de precios unitarios (APU) del modelo de vivienda sostenible y se comparó con el APU del mismo modelo de vivienda, pero con materiales convencionales.

Resultados y discusión

1. Emplazamiento

Con las zonas de reserva campesina (ZRC) mencionadas anteriormente se hizo un análisis de la pobreza multidimensional y del número de habitantes, datos consultados por el DANE (DANE, 2024). Estos resultados se muestran en la tabla 1. En esta misma se puede observar que la zona con índice de pobreza multidimensional municipal más alto es la zona ubicada en Losada—Guayabero (La Macarena y Uribe), Meta entre 65.9% y 73.2%, con una población aproximada de 10.000 habitantes. Esta zona mostró gran interés para la investigación pensando que con el desarrollo de este modelo impactaría a un mayor número de personas.

La zona seleccionada tiene un área de 163.735 hectáreas, lo cual es muy grande para poder decidir en que parte específicamente se hará el modelo de la vivienda. Se buscó un punto donde estuviera la mayor concentración de personas, siendo este el corregimiento de San Juan de Losada.

Tabla 1.
Datos Estadísticos Zonas de Reserva Campesina.

Ubicación	Población en ZRC ANT	Medida de pobreza multidimensional municipal	Altitud media m.s.n.m.	Extensión Hectáreas (ha)
Tuluá, Valle del Cauca	5.645	24.5%	966	33.293
Venecia Parte Alta, Cundinamarca	259 familias	44.1%	1560	8.473
Togüí, Boyacá	15,475 400 familias	55.7%	1655	6.949
La Tuna (Santa Rosa), Cauca	3.300	69.8%	1574	176.195
Güejar–Cafre (Puerto Rico), Meta	—	57.8%	233	33.614
Losada–Guayabero (La Macarena y Uribe), Meta	10.000	73.2% y 65.9%	233	163.735
Sumapaz, Bogotá	1.700	31.5%	3500	22.765

Fuente: Elaboración propia.

Este contexto socioeconómico y la necesidad urgente de intervención justifican la elección de esta zona y dentro de esta el lote específico para la implementación de la vivienda campesina sostenible. La decisión de escoger esta ZRC se basó también en el potencial de generar un impacto positivo y mejorar la calidad de vida de la comunidad campesina, promoviendo la equidad y la sostenibilidad en una de las regiones más desfavorecidas de Colombia.

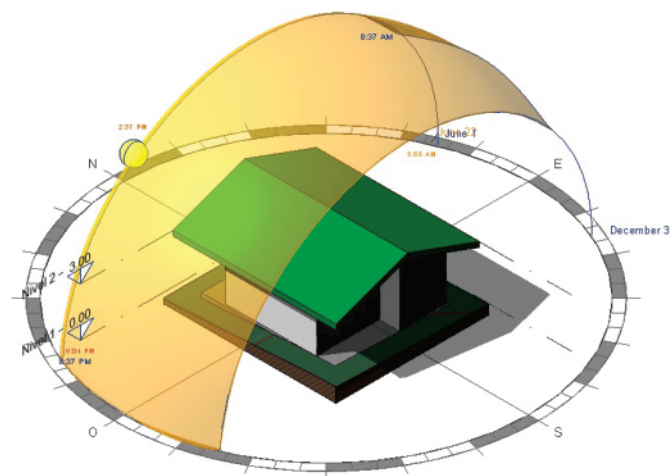
2. Estrategias bioclimáticas

El análisis de emplazamiento también permitió obtener información climática, rango de temperaturas en el año, iluminación natural, topografía del terreno, nivel freático (importante para las cimentaciones), entre otros factores.

Esto permitió orientar la vivienda en dirección nort-sur, figura 5, ubicando los espacios con menor exposición a la radiación solar, como las habitaciones, hacia el oriente. Con esto se logra un mejor confort térmico a los habitantes, disminuyendo el impacto del sol, reduciendo el riesgo de sobrecalentamiento por acumulación de masa térmica. adicionalmente, se

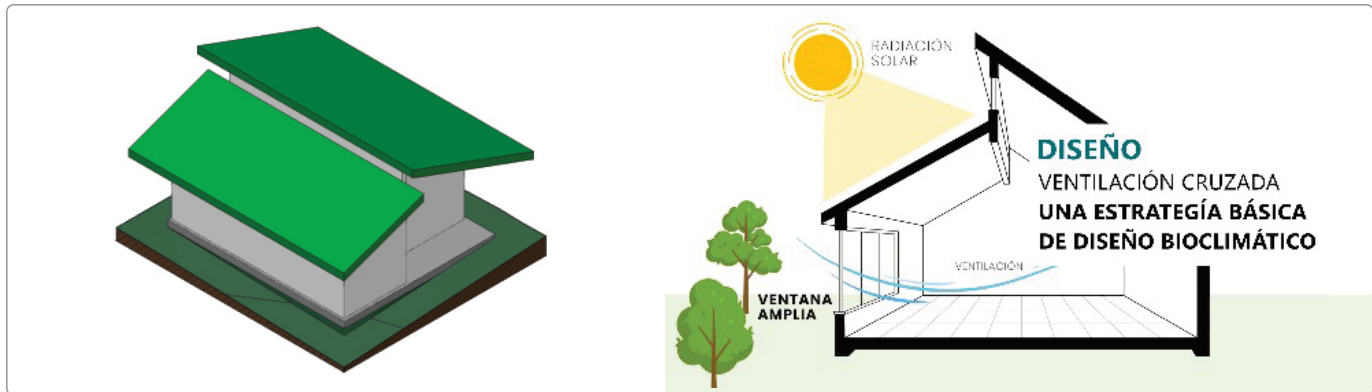
diseñaron alturas de enrase significativas en los interiores para favorecer la circulación del aire y disminuir la sensación de calor, aprovechando los beneficios de los techos altos en climas cálidos.

Figura 5.
Análisis de orientación y asoleamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.
Sistema de techos (izquierda) y ventilación cruzada (derecha).



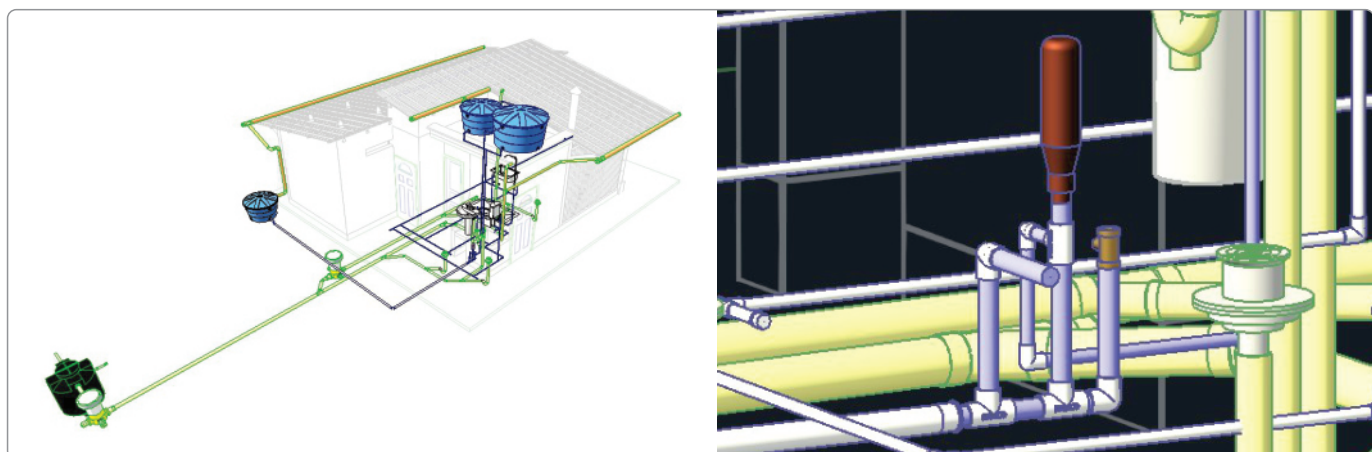
Fuente: izquierda, elaboración propia, derecha (Optivent, 2023).

La vivienda se modeló con un techo a dos aguas con desfase (figura 6 izquierda), maximizando la entrada de iluminación natural en las zonas sociales y la circulación de aire dentro de los espacios; adicionalmente se diseñó una ventilación cruzada (figura 6 derecha) con la incorporación de aberturas superiores e inferiores en los muros. Estas aberturas permiten mantener un flujo constante de aire, incluso con las puertas y ventanas cerradas, asegurando un ambiente interior fresco y confortable.

Se incluyeron aleros para proteger los muros de la radiación total directa, los cuales proporcionan sombra reduciendo la temperatura interior. En algunas partes de la cubierta se insertaron “botellas de luz” aprovechando la luz difusa, lo cual incrementa la iluminación natural sin recurrir al uso constante de iluminación artificial, contribuyendo a la eficiencia energética.

De acuerdo a los datos consultados, se encontró que la zona tiene una alta precipitación, por esta razón se diseñó un sistema de captación de aguas lluvias para cubrir parte de las necesidades. Estas estrategias, integradas desde el análisis bioclimático, reflejan un enfoque de diseño orientado a garantizar el confort, la eficiencia y la sostenibilidad. En el sistema se incluyó una bomba de ariete para abastecer los tanques de almacenamiento del sistema de captación de aguas lluvias. Este mecanismo, que opera sin necesidad de electricidad, utiliza la energía hidráulica (“golpe de ariete”) para transportar el agua, lo que lo convierte en una solución eficiente y adecuada para entornos rurales, figura 7. Adicionalmente, el proyecto incluye la instalación de un sistema de tanques sépticos, diseñado no solo para gestionar adecuadamente las aguas residuales, sino también para generar gas natural combustible como subproducto, proporcionando así una fuente energética adicional y reforzando el carácter sostenible del diseño.

Figura 7.
Sistema hidrosanitario con captación de aguas lluvia (izquierda) y bomba de ariete (derecha).



Fuente: elaboración propia.

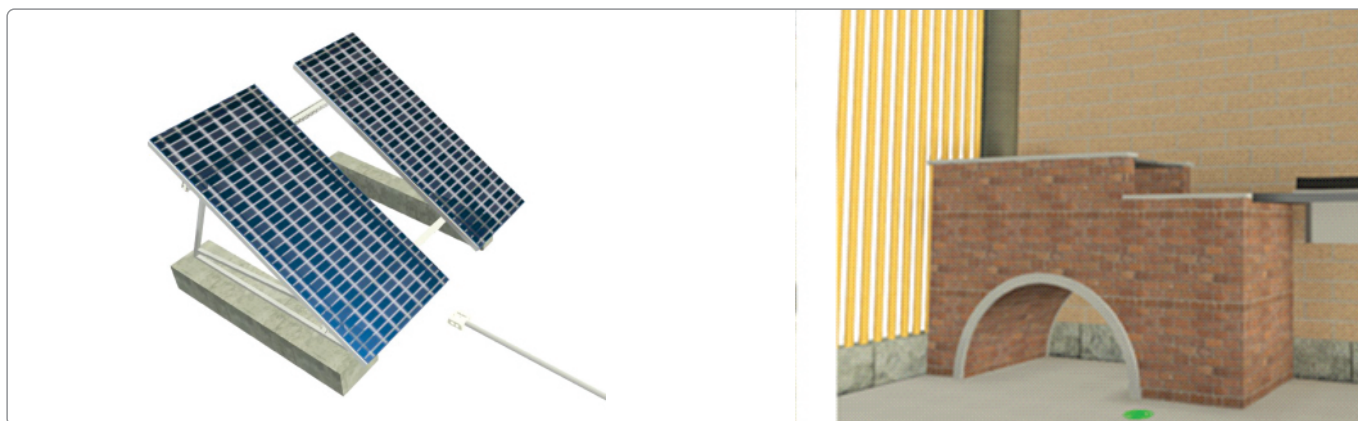
3. Estrategias sostenibles

El modelo de la vivienda integra diversas estrategias destinadas a maximizar la sostenibilidad y eficiencia de la vivienda, abordando tanto las necesidades energéticas como el manejo de recursos y residuos. Una de las soluciones clave es la incorporación de un sistema de paneles solares para la generación de energía, que proporciona una alternativa limpia y renovable, reduciendo la dependencia de fuentes no renovables y adaptándose a las limitaciones de acceso a la red eléctrica en zonas rurales. Esto responde a las limitaciones en el

acceso a las redes públicas de electricidad en la zona y se alinea con el objetivo de convertir el proyecto en un modelo autosostenible. Este sistema se encuentra especialmente diseñado para cubrir las necesidades de la población habitacional fomentando la autosuficiencia energética, clave para el contexto rural en el que se desarrolla el proyecto. Además, para ser más eficientes energéticamente, se diseñó un fogón de leña cuyo propósito es reducir de manera significativa el consumo energético. Ambos sistemas se pueden observar en la figura 8.

Figura 8.

Estrategias sostenibles de paneles solares (izquierda) y fogón de leña o estufa ecológica (derecha).

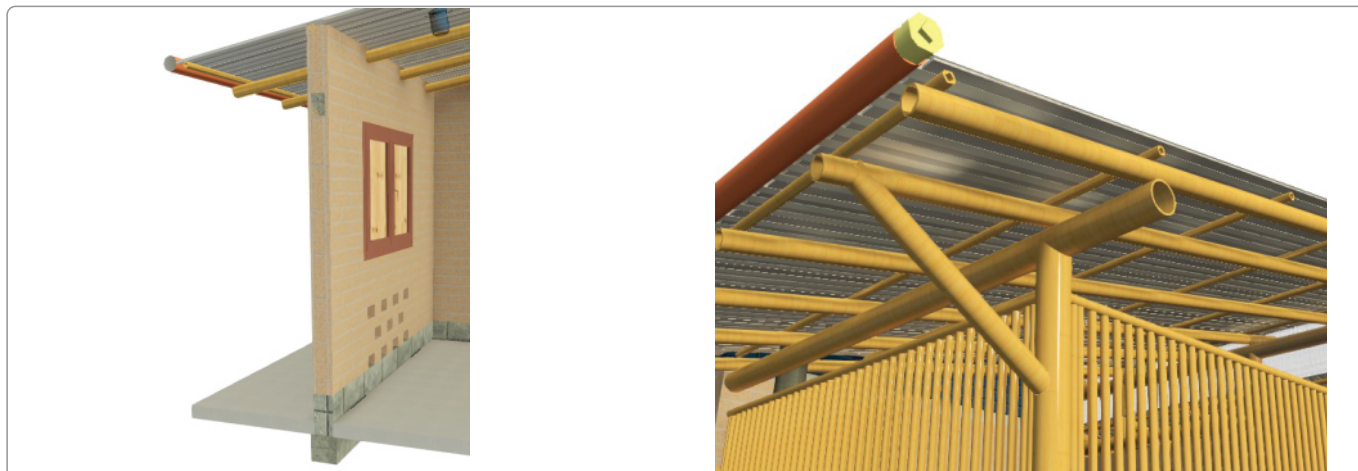


Fuente: elaboración propia.

Se eligió el Bloque de tierra comprimida (BTC) para las paredes y el bambú como material estructural, figura 9. Estos materiales están disponibles en la zona como alternativa de los materiales alternativos de construcción reducen el impacto ambiental del proyecto y la huella de carbono asociada al transporte y la fabricación de insumos, alineándose con los principios de sostenibilidad y respeto al medio ambiente.

Figura 9.

Estrategias sostenibles: ladrillos de BTC (izquierda) y bambú (derecha).



Fuente: elaboración propia.

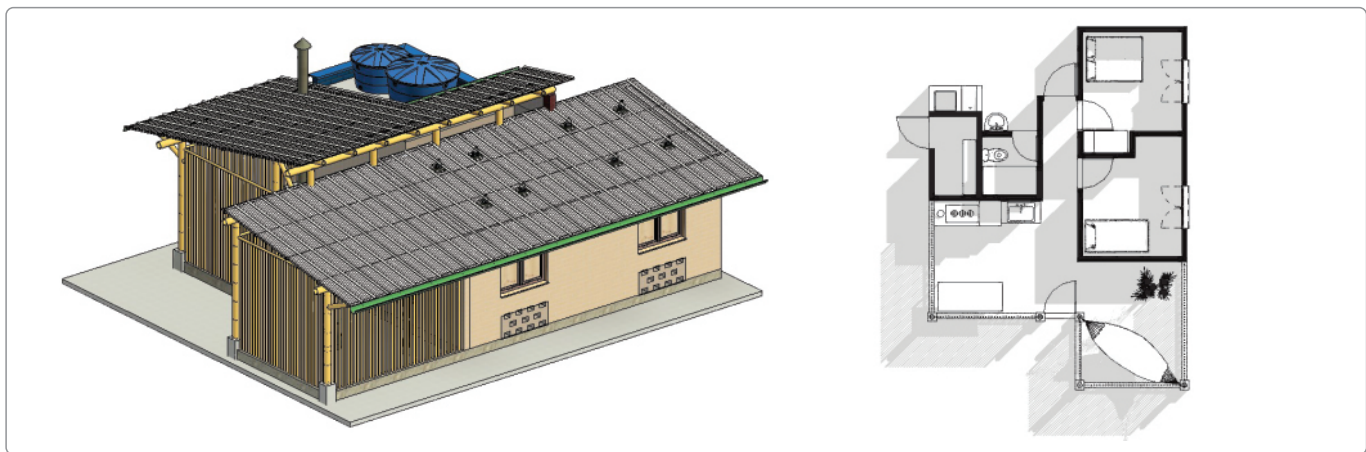
4. Modelo de vivienda campesina sostenible

En el grupo de investigadores, se presentaron varias propuestas de distribución de la vivienda, con diferentes cubiertas. Se decidió que, para la tipología de familia de la zona, y por el clima circundante, la mejor opción es una cubierta a dos aguas desfasada, como la mostrada en la figura 6. Para el modelo se eligió la tipología en "T", que optimiza la disposición interna de los espacios, priorizando funcionalidad, sostenibilidad y confort. Este

modelo organiza las habitaciones en un volumen independiente orientado hacia el oriente, mientras que los espacios sociales, como la sala, el comedor y la cocina, se agrupan en un segundo volumen orientado hacia el poniente. Además, se incluyó un espacio técnico para servicios y almacenamiento de equipos, junto con una terraza frontal que actúa como área de transición entre el interior y el exterior. Estos diseños se muestran en la figura 10.

Figura 10.

Arquitectura y distribución de la vivienda (tipología "T").



Fuente: elaboración propia.

Los materiales usados en la vivienda fueron los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) y la guadua. Los BTC se destacan por su bajo impacto ambiental y sus excelentes propiedades térmicas y acústicas, además de cumplir con los requisitos de resistencia sísmica establecidos en la NSR-10. Por su parte, la guadua ofrece flexibilidad, alta capacidad estructural y propiedades antisísmicas, además de contribuir significativamente a la reducción de la huella de carbono. La propuesta combina estos materiales con estrategias bioclimáticas y sostenibles para responder a las características del entorno y a las necesidades específicas de la comunidad. Se diseñaron muros de BTC con un espesor de 0,15 m y alturas de entre 3,5 y 4,4 m, garantizando una estructura sismo-resistente y eficiente. Los BTC ofrecen excelentes propiedades térmicas y acústicas, regulando naturalmente la temperatura interior. Su producción tiene un bajo impacto ambiental, con emisiones de CO₂ hasta un 90% menores en comparación con los ladrillos cocidos. Este enfoque integral proporciona una vivienda sostenible que combina

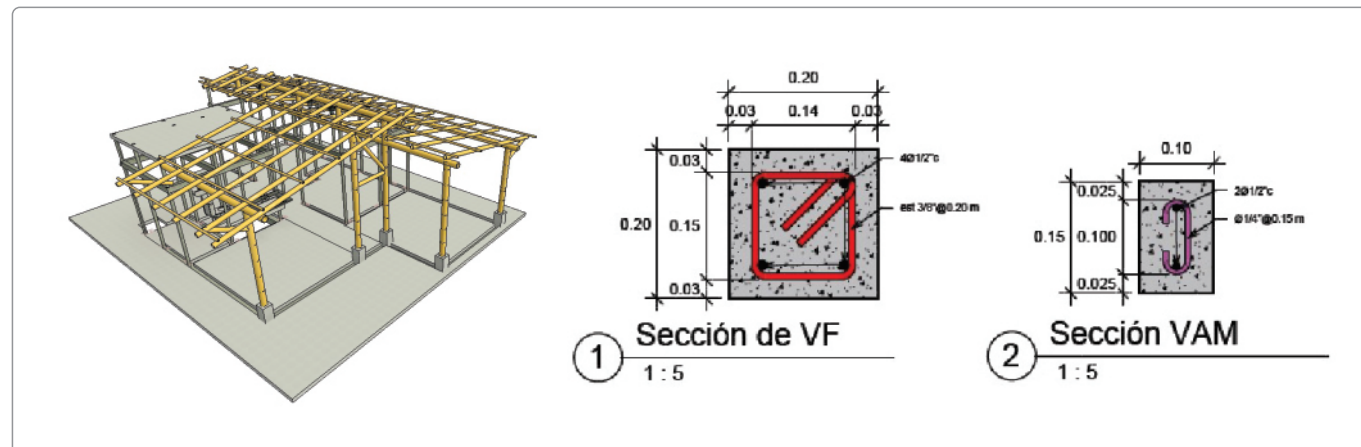
soluciones bioclimáticas, el uso de materiales locales y un diseño adaptable. El resultado es un modelo de construcción eficiente, respetuoso con el medio ambiente y alineado con las demandas sociales del contexto rural colombiano.

5. Diseño Estructural

El diseño estructural de la vivienda campesina sostenible está basado en un sistema híbrido que combina materiales tradicionales con técnicas modernas, adaptándose a las características del terreno y a las necesidades específicas de los habitantes. La cimentación se diseñó utilizando zapatas corridas de concreto reforzado, que garantizan una distribución uniforme de las cargas sobre el terreno y proporcionan estabilidad a la estructura (Figura 11). Sobre estas zapatas se levantaron sobrecimientos de bloques de concreto, que funcionan como base sólida para los muros y actúan como barrera contra la humedad del suelo, asegurando la durabilidad de los elementos superiores.

Figura 11.

Modelo estructural de la vivienda con detalles de las vigas de cimentación y columnas.

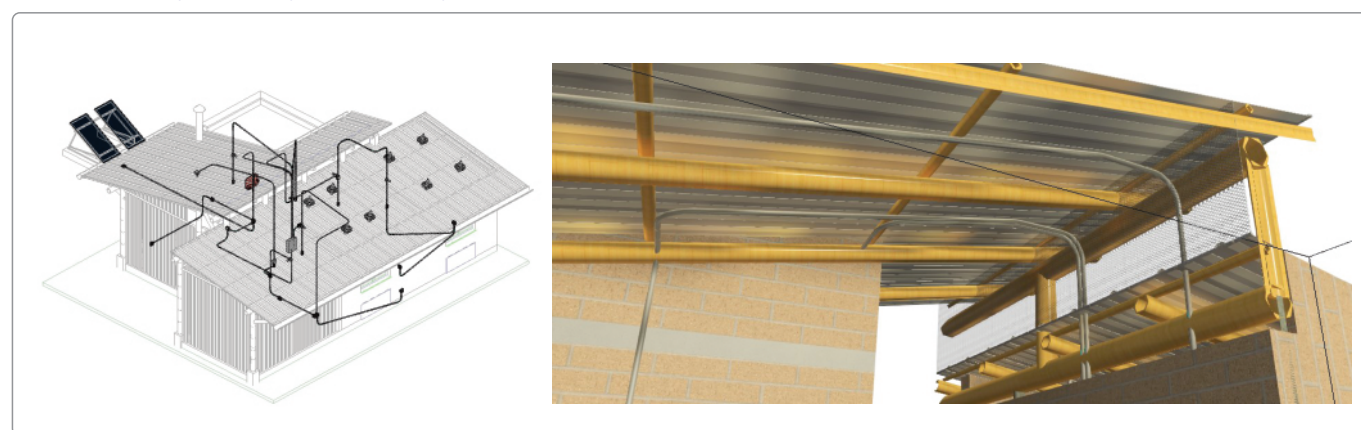


Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la red eléctrica, para las áreas donde las instalaciones eléctricas pueden empotrarse, se empleó tubería de PVC liviano integrada en los muros, garantizando una instalación discreta y protegida. En las zonas donde la tubería debe permanecer expuesta, como en la estructura de la cubierta, se seleccionó tubería EMT (Electrical Metallic Tubing), debido a su resistencia y durabilidad, características ideales para proteger el cableado en ambientes donde está más vulnerable. Figura 12. El diseño también integra un sistema de paneles solares, reforzando el enfoque sostenible del proyecto. Este sistema garantiza la provisión de energía en una región con acceso limitado a las redes eléctricas públicas, y se encuentra conectado a la red principal de la vivienda.

Figura 12.

Modelo eléctrico y tubería expuesta en EMT por cubierta.



Fuente: elaboración propia.

6. Diseño interior

Se utilizó Revit como herramienta clave para desarrollar un modelo detallado del diseño interior. Este modelo permitió explorar visualmente diversas opciones de decoración y distribución, facilitando la evaluación del impacto de cada elemento en la funcionalidad y percepción de los espacios. La capacidad de realizar ajustes en tiempo real garantizó que el diseño interior complementara y potenciara el diseño arquitectónico general, manteniendo la coherencia entre ambos aspectos del proyecto, figura 13.

Figura 13.

Diseño interior de la vivienda.



Fuente: elaboración propia.

El modelo de diseño interior en Revit también dejó analizar cómo la iluminación natural y artificial interactuaría con los colores, texturas y elementos decorativos seleccionados. Esto fue fundamental para crear un ambiente equilibrado que respondiera tanto a las necesidades prácticas como a las aspiraciones estéticas de los habitantes. De este modo, el diseño interior no solo se planteó como una extensión del diseño arquitectónico, sino también como un elemento central para asegurar que el proyecto reflejara las necesidades, expectativas y estilo de vida de quienes lo habitarán.

7. Estudio de sostenibilidad

Para realizar los análisis de sostenibilidad, se tuvo que modelar una vivienda con materiales convencionales de construcción, lo cual sirvió como referencia para conocer de primera mano, que tan sostenible es la vivienda campesina sostenible con relación a esta.

Se hicieron análisis de ocupación de las personas en cada espacio, sus horarios en el día, datos de los materiales usados (densidad, calor específico, coeficiente de transmisibilidad térmica, entre otros), el estudio de los diseños incluidos como, por ejemplo, las “botellas de luz, el viento cruzado, la cubierta a dos aguas, el sistema de captación de aguas lluvias, cargas de equipos eléctricos en cada zona, entre otros aspectos que se mencionaron anteriormente. Los anteriores datos se usaron en los softwares Green Building Studio e Insight para arrojar los datos que se presentan a continuación.

Análisis energético.

Según los resultados obtenidos Figura 14, el consumo energético del proyecto no solo cumple ampliamente con los requisitos del estándar ASHRAE 90.1, sino que además se ubica 25 kWh/m²/año por debajo del límite establecido por Architecture 2030. Estos datos destacan la eficiencia energética del diseño y su alineación con los estándares internacionales de sostenibilidad.

Figura 14.

Resultados análisis energético.



Fuente: elaboración propia.

Captación de Agua Lluvias

La cubierta de la vivienda tiene un área aproximada de 72 m². A esta superficie se le aplica un coeficiente de eficiencia de captación del 85%, considerando las pérdidas ocasionadas por obstrucciones, fugas y otros factores que afectan el rendimiento del sistema. De este valor, se determinó que el 56% corresponde a servicios que pueden ser suplidos mediante agua lluvia, lo que equivale a aproximadamente 8.96 m³ de agua mensual., según las tablas de IDEAM para esta zona, tabla 2.

Tabla 2.
Estimado mensual de captación de agua lluvias.

Mes	Precipitación Mensual (mm)	Volumen Neto (m³)	Volumen Real (m³)
Enero	250	17.9	15.215
Febrero	350	25.06	21.301
Marzo	175	12.53	10.6505
Abril	250	17.9	15.215
Mayo	350	25.06	21.301
Junio	250	17.9	15.215
Julio	250	17.9	15.215
Agosto	175	12.53	10.6505
Septiembre	175	12.53	10.6505
Octubre	250	17.9	15.215
Noviembre	175	12.53	10.6505
Diciembre	125	8.95	7.6075
			168.8865

Fuente: Elaboración propia.

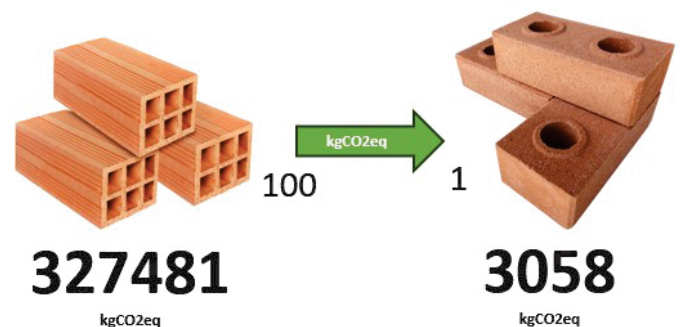
En la tabla elaborada, se evidencia que todos los meses, excepto diciembre, alcanzarían el volumen objetivo de 8.96m³ de agua captada. En el caso de diciembre, los meses contiguos con excedentes de captación podrían compensar el déficit de aproximadamente un metro cúbico. Este análisis, basado en las precipitaciones conocidas en la ubicación del proyecto, respalda la factibilidad de instalar un sistema de captación de aguas lluvias para cubrir el 53% de los consumos anuales de agua potable requeridos por un proyecto de esta escala.

Análisis de huella de carbono

El análisis realizado con el software Insight, se evidencia una marcada diferencia entre el impacto ambiental de la vivienda propuesta, con un total de 9,011.64 kgCO₂eq, y el de la vivienda convencional, que asciende a 342,083.12 kgCO₂eq. Esto sitúa el impacto de la vivienda propuesta en apenas un 5% del correspondiente a la vivienda convencional. Estos resultados destacan el alto impacto ambiental asociado a la producción de adobe, principalmente debido al consumo energético significativo requerido durante su proceso de cocción. En contraste, la producción manual y el secado al ambiente

del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) presentan un impacto de carbono considerablemente menor, con una relación aproximada de 100 a 1 a favor del BTC. Figura 15.

Figura 15.
Análisis de huella de carbono.



Fuente: elaboración propia.

Análisis de Costos y Presupuestos

Se tuvo especial cuidado de garantizar que el presupuesto reflejara fielmente tanto los costos reales como las aspiraciones del diseño. El resultado final mostró que el costo por metro cuadrado de la vivienda

campesina sostenible era de aproximadamente \$1.291.000. Este valor es significativamente inferior al costo promedio de las viviendas campesinas convencionales, que oscila entre \$1.519.000 y \$1.700.000 por metro cuadrado (Figura 16). La diferencia es un

indicador claro de la eficacia del diseño propuesto, que no solo optimiza el uso de recursos locales y materiales sostenibles, sino que también introduce sistemas constructivos innovadores que reducen los costos sin comprometer la calidad.

Figura 16.

Comparación del precio del metro cuadrado de la vivienda campesina sostenible vs vivienda convencional.



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

- Los resultados de la investigación destacan que la construcción sostenible en Colombia no solo es factible, sino que tiene el potencial de transformar las condiciones de vida de las comunidades rurales, promoviendo un desarrollo más equitativo y respetuoso con el entorno.
- Este enfoque, basado en la integración de estrategias bioclimáticas, materiales locales y tecnologías innovadoras, ofrece una solución viable para abordar el déficit habitacional en las zonas rurales y, al mismo tiempo, contribuye a la preservación ambiental y al fortalecimiento de la identidad cultural de estas regiones.
- El uso de materiales alternativos como la guadua y los bloques de tierra comprimida (BTC), no solo son económicos y sostenibles, sino que también ofrecen ventajas estructurales y térmicas que los hacen ideales para el clima y las condiciones de las zonas rurales colombianas. Su implementación permite reducir costos de construcción, disminuir la huella de carbono y

aprovechar los recursos locales, lo que fortalece la economía de las comunidades y minimiza la dependencia de materiales industrializados que requieren transporte desde áreas urbanas.

- El diseño arquitectónico desarrollado en este proyecto ha demostrado que es posible alcanzar altos niveles de eficiencia energética mediante estrategias pasivas.
- El uso de herramientas digitales avanzadas ha sido crucial en cada etapa del proyecto. Programas como Revit y sistemas de información geográfica (SIG) permitieron realizar análisis precisos del terreno, la geolocalización y las características climáticas, asegurando que las viviendas estuvieran adaptadas a las particularidades de cada sitio.
- La incorporación de energías renovables en las viviendas campesinas. Los paneles solares, incluidos en el diseño energético del proyecto, han demostrado ser una solución efectiva para reducir la dependencia de fuentes no renovables y mejorar la autosuficiencia energética de

las comunidades rurales. Combinados con tecnologías como las estufas ecológicas de leña y las botellas de luz, los sistemas propuestos no solo reducen el impacto ambiental, sino que también ofrecen soluciones accesibles que mejoran significativamente la calidad de vida de los habitantes.

- El sistema de captación de aguas lluvias, integrado en el diseño de las viviendas, refuerza la autosuficiencia hídrica del proyecto y aprovecha un recurso abundante en la región.
- El análisis de la huella de carbono realizado como parte del proyecto resalta los beneficios de las estrategias sostenibles adoptadas. La comparación entre el modelo de vivienda campesina convencional y la vivienda propuesta demuestra reducciones significativas en las emisiones de carbono y el consumo de energía.
- Además de los aspectos técnicos y ambientales, la investigación pone en evidencia el impacto social y cultural de las soluciones habitacionales propuestas. Al priorizar materiales locales y diseños adaptados a las necesidades de las comunidades rurales, el proyecto no solo respeta las tradiciones y prácticas locales, sino que también fortalece la identidad cultural de estas regiones.
- En conclusión, esta investigación confirma que la construcción sostenible es una herramienta poderosa

para abordar las necesidades habitacionales rurales en Colombia. Aprovechar materiales locales, implementar estrategias bioclimáticas y adoptar tecnologías renovables no solo reduce costos y emisiones, sino que también promueve la autosuficiencia, mejora la calidad de vida y respalda un desarrollo rural integral. A medida que avancen las investigaciones y se implementen estas soluciones en otros contextos, se espera que el modelo desarrollado en este proyecto se convierta en un referente para la construcción sostenible en el país, demostrando que es posible construir viviendas que sean funcionales, sostenibles y respetuosas con el entorno y las comunidades a las que sirven.

Agradecimientos

Agradecemos al Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción por su apoyo y recursos para llevar a cabo este proyecto. También extendemos nuestro agradecimiento a los instructores e investigadores que participaron activamente en el desarrollo del proyecto, especialmente a William Sosa por sus valiosos aportes al modelo energético y de paneles solares, al instructor Lombardis Montoya por su contribución de la red hidrosanitaria, sistema de captación de agua lluvia y pozo séptico. Este trabajo no habría sido posible sin la colaboración y el compromiso de todos los involucrados.

Contribución de autoría

Nelson Castaño Ciro (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0380-8430>): administrador del proyecto, metodología, investigación, revisión, edición, escritura.

Adrián Alberto Londoño Ramírez (ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0151-3711>): investigación, análisis de datos, modelo de la vivienda, análisis bioclimático, energético.

José Alfredo Jiménez (ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9145-4662>): investigación, análisis de datos, escritura, análisis de costos unitarios, modelo de la vivienda.

Elizabeth Serna Gutiérrez (ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7644-6398>): investigación, análisis de datos, modelo estructural.

Pedro Pablo Díaz Sarmiento (ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9027-0883>): investigación, análisis de datos, modelo de diseño interior.

Referencias

- Arellano, Alcázar Sanchez, J. geovani. (2022). Diversidad agroalimentaria: estrategias de reproducción campesina en economías de autosubsistencia en Los Altos de Chiapas, México. *Estudios Sociales*, 32(59), 1–26. <https://doi.org/10.2307/40184061>
- Ambiente. (2024). *Zonas de Reserva Campesina firman pacto para proteger la biodiversidad rumbo a la COP16*. Ministerio Del Medio Ambiente. <https://www.minambiente.gov.co/zonas-de-reserva-campesina-firman-pacto-para-protger-la-biodiversidad-rumbo-a-la-cop16/#:~:text=Son siete Zonas de Reserva,y el desarrollo de una>
- Anusha, M., Surendra, H. J., Dhar, N., Choudhary, M., Khan, I. A., & Pasha, S. F. A. (2022). Enhancing sustainability of polypropylene band and bamboo-reinforced structural elements for rural low cost housing. *Environment, Development and Sustainability*, 26(2), 3943–3956. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02864-9>.
- Castañeda Ruiz, J. J. (2020). *Modelo de vivienda rural productiva Ecoaldea*. Universidad Piloto de Colombia.
- Chen, K., Qiu, J., Wang, W., Hu, Q., Xu, N., & Qiao, H. (2024). Identification and analysis of influencing factors of multidimensional health poverty in rural areas of Northwest China. *Scientific Reports*, 14(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-80628-3>
- Cong, L. (2024). Application of green building thermal energy conservation based on light imaging equipment in landscape optimization of waterfront space. *Thermal Science and Engineering Progress*, 54, 102787. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102787>
- Cortés Forero, L. C. (2024). *Evaluación de la suficiencia energética de un sistema solar para satisfacer las necesidades de una vivienda campesina a 3.000 metros de altura en la región del páramo adyacente al Parque Nacional Chingaza*.
- DANE. (2023). *Caracterización sociodemográfica del campesinado colombiano*. <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/notas-estadisticas-casen/doc-CASEN-CaracsociodemoCampesinadoCO.pdf>
- DANE. (2024). *Estadísticas por tema*. DANE. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema#herramientas-para-exploracion-de-datos>
- Departamento Nacional de Planeación. (2020). *El campo colombiano: un camino hacia el bienestar y la paz*. Tomo I (1a edición). Nuevas Ediciones S.A. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Agriculturapecuarioforestal-y-pesca/TOMO 1.pdf>
- Duarte, C., Paez, G., & Tangarife, M. (2023). *Zonas de reserva campesina: seis retos para su consolidación*. https://www.observatoriodeltierras.org/wp-content/uploads/2023/08/ZRC-RETOS-PARA-SU-CONSOLIDACION_modificado.pdf
- García Giraldo, J. P. (2020). Implementation of Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (Development Programmes with a Territorial-Based Focus) and territorial peacebuilding in Colombia: Progress and challenges. *Revista de La Facultad de Derecho y Ciencias Políticas*, 50(133), 454–481. <https://doi.org/10.18566/rfdcp.v50n133.a10>

- Han, Q., Zhou, K., Guo, Z., & Kumar, R. (2024). Understanding rural household migration and homestead exit intentions: Toward sustainable land use and development goals. *Journal of Geochemical Exploration*, 267, 107595. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2024.107595>
- He, H., Dong, X., Du, S., Guo, H., Yan, Y., & Chen, G. (2024). Study on the Stability of Cut Slopes Caused by Rural Housing Construction in Red Bed Areas: A Case Study of Wanyuan City, China. *Sustainability (Switzerland)*, 16(3). <https://doi.org/10.3390/su16031344>
- Hinestroza, R., & Nickerson, J. (2022). *Diseño de pozos de percolación para el tratamiento de las aguas residuales en la comunidad campesina de Tunzo distrito de Comas – Concepción – Junín*. Universidad Peruana Los Andes.
- Lu, X., He, Z., Li, Y., & Luo, R. (2025). Post-compulsory education of children and household asset allocation. *Pacific-Basin Finance Journal*, 89, 102593. <https://doi.org/10.1016/j.pacfin.2024.102593>
- Masná, E., Stoker, A., Hasman, J., & Novotný, J. (2024). Understanding migration aspirations using the extended theory of planned behavior: A case study from Western Province of Zambia. *Journal of Rural Studies*, 114(103501), 6. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2024.103501>
- ONU. (2015). *La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- Optivent. (2023). *Optivent 2.1: Una herramienta de cálculo de ventilación natural en estado estacionario para la etapa inicial de diseño de edificios*. Optivent. <https://optivent.tools/?language=es>
- Salas Velásquez, V. M. (2022). La mujer rural y la creación del espacio habitable en la vivienda campesina peruana. El caso de Janac Chuquibamba (2000-2019). *Mujer Andina*, 1(1), 33–51. <https://doi.org/10.36881/ma.v1i1.642>
- Sarkar, A. (2024). Comparative assessment of the energy performance index of modern urban and traditional rural housing in lower Himachal Pradesh, India to develop prediction model. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05594-2>
- Tibesigwa, B. M., Moyo, M. G., & Mkindo, R. M. (2024). Architectural typology of rural housing: a perspective of residential construction affordability and earthquake resilience in Kagera region, Tanzania. *Journal of Housing and the Built Environment*, 39(1), 295–315. <https://doi.org/10.1007/s10901-023-10081-7>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria - UPRA. (2024). *Importaciones de productos agropecuarios y agroindustriales*. [https://upra.gov.co/es-co/Boletines_Reportes/Importaciones de productos agropecuarios y agroindustriales diciembre de 2023.pdf](https://upra.gov.co/es-co/Boletines_Reportes/Importaciones%20de%20productos%20agropecuarios%20y%20agroindustriales%20diciembre%20de%202023.pdf)
- Wang, J., Wu, M., Liu, F., Bin, J., & Zeng, X. (2024). Application of rubber sand mixture composite blocks in seismic isolation of collapsed houses during Luding Earthquake. *Journal of Vibration and Shock*, 43(21), 138–146. <https://doi.org/10.13465/j.cnki.jvs.2024.21.015>
- Xi, H., Gao, H., Hou, W., Yin, B., Zuo, J., & Zhao, H. (2024). Multi-Objective Optimization for Winter Heating Retrofit in Rural Houses of Cold Regions: A Case Study in the Wusu Area. *Applied Sciences*, 14(9), 3760. <https://doi.org/10.3390/app14093760>

Diseño de mezclas y elaboración de prototipos de bloques, adoquines de concreto con la utilización de materiales de residuos de construcción y demolición (RCD)

Duber Mauricio Flórez Correa¹, Maryorie Córdoba Ramírez², Jhon Darwyn Jiménez Ramírez³, Sandra Milena Velásquez Restrepo⁴.
¹dcorreaf@sena.edu.co, ²mcordobar@sena.edu.co, ³jdjimenezr@sena.edu.co, ⁴smvelasquez@sena.edu.co (Autor de correspondencia).
Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción, SENA, Medellín, Colombia.

- Design of mixes and development of prototypes of concrete blocks and pavers using construction and demolition waste (CDW) materials
- Desenho de misturas e desenvolvimento de protótipos de blocos e pavers de concreto com a utilização de materiais de resíduos de construção e demolição (RCD)

Artículo de investigación



Fuente: propia.

Abstract

La aceleración del crecimiento poblacional y la expansión urbana han intensificado el consumo de recursos naturales y la generación de residuos de construcción y demolición (RCD), planteando desafíos ambientales significativos. Este estudio evalúa la viabilidad técnica y ambiental del uso de RCD en la fabricación de materiales de construcción sostenible, alineándose con los principios de la economía circular y la normativa colombiana vigente. A las mezclas estudiadas se les incorporaron residuos de concreto, cerámica, vidrio molido y carbón inactivo provenientes de actividades constructivas y otros sectores productivos. La metodología experimental incluyó la recolección, clasificación, trituración y determinación de propiedades de los materiales, seguidas por la formulación de diez mezclas que contenían diferentes proporciones de RCD y otros ingredientes relevantes empleados regularmente en el sector de la construcción. Los especímenes cilíndricos elaborados fueron sometidos a ensayos de resistencia a la compresión. Los resultados indicaron que las formulaciones cumplen con los estándares para aplicaciones estructurales y no estructurales de acuerdo con normas ampliamente aceptadas, permitiendo la fabricación de bloques, adoquines y concretos que incluso alcanzaron resistencia a la compresión de hasta 21 MPa. Se realizó un análisis de impacto ambiental empleando un software comercial de evaluación de ciclo de vida del producto, encontrando que los bloques elaborados con materiales reciclados disminuyen la huella ambiental en comparación con materiales vírgenes industrializados, pero en el caso de los adoquines la huella ambiental de los materiales reciclados es mayor, un aspecto que debe ser considerado cuando se desarrollan iniciativas con materiales reciclados. Además de reducir la acumulación de residuos en vertederos, esta propuesta fomenta la sostenibilidad mediante la reutilización de materiales y la disminución de la extracción de recursos vírgenes. Este enfoque no solo responde a la normativa colombiana, sino que también promueve un modelo de desarrollo sostenible en el sector construcción, ofreciendo soluciones innovadoras para los desafíos ambientales y sociales asociados con el crecimiento urbano y la generación de RCD.

Palabras clave: Adoquines, bloques de concreto, economía circular, Residuos de construcción y demolición (RCD), sostenibilidad.

Abstract

The acceleration of population growth and urban expansion has intensified the consumption of natural resources and the generation of construction and demolition waste (CDW), posing significant environmental challenges. This study evaluates the technical and environmental feasibility of using CDW in the production of sustainable construction materials, aligning with circular economy principles and the current Colombian regulations. The studied mixtures were incorporated with concrete, ceramic, crushed glass, and inactive carbon residues derived from construction activities and other productive sectors. The experimental methodology included the collection, classification, crushing, and characterization of the materials, followed by the formulation of ten mixtures containing varying proportions of CDW and other commonly used construction materials. Cylindrical specimens were subjected to compressive strength tests. Results demonstrated that the formulations meet standards for structural and non-structural applications based on generally accepted regulations, enabling the production of blocks, pavers, and concrete with compressive strengths up to 21 MPa. An environmental impact analysis was conducted using commercial life cycle assessment software, revealing that blocks made with recycled materials reduce the environmental footprint compared to industrially processed virgin materials. However, for pavers, the environmental footprint of recycled materials was higher which is an issue to be considered in recycled material initiatives. Besides reducing landfill waste accumulation, this proposal fosters sustainability by reusing materials and minimizing virgin resource extraction. This approach not only complies with Colombian regulations but also supports a sustainable development model in the construction sector, providing innovative solutions to the environmental and social challenges associated with urban growth and CDW generation.

Keywords: Circular economy, concrete blocks, Construction and Demolition Waste (CDW), pavers, sustainability.

Resumo

A aceleração do crescimento populacional e a expansão urbana intensificaram o consumo de recursos naturais e a geração de resíduos de construção e demolição (RCD),

apresentando desafios ambientais significativos. Este estudo avalia a viabilidade técnica e ambiental do uso de RCD na fabricação de materiais de construção sustentáveis, alinhando-se aos princípios da economia circular e às regulamentações colombianas vigentes. As misturas estudadas incorporaram resíduos de concreto, cerâmica, vidro moído e carvão inativo provenientes de atividades construtivas e outros setores produtivos. A metodologia experimental incluiu a coleta, classificação, trituração e determinação das propriedades dos materiais, seguidas pela formulação de dez misturas contendo diferentes proporções de RCD e outros ingredientes relevantes regularmente utilizados no setor da construção. Os corpos de prova cilíndricos elaborados foram submetidos a ensaios de resistência à compressão. Os resultados demonstraram que as formulações atendem aos padrões para aplicações estruturais e não estruturais, de acordo com normas amplamente aceitas, permitindo a fabricação de blocos, pavimentos e concretos que alcançaram resistência à compressão de até 21 MPa. Foi realizado um análise de impacto ambiental utilizando um software comercial de avaliação do ciclo de vida do produto, revelando que os blocos fabricados com materiais reciclados reduzem a pegada ambiental em comparação com materiais virgens industrializados. No entanto, no caso dos pavimentos, a pegada ambiental dos materiais reciclados é maior, um aspecto que deve ser considerado no desenvolvimento de iniciativas com materiais reciclados. Além de reduzir o acúmulo de resíduos em aterros, esta proposta promove a sustentabilidade por meio da reutilização de materiais e da redução da extração de recursos virgens. Essa abordagem não apenas atende às regulamentações colombianas, mas também apoia um modelo de desenvolvimento sustentável no setor da construção, oferecendo soluções inovadoras para os desafios ambientais e sociais associados ao crescimento urbano e à geração de RCD.

Palavras-chave: Blocos de concreto, economia circular, pavers, Resíduos de Construção e Demolição (RCD), sustentabilidade.

Introducción

El acelerado crecimiento poblacional y la expansión urbana han impulsado una demanda significativa de infraestructura, intensificando la explotación de recursos naturales y agravando los problemas ambientales a nivel global (Mahpour, 2018). Aunque advertencias previas señalaron la finitud de los materiales empleados en la industria de la construcción, la extracción intensiva y no sostenible de recursos no renovables persiste como una práctica dominante. Paralelamente, la generación de residuos de construcción y demolición (RCD), sumado a su manejo inadecuado y la escasa implementación de estrategias integrales de gestión, se ha convertido en un desafío ambiental significativo (Al-Raqeb et al., 2023). Ante esta problemática, el sector construcción enfrenta el imperativo de reducir su impacto mediante la adopción de soluciones innovadoras que promuevan la sostenibilidad (Alhawati et al., 2022).

Entre estas soluciones, el aprovechamiento de RCD para la fabricación de materiales sostenibles como bloques, adoquines y geopolímeros representa una alternativa viable. Esta práctica no solo contribuye a una gestión eficiente de los desechos, sino que también impulsa la transición hacia una economía circular (Davidovits, 2020; Singh & Middendorf, 2020). Sin embargo, en la actualidad, gran parte de los RCD son desechados en vertederos o abandonados, generando impactos ambientales negativos y desperdiciando recursos con alto potencial de reutilización en aplicaciones constructivas (Papamichael et al., 2023).

El caso colombiano es particularmente crítico. El rápido crecimiento urbano ha intensificado las actividades de construcción y demolición, aumentando significativamente la generación de RCD (Sánchez Pacheco, 2020). Esto subraya la necesidad de implementar enfoques sostenibles para su gestión (ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2020a). Ejemplos locales, como la iniciativa de la empresa INDURAL, que utiliza RCD y materiales provenientes de excavaciones para fabricar elementos de concreto, ilustran la viabilidad de prácticas que reducen la dependencia de recursos naturales y contribuyen a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero (Iyiola et al., 2023).

Entre los materiales reciclados, el vidrio molido destaca por su viabilidad en la producción de geopolímeros, reconocidos por su alta resistencia a la compresión y durabilidad (Starczyk-Kořbyk & Maćek, 2023). Los geopolímeros, elaborados mediante la activación alcalina de precursores ricos en sílice y alúmina, constituyen una alternativa sostenible al cemento Portland, contribuyendo significativamente a la reducción de emisiones de CO₂ (Mendes et al., 2021). De manera similar, el reciclaje de concreto y cerámica ha demostrado ser una estrategia efectiva para la fabricación de materiales de construcción sostenibles, como bloques y adoquines, que promueven la sostenibilidad y reducen el impacto ambiental (Iyola et al., 2023).

Aunque el marco normativo colombiano, como la Resolución 0472 de 2017, fomenta la gestión integral de los RCD y su aprovechamiento, desafíos técnicos como la variabilidad en su composición química y la necesidad de métodos eficaces de pretratamiento limitan su adopción generalizada (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia, 2017). En este contexto, esta investigación busca cerrar brechas tecnológicas evaluando la viabilidad técnica y ambiental del uso de RCD en la fabricación de bloques y adoquines de concreto.

Metodología

En el presente estudio se empleó una metodología experimental diseñada para evaluar la viabilidad técnica y ambiental del uso de residuos de construcción y demolición (RCD) en la fabricación de bloques y adoquines de concreto. Este enfoque permitió replicar los procesos implementados y garantizar la validación técnica de los resultados mediante una estructuración de actividades orientadas al logro de los objetivos planteados. Estas actividades abarcaron desde la recolección y caracterización de materiales hasta la fabricación y evaluación de prototipos, siguiendo principios de investigación aplicada respaldados por un estudio previo reportado sobre la reutilización de residuos en la construcción (Sánchez Pacheco, 2020).

La primera etapa consistió en la recolección y clasificación de los RCD provenientes de diversas fuentes. Los residuos de concreto y cerámicos fueron

obtenidos del Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción (CDHC) del SENA Regional Antioquia, como subproductos de demoliciones y prácticas constructivas realizadas en el marco de los programas de formación que se imparten en la entidad. El vidrio molido fue suministrado por la empresa Ecocircular, mientras que el carbón inactivo, proveniente de procesos de tratamiento de aguas residuales, fue aportado por la Planta de Tratamiento Aguas Claras que opera Empresas Públicas de Medellín. Estos materiales fueron clasificados en cuatro categorías principales: cerámicos, concreto, vidrio y carbón inactivo.

Cada material fue sometido a conminución utilizando una trituradora mecánica, con el propósito de reducir los tamaños de las partículas a dimensiones adecuadas para ser usados en mezclas de concreto. Posteriormente, los materiales triturados fueron tamizados con tamices número 4 y $\frac{3}{4}$ para separar las fracciones finas y gruesas, asegurando una granulometría uniforme para las mezclas experimentales. Los residuos tamizados fueron almacenados en un espacio bajo techo y seco, con cada lote debidamente etiquetado para evitar contaminaciones cruzadas y garantizar su trazabilidad durante el proceso de investigación siguiendo las recomendaciones de la norma NTC 4026:1997, que es la vigente actualmente (ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1997).

A los residuos de vidrio triturados y a los agregados finos se les determinó la granulometría empleando el método de separación mediante tamices bajo norma NTC 77:2028 (ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2018). En el caso de los RCD cerámicos y de concreto, así como a los agregados gruesos convencionales, se les determinaron parámetros como la densidad relativa seca al horno, la densidad relativa saturada superficialmente seca, la densidad relativa aparente y la absorción de humedad. En el caso de los agregados gruesos se les determinaron las propiedades conforme a la norma NTC 176:2019 (ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2019), mientras que el análisis de los agregados finos se realizó siguiendo la norma NTC 237:2020 (ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2020b). Estos ensayos se

realizaron en Laboratorio de Ensayos de Agregados, Concretos y Cementos – LEACCEM del Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción del SENA Regional Antioquia. Estas pruebas se orientaron a garantizar que los materiales reciclados cumplieran con los requisitos técnicos necesarios para su incorporación en las mezclas experimentales.

Luego se formularon las mezclas a ser estudiadas, variando el contenido de RCD y residuos posconsumo, empleando también cemento Portland de uso general, triturado y arena de concreto. El diseño de las mezclas se elaboró considerando tanto las propiedades mecánicas requeridas como los estándares establecidos en la norma NTC 550, que regula la preparación y curado de especímenes de concreto en el sitio de trabajo (ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2020c). En la Tabla 1 se presentan las diez formulaciones elaboradas, resaltando que durante la preparación de las mezclas y los cilindros se evaluó la manejabilidad, fraguado y colocación, de tal manera que en algunas formulaciones fue necesario repetir el mezclado hasta

obtener las condiciones idóneas necesarias para moldear los cilindros de compresión.

Las mezclas fueron preparadas en condiciones controladas, moldeando especímenes cilíndricos que fueron curados durante 7 días y posteriormente sometidos a ensayos de resistencia a la compresión. Estas pruebas fueron realizadas en el laboratorio LEACCEM del Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción del SENA Regional Antioquia.

Luego de comparar los resultados obtenidos, se identificó la mezcla más idónea para la fabricación de bloques y adoquines, fabricando prototipos de estos elementos constructivos utilizando moldes acordes a cada geometría y siguiendo procedimientos estandarizados. Los prototipos se fabricaron usando una máquina Graco Ram hidráulica de accionamiento manual. Los prototipos fueron sometidos a pruebas de resistencia mecánica y durabilidad, lo que permitió evaluar su desempeño bajo condiciones similares a las aplicaciones reales en campo siguiendo lo estipulado en un estudio reciente reportado en la literatura (Flórez Gelves, 2023).

Tabla 1.
Formulaciones estudiadas en este trabajo.

Componente empleado	Identificación de la mezcla									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Relación agua/cemento	0.66	0.60	0.70	0.65	0.59	0.47	0.67	0.47	0.47	0.7
Cemento (%)	23.0	23.0	23.0	20.6	20.6	20.6	22.9	28.0	23.3	33.2
Arena convencional (%)	25.3	25.3	25.3	17.5	17.5	17.5	15.5	24.1	20.1	20.9
Arena de RCD (%)	17.0	17.0	17.0	26.2	26.2	26.2	30.8	47.9	-	-
Agregado grueso convencional ¾ (%)	19.1	19.1	19.1	16.1	16.1	16.1	30.8	-	-	-
Grava de RCD cerámicos (%)	15.6	15.6	15.6	19.6	19.6	19.6	-	-	42.2	-
Vidrio triturado (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	14.4	-
Grava en carbón inactivo (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	45.8

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos fueron analizados en comparación con las normativas NTC 4026 (ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1997), NTC 4076 (ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2017) y NTC 3829 (ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2022), que establecen los requisitos para bloques de concreto estructurales y no estructurales, así como para adoquines de tránsito peatonal y vehicular liviano.

Se llevó a cabo una evaluación del impacto ambiental, el ciclo de vida y la huella de carbono en la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) utilizando el software openLCA. Esta herramienta fue seleccionada por su capacidad para realizar análisis detallados del ciclo de vida (LCA) y cálculos precisos de huella de carbono, garantizando que las prácticas implementadas contribuyan al enfoque de sostenibilidad de procesos y productos, como se ha reportado para bloques y elementos de construcción similares a los estudiados en este trabajo (Edun & Hachem-Vermette, 2022). Esta parte del estudio se centró en evaluar la huella ambiental asociada al desarrollo de prototipos de bloque y de adoquín, empleando la base de datos ecoinvent elcd_3_2_greendelta_v2_17, elegida por su amplia cobertura, calidad de datos y alineación con normativas europeas. Asimismo, se incorporó el método de impacto OpenLCA LCIA method pack 1.5.7, destacado por su flexibilidad, su cobertura integral de categorías de impacto, su compatibilidad con OpenLCA y su adaptabilidad a diversas aplicaciones.

El proceso de modelado en openLCA implicó la creación de diferentes elementos fundamentales para estructurar el análisis. En primer lugar, se definió una categoría de producto, la cual clasifica y organiza el producto en un sector específico, asegurando su correcta integración en la base de datos. Posteriormente, se estableció el proceso del producto, que permite modelar las etapas y actividades asociadas al ciclo de vida de este. Además, se definieron los flujos hacia el proceso, representando los materiales, energías y emisiones involucrados en cada etapa del ciclo de vida. Finalmente, se integraron estos componentes en el sistema del producto, una entidad comprensiva que sintetiza todos los procesos y flujos, proporcionando una visión global de los impactos

ambientales asociados al ciclo de vida del producto, como ha sido reportado en estudios orientados a elementos de construcción tanto estructurales como no estructurales (Huang et al., 2024).

El sistema del producto constituye el eje central del análisis, ya que agrupa y conecta todos los procesos y flujos, permitiendo una evaluación exhaustiva de los impactos ambientales asociados al ciclo de vida del producto. Esta integración garantiza que el análisis refleje con precisión las interacciones complejas y los efectos acumulativos en todas las etapas del ciclo de vida, proporcionando así una base sólida para la toma de decisiones orientadas a la sostenibilidad.

Resultados y discusión

1. Evaluación de agregados y RCD empleados en las mezclas

En la Figura 1 se puede observar la apariencia de los RCD triturados y los agregados que se emplearon en la obtención de las mezclas estudiadas. Se puede constatar que los RCD se procesaron empleando métodos accesibles para todo tipo de empresas del sector construcción, sin que se requieran equipos o métodos altamente tecnificados, lo cual constituye una ventaja para que aumente el uso de RCD en el sector construcción.

Figura 1.

Apariencia de los RCD triturados y los agregados que se emplearon para la obtención de las mezclas.



Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 2 se presentan las propiedades medidas para los residuos de baldosa triturados, el agregado grueso convencional y los agregados finos de RCD.

Tabla 2.
Propiedades de los agregados gruesos obtenidos de residuos de baldosas.

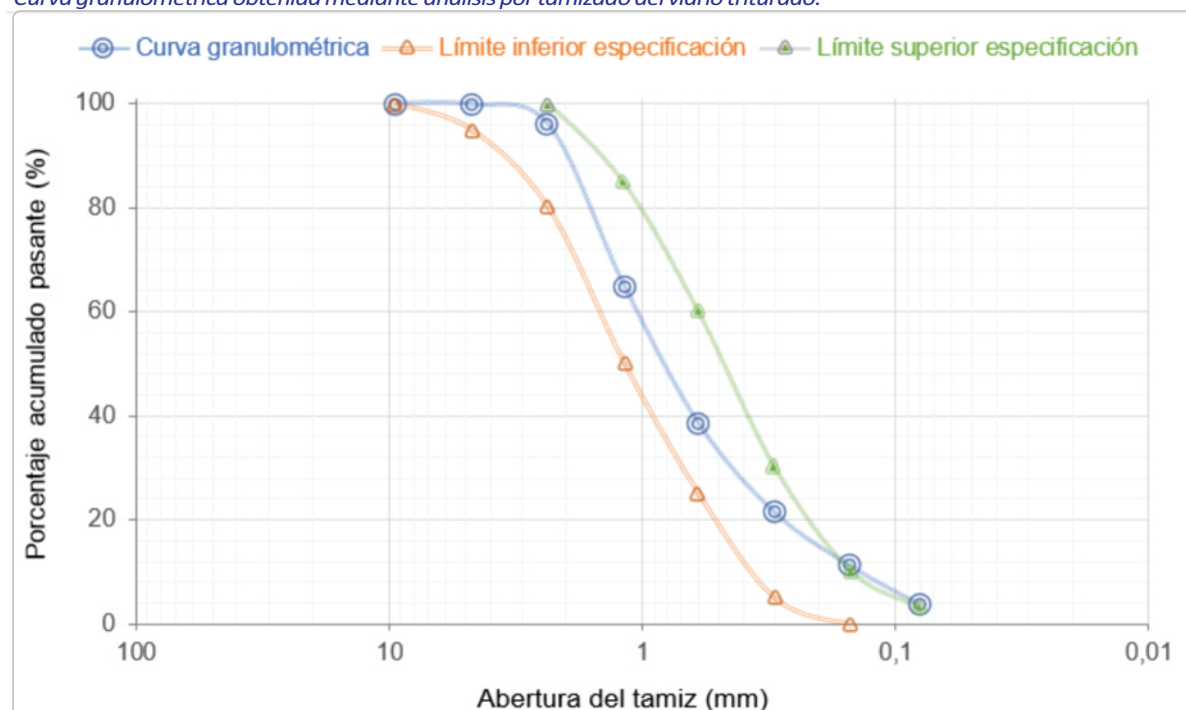
Propiedad	Residuos de baldosas	Agregado grueso convencional	Arena de RCD
Densidad relativa (Gravedad específica) seca al horno	2.13	2.67	3.95
Densidad relativa (Gravedad específica) saturada superficialmente seca	2.30	2.74	4.04
Densidad relativa aparente (Gravedad específica)	2.56	2.87	4.34
Absorción de humedad (%)	7.7	2.6	2.3

Fuente: elaboración propia.

Los resultados evidencian que los residuos de baldosas presentan menor densidad relativa y mayor absorción de humedad en comparación con los agregados convencionales y la arena de RCD, sugiriendo una mayor porosidad de los residuos de baldosas, lo que puede afectar la relación agua-cemento, trabajabilidad y resistencia mecánica del concreto. No obstante, esta alta absorción podría favorecer la interacción con la pasta cementante en

condiciones de saturación. La arena de RCD, con alta densidad relativa y baja absorción, presenta propiedades más similares a los materiales convencionales, lo que permite complementar las mezclas. Estas consideraciones deben tomarse en cuenta de manera coherente con los resultados obtenidos en las demás etapas del estudio, con el fin de identificar si son viables para ser implementadas en construcciones de mediana o gran escala.

Figura 1.
Curva granulométrica obtenida mediante análisis por tamizado del vidrio triturado.



Fuente: elaboración propia.

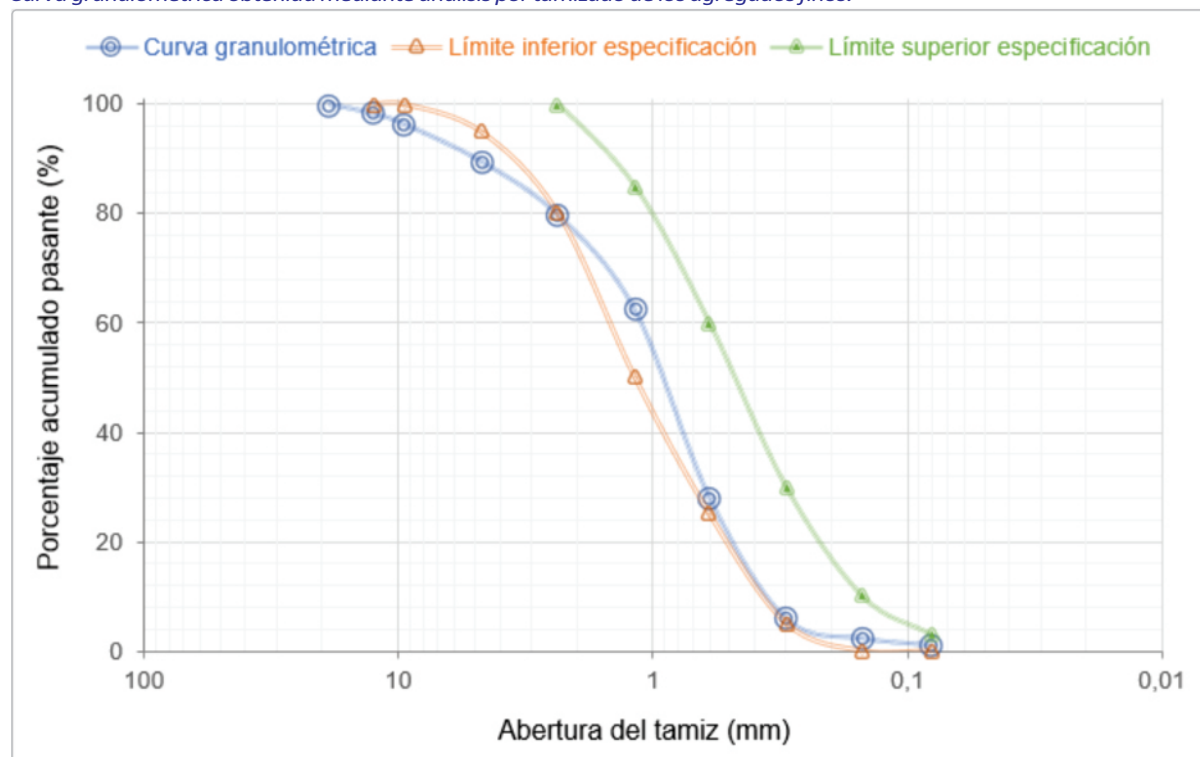
En la Figura 1 se presentan los resultados obtenidos del análisis por tamizado del vidrio triturado empleado para la elaboración de las mezclas, encontrando que tiene un módulo de finura de 2.68.

En la Figura 2 se presentan los resultados obtenidos del análisis por tamizado de los agregados finos empleados para la elaboración de las mezclas, encontrando que tiene un módulo de finura de 3.26. Las diferencias identificadas

en la granulometría influyen en la trabajabilidad y demanda de agua de las mezclas que contienen este tipo de ingredientes. Los agregados finos reducen la segregación y controlan la relación agua-cemento, mientras que el vidrio triturado mejora la cohesión y el llenado de vacíos. Su integración permite un balance granulométrico que optimiza las propiedades mecánicas y de durabilidad de los prototipos, factores que pueden favorecer la viabilidad del uso de este tipo de materiales en las mezclas.

Figura 2.

Curva granulométrica obtenida mediante análisis por tamizado de los agregados finos.



Fuente: elaboración propia.

2. Resistencia a la compresión de cilindros fabricados con las mezclas

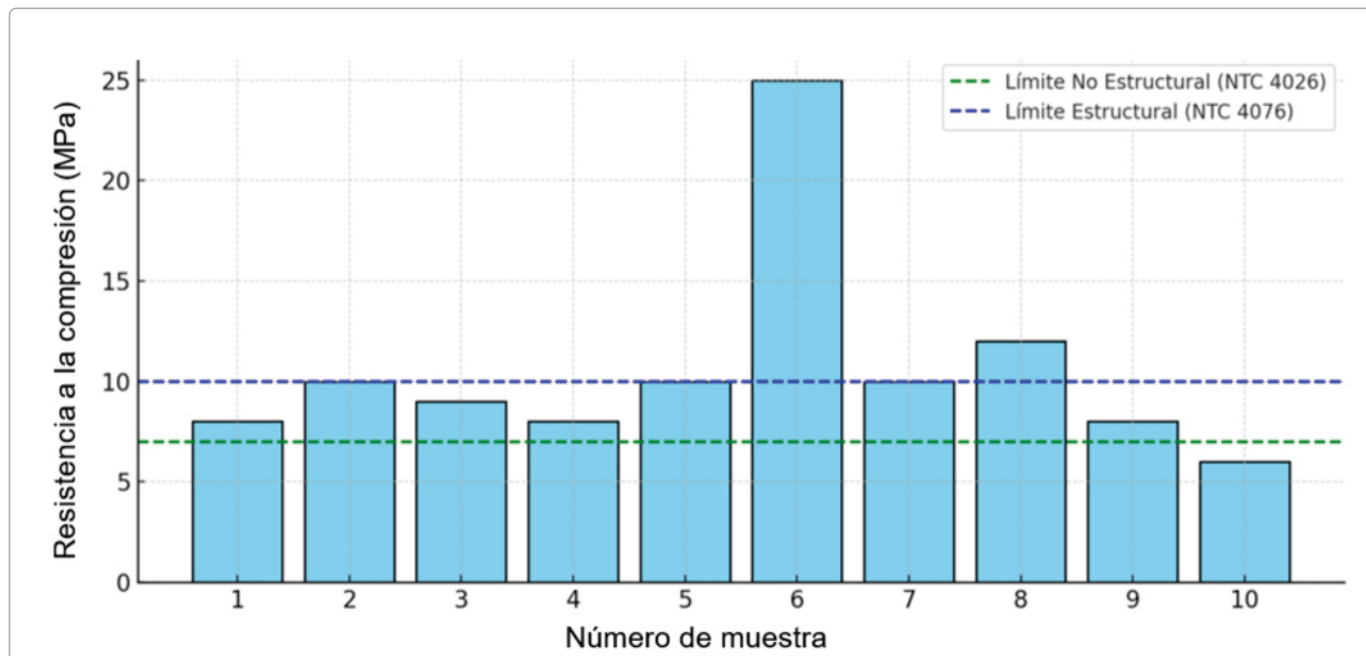
En la Figura 3 se presentan los resultados de resistencia a la compresión obtenidos. Se presentan como referencia los valores límite para uso estructural según la norma NTC 4076 y para uso no estructural según la norma NTC 4026.

Los resultados obtenidos de resistencia a la compresión permiten inferir el impacto de los componentes de las mezclas en las resistencias a la compresión, así como su viabilidad para aplicaciones estructurales y no estructurales, de acuerdo con las normas NTC 4076 y NTC 4026. Es de resaltar que las mezclas con proporciones significativas de

arena y grava provenientes de residuos de construcción y demolición presentan resultados destacables. La mezcla 7, con 30.8% de arena de RCD y una relación agua/cemento de 0.67, alcanza una resistencia a la compresión que supera el límite para aplicaciones no estructurales definido por la NTC 4026. Este comportamiento puede atribuirse a la interacción sinérgica entre la matriz cementante y los materiales reciclados, así como a la moderada relación agua/cemento, que optimiza la hidratación del cemento. Sin embargo, la mezcla presenta una resistencia ligeramente inferior al límite estructural de la NTC 4076, lo que restringe su uso a aplicaciones no estructurales, como elementos de pavimento o divisiones internas.

Figura 3.

Resistencia a la compresión luego de 7 de días de fraguado de cilindros fabricados con las mezclas estudiadas.



Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, las mezclas que incorporan grava de RCD cerámicos, es decir las mezclas 9 y 10, presentan un desempeño mecánico variable. La mezcla 9, con 42.2% de grava de RCD cerámicos y 14.4% de vidrio triturado, alcanza un desempeño adecuado para aplicaciones no estructurales, mientras que la mezcla 10, con un 45.8% de grava en carbón inactivo, muestra una reducción significativa en la resistencia, lo que podría estar relacionado con la alta relación agua/cemento (0.70) y las características intrínsecas de la grava en carbón, como su posible fragilidad o capacidad de absorción.

Las mezclas 1 a 6, que contienen proporciones más altas de agregados convencionales, exhiben resistencias más consistentes, siendo las mezclas 5 y 6 las más prometedoras para aplicaciones estructurales debido a su bajo contenido de agua (relación agua/cemento de 0.47) y el uso equilibrado de arena de RCD y agregados convencionales. Estas mezclas, especialmente la 6 que presenta la mayor resistencia a la compresión entre todas las combinaciones estudiadas, superan notoriamente el límite establecido por la NTC 4076, destacándose como opciones viables para elementos estructurales en concreto.

La arena de RCD mejora la cohesión y el llenado de vacíos, mientras que la grava de RCD cerámicos aporta rigidez

estructural, aunque debe controlarse su proporción para evitar una disminución de las resistencias mecánicas. El vidrio triturado que se usó en la mezcla 9, contribuye a la matriz cementante al actuar como un material de relleno fino, aunque su influencia parece depender de la adecuada dosificación y su interacción con otros componentes.

Como tendencia general, se observa que las mezclas que incorporan materiales reciclados como arena de RCD y grava de RCD cerámicos muestran un desempeño adecuado para aplicaciones no estructurales y, en algunos casos, estructurales, siempre que se optimicen las proporciones y relaciones agua/cemento. Estas observaciones destacan la viabilidad técnica y ambiental del uso de materiales reciclados en la elaboración de bloques y adoquines, alineándose con los principios de sostenibilidad y economía circular en la construcción.

Al igual que con los materiales convencionales, las mezclas con residuos requieren que tanto el curado como la selección adecuada de los materiales sean considerados factores críticos en la obtención de mezclas viables y consistentes. El desempeño limitado de estas muestras subraya la necesidad de implementar controles más rigurosos en los procesos de fabricación y monitoreo de las propiedades de los materiales empleados.

3. Elaboración y evaluación de prototipos

La formulación de la muestra 6 se utilizó para la fabricación de adoquines de concreto, debido a su desempeño destacado en la incorporación de materiales reciclados de construcción y demolición (RCD) y a su cumplimiento con los requisitos de la norma NTC 3829 (ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2022), que establece los estándares para adoquines de concreto de uso peatonal. Esta formulación no solo demostró su idoneidad técnica, sino que también representó una alternativa sostenible al reducir la dependencia de materiales vírgenes. Para garantizar la calidad de los prototipos, se siguieron estrictamente los procedimientos de dosificación y moldeo recomendados.

El adoquín prototipo elaborado con la formulación de la muestra 6 presenta dimensiones de 12.5 cm de ancho, 12.5 cm de alto y 3.5 cm de espesor, con un peso total de 1.092 kg. Estas características lo hacen apto para aplicaciones peatonales, destacándose por su resistencia mecánica y durabilidad, elementos clave para este tipo de estructuras.

En paralelo, se realizaron los primeros prototipos de bloques de concreto utilizando como referencia la muestra 9, que integró vidrio molido reciclado de posconsumo en su diseño de mezcla. Este enfoque buscó evaluar la viabilidad técnica del vidrio como sustituto parcial del agregado fino, con miras a desarrollar bloques de concreto sostenibles y de alto rendimiento. Las dimensiones de estos bloques fueron de 9.5 cm de alto, 14.7 cm de ancho y 30 cm de profundidad, con un peso total de 8.86 kg.

Adicionalmente, se elaboraron prototipos de bloques de concreto basados en la muestra 8, la cual contiene RCD de concretos y cerámicos. Esta formulación también fue evaluada por su viabilidad técnica para la producción de bloques de concreto, destacándose por su capacidad para aprovechar materiales reciclados sin comprometer las propiedades mecánicas del producto final. En la Figura 4 se presentan imágenes que ilustran procesos efectuados con los prototipos.

Figura 4.

Imágenes ilustrativas de procesos de pesaje y realización de ensayos de compresión efectuados al prototipo.



Fuente: elaboración propia.

La resistencia a la compresión de los prototipos cumplió con lo estipulado según el diseño de mezcla planteado en la fase previa, alcanzando resistencias acordes a las obtenidas en las mezclas usadas para moldear los cilindros.

4. Análisis de sostenibilidad

Para este análisis se consideró que los bloques se fabricaban con cemento proveniente de una planta ubicada

a 158 km y arena extraída en una cantera localizada a 13 km del sitio de elaboración, mientras que los demás ingredientes estaban disponibles en el sitio donde se disponían y trituraban los residuos de construcción y demolición. En la Tabla 3 se presenta la información considerada para el análisis de sostenibilidad de la fabricación de los bloques, en lo que respecta a los equipos usados.

Tabla 3.
Variables consideradas para estimar la huella ambiental asociada al uso de equipos para la elaboración del bloque y del adoquín.

Equipo	Potencia (Kw)	Bloque		Adoquín	
		Tiempo de elaboración requerido	Consumo (Kwh)	Tiempo de elaboración requerido	Consumo (Kwh)
Báscula	0.006	0.133	0.80	0.100	0.001
Trituradora	4.18	0.033	0.14	0.033	0.14
Compactadora	4.18	0.083	0.35	-	-

Fuente: elaboración propia.

Para el análisis se consideró la fabricación de bloques de 8.86 kg. La evaluación usando el método CML del software openLCA para estimar el impacto del ciclo de vida (LCIA) del bloque, encontró una emisión de 0.94 kg de CO₂ por cada kilogramo de cemento Portland empleado, en términos de su potencial de calentamiento global (GWP) durante un período de 100 años. Es un factor determinante dado que este cemento es uno de los materiales más críticos en términos de emisiones de gases de efecto invernadero, debido al proceso de calcinación del Clinker (Huang et al., 2024). Este impacto, sumado a las emisiones asociadas a los materiales empleados en la fabricación del bloque, 0.071 kg de CO₂ emitidos por concepto de transporte de los materiales en las distancias consideradas, y a 0.00338 kg de CO₂ equivalente por la cantidad de agua que se requiere para elaborar el bloque, dan como resultado que las emisiones generadas por el proceso de elaboración del bloque en un horizonte temporal de 100 años contribuyen al calentamiento global de manera equivalente a 4.53 kg de CO₂, valor que ya tiene en cuenta el impacto de los gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄).

Al comparar en el software el impacto de la fabricación del bloque con residuos, se obtiene un resultado de 4.54 kg de CO₂ emitidos durante su ciclo de vida, es decir, considerando desde la producción hasta el final de su vida

útil, incluyendo flujos de materiales y transporte, proyectados en el transcurso de 100 años. En el caso de la fabricación del bloque empleando materiales tradicionales, se generan 8.59 kg de CO₂ en el mismo tiempo, como consecuencia del uso de materiales industrializados que tienen una mayor huella de carbono.

Para la fabricación de los adoquines de 1.1 kg, se encontró que la elaboración con materiales reciclados genera emisiones de 1.21 de CO₂ equivalente, mientras que el uso de materiales tradicionales implica emisiones de 0.70 kg de CO₂ equivalente, lo cual se debe al rol del cemento en la mezcla, ya que como se ha mencionado es uno de los principales contribuyentes al cambio climático. El otro factor incidente se asocia al consumo de energía de los equipos necesarios para triturar los residuos, que en el caso del adoquín tienen una mayor incidencia que en la fabricación de los bloques. Sin embargo, pueden optimizarse las formulaciones para disminuir el contenido de cemento Portland y aumentar la proporción de residuos de construcción y demolición de menor consumo intensivo de energía durante su fabricación.

Conclusiones

La investigación desarrollada permitió evaluar diversas formulaciones de mezcla de concreto enfocadas en la sostenibilidad y el aprovechamiento de materiales de

construcción reciclados, logrando importantes hallazgos en términos de resistencia, manejabilidad y aplicaciones potenciales. Las conclusiones obtenidas ofrecen un marco para la implementación de prácticas innovadoras y sostenibles en el sector de la construcción, pues si bien se realizó un diseño experimental exploratorio es de resaltar que permitió comparar el efecto de la relación agua/cemento y del contenido de agregados gruesos convencionales, agregados finos y gruesos provenientes de residuos de construcción y demolición (RCD) de concreto y cerámicos, y de cemento.

Algunas de las mezclas propuestas en este trabajo alcanzaron resistencias superiores a 10 MPa a los 7 días de curado con relaciones agua/cemento bajas. Se identificó que un menor contenido de agua mejora significativamente la resistencia del concreto, aunque disminuye su manejabilidad, resultando en un asentamiento casi nulo en los cilindros. Por otro lado, mezclas con relaciones agua/cemento más altas mostraron mayor fluidez y facilidad de colocación, pero con resistencias inferiores.

La formulación que contenía vidrio molido reciclado como reemplazo parcial del agregado fino mostró resultados prometedores para la fabricación de bloques estructurales. Con un 17% de cemento en la mezcla, esta formulación alcanzó una resistencia a la compresión prometedora para aplicaciones estructurales, pero exige un control estricto del curado para garantizar consistencia en los resultados.

El diseño de mezcla que reemplazó al 100% los agregados convencionales con RCD cerámicos y un 22% de cemento sobre la masa total presentó un rendimiento sobresaliente, logrando una resistencia de 24 MPa, adecuada para aplicaciones estructurales específicas, como adoquines y mobiliario urbano. Sin embargo, la NTC 174, que regula el uso de RCD, señala que aún no se dispone de evidencia suficiente sobre su comportamiento a largo plazo, limitando su uso en elementos críticos como vigas o columnas.

En cuanto a mezclas con materiales no convencionales, el uso de carbón inactivo granulado no fue viable debido a problemas de aglutinación y manejabilidad. Este material mostró una pobre adhesión y una resistencia deficiente, alcanzando apenas 3 MPa, lo que lo descarta para aplicaciones estructurales y no estructurales. Por el contrario, el carbón inactivo molido podría representar una alternativa a explorar, dada su mayor capacidad de integración en mezclas.

El análisis de los prototipos elaborados a partir de estas formulaciones reveló aspectos importantes para la optimización de los diseños. Por ejemplo, los adoquines fabricados con RCD cerámicos conservaron su forma y dimensiones tras el desencofrado, mostrando su viabilidad técnica. Por otro lado, los bloques de concreto que utilizaron RCD cerámicos de tamaño $\frac{3}{4}$ " presentaron acabados deficientes en su estética. Al ajustar la granulometría a un agregado cerámico #4, los resultados en términos de acabado y especificaciones estéticas mejoraron notablemente.

Desde una perspectiva sostenible, las mezclas desarrolladas lograron incorporar entre un 38% y 42% de RCD, lo que representa un importante porcentaje de reutilización de residuos en la industria de la construcción. Estos hallazgos reafirman el potencial de los materiales reciclados para reducir el impacto ambiental, optimizando la gestión de desechos y minimizando la dependencia de recursos vírgenes.

El análisis del impacto ambiental reveló que la fabricación de bloques con RCD reduce significativamente las emisiones de CO₂ por ciclo de vida en comparación con bloques tradicionales. Aunque los adoquines fabricados con materiales reciclados generan mayor cantidad de CO₂ equivalente, este comportamiento se debe al contenido de cemento y al consumo energético en la trituración de los residuos, la cual juega un rol de mayor efecto en el caso de los adoquines que en los bloques. Los resultados indican que optimizar las formulaciones disminuyendo cemento y aumentando RCD puede mejorar la sostenibilidad ambiental, pero la evaluación integral debe considerar tanto el uso de materiales reciclados como la estimación cuantitativa del impacto ambiental, para tomar decisiones con criterios debidamente sustentados.

Se recomienda establecer colaboraciones con empresas que trabajan con RCD, para escalar estas formulaciones y evaluar su viabilidad financiera y competitividad en el mercado actual. Además, se sugiere profundizar en investigaciones futuras que analicen el desempeño a largo plazo de estos materiales, particularmente en condiciones reales de uso, así como su impacto económico y ambiental en proyectos de construcción a gran escala. Estas acciones permitirán consolidar las bases para una construcción más sostenible y responsable.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la estrategia SENNOVA del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA por la financiación de la investigación que dio origen a este estudio, y al Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción del SENA Regional Antioquia por el apoyo y la disposición para la realización de actividades metodológicas claves para este trabajo.

Contribución de autoría

Duber Mauricio Flórez Corre (ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9331-1794>): metodología, logística, investigación, análisis de datos, borrador original.

Maryorie Córdoba Ramírez (ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9415-8065>): metodología y análisis para estimar el impacto del ciclo de vida (LCIA)

Jhon Darwyn Jiménez Ramírez (ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3844-6553>): conceptualización, logística, investigación, análisis de datos.

Sandra Milena Velásquez Restrepo (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6697-2801>): escritura, revisión, elaboración de conclusiones y edición.

Referencias

- Alhawati, M., Ashour, A., Yildirim, G., Aldemir, A., & Sahmaran, M. (2022). Properties of geopolymers sourced from construction and demolition waste: A review. *Journal of Building Engineering*, 50, 104104. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104104>
- Al-Raqeb, H., Ghaffar, S. H., Al-Kheetan, M. J., & Chougan, M. (2023). Understanding the challenges of construction demolition waste management towards circular construction: Kuwait Stakeholder's perspective. *Cleaner Waste Systems*, 4, 100075. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2023.100075>
- Davidovits, J. (2020). *Geopolymer: Chemistry & applications* (5th ed). Institut Géopolymère.
- Edun, A., & Hachem-Vermette, C. (2022). Post-consumer waste recycling for high performance building envelopes in cold climates: Assessing energy and environmental impacts. *Journal of Cleaner Production*, 372, 133686. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133686>
- Flórez Gelves, A. (2023). Guía metodológica para la correcta implementación del pulimento de especímenes cilíndricos de concreto como método de refrentado no adherido [Tesis de Maestría en Construcción, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84538>
- Huang, B., Ge, Y., Wang, X., Wang, Y., Wang, J., Song, C., Zhu, J., Amaechi, C. V., & Sun, J. (2024). Recycled ceramic brick powder utilization in fiber reinforced 3D printing concrete: An eco-friendly substitute to conventional fine aggregates. *Journal of Building Engineering*, 98, 111441. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.111441>
- ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (1997). NTC 4026:1997 Ingeniería civil y arquitectura. Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería estructural.
- ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2017). NTC 4076:2017 Unidades de concreto para mampostería no estructural.

- ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2018). NTC 77:2018 Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.
- ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2019). NTC 176:2019 Método de ensayo para determinar la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso.
- ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2020a). END 098:2020 Guía para el desarrollo del plan de gestión de residuos para los proyectos de construcción, desmontaje y demolición.
- ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2020b). NTC 237:2020. Método de ensayo para determinar la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado fino.
- ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2020c). NTC 550:2020 Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en el sitio de trabajo.
- ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2022). NTC 3829:2022 Adoquín de arcilla para tránsito peatonal y vehicular liviano.
- Iyiola, C. O., Mewomo, M., Oyewole, M., & Makanjuola, S. (2023). Circular Economy for Construction and Waste Demolition: A Bibliometric Review of Research Trends. AHFE 2023 Hawaii Edition. <https://doi.org/10.54941/ahfe1004462>
- Mahpour, A. (2018). Prioritizing barriers to adopt circular economy in construction and demolition waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 134, 216-227. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.026>
- Mendes, J. P., Elyseu, F., Nieves, L. J. J., Zaccaron, A., Bernardin, A. M., & Angioletto, E. (2021). Synthesis and characterization of geopolymers using clay ceramic waste as source of aluminosilicate. *Sustainable Materials and Technologies*, 28, e00264. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00264>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia. (2017). Resolución 0472 de 2017 Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición – RCD y se dictan otras disposiciones. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/resolucion-0472-de-2017.pdf>
- Papamichael, I., Voukkali, I., Loizia, P., & Zorpas, A. A. (2023). Construction and demolition waste framework of circular economy: A mini review. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 41(12), 1728-1740. <https://doi.org/10.1177/0734242X231190804>
- Sánchez Pacheco, N. (2020). Reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD) en la industria de la construcción [Trabajo de grado presentado para optar al título de Especialista en Gerencia Integral de Proyectos, Universidad Militar Nueva Granada]. <https://repository.unimilitar.edu.co/server/api/core/bitstreams/6de3db08-caf6-4022-b220-705ab89dd082/content>
- Singh, N. B., & Middendorf, B. (2020). Geopolymers as an alternative to Portland cement: An overview. *Construction and Building Materials*, 237, 117455. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117455>
- Starczyk-Kołbyk, A., & Małek, M. (2023). Analysis of the Life Cycle and Properties of Concrete with the Addition of Waste Car Glass. *Sustainability*, 15(14), 10836. <https://doi.org/10.3390/su151410836>

Comunidades rurales sostenibles, valoración de una comunidad del suroriente de Bogotá

Luis E. Yate¹, Sergio E. Soracá².

¹ luiseyate@hotmail.com

² ssoraca.@sena.edu.co

^{1,2} Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera - Servicio Nacional de Aprendizaje SENA CTCM, Bogotá, Colombia.

- Sustainable rural families: a proposal for a community in southeastern Bogotá
- Comunidades rurais sustentáveis, avaliação de uma comunidade no sudeste de Bogotá.

Artículo de investigación



Foto: Andres Ortíz.

Resumen

Las dinámicas económicas y sociales que se presentan en estos entornos actualmente, están acelerando la degradación del ambiente, acciones como la inadecuada gestión de desechos de actividades agrícolas y domésticas, el uso excesivo y extensivo de recursos naturales como el agua y la dependencia de combustibles fósiles, como la leña, contribuyen significativamente a la paulatina disminución de aprovechamiento holístico de las zonas rurales. El objetivo del presente estudio es evaluar el nivel de sostenibilidad de hogares rurales de la zona de Quiba Alta en el distrito capital de Bogotá, Colombia. Para ello se adoptó una metodología de investigación cualitativa, ya que es un método que permite recopilar y evaluar datos no estandarizados, con el objetivo de comprender un fenómeno en su entorno natural, es así como se evaluaron 30 hogares rurales representativos al total de viviendas habitadas en la localidad, con un nivel de confianza del 95 %. Se utilizó un marco de evaluación basado en el concepto de los Medios de vida Sostenible (MVS), (Chambers, R., & Conway, G., 1991). Se hace uso de este marco, ya que no pretende representar una visión exacta de la realidad, sino proporcionar una perspectiva sobre los medios de vida de las poblaciones más vulnerables. La investigación desarrolló un modelo de evaluación integral que abordó la sostenibilidad desde cinco Condiciones fundamentales, cada una representando una dimensión crítica del desarrollo comunitario: autogestión, adaptación, cultura ambiental, convivencia y producción. Entre los resultados principales se puede mencionar que el nivel de sostenibilidad de los hogares fue del 22,5 %, es decir, que no cumplen los criterios básicos de sostenibilidad. La evaluación de la sostenibilidad realizada en los hogares de la comunidad rural seleccionada suministró información valiosa sobre el uso de los recursos locales y las prácticas ambientales habituales. Mediante el análisis metódico, se obtuvo una comprensión integral de cómo los miembros de la comunidad interactúan con los recursos naturales en sus contextos agrícolas y domésticos cotidianos. También se evidenció que existe un claro enfoque en las comunidades rurales hacia la implementación de prácticas y metodologías sostenibles en su diario vivir.

Palabras clave: Comunidades sostenibles; Desarrollo ambiental; marcos de evaluación, ruralidad.

Abstract

Summary Sustainability in rural households and communities is a major challenge today. The economic and social dynamics that occur in these environments today are accelerating environmental degradation, actions such as inadequate waste management from agricultural and domestic activities, the excessive and extensive use of natural resources such as water and dependence on fossil fuels, such as firewood, contribute significantly to the gradual decrease in the holistic use of rural areas. The objective of this study is to evaluate the level of sustainability of rural households in the Quiba Alta area in the capital district of Bogotá, Colombia. To this end, a qualitative research methodology was adopted, since it is a method that allows the collection and evaluation of non-standardized data, with the aim of understanding a phenomenon in its natural environment. This is how 30 rural households' representative of the total number of inhabited homes in the locality were evaluated, with a confidence level of 95%. An evaluation framework based on the concept of Sustainable Livelihoods (SLM) was used (Chambers, R., & Conway, G., 1991). This framework is used as it is not intended to represent an accurate view of reality, but to provide a perspective on the livelihoods of the most vulnerable populations. This research developed an integral evaluation model which approached sustainability from five essential conditions, each one representing a community development critical dimension: self-management, adaptability, environmental culture, coexistence and productivity. Among the main results, it can be mentioned that the level of sustainability of the households was 22.5%, that is, they do not meet the basic sustainability criteria. The sustainability analysis in the sample of households in the selected rural community allowed a better understanding of the practices and use of natural resources in daily life in the countryside. There was a methodic analysis through which integral understanding was obtained on how community members interact with natural resources in their agricultural and domestic daily contexts. It was also evident that there is a clear focus in rural communities towards the implementation of sustainable practices and methodologies in their daily lives.

Keywords: Environmental development; evaluation frameworks; rurality; sustainable communities.

Resumo

As dinâmicas econômicas e sociais que ocorrem nesses ambientes hoje estão acelerando a degradação ambiental, ações como a gestão inadequada de resíduos de atividades agrícolas e domésticas, o uso excessivo e extensivo de recursos naturais como a água e a dependência de combustíveis fósseis, como a lenha, contribuem significativamente para a diminuição gradual do uso holístico das áreas rurais. O objetivo deste estudo é avaliar o nível de sustentabilidade das famílias rurais na área de Quiba Alta, no distrito capital de Bogotá, Colômbia. Para tanto, adotou-se uma metodologia de pesquisa qualitativa, por se tratar de um método que permite a coleta e avaliação de dados não padronizados, com o objetivo de compreender um fenômeno em seu ambiente natural, foi assim avaliados 30 domicílios rurais representativos do número total de domicílios habitados na localidade, com nível de confiança de 95%. Foi utilizada uma estrutura de avaliação baseada no conceito de Meios de Subsistência Sustentáveis (SLM) (Chambers, R., & Conway, G., 1991). Essa estrutura é usada porque não se destina a representar uma visão precisa da realidade, mas a fornecer uma perspectiva sobre os meios de subsistência das populações mais vulneráveis. A pesquisa desenvolveu um modelo de avaliação abrangente que abordou a sustentabilidade a partir de cinco condições fundamentais, cada uma representando uma dimensão crítica do desenvolvimento da comunidade: autogestão, adaptação, cultura ambiental, convivência e produção. Dentre os principais resultados, pode-se citar que o nível de sustentabilidade dos domicílios foi de 22,5%, ou seja, eles não atendem aos critérios básicos de sustentabilidade. A

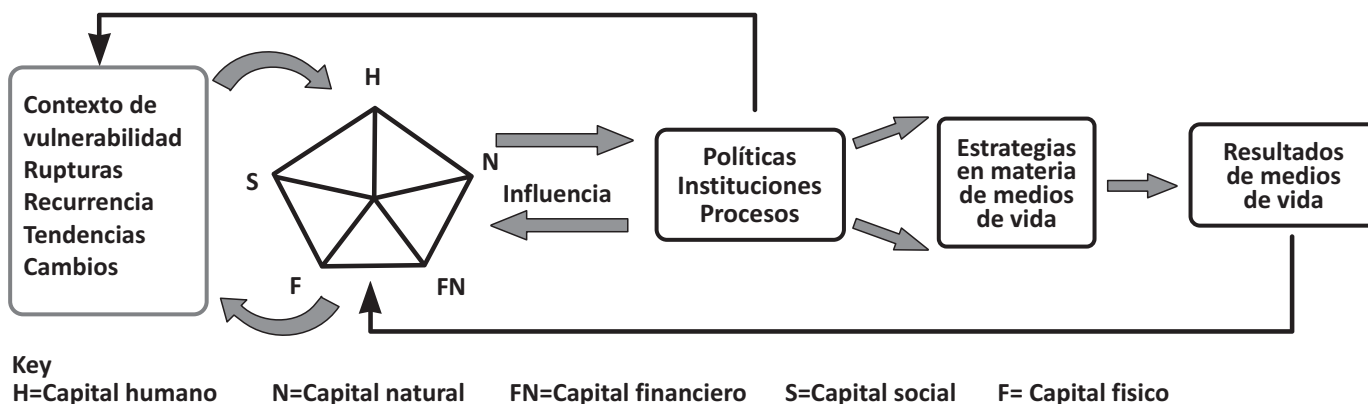
avaliação de sustentabilidade realizada nas famílias da comunidade rural selecionada forneceu informações valiosas sobre o uso de recursos locais e práticas ambientais habituais. Por meio de uma análise metódica, obteve-se uma compreensão abrangente de como os membros da comunidade interagem com os recursos naturais em seus contextos agrícolas e domésticos cotidianos. Também ficou evidente que há um foco claro nas comunidades rurais para a implementação de práticas e metodologias sustentáveis em suas vidas diárias.

Palavras-chave: Comunidades sustentáveis; desenvolvimento ambiental; quadros de avaliação, ruralidade.

Introducción

La sostenibilidad de los hogares rurales es un desafío crítico en el escenario actual a escala global, especialmente en zonas donde los asentamientos humanos están expuestos a condiciones de vulnerabilidad socioambiental y económica. Este documento aborda la evaluación de la sostenibilidad en los hogares rurales de Quiba Alta, Bogotá, Colombia, una zona caracterizada por su amplio uso de recursos naturales y por las prácticas agrarias tradicionales. Para tal fin, se llevó a cabo un análisis cualitativo de 30 hogares representativos, basado en el marco teórico de Sustainable Livelihood Framework propuesto por Chambers y Conway, (Figura 1), que permite evaluar las capacidades, activos y estrategias de subsistencia en comparación con los factores de estrés y disrupción, (Chambers, R., & Conway, G., 1991).

Figura 1.
Marco de vida sustentable.



Fuente: DFID 2001.

En este sentido, se contemplaron indicadores relacionados con la autogestión, la adaptación, la cultura ambiental y la Producción. Los hallazgos muestran que el nivel de sostenibilidad se sitúa en un 22,5%, lo que sugiere que los hogares estudiados no alcanzan los estándares básicos de sostenibilidad. En concreto, el hallazgo responde a prácticas ineficientes de uso de recursos naturales y residuos, así como a una escasa integración de estrategias sostenibles en su quehacer cotidiano, lo que lleva a plantear que hay una brecha importante en dirección al desarrollo sostenible en las comunidades rurales. Las consideraciones teóricas de este documento parten del concepto de Informe Brundtland, (ONU, 1987) el cual define el desarrollo sostenible en función de aquél que satisface las necesidades presentes de la población sin comprometer las capacidades futuras. A nivel regional, la importancia de abordar los índices de sostenibilidad a partir de dimensiones ambientales, económica y socialmente la plantean investigaciones como la de Munévar, que evalúa la sostenibilidad en Villa de Leyva, Colombia desde la perspectiva de los turistas (Munévar, 2023). Los objetivos del presente manuscrito son, en primer lugar, proponer una metodología específica para la evaluación de la sostenibilidad en hogares rurales y, por otro, aportar estrategias específicas para promover la resiliencia y el uso efectivo de recursos en estas comunidades. Las contribuciones de la metodología utilizada se centran en el abordaje de los hogares como unidades de análisis sustanciales para el desarrollo rural inclusivo, en lugar de aproximaciones más generales que priorizan los ámbitos urbanos. Los avances de este estudio permiten, por un lado, medir la sostenibilidad en contextos rurales específicos y, por otro, identificar áreas particulares de intervención (Quesada et al., 2018). En ambos casos, se trata de elementos fundamentales para el diseño de políticas públicas y estrategias de base comunitaria que permitan un equilibrio entre desarrollo socioeconómico y conservación ambiental.

Metodología

Proceso metodológico

El marco de evaluación de la sostenibilidad de los hogares rurales (ESHOR) se desarrolló para analizar de manera integral la sostenibilidad de los hogares rurales. Este enfoque metódico implica la selección, medición y clasificación porcentual de indicadores sociales, económicos y ambientales (Mesera y López, 1999), a través de un proceso estructurado de cuatro fases:

1. Definición y caracterización del objeto de estudio: en esta fase se procedió a identificar y describir el contexto específico de investigación, permitiendo establecer características de referencia de los hogares rurales.
2. Definición, agrupación y puntuación de los indicadores: En esta fase se realizó la selección de indicadores de sostenibilidad relevantes, se categorizó y asignó peso a cada indicador.
3. Medición y análisis de indicadores: Fase de recopilación de datos para cada indicador seleccionado, realización de evaluaciones cuantitativas y cualitativas detalladas.
4. Integración de resultados: en esta fase se sintetizaron los hallazgos de diferentes categorías de indicadores, lo que permitió generar una evaluación integral de la sostenibilidad.

Este marco permite un enfoque sistemático y holístico para comprender la dinámica de la sostenibilidad en entornos de hogares rurales.

Objeto de estudio y caracterización

La investigación se llevó a cabo en el suroriente de la capital colombiana, específicamente en la localidad de Ciudad Bolívar, con énfasis en la comunidad de Quiba Alta del Distrito Capital de Bogotá. Esta zona geográfica sirvió como sitio preciso para la investigación y recolección de datos del estudio. Esta comunidad se localiza en las coordenadas geográficas: Ciudad Bolívar, 111971 Bogotá, Distrito Capital, Colombia, Latitud 4.50147|Longitud -74.156469. Quiba Alta es una vereda ubicada en el Municipio de Sibaté, departamento de Cundinamarca, Colombia. La zona rural de la localidad comprende una extensión de 896,80 hectáreas, aportando 9.33% de participación sobre el suelo rural de la localidad. Es de señalar que la vereda limita al norte con las veredas de Quiba baja – Mochuelo Bajo, al occidente con el municipio de Soacha, al sur con la vereda de Pasquilla y al oriente con las veredas de Mochuelo Alto y Mochuelo Bajo. (ALCADIA LOCAL DE CIUDAD BOLIVAR, 2018). Demográficamente, su población total es de 1,586 habitantes y cuenta con 351 viviendas; para este estudio se ha tenido en cuenta la población censada hasta el año 2018. Fisiográficamente, en el municipio se encuentran sierras, lomeríos y llanuras que están asociadas a humedales. Geológicamente, se compone principalmente de roca sedimentaria, predominantemente palustre y arenisca, los suelos dominantes son de tipo Gleysol con alta humedad. (Díaz Franco, 2018).

Clima: la zona corresponde a páramo y es frío húmedo, con lluvias durante todo el año, la temperatura media es de 10 °C y tiene un índice de humedad que oscila entre 50% y 100%. Uso del suelo: el 57% corresponde a pastizales los cuales ocupan el 39% de la zona, fuera del uso de los bosques húmedos, 0.26% se dedica a la agricultura y un 2% a otros usos.

Para el presente estudio, se llevó a cabo una revisión de la literatura con respecto a la investigación sobre los Condiciones o características que definen un hogar sostenible. Se tomaron como base los tres componentes de la sostenibilidad: económico, social y ambiental.

Figura 2.
Pilares del desarrollo sostenible.



Fuente: <https://girosalut.org/los-3-pilares-del-desarrollo-sostenible/>

En este trabajo se tomaron en cuenta las siguientes Condiciones:

Autogestión

Esta Condición se refiere a la capacidad de un hogar de asegurar aquellos recursos provenientes de afuera cuya no disponibilidad afectaría la estabilidad de los hogares. En el marco del desarrollo sostenible, la autogestión se refiere a la capacidad de una comunidad, grupo o individuo de organizarse y manejar sus propios recursos y actividades

con el objetivo de poder satisfacer durante tiempo sus propias necesidades y aspiraciones (FONSECA, 2021). Eso implica que una persona, grupo o comunidad tome decisiones, planifique sus acciones y las ejecute sin depender exclusivamente de un agente externo y responsable, utilizando eficientemente los recursos con los cuales pueda lograr arribar a un desarrollo que equilibre los aspectos económicos, sociales y ambientales (Tonolli, A. J., 2019).

La autogestión del desarrollo sostenible se refiere a los esfuerzos propios de las comunidades de intervención. En este sentido, las personas pueden ser resilientes, capaces de empoderarse y de adaptarse a un futuro de cambios o de desafíos que podrían ocurrir, minimizando los impactos negativos sobre el ambiente y permitiendo tener una visión más amplia acerca de los logros o beneficios a largo plazo. Según Max-Neef et al. 1986, "autogestión promueve procesos de desarrollo que incentivan a la colaboración en esfuerzos comunitarios, contribuyendo de esta forma a la construcción de futuros sostenibles".

Adaptación

Esta Condición mide la capacidad del sistema de responder a los cambios en el entorno y que pueden ser perjudiciales para la biodiversidad. La adaptación se refiere a la habilidad de un sistema para encontrar nuevas maneras de obtener beneficios ante cambios constantes en su entorno (Leiva, 2020). En este sentido, la adaptación es crucial para la sostenibilidad, ya que los sistemas solo pueden mantenerse sostenibles si pueden modificar su estructura para enfrentar las variaciones en su entorno. Desde la óptica de los hogares rurales, esta condición implica identificar qué hogares son capaces de ajustar los elementos esenciales de su vida diaria, como la cocina y la higiene, especialmente cuando no disponen de agua potable o de suficiente energía para cocinar, incluso en situaciones adversarias.

Cultura Ambiental

Cuando se aborda la condición de la cultura ambiental, se está hablando del nivel de conocimiento y de acción que poseen las personas en relación con las prácticas vinculadas al medio natural. En particular, se consideran las acciones que se realizan para reducir su impacto negativo en el ambiente, como el manejo adecuado y la

disposición final de sus residuos. La cultura ambiental define los términos de interacción y reproducción social entre los seres humanos y su entorno (Miranda Murillo, 2013). Para lograr la sostenibilidad, es esencial promover la cultura y la conciencia ambiental.

Convivencia

La condición de convivencia evalúa el nivel de interacción entre los miembros de un hogar y las personas de su comunidad.

Quiere decir la medida en que los individuos que habitan en una comunidad ejercen la mutua presión necesaria para producir la sociedad que satisface sus vidas singulares. En el ámbito rural, la sostenibilidad exige que la población haga diagnósticos y priorizaciones activas para resistir las amenazas recurrentes en los escenarios locales de cambios (Rueda Rodríguez, 2022).

Producción

La condición de Producción en los hogares rurales se refiere a la capacidad de los hogares rurales de producir bienes y servicios de manera eficiente y sostenible. Había que ver con cómo los hogares rurales usan su tierra, agua y mano de obra para producir alimentos y otros productos básicos para el hogar, y también para otros mercados (Quitian, 2023). La Producción incluye adoptar tecnologías nuevas y mejoras que aumenten el rendimiento en pro del estancamiento ambiental.

De acuerdo con Fonseca, “un sistema es sostenible cuando logra producir de manera equilibrada una combinación específica de bienes y servicios que satisface a la población” (Fonseca, 2020). Por lo tanto, la capacidad de un hogar para ser productivo está vinculada a cumplir con las necesidades esenciales para la vida, y las demandas de ocio y recreación son realizadas en acuerdo con los bienes y servicios que se proveen desde el esfuerzo de trabajo de uno o más integrantes de la familia.

Definición, clasificación y evaluación de indicadores

Una vez que se eligieron los condicionantes que debían medirse en relación con el hecho de que un hogar sea sostenible, se identificaron los indicadores para evaluar tanto la dimensión cualitativa como cuantitativa de cada característica de los hogares rurales seleccionados.

Cada indicador de clasificación de nivel de sostenibilidad se define por los criterios desarrollados por el grupo de expertos sobre el tema.

Medición y análisis de indicadores

La recolección de la información se realizó mediante un cuestionario estructurado con 30 preguntas cerradas, dicotómicas y politómicas. A cada indicador se le formuló una pregunta, ya cada indicador le corresponde una calificación máxima. Dicha calificación varía entre 0 y 3, siendo el número de respuestas posibles para cada pregunta, y el valor más alto representa el hábito sostenible que cada hogar debería adoptar. El cuestionario fue creado y elaborado mediante la plataforma tecnológica de Microsoft® Forms, y se llevó a cabo de manera remota en los hogares seleccionados al azar en la zona de estudio. El tamaño de muestra se determinó calculando la cantidad representativa del total de viviendas habitadas en la comunidad, consultando el último Censo de Población y Vivienda del DANE 2018. Así, se obtiene un tamaño de muestra de 30 hogares de los 351 habitados con un 95% de confianza, al 5% de error y 50% de probabilidad. El análisis de los datos se llevó a cabo mediante el uso de estadística descriptiva.

Se usó la ecuación 1, para calcular el tamaño de muestras en poblaciones finitas.

Ecuación 1.

$$n = \frac{z^2 p q N}{N e^2 + z^2 p q}$$

Donde: $z = 1.96$ corresponde al número de unidades de desviación, donde se ha indicado con el que nivel de confianza se adoptó. $e = 0.05$ es el error previsto de estimación que se desea mantener. N = tamaño de la población objeto de estudio. $p = 0.50$ posibilidad de ocurrencia del evento estudiado.

Integración de resultados

Los resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas por medio de cuestionarios, se tabularon para realizar su comparación y el cuestionario se estructuró con preguntas de tipo cerrado. Debido a que los valores obtenidos para cada indicador estaban expresados en diferentes unidades, se decidió transformar los resultados

a dos escalas de valor más uniformes; esto facilitaría la obtención de un resultado específico y preciso. La primera escala representa el valor óptimo. Para determinarla, se considerarán tres valores posibles (30, 75, 90), los cuales corresponden a la multiplicación del tamaño de la muestra por la puntuación máxima de cada pregunta. La segunda escala, denominada valor ESHOR, se calculó como la suma total de las multiplicaciones entre el valor asignado a cada respuesta y los resultados obtenidos en el cuestionario. Los resultados se agruparon en base a las dimensiones económica, social y ambiental. Para ello, se utilizó como herramienta una escala de valoración que nos permitiría evaluar y clasificar el nivel de sostenibilidad de un sistema, una práctica o una entidad determinada, dividiendo esto en una escala numérica.

Esta escala se enuncia en los siguientes niveles:

- **No sostenible:** Indica que el sistema, práctica o entidad es insostenible. Los impactos negativos en el medio ambiente, la sociedad o la economía son altos, y las prácticas actuales no pueden mantenerse a largo plazo sin causar daño significativo (Silva y Ramírez, 2017).
- **Escasamente sostenible:** Refleja una situación en la que existen prácticas mínimas de sostenibilidad, pero son insuficientes. Aún se generan impactos negativos considerables, y las medidas implementadas apenas mitigan estos efectos.
- **Medianamente sostenible:** Indica un nivel moderado de sostenibilidad. Existen prácticas que ayudan a reducir los impactos negativos, pero todavía hay margen significativo para mejoras. El sistema es viable a largo plazo, pero no de manera óptima.
- **Moderadamente sostenible:** Refleja un alto nivel de sostenibilidad, donde la mayoría de las prácticas son adecuadas para minimizar los impactos negativos. El sistema, práctica o entidad es estable y puede mantenerse a largo plazo con pocas modificaciones (Astier y Galván, 2008).
- **Sostenible:** Representa el nivel más alto de sostenibilidad. Las prácticas son completamente compatibles con la preservación del medio ambiente,

el bienestar social y la viabilidad económica. Los impactos negativos son mínimos o inexistentes, y el sistema es plenamente viable a largo plazo (Zarta, 2018).

Estos niveles se corresponden con los propuestos por Fonseca y Fonseca (2014).

Resultados y discusión

Resultados en los Condición des de la dimensión ambiental

El sistema es influenciado de manera determinante por la condición de de autogestión, compuesto por tres indicadores que miden la implementación de tecnologías que aminoren la utilización y aplicación de dispositivos producidos por tecnologías que generan graves impactos para el ambiente. El presente estudio dictamina que, en consecuencia, el indicador de tecnologías verdes y usos de energías renovables marcó el puntaje más bajo, debido a que no se registra la implementación de energía alternativa o alguna fuente que produzca la energía requerida por la mayoría de los hogares estudiados, pues se agrega la información nula en este sentido o insuficiente de las familias acerca del uso de ecotecnologías.

En relación al indicador establecido para medir el uso de sistemas que permitan la captación de agua lluvia, se evidencia que los hogares objeto de estudio no refieren un sistema formal para captar, tratar y almacenar el agua proveniente de la lluvia, sin embargo, se pudo evidenciar que una porción de la población objeto de estudio tiene por costumbre recolectar pequeñas cantidades de agua, para suplementar los constantes cortes del servicio público.

Por último, el indicador sobre el tipo de combustible utilizado para cocinar mostró un resultado poco halagüeño, ya que las muchas de las familias aun utilizan combustibles fósiles que dañan el ambiente, como la leña o el carbón, lo que se suma al aumento en la predisposición de enfermedades respiratorias. (Tabla 1).

Tabla 1.
Condición de autogestión.

Condición des	Indicadores	Valor óptimo	Valor ESHOR	%
Autogestión	Uso de energías renovables	30	2	7%
	Tipo de combustible empleado para cocinar	30	6	20%
	Uso de sistema de captación de agua pluvial	30	14	47%
Total		90	22	24%

Fuente: Elaboración Propia

La cultura ambiental en hogares rurales de la comunidad de Quiba Alta: Desempeño, Desafíos y Oportunidades de Sostenibilidad

La cultura ambiental muestra el segundo mejor desempeño, ya que el comportamiento de la población respecto a la gestión de residuos sólidos (RS), el uso de plantas de traspatio es positivo. El otro indicador que obtuvo la mejor calificación fue finalmente el indicador del indicador RS; la razón es que no se presentan residuos en los hogares y facilita la recolección rápida del RH. Sin embargo, hay indicadores negativos, como los relacionados con residuos de manejo especial (baterías y electrodomésticos), que a menudo se desechan junto con los residuos comunes. Esta práctica no es sostenible y debe ser abordada para evitar impactos negativos continuos en el ambiente (Tabla 2).

Por lo tanto, este resultado será la base para la implementación de capacitaciones que otorguen la información sobre el financiamiento necesario para la instalación de un sistema fotovoltaico que sirva como alternativa al servicio de energía eléctrica convencional (Tabla 2).

Diagnóstico de prácticas ambientales

El análisis de la cultura ambiental en los hogares rurales de la comunidad de Quiba Alta, revela un panorama complejo, con fortalezas significativas y áreas de mejora críticas en el manejo de residuos, aprovechamiento de espacios productivos y uso de energías alternativas. (Tabla 2). Los resultados muestran un desempeño destacado en la disposición final de residuos sólidos. Los hogares demuestran una práctica responsable al:

- Cumplir eficientemente con los horarios de recolección.
- Facilitar la recolección municipal mediante una adecuada preparación de los desechos.
- Mantener una disposición ordenada de los residuos.

No obstante, se identificaron desafíos en el manejo de residuos especiales, estas prácticas son críticas y requieren intervención inmediata, los mas relevantes se pueden resumir en la eliminación inadecuada de residuos especiales como baterías y electrodomésticos ya que la disposición de estos desechos junto con la basura doméstica común genera un impacto ambiental negativo derivado de estas prácticas incorrectas; a pesar de los hallazgos negativos evidenciados, se observaron de igual manera resultados prometedores en dos dimensiones fundamentales:

- Implementación de plantas de traspatio: Esto es un indicativo de un alto conocimiento sobre la importancia de utilizar cada uno de los espacios de manera productiva, por medio del desarrollo de huertas familiares, lo que favorece la oportunidad de fortalecer la seguridad alimentaria local.
- Conocimiento de la existencia de energías alternativas: la comunidad reconoce la importancia del uso de las tecnologías de energía renovable, lo que allana el camino para la implementación de nuevas soluciones energéticas, así mismo la comunidad se encuentra en muy buena disposición para implementar sistemas fotovoltaicos.

Como resultado del análisis del indicador se proponen estrategias de intervención en cuanto a las siguientes líneas de acción:

Ø Capacitación Integral

- o Programas de educación ambiental enfocados en el manejo correcto de residuos especiales
- o Técnicas de compostaje
- o Separación y reciclaje
- o **Desarrollo de Huertas Urbanas** por medio de talleres prácticos sobre:
 - § Diseño de huertas familiares
 - § Cultivo de alimentos de consumo diario

§ Técnicas de agricultura sostenible Ø Transición Energética

- o Promoción de sistemas fotovoltaicos mediante:
 - § Información técnica
 - § Asesoramiento financiero
 - § Opciones de implementación adaptadas a cada hogar

El diagnóstico revela que los hogares rurales cuentan con un potencial significativo para la transformación de sus prácticas ambientales. La combinación de capacitación especializada, acompañamiento técnico y financiamiento estratégico puede impulsar una transición hacia modelos de vida más sostenibles.

Tabla 2.
Condición de cultura ambiental.

Condición de	Indicadores	Valor óptimo	Valor ESHOR	%
Cultura ambiental	Disposición final de residuos sólidos (RS)	30	26	87%
	Disposición final de baterías	30	8	27%
	Clasificación de residuos sólidos (RS)	60	23	38%
	Disposición final de electrodomésticos	30	5	17%
	Comprensión sobre plantas de traspatio	30	14	47%
	Comprensión sobre energías renovables	30	18	60%
	Conocimiento sobre elaboración de composta	30	14	47%
	Conocimiento sobre la clasificación de residuos sólidos (RS)	30	12	40%
	Total	270	120	44%

Fuente: elaboración propia.

La adaptación comunitaria: análisis integral de prácticas ambientales y estrategias de sostenibilidad en la comunidad de Quiba Alta

Panorama General de la Adaptación Ambiental

El índice de adaptación del 44% obtenido en el estudio no debe interpretarse como una limitación de la comunidad, sino como un diagnóstico revelador de su capacidad de transformación. Este porcentaje marca un punto de inflexión crucial que evidencia tanto las fortalezas como las áreas de oportunidad en la gestión ambiental comunitaria. Al tratarse de un indicador que mide el potencial de cambio, refleja un dinamismo adaptativo y no un estado estático, lo que subraya la

capacidad de respuesta ante desafíos ambientales y la predisposición al cambio y al aprendizaje colectivo por parte de los integrantes de la comunidad. Este indicador pone de manifiesto hallazgos significativos, como la presencia de un compromiso ambiental emergente y los primeros estadios de una conciencia ecológica colectiva. (Amaya, 2006). Estas prácticas iniciales, aunque incipientes, indican una transición prometedora hacia una cultura ambiental comunitaria progresiva, que constituye un camino sólido hacia la sostenibilidad. El índice del 44% es una manifestación de la "inteligencia adaptativa comunitaria", reflejo de procesos culturales que están impulsando una transformación hacia modelos de vida más sostenibles.

Implicaciones Estratégicas del Indicador de Adaptación Ambiental

El índice de adaptación ambiental proporciona información estratégica para identificar oportunidades de intervención y fortalecimiento. Una de las principales áreas de acción es la educación ambiental, la cual debe enfocarse en consolidar los conocimientos existentes dentro de la comunidad, permitiendo así el desarrollo de capacidades propias y la expansión de una comprensión sistémica de las relaciones entre los habitantes y su entorno, de igual manera el indicador sugiere la necesidad de establecer lineamientos para un acompañamiento técnico, donde los ejes fundamentales incluyan:

- Transferencia de tecnología: Promoviendo el uso de herramientas y técnicas adaptadas a las necesidades locales.
- Diseño de soluciones contextualizadas:

Generando estrategias específicas que respondan a las particularidades socioculturales y ambientales de la comunidad.

- Construcción de capacidades locales: Fomentando la participación activa de los habitantes en iniciativas que fortalezcan su empoderamiento sobre el entorno.

Estas acciones buscan cultivar la resiliencia comunitaria a través de la apropiación de procesos productivos sostenibles y la integración de prácticas innovadoras que favorezcan la sostenibilidad, para alcanzar estos objetivos, se propone un modelo de interpretación evolutiva, compuesto por tres etapas de transformación ambiental que orienten el desarrollo progresivo de la comunidad hacia un nivel más avanzado de adaptación y sostenibilidad. Este enfoque integral busca convertir el compromiso emergente de Quiba Alta en un ejemplo de resiliencia y sostenibilidad comunitaria.

Tabla 3.

Etapas	Características	Objetivo
Inicial (44%)	Prácticas emergentes	Consolidar conciencia
Intermedia	Prácticas sistemáticas	Institucionalizar cambios
Avanzada	Prácticas autónomas	Sostenibilidad integral

Fuente: elaboración propia.

El 43% de adaptación encontrado en el estudio, constituye un diagnóstico dinámico que invita a formular estrategias que puedan comprender las complejidades del cambio requerido en la comunidad, implementación de metodologías que valoren los procesos graduales de aprendizaje y resiliencia de los habitantes y que de esta manera se pueda reconocer la potencialidad de la transformación comunitaria hacia un ambiente sostenible.

Prácticas Positivas de Conservación y Economía Familiar encontradas en el desarrollo de la comunidad.

Los habitantes de la comunidad de Quiba Alta han desarrollado recientemente algunas estrategias de sostenibilidad que les han permitido avanzar hacia la consecución de resultados en temas de reutilización y ahorro de recursos no renovables los cuales se

evidencian en:

- Gestión de Recursos Materiales
 - o Uso recurrente de bolsas de tela y costales de fique, para actividades diarias.
 - o Reutilización de cestos para compras
 - o Minimización de residuos plásticos
- Manejo Eficiente del Agua
 - o Captación de agua lluvia mediante canecas y contenedores
 - o Aplicaciones multipropósito del agua recolectada: Limpieza de patios, lavado de pisos
 - o Estrategias de conservación hídrica
- Transformación y Reciclaje de Envases
 - o Reutilización creativa de recipientes: envases plásticos y de vidrio como moldes para hielo, contenedores para almacenamiento de agua y conversión de envases en macetas.

Sin embargo, existen grandes desafíos en la adopción de ecotecnologías, que se constituyen en barreras para la implementación tecnológica en la comunidad, esto se evidencia principalmente en las limitantes identificadas, como lo son:

- Resistencia a la adopción de ecotecnologías por percepción de costos elevados
- Preferencia por soluciones convencionales
- Desconocimiento de beneficios a largo plazo

Así mismo existen tecnologías con cuya baja implementación reduce el fortalecimiento del indicador de adaptación, tal es el caso de falta de sanitarios ecológicos, el uso de pinturas ecológicas o de baterías de litio recargables, sin embargo, la comunidad acepta que puede haber un beneficio económico en el uso e implementación de ecotecnologías entre las cuales se cuentan, disminución del consumo eléctrico, la optimización del gasto familiar y un menor impacto ambiental; todo esto redundando en una mejor calidad de vida, una mayor conciencia ambiental y el desarrollo de resiliencia comunitaria, para lograr esto se propone realizar las siguientes recomendaciones estratégicas:

- Educación y Sensibilización
 - o Establecer programas de capacitación sobre ecotecnologías.
 - o Realizar demostración práctica de los beneficios económicos por usar ecotecnologías.
 - o Acompañamiento en procesos de implementación de ecotecnologías.
- Incentivos Económicos
 - o Facilitar acceso a tecnologías sostenibles.
 - o Desarrollar mecanismos de financiamiento, que permitan acceder a ecotecnologías.
 - o Crear estímulos para adopción tecnológica.
- Investigación y Desarrollo
 - o Adaptar tecnologías al contexto local.
 - o Fortalecer la innovación comunitaria.
 - o Promover soluciones contextualizadas.

La adaptación comunitaria representa un proceso dinámico de transformación. Para ello es importante poder demostrar de manera práctica que, la relación costo-beneficio del uso de ecotecnologías favorecen notablemente el ahorro monetario, lo que termina por ayudar a la economía familiar, permitiendo minimizar los gastos en servicios públicos como: electricidad y agua (Tagle y Azamar, 2020).

Tabla 4.
Condición de cultura ambiental.

<i>Condición de</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Valor óptimo</i>	<i>Valor ESHOR</i>	<i>%</i>
<i>Adaptación</i>	Forma de lavar utensilios de cocina	60	42	70%
	Condición del lavado de pisos	90	46	51%
	Uso de sanitarios ecológicos/ahorradores	60	1	2%
	Uso de grifos ahorradores para lavaplatos	60	8	13%
	Uso eficiente de agua y energía	60	38	63%
	Uso de baterías de litio recargables	30	14	47%
	Reutilización de envases	30	24	80%
	Uso de bolsas de tela	30	21	70%
	Uso de pinturas ecológicas	30	0	0%
	Forma de trasladarse	90	40	44%
	Reutilización del agua	30	16	53%
Total		570	250	44%

Fuente: Elaboración Propia.

Resultados en los Condición des de la dimensión social

La información del atributo dimensión datos informados – dimensión social señaló que la convivencia de habitantes de los hogares de Quiba Alta fue el mejor desempeño del estudio, porque las casas que tienen relación solidaria son más de la mitad de la población. Por su parte, la relación entre habitantes que han convivido, pero no asume la condición de hogar, también se encuentra en niveles altos; Sin embargo, el nivel de participación en proyectos es un punto medio. Asimismo, la dispersión social de las viviendas presenta

un nivel de amenaza si se pretenden desarrollar proyectos en la comunidad en el ámbito de influencia de la disposición; Sin embargo, el porcentaje de personas con nula ponderación en ambos indicadores es bajo. Por tanto, si se implementan programas de educación ambiental, tendrían el apoyo y participación de un porcentaje importante de la población. (Corrales, 2001). Aun así, el porcentaje de personas con nula ponderación en ambos indicadores es bajo, por tanto, si se implementan programas de educación ambiental estos tendrían el apoyo y participación de un porcentaje importante de la población (Tabla 5).

Tabla 5.
Condición de Convivencia.

Condición de	Indicadores	Valor óptimo	Valor ESHOR	%
Convivencia	Cooperación en proyectos comunitarios	60	33	55%
	Relaciones interpersonales con personas de la comunidad	60	48	80%
Total		120	81	67%

Fuente: Elaboración Propia.

Resultados en los Condición des de la dimensión económica

El ponderado de productividad resultó inferior al 50%. El indicador que obtuvo el menor porcentaje es la comercialización de RS generados en el hogar, dado que solo un porcentaje menor respondió a la encuesta, indicando que son capaces de producir ingresos monetarios por la venta de residuos comercializables como cartón, papel, plástico o aluminio. . De la misma manera, este indicador resulta con bajo porcentaje en el ahorro por cultivo de hortalizas, debido a que el tiempo y esfuerzo que se requiere para realizar dichas actividades, por la baja remuneración económica, no se perciben como viables. Por otro lado, el porcentaje de los indicadores de ingresos familiares, egresos familiares y ahorro presentó un porcentaje mayor. No obstante, el porcentaje obtenido indica que el 68% de los hogares de la encuesta no superan los ingresos de \$700,000 pesos mensuales. (Tabla 6).

Tabla 6.
Condición de Producción.

Condición de	Indicadores	Valor óptimo	Valor ESHOR	%
Producción	Ingresos familiares	60	19	32%
	Egresos familiares	60	18	30%
	Personas que aportan ingresos al hogar	60	25	42%
	Porcentaje de ahorro familiar	60	14	23%
	Comercialización de RSU	60	18	30%
	Ahorro por cultivo de hortalizas	60	16	27%
Total		360	110	33 %

Fuente: Elaboración Propia.

Análisis de sostenibilidad en hogares rurales: diagnóstico de Quiba alta, ciudad Bolívar

Distribución de Niveles de Sostenibilidad

Al analizar el nivel de sostenibilidad de los hogares rurales de la localidad de Quiba Alta, en Ciudad Bolívar, el estudio reveló una distribución estratificada de los niveles de sostenibilidad donde se obtuvo que ningún hogar alcanzó la categoría de sostenible, mientras que el 12 % fueron clasificados como moderadamente sostenibles, el 48 % como medianamente sostenibles, el 21 % como escasamente sostenibles y el 1 % como no sostenibles. Como hallazgo principal, tenemos que el nivel de sostenibilidad global se sitúa en un 42%, categorizando a la comunidad como medianamente sostenible. Este resultado evidencia un potencial significativo de mejora y la necesidad de intervenciones estratégicas. En un contexto comparativo de estudios referenciales los resultados encontrados en Quiba Alta se alinean con investigaciones previas como las de Molina (2012), donde evidencia que las viviendas en México presentan niveles de sostenibilidad entre 41% y 48% y la de Garcés et al. (2019), Los resultados de la investigación indican que los municipios analizados exhiben un nivel medio de sostenibilidad.

El estudio también permite identificar algunos puntos críticos, entre los que se resaltan las limitantes para la sostenibilidad integral como lo son:

- Deficiencia en Ecotecnologías
 - o Bajo nivel de adopción de tecnologías sostenibles
 - o Resistencia a la implementación de soluciones innovadoras
- Gestión Inadecuada de Residuos
 - o Disposición incorrecta de residuos de manejo especial
 - o Ausencia de protocolos de eliminación efectivos

De acuerdo a estos resultados se proyecta la necesidad de una interpretación estratégica, que permita identificar oportunidades de mejora, ya que este diagnóstico inicial no representa un estado terminal, sino un punto de partida para desarrollar programas de capacitación, gestionar la implementación de tecnologías sostenibles y fortalecer la gestión ambiental comunitaria, puesto que la evaluación de sostenibilidad en Quiba Alta revela un

escenario de transición, donde existe un compromiso emergente con prácticas sostenibles que requieren de intervenciones estructuradas para aprovechar el potencial de transformación significativo que posee la comunidad, ya que si bien el estudio no establece un "nivel ideal" de sostenibilidad para las viviendas rurales de la localidad, sí provee información valiosa sobre cómo se puede evaluar y promover la sostenibilidad en este contexto. Se enfatiza la importancia de considerar indicadores relevantes, aprender de las prácticas tradicionales y adaptar las soluciones a los contextos locales. En relación a los puntos más relevantes y que fueron identificados en esta investigación, se recalcan la falta de uso de ecotecnologías en el entorno estudiado y la improcedente disposición final de residuos de manejo especial, factores que limitan significativamente el avance hacia una sostenibilidad integral en la comunidad.

Conclusiones

El estudio revela que los hogares rurales de la localidad de Quiba Alta, Ciudad Bolívar presentan un nivel medio de sostenibilidad, caracterizado por actitudes que tienden hacia prácticas más sostenibles. Esta condición se fundamenta en tres aspectos clave: la capacidad de adaptación a cambios ambientales, el cumplimiento de la normatividad municipal y estrategias de ahorro familiar.

No obstante, la sostenibilidad de estos hogares enfrenta desafíos significativos que pueden comprometer su desarrollo futuro. Entre estos se destacan: el crecimiento demográfico acelerado, el incremento en los costos de ecotecnologías y la falta de compromiso de las autoridades en el diseño e implementación de políticas públicas que mejoren las condiciones de vida y promuevan la sostenibilidad urbana.

La metodología MESHOR desarrollada en esta investigación representa un instrumento innovador y versátil. Sus principales fortalezas radican en:

- Flexibilidad para identificar tendencias y puntos críticos en sistemas rurales
- Capacidad de reflejar la relación actual entre hogares y entorno ambiental
- Potencial de replicabilidad en contextos rurales similares de América Latina

Recomendaciones principales:

- Ampliación del alcance metodológico:
 - Realizar estudios complementarios para identificar limitaciones
 - Perfeccionar la metodología mediante investigaciones adicionales
- La estrategia identificada para ayudar en la mejora de la sustentabilidad incluye:
 - Estrategias Integrales para Mejorar la Sostenibilidad
 - Gestión Integral de Residuos
 - o Implementar sistemas de separación y reciclaje en origen.
 - o Desarrollar rutas de recolección diferenciadas.
 - o Promover la reducción y reutilización de materiales.
 - Centros de Acopio Especializados
 - o Crear infraestructura para residuos electrónicos.
 - o Establecer puntos de recolección de baterías y aceites usados.
 - o Facilitar la disposición responsable de los electrodomésticos.
 - Adopción de Ecotecnologías
 - o Subsidiar tecnologías de eficiencia energética.
 - o Promover sistemas de energía renovable a escala doméstica.
 - o Incentivar la compra de electrodomésticos de bajo consumo.
 - Sistemas de Aprovechamiento Hídrico
 - o Diseñar infraestructura de captación de agua lluvia.
 - o Implementar sistemas de reutilización de aguas grises.
 - o Promotor de técnicas de conservación y ahorro hídrico.
 - Educación Ambiental

- o Desarrollar programas comunitarios de concientización.
- o Crear talleres prácticos sobre sostenibilidad.
- o Fomentar la participación ciudadana en iniciativas ecológicas.

La investigación concluye subrayando la importancia de un enfoque integral y participativo para transformar los hogares rurales en espacios más sostenibles, resilientes y comprometidos con el medio ambiente.

Agradecimientos

Agradecimientos

Los autores expresan su más sincero agradecimiento a las siguientes instituciones y personas que hicieron posible la realización de esta investigación:

A la Subdirección del Centro de Tecnologías para la Construcción y la Madera (CTCM) del SENA Distrito Capital, por su invaluable apoyo institucional y los recursos proporcionados para el desarrollo del proyecto.

A las coordinaciones de Maderas y Construcción del SENA CTCM, por facilitar los espacios y medios necesarios para llevar a cabo esta investigación.

De manera especial, reconocemos la contribución de:

- Instructores Mónica Ospina y Mario Colorado del Centro de Biotecnología Agropecuaria
- Dinamizadoras SENNOVA: Nubia Marroquín y Sandra Toro

Sus conocimientos, orientación y aportes enriquecieron significativamente el proceso investigativo, elevando la calidad y profundidad del presente trabajo.

Al grupo de investigación en Construcción Sostenible y a los estudiantes del semillero de investigación SENNOVA, cuyo compromiso y dedicación fueron fundamentales para alcanzar los objetivos propuestos.

Contribución de autoría

Luis E. Yate (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8728-6018>): investigación, metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original.

Sergio E. Soracá (ORCID: <https://orcid.org/000X-0002-3521-8898>): conceptualización, análisis de datos, revisión y edición.

Ética y conflicto de intereses

Los autores certifican que:

1. Han cumplido íntegramente con todos los requisitos éticos y legales aplicables durante la realización del estudio y la elaboración del manuscrito.
2. No existen conflictos de intereses de ninguna índole que puedan influir en la objetividad o integridad del trabajo.
3. Todas las fuentes de financiamiento han sido detalladas de manera completa y transparente en la sección de agradecimientos.
4. Están en total conformidad con la versión final editada del artículo.

Referencias

- ALCALDIA LOCAL CIUDAD BOLIVAR. (2018). *Vereda Quiba Alta*. Gov.co.
<http://www.ciudadbolivar.gov.co/milocalidad/vereda-quiba-alta>
- Amaya, C. R. (2006). *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*. 49-57.
<https://www.redalyc.org/pdf/2311/231125817009.pdf>
- Astier, M, Masera, O. y Galván, M. (2008). Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable, España.
<https://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/view/view.php?doc=9788461256419.pdf>
- Calvente, A. (2007). El concepto moderno de sustentabilidad. Universidad Abierta Interamericana, (3), 1-7.
<https://hopelchen.tecnm.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r76250.PDF>
- Corrales Roa, E. (2001). *SOSTENIBILIDAD AGROPECUARIA Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CAMPESINOS*. Agrosavia.Co.
<https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/34946/65049.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. (2021). *DANE - Censo de Unidades Económicas 2021*. Gov.co. Recuperado 16 de noviembre de 2024, de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/comercio-interno/censo-economico-de-colombia/conteo-de-unidades-economicas-2021>
- DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. (2023). *DANE - Escala de experiencia de inseguridad alimentaria (FIES)*. Gov.co. Recuperado 6 de diciembre de 2024, de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/escala-de-experiencia-de-inseguridad-alimentaria-fies>
- Díaz Franco, R. A. (2018). *CIUDAD BOLÍVAR, TERRITORIO RURAL: REFLEXIONES EN TORNO A PARADIGMAS DE DESARROLLO RURAL* [UNIVERSIDAD EXTERNADO DE COLOMBIA].
<https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/84635c36-08a2-4ff4-8d44-5b06ddc47c26/content>
- Ferrer, B., Menéndez, L. y Gutiérrez, M. (2004). La cultura ambiental por un desarrollo sano y sostenible. La experiencia de Cayo Granma. Santiago, 104, 59-80.
https://cursos.clavijero.edu.mx/cursos/191_gdpf/modulo3/tareas/documentos/Estudio_de_caso_3.pdf

- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. (2005). Adaptive governance of social-ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 30, 441-473. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144511>
- Fonseca Carreño, N. E., Martínez Salazar, H. K., & Muñoz Niño, Y. S. (2020). Evaluación de sustentabilidad en agroecosistemas campesinos en el localidad de Cabrera, Provincia del Sumapaz. *Pensamiento Udecino*, 4(1), 66. <https://doi.org/10.36436/23824905.261>
- Fonseca, N. y Fonseca, J. (2014). Estrategia metodológica para caracterizar servicios ecosistémicos en unidades agrícolas campesinas en la provincia del Sumapaz. *Ciencia y Agricultura*, 11(1), 212-218.
- Gil y Nahir Carballo, E. H. (2019, February 5). *METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD EN VIVIENDAS EN SAN CARLOS, COJEDES, VENEZUELA*. Unam.Mx. <https://biblat.unam.mx/hevila/Agrollania/2019/vol17/7.pdf>
- Infraestructura de Datos Espaciales de Bogotá*. (s. f.). Ideca. Recuperado 6 de diciembre de 2024, de <https://ideca.gov.co>
- Lárraga Lara, R., Aguilar Robledo, M., Reyes Hernández, H., & Fortanelli Martínez, J. (2014). La sostenibilidad de la vivienda tradicional: una revisión del estado de la cuestión en el mundo. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 16, 126-133.
- Larrouyet, M. C. (2015). Desarrollo sustentable. Origen, evolución y su implementación para el cuidado del planeta. (Trabajo final integrador). Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Argentina. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/154>
- Leiva Espitia, A. (2020). "El medio ambiente: la empresa más grande del mundo". Reconfiguraciones sociales de la institucionalidad ambiental en Islote, Colombia. *Territorios*, 42-Esp., 1-31. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/territorios/a.7737>
- Masera, O. A. y López Ridaura, M. (1999). Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: El marco de evaluación MESMIS. Mundiprensa.
- Miranda-Murillo, L. M. (2013). Cultura ambiental: Un estudio desde las dimensiones de valor, creencias, actitudes y comportamientos ambientales. *Producción+ limpia*, 8(2), 94-105. <http://revistas.unilasallista.edu.co/index.php/pl/article/view/527>
- Montgomery, M. (2007). United Nations Population Fund: State of World Population 2007: Unleashing the Potential of Urban Growth. *Population and Development Review*, 33(3), 639+. <https://link.gale.com/apps/doc/A169022401/AONE?u=anon~972ca66d&sid=googleScholar&xid=b5cdf3d3>
- Munévar Castellanos. L. A. (2023). Evaluación de la sostenibilidad percibida por los turistas del localidad de Villa de Leyva, Boyacá y su influencia en la revisita [Tesis de Maestría, Universidad Santo Tomas. Colombia]. <http://hdl.handle.net/11634/50397>
- Naciones Unidas. (2016). *Aprender de las culturas de construcción locales para mejorar la sostenibilidad de los proyectos de viviendas* | Naciones Unidas. Recuperado 6 de diciembre de 2024, de <https://www.un.org/es/chronicle/article/aprender-de-las-culturas-de-construccion-locales-para-mejorar-la-sostenibilidad-de-los-proyectos-de>

- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (1987). Nuestro futuro común. Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.
https://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-ambiente-Desarrollo.pdf
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2008). State of the World's Cities 2010/2011: Bridging The Urban Divide, United Nations Human Settlements Programme, Nairobi, Kenya. <https://unhabitat.org/state-of-the-worlds-cities-20102011-cities-for-all-bridging-the-urban-divide>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2015). Transformar nuestro mundo: La agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015. A/RES/70/1, 21 de octubre. https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf
- Plan de Desarrollo Distrital 2020 - 2024. (s. f.). Gov.co. Recuperado 6 de diciembre de 2024, de <https://www.sdp.gov.co/gestion-a-la-inversion/participacion-y-comunicacion-para-la-planeacion/voces-ciudadanas/plan-de-desarrollo-distrital-2020-2024>
- Quesada, F. ., Calle, A. E. ., Guillén, V. ., Ortiz, J., & Lema, K. . (2018). Método de Evaluación Sustentable de la Vivienda en la Ciudad de Cuenca, Ecuador. *Revista Técnica "energía"*, 14(1), PP. 204–212.
<https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v14.n1.2018.173>
- Qutián-Ayala, L. L., & Acevedo-Osorio, Álvaro. (2023). Los mercados campesinos como estrategia de sustentabilidad en los sistemas alimentarios de Cundinamarca, Colombia. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 15(1), 115-135. <https://doi.org/10.22490/21456453.6662>
- Rojas-Cano, E. T., Pérez-Alarcón, C. A., & Fontalvo-Buelvas, J. C. (2023). Evaluación de la sustentabilidad en unidades de agricultura familiar: diagnóstico y recomendaciones para tres localidades de Boyacá, Colombia. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 3(1), 71–91. <https://doi.org/10.5154/r.rchsagt.2023.03.06>
- Romero, M. del P., Betancourt, P., Sanclemente, O., & Gomez, M. . (2022). Sustentabilidad agropecuaria de sistemas campesinos del corregimiento Ayacucho, localidad de Palmira- Valle del Cauca. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 14(1), 124-144. <https://doi.org/10.22490/21456453.5756>
- Rueda-Rodríguez, H. (2022). Dimensiones culturales y sustentabilidad como factores de convivencia ciudadana. Un estudio comparativo entre países. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 14(1), 8-17
<https://doi.org/10.22335/rlct.v14i1.1453>
- Sánchez Quintanar, C., & Jiménez Rosas, E. O. (2010). LA VIVIENDA RURAL: SU COMPLEJIDAD Y ESTUDIO DESDE DIVERSAS DISCIPLINAS. *Luna Azul*, 30, 174-196.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1909-24742010000100011&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Sarandón, S. J., Zuluaga, M. S., Cieza, R., Janjetic, L. y Negrete, E. (2006). Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas de fincas en Misiones, Argentina, mediante el uso de indicadores. *Agroecología*, 1, 19-28.
<https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/14>
- Sarandón, S., & Flores, C. C. (2009). Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: Una propuesta metodológica. *Agroecología*, 4, 19-28.
https://www.colpos.mx/wb_pdf/Veracruz/Agroecosistemas/lectura/28.pdf

- Silva Santamaría, L., & Ramírez Hernández, O. (2017). EVALUACIÓN DE AGROECOSISTEMAS MEDIANTE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD EN SAN JOSÉ DE LAS LAJAS, PROVINCIA DE MAYABEQUE, CUBA. *Revista Luna Azul*, núm. 44, 120–152. <https://dx.doi.org/10.17151/luaz.2017.44.8>
- Sucasaire-Pilco, J. (2022). Orientaciones para la selección y el cálculo del tamaño de la muestra de investigación. <https://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/3096>
- Tonolli, A. J. (2019). Propuesta metodológica para la obtención de indicadores de sustentabilidad de agroecosistemas desde un enfoque multidimensional y sistémico. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 51(2), 381-399. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1853-86652019000200030&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Torres Lima, P., Rodríguez Sánchez, L., & Sánchez Jerónimo, Ó. (2004). Evaluación de la sustentabilidad del desarrollo regional: El marco de la agricultura. *región y sociedad*, 16(29), 109-144. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1870-39252004000100004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Zarta Ávila, P. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula rasa*, 28, 409-423. <https://doi.org/10.25058/20112742.n28.18>

Estimación de la Masa Crítica a Partir de Valores Históricos (1999 a 2019) del Valor de Acción en el Mercado Versus el Número de Usuario en Cinco Ecommerce

Guzmán, J. F.
info@redforestal.com
Red Forestal SAS, Bogotá, Colombia.

- Estimation of the Critical Mass from Historical Values (1999 to 2019) of the Share Value in the Market Versus the Number of Users in Cinco Ecommerce
- Estimativa da Massa Crítica a partir de Valores Históricos (1999 a 2019) do Valor da Ação no Mercado versus o Número de Usuários no Cinco Ecommerce

Artículo de investigación



Nota. Elaborada a partir de Microsoft Designer con IA.

Resumen

El presente trabajo tiene por objetivo analizar la correlación entre la masa crítica de usuarios en cinco plataformas de comercio electrónico que cotizan en la bolsa de valores de Nasdaq y NYSE con operación global versus el valor de las acciones promedio mensual. Para lo anterior se recopiló y analizó la información del número de usuarios mensuales y el valor de la acción mensual para un periodo de 20 años (1999 a 2019), para completar los datos faltantes de algunas series de usuarios activos mensuales se calcularon a partir de datos de extremos bajo el método de Makima, lo que permitió suavizar las curvas. Como resultados se calculó para los cinco ecommerce seleccionados la masa crítica bajo trece funciones sigmoidales y se determinó que la ecuación más apta para estimar la masa crítica es la sigmoide de 3 parámetros, de igual manera, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson para las dos variables (Número de usuarios versus el valor de la acción) en donde se evidenció una correlación promedio positiva fuerte (0,86) entre ellas, adicionalmente se concluyó que Walmart y The Home Depot que nacieron en el mundo offline alcanzaron su masa crítica en promedio a los 11,7 años o 107.202.486 usuarios, por el contrario plataformas que iniciaron online como Amazon e eBay lograron alcanzar la masa crítica en promedio a los 25,2 años o 420.918.451 usuarios activos. Finalmente se concluye que la masa crítica es un indicador clave que el emprendedor digital puede usar para establecer estrategias de negocio y lograr el liderazgo en el mercado.

Palabras clave: *ecommerce, índice correlación, masa crítica, usuarios, valor acción.*

Abstract

The aim of this work is to analyze the correlation between the critical mass of users on five e-commerce platforms listed on the Nasdaq and NYSE stock exchanges with global operations versus the monthly average share value. In order to comply with this, information on the number of monthly users and the value of the monthly action were collected and analyzed for a period of 20 years (1999 to 2019), to complete the missing data of some series of monthly active users. These were calculated from extreme data under the Makima method, which allowed the curves to be smoothed. As a result, the critical mass

was calculated for the five selected e-commerces under thirteen sigmoidal functions and it was determined that the most suitable equation to estimate the critical mass is the 3-parameter sigmoid. Likewise, the Pearson correlation coefficient was calculated for the two variables (Number of users versus the value of the action) where a strong positive average correlation (0.86) was evident between them. Additionally, it was concluded that Walmart and The Home Depot, which were arised in the offline world, reached their critical mass in average at 11.7 years or 107,202,486 user. On the contrary, platforms that started online such as Amazon and eBay managed to reach critical mass on average at 25.2 years or 420,918,451 active users. Finally, it is concluded that critical mass is a key indicator that the digital entrepreneur can use to establish business strategies and achieve market leadership.

Keywords: *ecommerce, correlation index, critical mass, users, share price..*

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo analisar a correlação entre a massa crítica de usuários de cinco plataformas de e-commerce listadas nas bolsas Nasdaq e NYSE com operações globais versus o valor médio mensal das ações. Para o exposto foram recolhidas e analisadas informações sobre o número de utilizadores mensais e o valor da ação mensal durante um período de 20 anos (1999 a 2019), para completar os dados faltantes de algumas séries de utilizadores ativos mensais, foram calculados a partir de dados extremos pelo método Makima, que permitiu suavizar as curvas. Como resultado, foi calculada a massa crítica para os cinco e-commerces selecionados sob treze funções sigmoidais e determinou-se que a equação mais adequada para estimar a massa crítica é a sigmoide de 3 parâmetros. Da mesma forma, foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson. as duas variáveis (Número de usuários versus valor da ação) onde foi evidente uma forte correlação média positiva (0,86) entre elas. Além disso, concluiu-se que o Walmart e o The Home Depot, que nasceram no mundo offline, alcançaram. sua massa crítica em média é de 11,7 anos ou 107.202.486 usuários, ao contrário plataformas que começaram online como Amazon e eBay conseguiram atingir massa crítica em média 25,2

anos ou 420.918.451 usuários ativos. Por fim, conclui-se que a massa crítica é um indicador chave que o empreendedor digital pode utilizar para estabelecer estratégias de negócio e alcançar a liderança de mercado.

Palavras-chave: comércio eletrônico, índice de correlação, massa crítica, usuários, valor da ação.

Introducción

A mediados de los años 80s donde según Seoane (2005) surge el comercio electrónico con la llegada de las televentas el cual bajo un enfoque logístico (Chen, Rungruengsamrit, Rajkumar y Yen (2013); García, 2020; Álvarez, Barragán y Menéndez, 2021) brinda la oportunidad de intercambiar información y facilita un mayor poder adquisitivo de clientes dispersos estableciendo que la interacción con los clientes y el aumento de la información compartida entre los usuarios, se han convertido en las características más competitivas del comercio electrónico.

Sin embargo, el éxito de las ecommerce depende de la cantidad de usuarios que tienen y su interacción (Arroyo-Barrigüete, Cerro, & López-Sánchez, 2005), lo que les permite llegar al punto de equilibrio financiero y posteriormente posicionarse como líderes en el mercado con un crecimiento progresivo.

El valor que las plataformas ofrecen y las hace tan exitosas está sujeto a la cantidad de usuarios que conectan, término conocido como efecto de red (Shapiro & Varian, 1999; Díaz Vera, 2021; Rúa, L. J. A., Vargas, S. O., Giraldo Mejía, & Ramírez, 2021). Por otra parte, para que las plataformas logren una cantidad importante de usuarios que generen dicho valor para estos, es necesario que las mismas alcancen una dinámica propia en el mercado conocida como masa crítica (Lowenstein, 2011) o punto de inflexión (Tipping point, en inglés) (Gladwell, 2013).

Para García (2017) y Larrosa (2000) Calcular este número de usuarios y el tiempo que toma crear la masa crítica en una ecommerce es de vital importancia para una empresa o emprendimiento que apenas está empezando y que

requiere conocer cuánto presupuesto debe invertir para llegar a ese número de usuarios como qué tanto tiempo le va a tomar.

Para calcular la masa crítica entonces existen alrededor de trece fórmulas (Ver Tabla 5 Trece funciones para la categoría sigmoidal.) que pueden presentar variaciones importantes en tiempo y dinero para los emprendedores, razón por la cual en la presente investigación busca analizar las dinámicas de usuarios que llevaron a la masa crítica en cinco plataformas de comercio electrónico (Amazon, Walmart, The Home Depot, Costco Wholesale y finalmente eBay), determinando así qué fórmula es la que más se ajusta a las plataformas de comercio electrónico.

Para esto, se llevó a cabo una revisión bibliográfica sobre el crecimiento de las 5 plataformas desde su creación hasta el 31 de diciembre de 2019 para dos variables (Número de usuarios acumulado mensual y valor de la acción promedio mensual) a través de fuentes secundarias en bases de datos como Scopus, ProQuest, Redalyc, Scielo, ScienceDirect e incluso recopilado información de las mismas plataformas.

Para entender el tema con mayor claridad, el artículo presenta inicialmente el marco teórico donde se contextualiza sobre las principales teorías que dieron paso a la masa crítica desarrolladas por autores relevantes como Rogers (Rogers, 2003; Rogers, 1962), Shapiro, Varian, Moore y Gladwell. Seguidamente se presenta la metodología en detalle para la recopilación de información en fuentes secundarias a través de la bitácora de búsqueda y se expone cómo a través del software SigmaPlot 14.0 se procesó la información previamente recopilada y ajustada. Se establecen claramente las variables que fueron empleadas para descartar los modelos que no brindaron seguridad estadística.

Finalmente, se presentan los resultados obtenidos de las ecuaciones que más se ajustan al cálculo de la masa crítica para una ecommerce y recomendaciones estratégicas de implementación para cada una de las 5 fases en la curva de adopción de una ecommerce.

Metodología

La presente investigación tiene un enfoque correlacional basado en la metodología adaptada propuesta por Gómez-Carreto et al., 2016 la cual busca correlacionar las variables: número de usuarios registrados y el valor de la acción que hacen posible la masa crítica a través de una investigación longitudinal. Para la recolección de los datos se empleó la metodología ajustada de Guavita y Vergel (2018) de Análisis de Series de Tiempo a partir de Modelos no estacionarios de tendencia determinística que permita establecer proyecciones con series de tiempo a 20 años.

Priorización de las Ecommerce

Para el desarrollo de la presente investigación se priorización cinco plataformas de comercio electrónico teniendo en cuenta los siguientes dos criterios:

1. Que la empresa cotice en la bolsa de valores de NYSE o el Nasdaq.
2. Que el ecommerce tenga más de 20 años de datos disponibles.

Consolidación de la Información

Para consolidar la información de crecimiento en usuarios e interacciones para las cinco plataformas de comercio electrónico, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de fuentes secundarias en bases de datos como Scopus, ProQuest, Redalyc, Scielo, ScienceDirect, entre otras. Para la búsqueda de información se emplearon palabras claves y ecuaciones de búsqueda que fueron consolidadas en un formato de bitácora de búsqueda (Ver Tabla 1).

Tratamiento de Datos

Una vez recopilado los datos y con la finalidad de completar los datos faltantes se llevó a cabo una interpolación de datos usando el software MATLAB R2023b Update 3 (23.2.0.2409890) a través de la función polyfit (Ajuste polinomial de curvas) con un grado de suavización de 3.

Así mismo para las curvas que no ajustaron correctamente por medio de la función polyfit se empleó la función interp1 (The MathWorks, 2023) empleando el método Makima (Trazador cúbico basado en Akima) que emplea polinomios cúbicos para realizar la interpolación (Ver Tabla 2).

Tabla 1.

Formato de bitácora de búsqueda. CCBYNC.

 TEMÁTICA: Análisis de la Dinámica de Crecimiento en Plataformas para el Comercio Electrónico bajo modelo de negocio B2B.						
BITÁCORA DE BÚSQUEDA						
FECHA	PALABRA O FRASE	ECUACIÓN DE BÚSQUEDA	BUSCADOR	REGISTROS	PÁG. CONSULTADA	PRODUCTO

Nota. Elaboración propia.

Tabla 2.

Descripción del método Makima

Método	Descripción	Continuidad	Comentarios
'Makima'	Interpolación cúbica de Hermite con Akima modificada. El valor interpolado en un punto de consulta se basa en una función por tramos de polinomios con grado tres como máximo. La fórmula de Akima se modifica para evitar rebasamientos.	C'	-Requiere al menos 2 puntos. -Genera menos ondulaciones que 'spline', pero no aplanas de forma tan pronunciada como 'pchip'. -El cálculo es más costoso que en 'pchip', pero típicamente menos que en 'spline'. Los requisitos de memoria son similares a los de 'spline'.

Nota. Elaboración propia.

Procesamiento de la información

Una vez obtenidos los datos de fuentes secundarias se procedió a generar las gráficas con base en las trece funciones logísticas (Ver Tabla 3) para cada una de las cinco ecommerce.

Tabla 3.
Trece funciones para la categoría sigmoidal.

Ecuación	Nombre Fórmula	Fórmula
1	Sigmoid, 3 parameter	$y = a / (1 + t - ((x - x_0) / \sigma))$
2	Sigmoid, 4 parameter	$y = y_0 + a / (1 + t - ((x - x_0) / \sigma))$
3	Sigmoid, 5 parameter	$y = y_0 + a / [1 + t - ((x - x_0) / \sigma)]^2$
4	Logistic, 3 parameter	$y = a / (1 + (x / x_0)^2)$
5	Logistic, 4 parameter	$y = y_0 + a / (1 + (x / x_0)^2)$
6	Weibull, 4 parameter	$y = a [1 + t - ((x - x_0 + y) / \delta)]$
7	Weibull, 5 parameter	$y = y_0 + a [1 + t - ((x - x_0 + y) / \delta)]$
8	Gompertz, 3 parameter	$y = \lfloor ax \rfloor ^{-c - ((x - x_0) / y)}$
9	Gompertz, 4 parameter	$y = y_0 + \lfloor ax \rfloor ^{-c - ((x - x_0) / y)}$
10	Hill, 3 parameter	$y = \lfloor ax \rfloor ^2 / (c^2 + x^k)$
11	Hill, 4 parameter	$y = y_0 + \lfloor ax \rfloor ^2 / (c^2 + x^k)$
12	Chapman, 3 parameter	$y = a(1 - e^{-(x)})^c$
13	Chapman, 4 parameter	$y = z_0 + a(1 - e^{-(x)})^c$

Nota. Elaboración propia.

De igual manera, también se grafican las otras variables recolectadas a través de una gráfica de líneas. Para este proceso se utilizó el software SigmaPlot 14.0 en su versión a 30 días gratis, para lo cual se usó la regresión no lineal con la categoría de la ecuación sigmoidal empleando los trece modelos precargados para calcular el punto de inflexión o masa crítica. Para esto se estableció como parámetro de desempeño acumulado el número de usuarios en el eje Y y el tiempo en meses en el eje X.

Masa Crítica

Una vez generadas las gráficas con base en las funciones logísticas se tomó el coeficiente en X_0 como el punto de inflexión o masa crítica de usuarios en cada una de las cinco ecommerce que hizo posible el paso de primeros adoptantes a la mayoría temprana.

Para evaluar la confiabilidad y validez de los modelos solo se tomaron en cuenta aquellos cuyos resultados en (t) sean mayores que 2 y menos que -2. Así mismo que en (p) sean inferiores a 0,005 (Deseado) tanto como el Durbin Watson tenga tendencia a 2.

Coeficiente de Correlación

Generadas las figuras y consolidada la información se calculó el coeficiente de correlación de Spearman a través del software SigmaPlot 14.0. A partir de este dato se validó si existía una correlación positiva, débil o negativa para los valores del valor de la acción promedio mensual y el número de usuarios acumulados mensuales activos.

Análisis

Consolidada toda la información se procedió a realizar el análisis de la información con el objetivo de identificar puntos de encuentro entre las diferentes gráficas para determinar los factores que hicieron posible que las cinco ecommerce realizarán la transición entre visionarios (adoptadores tempranos) y pragmáticos (mayoría temprana).

De igual manera se analizó la masa crítica calculada a través de software SigmaPlot 14.0 con los datos recopilados para las cinco ecommerce con el objetivo de priorizar una de las funciones sigmoidales que más representa el crecimiento de las ecommerce.

Finalmente se analizó la correlación entre el valor de la acción promedio mensual y el número de usuarios mensuales acumulados.

Resultados y discusión

Datos financieros

Los datos históricos para el valor de las acciones en dólares americanos (USD, en inglés) fueron descargados de la plataforma Yahoo Finance para las cinco empresas (Ver Tabla 4) que cotizan en la Bolsa de Nueva York (New York Stock Exchange [NYSE], en inglés) y la Cotización automatizada de la Asociación Nacional de Comerciantes de Valores (Nasdaq, del inglés National Association of Securities Dealers Automated Quotation). La información se descargó en formato de valores separados por comas (CSV, en inglés). Los valores analizados comprenden el periodo de 20 años entre 1999 y 2019 (Ver Figura 1), previo al inicio del COVID-19, recomendación realizada por los tutores de la maestría.

Tabla 4.
Empresas seleccionadas para el desarrollo de la investigación. CCBYNC.

No	Empresa
1	Amazon.com, Inc.
2	Walmart Inc.
3	The Home Depot, Inc.
4	Costco Wholesale, inc.
5	eBay Inc.

Nota. Elaboración propia.

Datos financieros

Los datos históricos para el valor de las acciones en dólares americanos (USD, en inglés) fueron descargados de la plataforma Yahoo Finance para las cinco empresas (Ver Tabla 5) que cotizan en la Bolsa de Nueva York (New York Stock Exchange [NYSE], en inglés) y la

Cotización automatizada de la Asociación Nacional de Comerciantes de Valores (Nasdaq, del inglés National Association of Securities Dealers Automated Quotation). La información se descargó en formato de valores separados por comas (CSV, en inglés). Los valores analizados comprenden el periodo de 20 años entre 1999 y 2019 (Ver Figura 1), previo al inicio del COVID-19, recomendación realizada por los tutores de la maestría.

Datos Usuarios

Los datos del número de usuarios acumulados mensuales para los doce meses del año desde el año 1999 al año 2019 (Ver Figura 2) se tomaron de los informes de indicadores de gestión para cada una de las cinco plataformas de comercio electrónico descargados directamente de las plataformas. Los datos faltantes se proyectaron empleando la función interpolar a través del software MATLAB_R2023b aplicando el método Makima.

Procesamiento de los datos

Masa Crítica

Se calculó la masa crítica para las cinco plataformas de comercio electrónico (Ver Figura 3) a través de las 13 ecuaciones disponibles en el software SIGMAPLOT con la herramienta “Regresión Wizard” en donde se pudo validar que las dos ecuaciones que estadísticamente son confiables para el cálculo de la masa crítica en plataformas de comercio electrónico son:

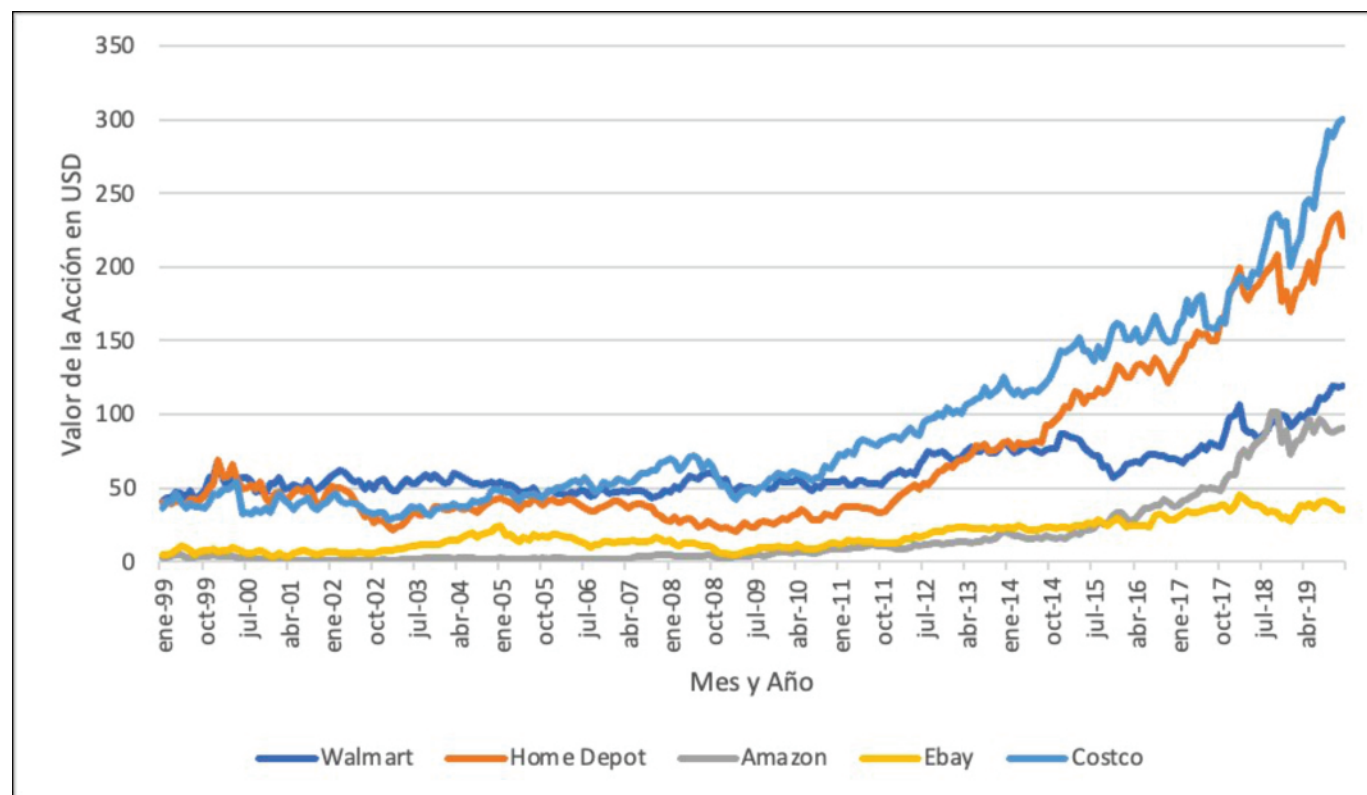
1. Sigmoid, 3 Parameter
2. Gompertz, 3 Parameter

Para la ecuación Sigmoid, 3 Parameter el promedio de meses que le toma a una plataforma llegar a la masa crítica es de 222 meses (18,5 años) y para la ecuación de Gompertz, 3 Parameter el promedio de meses que le toma a una plataforma de comercio electrónico llegar a la masa crítica es de 410 meses (34,1 años).

De igual manera se calculó la masa crítica para el número de usuarios y el número de años (Ver Tabla 5) a partir de los datos obtenidos de la base de datos.

Figura 1.

Datos históricos para el precio de acción en dólares americanos desde hace 20 años (1999 a 2019) para las cinco plataformas ecommerce. CCBYNC



Nota. Elaboración propia.

Figura 2.

Datos históricos del número de usuarios acumulados por mes para 20 años (1999 a 2019) en cinco plataformas ecommerce. CCBYNC.

	Número de Meses		Número de Años		Número de usuarios	
Plataforma	Sigmoid, 3	Gompertz, 3	Sigmoid, 3	Gompertz, 3	Sigmoid, 3	Gompertz, 3
	Parameter	Parameter	Parameter	Parameter	Parameter	Parameter
Walmart	142,5061	124,8597	11,88	10	99.035.612	91.380.829
The Home Depot	138,7909	125,3734	11,57	10	115.369.360	105.778.133
Amazon	244,907	390,2609	20,41	33	340.000.000	329.264.975
eBay	361,4805	1063,616	30,12	89	501.836.901	897.377.870
Costco	223,1753	348,1296	18,60	29	101.471.111	293.718.597

Nota. Elaboración propia.

Figura 3.

Número de años que le tomó llegar a la masa crítica a las cinco plataformas de comercio electrónico para las ecuaciones Sigmoid, 3 Parameter y Gompertz, 3 Parameter. CCBYNC.

Coeficiente de Correlación					
Ley	Índice de Correlación Walmart	Índice de Correlación Home Depot	Índice de Correlación Amazon	Índice de Correlación Ebay	Índice de Correlación Costco
Sarnoff	0,78	0,77	0,92	0,90	0,96
Metcalfe	0,87	0,89	0,96	0,85	0,99
Odlyzko	0,79	0,78	0,92	0,90	0,96

Nota. Elaboración propia.

Tabla 5.

Cálculo de masa crítica para las cinco plataformas en años, meses y número de usuarios. CCBYNC.

	Número de Meses		Número de Años		Número de usuarios	
Plataforma	Sigmoid, 3 Parameter	Gompertz, 3 Parameter	Sigmoid, 3 Parameter	Gompertz, 3 Parameter	Sigmoid, 3 Parameter	Gompertz, 3 Parameter
Walmart	142,5061	124,8597	11,88	10	99.035.612	91.380.829
The Home Depot	138,7909	125,3734	11,57	10	115.369.360	105.778.133
Amazon	244,907	390,2609	20,41	33	340.000.000	329.264.975
eBay	361,4805	1063,616	30,12	89	501.836.901	897.377.870
Costco	223,1753	348,1296	18,60	29	101.471.111	293.718.597

Nota. Elaboración propia.

Coeficiente de Correlación

Se calculó el Índice de Correlación de Pearson (Ver Tabla 6) para cada una de las plataformas de comercio electrónico con base en las variables de precio de la

acción promedio por mes y el número de usuarios acumulado por mes. Se empleó la ecuación del coeficiente de correlación de Pearson para realizar su cálculo.

Coeficiente de Correlación					
Ley	Índice de Correlación Walmart	Índice de Correlación Home Depot	Índice de Correlación Amazon	Índice de Correlación Ebay	Índice de Correlación Costco
Sarnoff	0,78	0,77	0,92	0,90	0,96
Metcalfe	0,87	0,89	0,96	0,85	0,99
Odlyzko	0,79	0,78	0,92	0,90	0,96

Nota. Elaboración propia.

El valor promedio de índice de correlación para las cinco plataformas de comercio electrónico es de 0,86 siendo esta una Correlación positiva fuerte. Siendo la más alta Costco con un 0,96 (Correlación positiva fuerte) y la más baja The Home Depot 0,77 (Correlación positiva débil).

Los valores de correlación más altos se obtuvieron con la Ley de Metcalfe obteniendo una correlación promedio para las cinco plataformas del 0,91 (Correlación positiva fuerte), mientras que las leyes de Sarnoff y Odlyzko obtuvieron una correlación promedio para las cinco plataformas del 0,87 (Correlación positiva fuerte) y finalmente la Ley de Reed no se pudo calcular debido a que los valores son tan grandes que no permiten su cálculo.

Conclusiones

Gracias a la revisión bibliográfica llevada a cabo en los casi 2 años de desarrollo de la presente investigación se identificaron 51 fuentes bibliográficas secundarias de entre libros, artículos de investigación publicados en revistas catalogadas y otros tipos de documentos que permitieron identificar los principales temas relevantes para el comercio electrónico como sus autores más relevantes siendo estos el efecto de red (Shapiro & Varian), la masa crítica (Sarnoff, Metcalfe y Lowenstein), el punto de inflexión (Gladwell), la adopción de innovación (Everett Rogers), el abismo en el ciclo de adopción (Moore) y el ciclo de expectativa (Gartner). Autores que llevan más de 50 años realizando investigaciones y presentando sus resultados en todo el mundo.

Con la revisión de información en fuentes bibliográficas secundarias se priorizaron cinco empresas de comercio electrónico (Walmart, The Home Depot, Amazon, eBay y Costco) que transan sus acciones actualmente en la bolsa de valores del Nasdaq y de Nueva York. Estas plataformas se encuentran entre las diez plataformas de comercio electrónico más grandes del mundo lo que permitió facilitar la consecución de información para un histórico mensual de 20 años.

Se consolidó la información de crecimiento mensual acumulado en usuarios y el valor mensual promedio por

acción para cinco plataformas de comercio electrónico (Walmart, The Home Depot, Amazon, eBay y Costco) en un periodo de 20 años, sin embargo, también se evidenció que estas empresas no brindan información completa sobre el número de usuarios activos para algunos años como el 2008 y para el 2022 más recientemente siendo estas fechas épocas de crisis como la crisis de la bolsa de Nueva York y el COVID-19 respectivamente que al afectar sus dinámicas de usuarios pueden afectar sus valores de cotización en la bolsa.

Los resultados encontrados en la investigación permiten afirmar que existe una correlación positiva entre débil y fuerte para el número de usuarios mensual acumulado y el valor de la acción promedio mensual de las cinco plataformas de comercio electrónico investigadas. Los resultados muestran que la correlación más fuerte está entre las plataformas de comercio que tuvieron un inicio netamente digital como Amazon e eBay y una más débil con empresas como The Home Depot y Walmart que iniciaron primero con tiendas físicas y migraron a tiendas digitales gradualmente con la llegada de la tecnología.

Las masa crítica calculada para las cinco plataformas de comercio electrónico permitió estimar que para llegar a la masa crítica las ecommerce requieren entre 11 a 25 años, en donde las empresas que tuvieron inicios como tiendas físicas y migraron a tiendas digitales (The Home Depot y Walmart) tuvieron el menor valor asociado al tiempo que requieren para llegar a la masa crítica, un promedio de 11,7 años o 107.202.486 usuarios activos.

Si bien es desalentador para un emprendedor tener que esperar entre 11 a 25 años para que su plataforma de comercio electrónico logre una masa crítica es importante entender que esta se puede acelerar usando como estrategia una aplicación de marketing mixto, implementando tiendas físicas y lograr el punto de equilibrio lo más pronto posible ayudará a la sostenibilidad económica del emprendimiento para evitar quedarse en el valle de la desilusión.

El modelo de función logística en S (Sigmoidal) que más se ajustó para el cálculo de la masa crítica en las cinco

plataformas de comercio electrónico fue el sigmoidal de 3 parámetros el cual se observa comúnmente en condiciones que son generalmente consistentes como el incremento de usuarios mensuales empleando estrategias de mercadeo constantes para ganar usuarios y donde la variable usuarios aumenta al inicio exponencialmente, luego linealmente, y por último asintóticamente. Conocer el patrón de comportamiento es importante para generar proyecciones, establecer estrategias e ir corrigiendo las mismas a medida que se van implementando, esto permite conocer el ciclo de vida del comercio electrónico.

La ley de Sarnoff fue la ley que más facilitó el cálculo del índice de correlación entre el número de usuarios de una ecommerce versus el valor de la acción, sin embargo, la Ley de Metcalfe representa mejor el potencial de conexiones de la red y la Ley de Odlyzko (Odlyzko & Tilly, 2005) que también facilita el cálculo del índice de correlación entre las variables anteriormente mencionadas adicionalmente considera que no todas las interacciones entre la red poseen el mismo peso, siendo teórica y en la práctica la que más se ajusta a la realidad.

El presente trabajo brinda una metodología alternativa para la valuación de emprendimientos de comercio electrónico que cuenten con datos sobre el número de usuarios mensuales y que no posean ingresos recurrentes,

los cuales podrán ser contrastados con cualquiera de las cinco plataformas estudiadas en la presente investigación teniendo en consideración las siguientes variables: Existen modelos de ecommerce que iniciaron con tiendas físicas y luego migraron a lo digital (Estas poseen una valoración mayor), existen modelos de ecommerce que iniciaron netamente digital y han migrado a tiendas físicas (Estas poseen una valuación menor) y finalmente, los productos o servicios que hacen parte de la misma ecommerce a contrastar debe tener relación con la ecommerce del emprendimiento a valorar.

Finalmente, se logró brindar tres recomendaciones estratégicas de implementación para cada una de las cinco fases de la curva de adopción (Innovación, primeros seguidores, mayoría temprana, mayoría tardía y rezagados) de una plataforma de comercio electrónico que puede seguir un emprendedor previo al lanzamiento de una ecommerce, lo que no asegura la generación de utilidades que dependen netamente del modelo de negocio pero si brindan una ruta basada en el análisis del comportamiento de las cinco más grandes del mundo.

Agradecimientos

Agradezco el apoyo brindado por el equipo de trabajo de Red Forestal SAS y la Corporación Red Forestal que suministraron los datos e información.

Contribución de autoría

Juan Francisco Guzmán Zabala (ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5862-9045>): Autor único de la investigación.

Referencias

- Álvarez, E. L., Barragán, J. L. y Menéndez, J. E. (2021). Comercio electrónico y estrategia de empresa a empresa (B2B): una revisión bibliométrica. *Revista Espacios*, 42 (22), 33 – 50, DOI: 10.48082/espacios-a21v42n22p03
- Arroyo-Barrigüete, J., Cerro, F., & López-Sánchez, J. (2005). Redes y efectos de Red: Una breve introducción a las externalidades en la Economía Digital. *Bit*, ISSN 0210-3923, No. 153, 2005, pags. 66-68.
- Chen, J. V., Rungruengsamrit, D., Rajkumar, T.M., Yen, D. C. (2013). Success of electronic commerce Web sites: A comparative study in two countries. *Information & Management*, 50 (6), 344-355, <https://doi.org/10.1016/j.im.2013.02.007>.
- Díaz Vera, L. M. (2021). La estandarización en los mercados con efectos de red. Universidad Externado de Colombia. <https://bdigital.uexternado.edu.co/entities/publication/762621d1-9e3f-43fe-9398-c916c60cf59b>
- García, P. R. (2020). E-commerce: una nueva tendencia de futuro. Universidad de Valladolid. Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/42515/TFG-N.%201406.pdf?sequence=1>
- García, T. (2017). La Ley de Metcalfe y el Bitcoin. Recuperado de <https://www.rankia.com/blog/tomas-garcia/3729085-ley-metcalfe-bitcoin>.
- Gladwell, M. (2013). El punto clave (The Tipping Point): The Tipping Point. Penguin Random House Grupo Editorial España.
- Gómez-Carreto, T., Zarazúa, J.-A., Ramírez-Valverde, B., Guillén-Cuevas, L. A., Rendón-Medel, R., Gómez-Carreto, T., Zarazúa, J.-A., Ramírez-Valverde, B., Guillén-Cuevas, L. A., & Rendón-Medel, R. (2016). Masa crítica y ambiente de innovación en el sistema productivo jitomate, Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(SPE15), 2949-2964.
- Larrosa, J. M. (2000). Enmiendas a la Ley de Metcalfe. Recuperado de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://jlarrosa.tripod.com/files/metcalfe.pdf>
- Larrosa, J. (2016). Leyes de valoración de redes. *Revista Redes de Ingeniería*. 7(2), 183-196. Doi: 10.14483/udistrital.jour.redes.2016.2.a07
- Lowenstein, A. (2011). Masa crítica. 447-450. <https://www.aacademica.org/000-052/800.pdf>
- Guavita, A, P. y Vergel, M. E. (2018). Metodologías para el pronóstico de series de tiempo [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/40771/Documento.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

- Odlyzko, A. & Tilly, B. (2005). A refutation of Metcalfe's Law and a better estimate for the value of networks and network interconnections. Digital Technology Center, University of Minnesota. Recuperado de <https://www-users.cse.umn.edu/~odlyzko/doc/metcalfe.pdf>
- Rogers, E. M. (1962). Diffusion of Innovations. Free Press of Glencoe.
- Rogers, E. M. (2003). Diffusion of Innovations, 5th Edition. Simon and Schuster.
- Rúa, L. J. A., Vargas, S. O., Giraldo Mejía, M. E., & Ramírez, F. A. P. (2021). Mass and critical mass: Potentia-
potestas Resist resistance to change. Encuentros (Maracaibo), 13, 142-154. Scopus.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.4395239>
- Seoane, E. (2005). La nueva era del comercio electrónico. Ideaspropias Editorial, Madrid.
- Shapiro, C., & Varian, H. R. (1999). Information rules: A strategic guide to the network economy. Boston, Mass. :
Harvard Business School Press. <http://archive.org/details/informationrules00shap>
- The MathWorks, Inc. (2023). Interp1: Interpolación de datos 1D (búsqueda en tabla). Recuperado del
<https://la.mathworks.com/help/matlab/ref/interp1.html>
- Zapata Sánchez, W. G. (2021). Comercio Electrónico (e-commerce). Alcaldía de Medellín. Recuperado de
<https://ode.medellindigital.gov.co/wp-content/uploads/2022/02/20.-E-commerce.pdf>

Liderazgo Empresarial: Evolución, Modelos y Retos Futuros

Juan José García Sarria¹; Yurani Paola Castro Lastra²; Camilo Ramírez Motoa³.

¹juan.garcia1132@correo.policia.gov.co - Policía Nacional de Colombia.

²yurani.castro@docentes.umb.edu.co - Universidad Manuela Beltrán. Bogotá, Colombia.

³camramirezmot@unal.edu.co - Universidad Nacional de Colombia-Policía Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

- Business Leadership: Evolution, Models, and Future Challenges
- Liderança Empresarial: Evolução, Modelos e Desafios Futuros

Artículo de investigación



Nota. Imagen elaborada con IA Grok.

Resumen

El liderazgo empresarial es un componente fundamental para el éxito y el desarrollo proactivo de las organizaciones empresariales, quienes se enfrentan a un entorno volátil, globalizado y altamente competitivo. El presente artículo ofrece una exploración integral de la naturaleza dinámica de liderazgo empresarial, analizando los principales modelos teóricos disponibles y discutiendo los desafíos que enfrentarán quienes ostenten la figura de líder a lo largo del tiempo en especial en el futuro cercano. Los líderes empresariales de hoy deben navegar por un océano de retos para garantizar la sostenibilidad y crecimientos a sus organizaciones. A lo largo de las últimas décadas, el concepto de liderazgo evoluciona significativamente, adaptándose a las transformaciones legislativas, tecnológicas, normativas, económicas y sociales. Este artículo presenta un enfoque cualitativo de tipo longitudinal y exploratorio haciendo un estudio diferenciado en tiempo prolongado, cubriendo apartes significativos de la evolución del liderazgo en el contexto empresarial. La metodología presenta una revisión bibliográfica de artículos, artículos científicos, artículos producto de investigación, trabajos académicos que buscan explorar los conceptos claves, modelos, evolución y retos futuros del liderazgo empresarial. Los resultados presentan la evolución de las principales teorías sobre liderazgo empresarial; además de las perspectivas y retos que supone el liderazgo al interior de las organizaciones.

Palabras clave: Empresa, Estilos de liderazgo, Liderazgo, Organizaciones, Revisión documental.

Abstract

Business leadership is a fundamental component for the success and proactive development of business organizations, which face a volatile, globalized and highly competitive environment. This article offers a comprehensive exploration of the dynamic nature of business leadership, analyzing the main theoretical models available and discussing the challenges that will confront those who hold the position of leader over time, especially in the near future. Today's business leaders must go through major challenges to ensure the sustainability and growth of their organizations. Over the last decades, the concept of leadership has evolved

significantly, adapting to legislative, technological, regulatory, economic and social transformations. This article presents a qualitative approach of longitudinal and exploratory type, carrying out a differentiated study over a long period of time, covering significant aspects of the evolution of leadership in the business context. The methodology presents a bibliographic review of articles, scientific articles, research product articles, academic works that seek to explore the key concepts, models, evolution and future challenges of business leadership. The results present the evolution of the main theories on business leadership; in addition to the prospects and challenges of leadership within the organizations.

Keywords: Company, Documentary review, Leadership, Leadership styles, Organizations.

Resumo

A liderança empresarial é uma componente crítica para o sucesso e o desenvolvimento proativo das organizações empresariais, que enfrentam um ambiente volátil, globalizado e altamente competitivo. Este artigo oferece uma exploração abrangente da natureza dinâmica da liderança empresarial, analisando os principais modelos teóricos disponíveis e discutindo os desafios que os líderes enfrentarão ao longo do tempo, especialmente no futuro próximo. Os líderes empresariais atuais têm de navegar num oceano de desafios para garantir a sustentabilidade e o crescimento das suas organizações. Nas últimas décadas, o conceito de liderança tem evoluído significativamente, adaptando-se às transformações legislativas, tecnológicas, regulamentares, económicas e sociais. Este artigo apresenta uma abordagem qualitativa de tipo longitudinal e exploratório, efectuando um estudo diferenciado durante um longo período de tempo, abrangendo aspectos significativos da evolução da liderança no contexto empresarial. A metodologia apresenta uma revisão bibliográfica de artigos, artigos científicos, artigos de investigação, trabalhos académicos que procuram explorar os principais conceitos, modelos, evolução e desafios futuros da liderança empresarial. Os resultados apresentam a evolução das principais teorias sobre liderança empresarial, bem como as perspectivas e desafios da liderança nas organizações.

Palavras-chave: Empresa, Estilos de liderança, Liderança, Organizações, Recensão documental.

Introducción

La evolución de los procesos de liderazgo empresarial obedece a un entorno colmado de constantes cambios estructurales desde lo sociales, económicos y tecnológicos que han transformado el mundo empresarial y que obligan a las organizaciones a una mutación constante de sus procesos y procedimientos para no quedar rezagados en la competitividad. A lo largo del tiempo, el liderazgo en las empresas ha pasado de ser en sus orígenes un ejercicio autoritario y centralizado convirtiéndose en modelos mucho más inclusivos y colaborativos con enfoques diferenciales donde el bienestar de los empleados y la innovación tienen un rol predominante a diferenciación de los orígenes del siglo XIX.

Este artículo explora cómo ha evolucionado el liderazgo en el ámbito empresarial, desde los enfoques tradicionales hasta los modelos contemporáneos, destacando los principales autores y teorías que han demostrado la importancia de estos modelos y su determinación para el alcance de los objetivos misionales. Además de lo anteriormente mencionado, el presente estudio de liderazgo empresarial y sus corrientes en liderazgo presenta una visión holística en la eficiencia organizativa, la innovación empresarial y la satisfacción del entorno laboral, permitiendo comprender cómo los diferentes enfoques y estilos de liderazgo puede ayudar a las empresas a identificar y desarrollar líderes efectivos.

Es de resaltar que, actualmente las empresas y/o organizaciones empresariales presentan una progresiva intranquilidad por los pilares universales de sostenibilidad y de responsabilidad social corporativa, obligando a modificar las expectativas de partes interesadas, incluyendo empleados, clientes, inversores y la sociedad en general. Los líderes empresariales ahora deben integrar prácticas sostenibles en sus estrategias operativas, alineando los objetivos económicos con el objetivo de desarrollo sostenible sin perjuicio a sus fines lucrativos y de crecimiento. En la actualidad, las investigaciones en liderazgo empresarial como lo planteado por (Goleman, 1995), Quien sustenta que las competencias emocionales, como la inteligencia emocional y la empatía, son fundamentales para construir relaciones sólidas, fomentar un ambiente de trabajo positivo y aumentar la retención del talento.

El liderazgo en las empresas ha sido un tema de estudio constante debido a su relacionamiento directo en el desempeño organizacional y el desarrollo de los empleados. Desde enfoques autoritarios hasta estilos más participativos e inclusivos, el liderazgo ha experimentado transformaciones significativas influenciadas por cambios sociales, económicos y tecnológicos. En el presente artículo se explora la evolución histórica del liderazgo en las empresas, destacando modelos clave y documentos relevantes.

Metodología

El presente artículo consistió en una investigación de tipo documental con un enfoque cualitativo y con un alcance exploratorio. Para esto, analizó desde una perspectiva multidimensional los aspectos relevantes del liderazgo empresarial. Por su parte, el diseño es no experimental transversal y la muestra es no probabilística (Sampieri, 2014).

Población

La población de la investigación se basó en una estrictamente teórica. Para esto se tomó en consideración autores y publicaciones con un impacto de citación preponderante de acuerdo con los diferentes buscadores especializados.

Técnicas e instrumentos

La técnica de revisión documental empleada consistió en una metodología PRISMA de búsqueda, recolección, clasificación y depuración de resultados de fuentes primarias.

Procedimiento

El proceso de búsqueda y análisis de la información en fuentes primarias se basó en una selección de documentos mediante una revisión sistemática de la literatura, en buscadores académicos especializados como Scopus, Scielo, Business Source Ultimate, Scielo y Redalyc; de acuerdo con criterios de inclusión previamente definidos:

- Tipo de documento: artículos científicos, libros, capítulos de libro, trabajos de grado de nivel de maestría o doctorado.

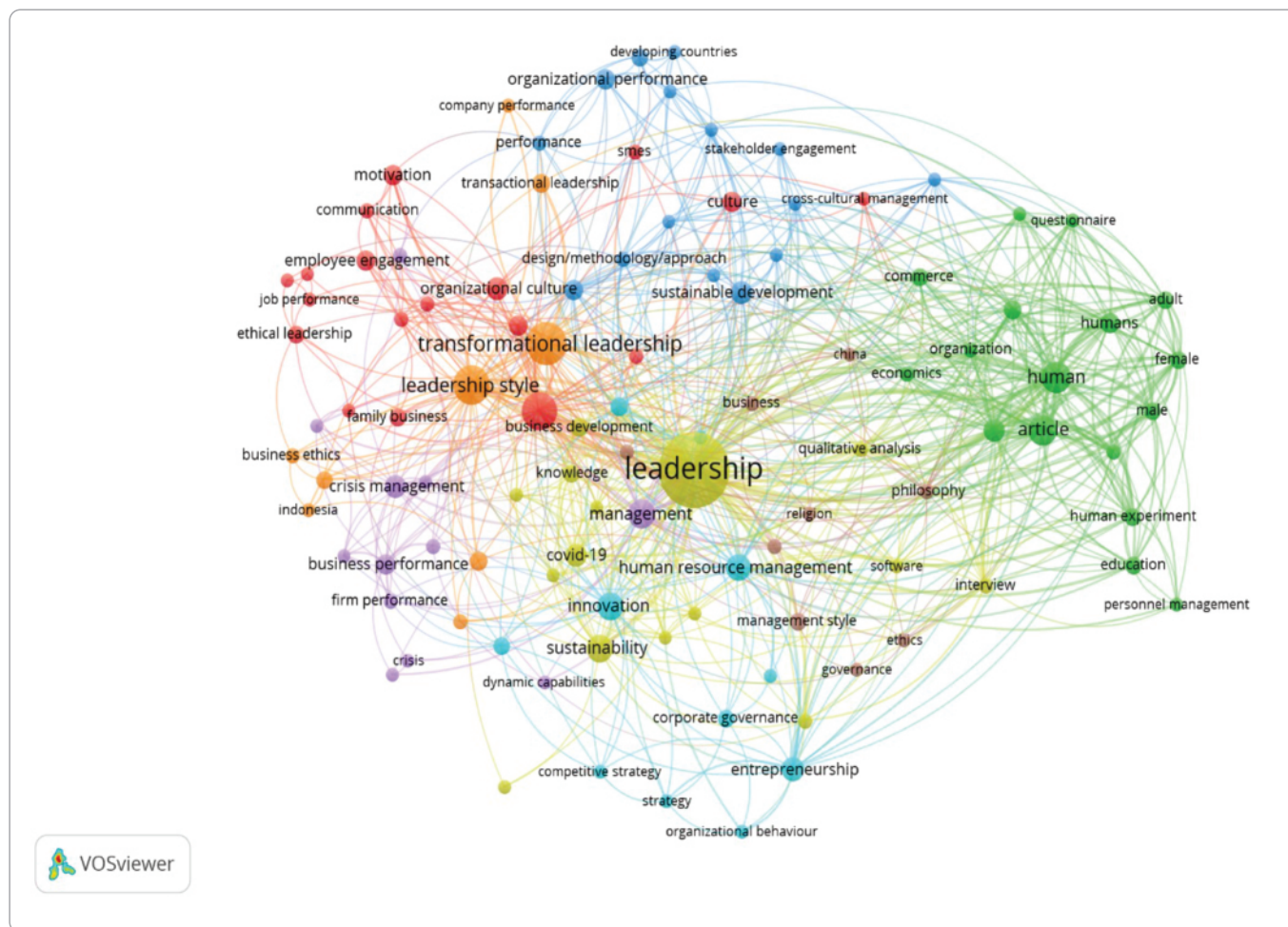
Finalmente, los resultados de la revisión fueron analizados de acuerdo con un proceso de triangulación de la información.

Resultados y conclusiones

Evolución histórica del liderazgo

El liderazgo empresarial ha experimentado una notable evolución a lo largo de las décadas. Desde los enfoques autoritarios del siglo XX hasta los estilos más inclusivos y participativos de la actualidad, los líderes han adaptado sus estrategias para responder a los cambios en la cultura organizacional y las expectativas de los empleados. El surgimiento de tecnologías digitales y la globalización también han influido en la manera en que se ejerce el liderazgo, promoviendo una mayor flexibilidad y adaptabilidad (Lasrado & Kassem, 2021; Daruwalla et al, 2021; La figura 1 retrata los principales temas, conceptos, teorías y lineamientos generales que han guiado esta evolución histórica.

Figura 1.
Red semántica de co-ocurrencia – términos recurrentes en la búsqueda de fuentes primarias.



Nota: Figura generada por medio de software bibliométrico VosViewer. Disponible en: <https://n9.cl/edk5x>

Los modelos de liderazgo empresarial han evolucionado a lo largo del tiempo, adaptándose a las necesidades y dinámicas organizacionales.

Durante el siglo XIX y principios del siglo XX, el liderazgo en las empresas se caracterizó por un enfoque autocrático. Los líderes, generalmente propietarios o altos ejecutivos, tomaban decisiones de manera unilateral guiados por los objetivos económicos de la empresa. Esta época se reflejaba en las teorías de administración científica de Frederick Taylor, quien promovía la eficiencia y el control estricto sobre los trabajadores a través de los conocidos teoría científica de la administración o escuela científica de la administración estableciendo los pilares de la organización del Trabajo, Selección y entrenamiento del trabajador, Cooperación y remuneración por rendimiento individual, Responsabilidad y especialización de los directivos en la planeación del trabajo (Taylor, 1969; Tyurikov et al, 2022).

A medida que el liderazgo empresarial continuaba evolucionando, se presenta una teoría diferencial a lo que comúnmente se conocía, la Teoría Contingencia presentada por Fred Fiedler, que propuso que no existe un solo estilo marcado de liderazgo bajo la premisa de ser único y efectivo si no que diferentes estilos de liderazgo los cuales ostentan la capacidad de adaptarse a múltiples escenarios.

Fred Fiedler (1967) argumentó que la efectividad de un líder dependía de la interacción entre su estilo de liderazgo dentro de la organización y la situación específica o la actividad que desempeña. Su teoría presentaba un modelo de contingencia del liderazgo, sugiriendo que algunos líderes eran más efectivos en situaciones de “control alto”, mientras que otros podían presentar valores poco eficientes en situaciones control bajo.

La teoría de Fred fue un avance significativo, ya que reconocía procesos complejos del liderazgo y la necesidad de adaptarse a diferentes contextos lo cual es una característica que actualmente se le demanda a todos aquellos que ostentan un rol de dirección o de liderazgo empresarial. Para el autor de la teoría de

contingencia, el liderazgo ya no se veía como una serie de características fijas o comportamientos específicos de la persona, sino como un proceso dinámico que dependía del entorno organizacional que lo condiciona.

Posteriormente, a medida que avanzaba el siglo XIX, el enfoque sobre el liderazgo comenzó a presentar algunos cambios relevantes para tener en cuenta en los procesos organizaciones de la época, bajo la premisa de la teoría de los rasgos plantadas por autores como Ralph Stogdill, Kurt Lewin, James MacGregor Burns, Bernard Bass, Paul Hersey y Ken Blanchard. Este estilo de liderazgo subjetivo salto de centrarse únicamente en las estructuras jerárquicas de la organización, para que los investigadores y académicos que indagaban sobre el tema, comenzaran a analizar las características personales de aquellos funcionarios que ejercían el rol de liderazgo. La teoría de rasgos, que dominó la primera mitad del siglo XX, sostenía que ciertos individuos nacían con características innatas que los hacían líderes efectivos. Ralph Stogdill (1948), uno de los principales proponentes de esta teoría, identificó una serie de rasgos comunes entre líderes efectivos, como la inteligencia, la confianza en sí mismos, la determinación y la sociabilidad es decir todas aquellas habilidades blandas en el marco del desarrollo intrapersonal e interpersonal.

Si bien la Teoría de Rasgos ofrecía una perspectiva útil sobre el liderazgo, fue cuestionada múltiples veces por su incapacidad para exponer el lado opuesto de los líderes con estos rasgos, fracasando argumentalmente en ciertos contextos, teniendo en cuenta que otros líderes sin los rasgos principales mencionados y sin estas cualidades, lograban el éxito. Esta limitación llevó al desarrollo de teorías más dinámicas que consideraron el comportamiento y las circunstancias como factores clave en el efecto del liderazgo.

Durante la década de 1950 se presentaba una innovación complementaria que ponía el comportamiento como eje fundamental, los investigadores comenzaron a centrar su atención en lo que los líderes hacían, en lugar de quiénes eran, sus cualidades o sus rasgos teniendo múltiples exponentes que defendían la teoría tales como Kurt Lewin, Herbert Alexander, Chester Barnard, Blake y

Mouton grandes catedráticos y referentes de los procesos de liderazgo empresarial y administración de personal.

La Teoría de los Comportamientos necesitó varios fundadores y múltiples defensores para doblegar las tesis arraigadas sobre rasgos de décadas anteriores, pues necesitaban demostrar que el liderazgo no se basaba únicamente en los rasgos innatos, sino en las acciones que los líderes realizaban y desempeñaban durante sus tiempos. Estudios pioneros como los realizados en la Universidad de Ohio identifican dos dimensiones clave en los procesos de liderazgo: la orientación hacia las personas (consideración) y la orientación hacia las tareas (Estructura iniciativa).

Este enfoque comportamental destacó que los líderes efectivos en el marco de la distinción de comportamientos, no solo se enfocaban en el cumplimiento de las tareas, sino también en el bienestar global y desarrollo de cada uno de sus empleados teniendo relevancia las dos vertientes. A medida que las organizaciones comenzaron a reconocer la importancia del capital humano, este modelo se hizo cada vez más relevante, señalando el valor de un enfoque equilibrado entre la productividad y el desarrollo del equipo.

Posteriormente, con el surgimiento de nuevas teorías organizacionales, comenzó a cuestionarse el liderazgo autocrático y los rasgos. Douglas McGregor, desarrolló la Teoría X y Teoría Y, propuso una visión diferencial desde el enfoque humano del liderazgo. Para McGregor (1960), mientras que la teoría X asumía que los empleados eran por lo general perezosos y necesitaban ser controlados o supervisados constantemente o tener un supervisor de manera constante, por su parte la Teoría Y, sugería que los empleados eran creativos y buscaban autorrealización, fomentando un liderazgo más participativo desde cada una de sus funciones, capacidades y aptitudes (Barrios-Hernández et al, 2020; Patterson et al, 2022).

James MacGregor Burns y Bernard Bass en las décadas de 1970 y 1980 introdujeron los conceptos de liderazgo transformacional y transaccional, teorías que le permitieron ser parte de los autores más referenciados

en temáticas de liderazgo y gestión empresarial del presente siglo. El liderazgo transformacional se centraba en la capacidad del líder para inspirar, infundir y motivar a los seguidores proceso de renovación positivos y significativos (Burns, 1978; Bass, 1985; Bansal et al, 2024).

Por otro lado, el liderazgo transacción se basaba en un sistema de recompensas y castigos para gestionar a los empleados haciendo de los estímulos un eje trascendental del comportamiento y resultados estableciendo unos pilares sistemáticos de Recompensas Contingentes y el énfasis en el cumplimiento metas en complemento a las investigaciones de Edwin A. Locke y Max Weber.

Daniel Goleman (1995) autor del libro Emotional Intelligence Best Sellers mundial popularizó la teoría de las inteligencias múltiples y por consecuente el concepto de inteligencia emocional como una competencia clave en el liderazgo. Para Goleman los líderes con alta inteligencia emocional deberían ser capaces de manejar mejor sus propias emociones y gestionan mucho mejor sus equipos de trabajo, lo que es esencial para motivar y retener talento (Hohlbein, 2015). Este tipo de líderes gerencian mejor la empatía y la capacidad de construir relaciones sólidas y de confianza son fundamentales para garantizar ambientes de trabajo positivos y productivos.

Finalmente, la globalización ha ampliado los mercados y aumentado la competencia, requiriendo líderes con habilidades interculturales y una comprensión global profunda (Adler, 2002). La tecnología, por su parte, ha transformado la comunicación y el trabajo en equipo, dando lugar al liderazgo virtual y distribuido (Zaccaro & Bader, 2003; Macfarlane et al, 2024). Este tipo de líderes creados en el posmodernismo deben ser capaces de gestionar equipos dispersos geográficamente, aprovechar las herramientas digitales para la colaboración y mantenerse al día con las innovaciones tecnológicas que impactan en sus industrias y equipos de trabajo.

Además, la digitalización ha facilitado el acceso a grandes volúmenes de datos, permitiendo a los líderes tomar decisiones más informadas y estratégicas. Sin

embargo, también plantea desafíos en términos de ciberseguridad, privacidad y la necesidad de competencias tecnológicas avanzadas (Yukl, 2013; Amit et al, 2024).

Retos a futuro

Los retos del liderazgo empresarial en el mundo moderno son tan variados como complejos; desde la integración de tecnologías emergentes hasta la promoción de culturas inclusivas y éticas. Los líderes deben entonces navegar por un panorama en constante cambio. Sin embargo, Al desarrollar una visión clara, fomentar la adaptabilidad y priorizar el bienestar de su equipo y la sociedad, los líderes pueden no solamente superar obstáculos, sino también impulsar a sus organizaciones hacia nuevos niveles de éxito y sostenibilidad.

Ante la edificación de escenarios más globalizados e intercomunicados es necesario comprender que a medio y a largo plazo todas aquellas personas que ostentan organizacionalmente roles de liderazgo y dirección, están obligados a estar a la vanguardia de las innovaciones tecnológicas del nuevo mundo para ser altamente efectivos en su regulación empresarial, pero sobre todo en la gestión de equipos de trabajo eficientes. El liderazgo efectivo es, en última instancia, un viaje de aprendizaje continuo y compromiso el cual ofrece oportunidades para el crecimiento y la innovación.

Los principales retos a abordar que deben asumir los líderes empresariales de cara a los están relacionado con la capacidad de adaptabilidad y aprendizaje continuo, los procesos de diversidad e inclusión, la responsabilidad en alternativas sostenibilidad y responsabilidad social, el acceso de un sistema de Liderazgo enmarcado en condiciones éticas y transparentes.

Conclusiones

El liderazgo empresarial se encuentra en continuo cambio, y refleja el entorno global en continuo cambio y las cambiantes necesidades de las organizaciones. El

liderazgo en el futuro estará caracterizado por la versatilidad, la ética y el enfoque de la persona, mezclando las competencias tecnológicas con la competencia emocional y la capacidad de adaptación. En el futuro, para hacer frente a los diferentes desafíos del liderazgo del futuro serán esenciales la proyección de la diversidad, el compromiso con la sostenibilidad, el desafío de la incertidumbre y la innovación. Las organizaciones que pueden desarrollar estas capacidades en su liderazgo seguramente se convertirán en las más exitosas y sostenibles en el siglo XXI. Estos desafíos del liderazgo en el mundo moderno son variados y a menudo complicados, desde las demandas de la integración de las tecnologías emergentes hasta la necesidad de crear culturas inclusivas y éticas.

En conclusión, el liderazgo empresarial moderno debe adaptarse a un conjunto diverso de desafíos que van desde la gestión de la diversidad y transformación digital hasta la sostenibilidad y la innovación continua. Los líderes que puedan navegar estos retos con éxito serán aquellos que estén dispuestos a adoptar una mentalidad flexible y proactiva, priorizando el bienestar de sus equipos y fomentando un entorno de trabajo inclusivo y ético.

La capacidad de los líderes para evolucionar y responder a las necesidad cambiantes del entorno global determinará una medida el éxito empresarial y la sostenibilidad organizacional con miras a futuro, es por eso que deben analizar las tendencias y desafíos emergentes contemplados en el presente escrito, herramientas que le permitirán a las organizaciones prepararse de una manera diferencial para el futuro, comprendiendo de manera multidimensional distintos enfoques y estilos a practicar, este ejercicio asiste a las empresas, ofreciendo un análisis de las tendencias y desafíos emergentes permitirán a las organizaciones prepararse mucho mejor ante las posibles contingencias y desafíos.

Finalmente, es deber de todos los integrantes de las organizaciones propender por el conocimiento práctico de los avances de tecnología, innovación y creatividad de

cara a las prioridades, necesidades y prelación de las empresas. En el entorno empresarial dinámico y competitivo de este siglo, el liderazgo efectivo es más necesario que nunca siendo un eje fundamental para la consolidación de estándares mínimos de gestión de equipos de trabajo. En concordancia con lo anterior, se puede indicar que, las organizaciones hoy enfrentan

cambios extremadamente acelerados impulsados por la globalización, la innovación tecnológica y las cambiantes expectativas de los empleados y consumidores. Los líderes deberán comprender que ya no solo administran recursos y dirigen equipos; Deben inspirar, adaptarse rápidamente y anticipar tendencias para mantener la relevancia y competitividad de sus empresas.

Contribución de autoría

Juan José García Sarria (ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5046-1153>): Análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original.

Yurani Paola Castro Lastra (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8804-4045>): Análisis de datos, conceptualización, escritura, revisión.

Camilo Ramírez Motoa (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9260-6274>): Metodología, búsqueda de acuerdo con la metodología PRISMA, manejo del software VosViewer, revisión y edición.

Referencias

- Adler, N. (2002). *International Dimensions of Organizational Behavior* (5th ed.). Ohio: Thomson South-Western.
- Amit, S., Levermore, R., Noor, S. S., & Kafy, A. A. (2024). Multidimensional analysis of entrepreneurial leadership and spatial innovation for sustainable startup success in emerging markets. *Business Strategy & Development*, 7(3), e70005.
- Bansal, A., Saluja, S., Bansal, A., Sharma, S., & Kumar, M. (2024). Optimizing the Effects of Neuroleadership During Organizational Transition. In *Building Organizational Resilience With Neuroleadership* (pp. 230-240). IGI Global.
- Barrios-Hernández, K. D. C., Olivero-Vega, E., & Figueroa-Saumet, B. (2020). Conditions of human talent management that favor the development of dynamic capabilities. *Información tecnológica*, 31(2), 55-62.
- Bass, B. M. (1985). *Leadership and Performance Beyond Expectations*. New York: Free Press.
- Burns, J. M. (1978). *Leadership*. New York: Harper & Row.
- Daruwalla, V., Chandok, G., & Jeong, W. (2021). The Influence of Cultural Factors on Leadership Perceptions. *Journal of Management World*, 2021(4), 171-180.

Fiedler, FE (1967). *Una teoría de la eficacia del liderazgo*. McGraw-Hill.

Goleman, D. (1995). *Inteligencia emocional*. Bantam Books.

Goleman, D. (2013). The Focused Leader. *Harvard Business Review*, 91(12), 50-60.

Hohlbein, P. J. (2015). *The power of play in developing emotional intelligence impacting leadership success: A study of the leadership team in a midwest private, Liberal Arts University*. Pepperdine University.

Lasrado, F., & Kassem, R. (2021). Let's get everyone involved! The effects of transformational leadership and organizational culture on organizational excellence. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 38(1), 169-194.

Macfarlane, B., Bolden, R., & Watermeyer, R. (2024). Three perspectives on leadership en higher education: traditionalist, reformist, pragmatist. *Higher Education*, 1-22.

McGregor, D. (1960). *The Human Side of Enterprise*. New York: McGraw-Hill.

Patterson, L., Egeland, R., & Wong, K. (2022). The culture and leadership style combination that cultivates a best-in-class marketing organisation. *Applied Marketing Analytics*, 8(1), 55-78.

Stogdill, RM (1948). Factores personales asociados al liderazgo: un estudio de la literatura. *Journal of Psychology*, 25(1), 35-71.

Taylor, F. W. (1911). *The Principles of Scientific Management*. New York: Harper & Brothers.

Tyurikov, A. G., Kolmykova, M. A., Dobrovolskaya, O. P., & Opletina, N. V. (2022). Modern socio-cultural management practices in the regional cluster. *International Journal of Business Governance and Ethics*, 16(2), 218-240.

Yukl, G. (2013). *Liderazgo en las Organizaciones* (8ª ed.). Pearson Educación.

Zaccaro, SJ, y Bader, P. (2003). Liderazgo electrónico y los desafíos de liderar equipos electrónicos: minimizar lo malo y maximizar lo bueno. *Dinámica organizacional*, 31(4), 377-387.



Los textos publicados son propiedad intelectual de los autores y de la revista, que pueden utilizarse con propósitos educativos y académicos, siempre que se cite al autor y la publicación. Las opiniones contenidas en los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente el pensamiento del Editor y el Consejo Editorial de la revista.



**Centro de Tecnologías para
la Construcción y la Madera**
Bogotá D.C.

SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



Autopista Sur Carrera 4 No. 53-54
Soacha - Cundinamarca - Colombia
Complejo Cazucá

Correo electrónico: sennovactcm@sena.edu.co

Blog: <http://construccionymadera.blogspot.com/p/sennova.html>

Página web SENNOVA: <https://sennovactcm.wixsite.com/sennovactcm>

Página oficial SENA: <http://www.sena.edu.co>

