

L'esprit Ingénieurs

ISSN: 2145 - 9274
Enero - Diciembre Vol. 13 No. 1
Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Santo Tomás
Tunja - Colombia
Publicación Anual

13





UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

T U N J A
Experiencia y Calidad



Institución Editora

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS, SECCIONAL TUNJA

Editor

Ph.D. Pedro Mauricio Acosta Castellanos
Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia

Volumen de la Revista

VOLUMEN 13
AÑO 2022

Periodicidad

ANUAL

ISSN (Versión Impresa)

2145-9274

ISSN (En línea)

2422-2445

Dirección Postal

Centro de Investigaciones en Ciencias, Arquitectura e Ingenierías
Universidad Santo Tomás – Seccional Tunja
Calle 19 No. 11-64. Tunja (Boyacá), Colombia

Teléfono

608 7440404, Ext. 1024

E-mail

revista.ingenieria@ustatunja.edu.co
pedro.acosta@usantoto.edu.co

Traducción lengua inglesa

Los conceptos expresados en los artículos son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no comprometen a la Institución, ni a la publicación. La Revista *Esprit Ingénieur* es un órgano de difusión de la División de Ciencias de Arquitectura e Ingenierías de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, que muestra los productos de investigación generados a partir de diferentes avances científicos y tecnológicos, dirigida al público en general. Se encuentra incluida en el Índice Bibliográfico de Publicaciones –PUBLINDEX. **Se trata de una publicación de periodicidad anual.**

Para la recepción de artículos se dispone el correo institucional:

revista.ingenieria@ustatunja.edu.co
pedro.acosta@usantoto.edu.co

<http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/lingenieur>



UNIVERSIDAD
SANTO TOMÁS
TUNJA

VIGILADA MINEDUCACIÓN - SMIES 1732

Comité Editorial Seccional

Fr. José Fernando Mancipe, O.P.
Rector Seccional

Fr. José Gregorio Hernández Tarazona, O.P.
Vicerrector Académico

Fr. José Arturo Restrepo Restrepo O.P.
Vicerrector Administrativo y Financiero

Fr. Sergio Andrés Mendoza Vargas, O.P.
Decano de División de Ingenierías y Arquitectura

Comité Editorial

Fr. Sergio Andrés Mendoza Vargas, O.P.
Decano de División de Ingenierías

M.Sc Brigid Hiomara Pacheco García
Decana de Facultad: decano.civil@usantoto.edu.co

Ingeniero Ph.D Pedro Mauricio Acosta Castellanos
Editor: pedro.acosta@usantoto.edu.co

Ingeniera M.Sc. Mónica Rodríguez Mesa
Coordinadora de Investigaciones:
monica.rodriguez@usantoto.edu.co

Ingeniera M.Sc Diana María Beltrán
Coordinadora área de recurso hídrico y ambiental:
diana.beltran@usantoto.edu.co

Ingeniera M.Sc Laura Natalia Garavito
laura.garavito@usantoto.edu.co

Ingeniero M.Sc Wilson Medina
Coordinador área de estructuras:
wilson.medina@usantoto.edu.co

Ingeniero M.Sc Néstor Iván Rojas
Coordinador área de Geotecnia, Vías y Pavimentos:
Nestor.rojas@usantoto.edu.co

Comité Científico

Ingeniero Ph.D. Carlos Andrés Caro Camargo
Docente Facultad de Ingeniería Civil
carlos.caro@usantoto.edu.co

Ingeniero Ph.D. Pedro Mauricio Acosta Castellanos
Docente Facultad de Ingeniería Civil:
pedro.acosta@usantoto.edu.co

EDITORES

Ingeniero Ph.D. Pedro Mauricio Acosta Castellanos
Universidad Santo Tomás, Tunja, Colombia
pedro.acosta@usantoto.edu.co

CORRECCIÓN DE ESTILO

Santiago María Bordamalo Echeverri

Diseño gráfico y diagramación

Búhos Editores Ltda.
Tunja - Boyacá

ISSN (Impreso): 2145-9274

Hecho el Depósito que establece la Ley
© Derechos Reservados
Universidad Santo Tomás
2023

ISSN (En línea): 2422-2445

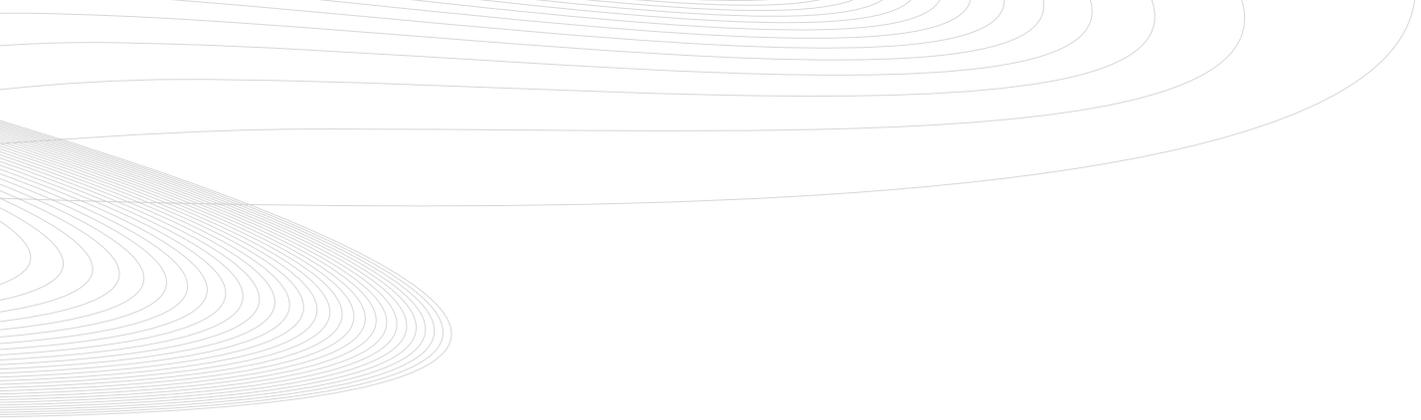
© Derechos Reservados
Universidad Santo Tomás

Suscripciones y Canje

Calle 19 No. 11-64 – Tunja - Boyacá
PBX: 608 7440404 – Exts. 31230 - 31239
Desde cualquier lugar del país Línea Gratuita:
018000932340 www.ustatunja.edu.co

Contenido

- 11 | Mejoramiento y mantenimiento de la vía principal que conecta la vereda El Tintal con el municipio de Sáchica – Boyacá
Barón Arias Cristian
Pinzón Jiménez Paula
- 28 | Análisis de impacto ambiental en la construcción sostenible
Amaya Saavedra Laura V.
Muñoz Arias Lorena C.
- 37 | Prevención y control de erosión en taludes mediante uso de geotextiles derivados del fique
Camacho R. Andrés Leonardo
Díaz A. Mabel Vannesa
Torres M. Angie Gabriela
- 63 | Eliminación de Giarda y Cristosporidium en la planta de tratamiento de agua potable de Villa De Leyva, Boyacá, Colombia
Martínez M. Cristian
Pardo R. Juan
Sierra R. Fabián
- 76 | Alternativa a la corrección de la eficiencia por DBO soluble en lagunas de estabilización
Acosta-Castellanos, Pedro Mauricio
Pacheco-García, Brigid Hiomara



EL FUTURO INGENIERIL: ENTRE LA SOSTENIBILIDAD Y LA CALIDAD

El desarrollo científico y tecnológico a través de la historia de la humanidad ha tenido como principal eje de desarrollo el bienestar de la comunidad y el bienestar de las naciones y civilizaciones, desde sus inicios hasta la contemporaneidad. Todo el viaje de eventos y circunstancias que se han enmarcado en guerras, pero también en grandes exposiciones de tipo artístico y humanístico, han tenido como motor inevitable querer vivir en un mundo mejor.

El objetivo primario del ser humano fue el acceso a sus bienes vitales, como el agua y la comida, pero cuando esas primeras civilizaciones se desplazaron por necesidad a latitudes fuera de la zona ecuatorial, también requirieron tratamientos especiales de protección climática. Así que, para entonces, ya no eran el agua y el alimento las únicas necesidades básicas, sino también el adecuado abrigo. Y mientras la humanidad se fue expandiendo, también fueron más evidentes las distancias de comunicación entre los pueblos y, como consecuencia, mayores problemáticas de conectividad y transporte de bienes.

Siglos después de esas primeras necesidades evidentes que dieron lugar a las primeras expansiones y que también generaron guerras por consecución de recursos, mantenemos las mismas problemáticas. De bienes vitales, porque aún hoy tenemos zonas en el país y en el mundo donde la inequidad en el acceso al agua es evidente, incluso con regiones con acceso o disponibilidad nula. De conectividad, porque, aunque tenemos interconectadas ciudades y países a través de caminos y grandes carreteras, el Estado en muchos casos sobre todo en países latinoamericanos como el nuestro carece de las calidades mínimas de servicio ante las nuevas necesidades del milenio, en lo que refiere a tráfico y comodidad. Y de sostenibilidad, porque adicional a ello, la cantidad de recursos en el planeta es un tema que preocupa a la humanidad, precisamente por el aumento significativo en el crecimiento poblacional mundial, que no está acorde con la conservación de los recursos naturales, y a partir de lo cual ha surgido un sinnúmero de acuerdos, leyes y pactos mundiales en temáticas que buscan la equidad respecto a ese desbalance, entre lo que se destacó inicialmente como los objetivos del milenio y posteriormente a través de los objetivos de desarrollo sostenible.

El mundo entero se ha volcado hacia la defensa de lo concerniente con la temática de los objetivos de desarrollo sostenible, por su propia supervivencia y el buen vivir y bienestar de todas las sociedades del planeta. La ingeniería y el desarrollo en general no debería estar en contravía de esa importante iniciativa que nos cobija a todos. Por ese motivo, diferentes formas de concientización se han dado a lo largo de regiones y latitudes, con el fin de exponer las consecuencias de la sobre explotación de recursos y de un desarrollo que no practique sostenibilidad.

La formulación de escritos que incentiven prácticas sostenibles en todos los renglones de la economía de las naciones puede llegar a generar el poder de concientización que requieren las nuevas generaciones, desde escritos de nivel divulgativo, hasta publicaciones de alto impacto en revistas especializadas con altísimos índices de visualización, siempre y cuando el estado del arte generado sea usado por los diferentes procesos, en este caso, ingenieriles que se van

generando según las necesidades y usos para solución de problemáticas reales y específicas.

La Facultad de ingeniería civil, desde su concepción como programa propio avalado y reconocido por el ministerio de educación nacional en el año 2002, se ha preocupado por la divulgación de la investigación hacia la solución de problemáticas regionales y en algunos casos nacionales, tomando como fuente investigaciones realizadas en la institución, dentro de los grupos de investigación que ha manejado el programa desde sus inicios, y en contextos de Tunja y Boyacá principalmente. Desde hace más de 10 años, la revista L'Esprit Ingénieux, ha tomado un papel importante incentivando la participación de sus docentes y estudiantes en la generación de nuevo conocimiento y la investigación aplicada, tomando como base temáticas de actualidad ingenieril, en contexto predominantemente regional.

En este sentido, y para esta nueva edición de nuestra revista, invitamos muy especialmente al lector, que se sumerja en algunos de los más relevantes avances de la investigación aplicada en lo que tiene que ver con el sector de agua potable y saneamiento básico, y en el diseño de carreteras, temas fundamentales para el desarrollo regional del departamento de Boyacá, pero fundamentalmente teniendo en cuenta el contexto sostenible de los temas que se tratan en cada uno de los artículos de este numeral.

Enviamos una cordial invitación a nuestros lectores, a estudiantes y docentes a leer, analizar, compartir y citar los artículos de esta edición, así como para presentar sus investigaciones en futuros números de nuestra revista.

Con gratitud por su compromiso y entusiasmo lector,

Carlos Andrés Caro C., Ph.D.

Profesor titular

Facultad de Ingeniería Civil

Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja

THE ENGINEERING FUTURE: BETWEEN SUSTAINABILITY AND QUALITY

Scientific and technological development throughout human history has had the primary focus of improving the well-being of communities, nations, and civilizations. From its earliest days to the present, the journey of events, circumstances, eventualities, and episodes has been driven by the desire to live in a better world.

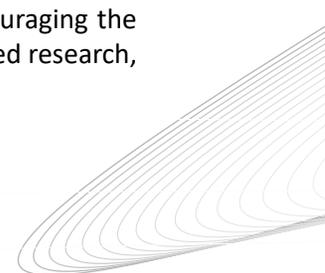
The primary objective of humankind was access to vital resources like water and food. However, as early civilizations migrated to regions outside the equatorial zone out of necessity, they also required special climate protection. By then, it was not just water and food that were basic needs, but also suitable shelter. As humanity expanded, communication distances between peoples became more apparent, leading to greater challenges in connectivity and the transportation of goods.

Centuries after those initial evident needs that led to the first expansions and also generated wars for resource acquisition, we still face the same challenges. In terms of vital resources, there are still areas in our country and the world where inequality in access to water is evident, even in regions with little or no availability. In terms of connectivity, while cities and countries are interconnected through roads and highways, in many cases, especially in Latin American countries like ours, the infrastructure lacks the minimum quality of service required to meet the new millennium's needs in terms of traffic and convenience. In the context of sustainability, the quantity of resources on the planet is a concern for humanity, primarily due to the significant increase in the global population, which is not in line with the conservation of natural resources. This concern has led to numerous international agreements, laws, and global pacts addressing issues related to the equitable distribution of resources. This concern initially surfaced in the Millennium Development Goals and later through the Sustainable Development Goals.

The world has shifted its focus toward defending the Sustainable Development Goals for its own survival and the well-being of all societies on the planet. Engineering and development, in general, should not oppose this significant initiative that encompasses us all. That's why various forms of awareness have been raised across regions and latitudes, always aiming to highlight the consequences of resource over-exploitation and unsustainable development.

The creation of writings that promote sustainable practices across all sectors of a nation's economy can generate the necessary awareness among the new generations. These writings can range from informative materials to high-impact publications in specialized journals with high visibility, provided that the state-of-the-art knowledge they contain is applied in various processes, particularly in the field of engineering, to address real and specific issues.

Since its inception as a stand-alone program endorsed and recognized by the Ministry of National Education in 2002, the Faculty of Civil Engineering has been committed to disseminating research aimed at solving regional and, in some cases, national issues. This dissemination is based on research conducted within the institution, within the research groups that the program has managed from its inception, primarily in the context of Tunja and Boyacá. For more than a decade, the *L'Esprit Ingénieux* magazine has played an important role in encouraging the participation of its teachers and students in generating new knowledge and applied research, focusing on current engineering topics, primarily within a regional context.

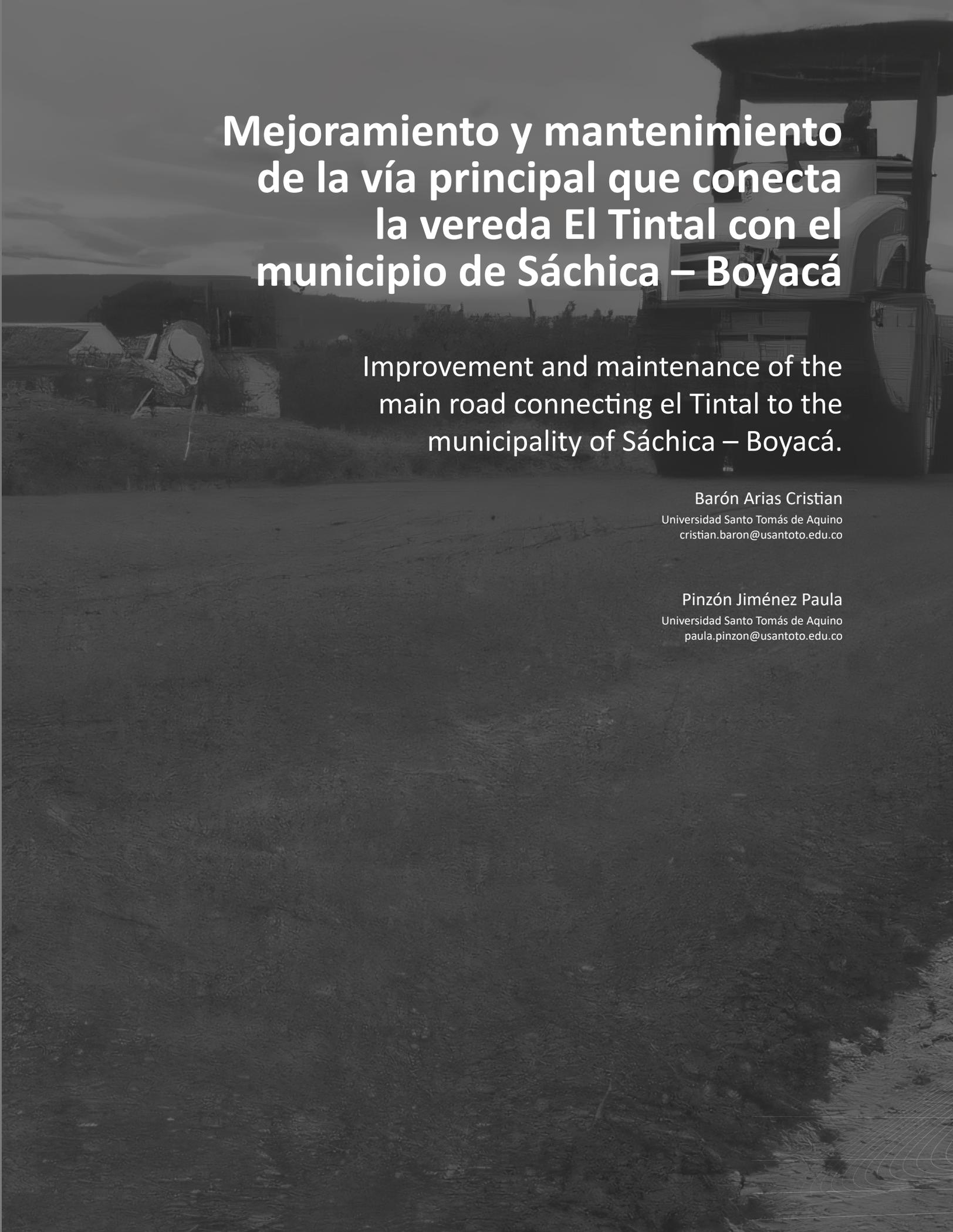


In this regard, and for this new edition of our magazine, we extend a special invitation to our readers to delve into some of the most significant advances in applied research related to the drinking water and sanitation sector and road design fundamental topics for the regional development of the department of Boyacá, all while considering the sustainability aspect of each theme discussed in each of the articles in this issue.

We extend a warm invitation to our readers, students, and teachers to read, analyze, share, and cite the articles in this edition, as well as to present their research in future issues of our magazine.

With gratitude for your commitment and enthusiasm as readers,

Carlos Andrés Caro C, Ph.D.
Full Professor
Faculty of Civil Engineering
Santo Tomás University - Tunja



Mejoramiento y mantenimiento de la vía principal que conecta la vereda El Tintal con el municipio de Sáchica – Boyacá

Improvement and maintenance of the
main road connecting el Tintal to the
municipality of Sáchica – Boyacá.

Barón Arias Cristian

Universidad Santo Tomás de Aquino
cristian.baron@usantoto.edu.co

Pinzón Jiménez Paula

Universidad Santo Tomás de Aquino
paula.pinzon@usantoto.edu.co

Resumen

El presente documento abarca el estudio de una vía terciaria ubicada en la vereda El Tintal, correspondiente al municipio de Sáchica, Boyacá. En este lugar se presenta un evidente deterioro de la superficie del corredor vial por falta de mantenimiento, recursos, la falta de conciencia de los habitantes que allí residen y de las autoridades competentes. Por lo anterior, se hace necesario evaluar el terreno para ejecutar como alternativa de solución viable el fresado, como una estrategia para mitigar el auge del impacto negativo presente en la zona, con el fin de satisfacer las necesidades básicas a la población en cuanto a transmisibilidad, esto debido a que contribuye en la reducción de costos, tiempo y daño ambiental.

Palabras clave: Mantenimiento, rural, fresado, impacto, rehabilitación, mejoramiento.

Abstract

This document covers the study of a tertiary road located in the village of El Tintal, corresponding to the municipality of Sáchica, Boyacá. In this place, there is an evident deterioration of the surface of the road corridor due to lack of maintenance, resources, lack of awareness of the inhabitants who reside there and of the competent authorities. Due to the above, it is necessary to evaluate the land to execute milling as a viable solution alternative, as a strategy to mitigate the rise of the negative impact present in the area, to satisfy the basic needs of the population in terms of traffic, this because it contributes to the reduction of costs, time and environmental damage.

This article presents a series of concepts, problems and strategies that allow an analysis of the scope of the implementation of sustainable methodologies in construction.

Keywords: Maintenance, rural, milling, impact, rehabilitation, improvement.

Para citar este artículo: Amaya S., Laura; Muñoz A., Lorena C. "Análisis de Impacto Ambiental en la Construcción Sostenible" In L'Esprit Ingenieur. Vol. 13-1, pp. 11-27.

1. INTRODUCCIÓN

La comunicación terrestre e infraestructura vial es uno de los aspectos centrales para el desarrollo del comercio y el crecimiento económico en diferentes sociedades. Así pues, se busca garantizar un desarrollo progresivo de las dinámicas comerciales mejorando simultáneamente la calidad de vida de las personas. De ahí que sea de gran importancia el diseño y ejecución de obras de infraestructura vial. El municipio de Sábica ubicado en el departamento de Boyacá cuenta con una alta cantidad de vías terciarias, las cuales conectan la cabecera municipal con veredas aledañas. Estos corredores viales permiten el transporte de bienes y servicios, además de favorecer el comercio regional. La gran mayoría de los pobladores de este municipio se dedican a la agricultura y la ganadería, siendo dependientes en cierta medida del estado en que se encuentren estas vías para garantizar sus sustentos económicos.

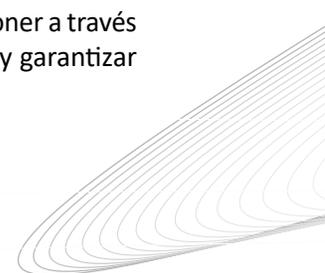
Según algunos expertos del Instituto Nacional de Vías, todas las vías se diseñan con una vida útil que puede verse afectada por el tránsito de vehículos para las que no fueron proyectadas; por tanto, es necesaria la intervención de estas vías mediante los distintos métodos existentes de mejoramiento y mantenimiento vial (INVIAS, 2021). Algunos autores proponen procedimientos de rehabilitación tanto en vías urbanas como rurales, buscando disminuir el grado de afectación vial (Ognjenovic et al., 2015). Otros autores concluyen en sus investigaciones, que estrategias que permiten el mantenimiento de carreteras de bajo volumen, disminuyen las tasas de accidentalidad (Agarwal et al., 2017). Por otra parte, algunos ingenieros señalan que, se ha de trabajar arduamente para mitigar condiciones desfavorables de mantenimiento que se puedan presentar (Pradena y Echaveguren, 2008).

La presente investigación se centra en identificar el estado de una vía terciaria, la cual comunica la Vereda El Tintal con el municipio de Sábica. En esta vía se presenta una problemática evidente de deterioro de la superficie del terreno por falta de mantenimiento. El tránsito de vehículos de carga pesada de manera frecuente y la escasez de recursos, se pueden considerar como indicadores de este problema; asimismo, se contemplan ciertos agentes climáticos contribuyentes con el desgaste vial. Actualmente, las problemáticas del desgaste de esta vía presentan afectaciones directas como lo son: el daño a vehículos que transitan por la vía en mal estado, la aparición de enfermedades respiratorias asociadas al material particulado, el impacto negativo a los transeúntes y a los habitantes en la zona de estudio.

De acuerdo con las condiciones de la vía, se ha de establecer una alternativa de recuperación viable del corredor, que permita contribuir con la reducción de costos, tiempo y daño ambiental. Se considera que, la opción óptima y eficiente es el fresado, de esta manera, se busca garantizar un mejoramiento y mantenimiento vial adecuado.

En ese orden de ideas, el objetivo con que se cuenta consiste en llevar a cabo la alternativa de solución establecida; además, definir, planear y aplicar estrategias que permitan conocer las condiciones operacionales de movilidad de vehículos particulares y de carga pesada. Esto, en aras de asegurar la durabilidad de la vía, contemplando un bajo costo de mantenimiento, que impacte de manera positiva en lo social, económico y ambiental de la población afectada.

En este artículo se evalúan las causas y efectos de la problemática; con el fin de proponer a través de un estudio de caso, soluciones factibles para el mejoramiento de la malla vial y garantizar que esta cuente con una larga vida útil sin afectaciones en un futuro cercano.



2. DESCRIPCIÓN GENERAL

Sáchica es un municipio ubicado en el Departamento de Boyacá a 32Km del oeste de la ciudad de Tunja, en la Provincia de Ricaurte. Se encuentra localizado sobre la cadena montañosa conocida como cordillera oriental en la región central del departamento, rodeado por un valle conocido desde la antigüedad que ocupa la provincia. El ingreso a este municipio se realiza vía terrestre contando con 3 corredores viales provenientes de la ciudad

de Tunja, el municipio de Chiquinquirá y el municipio de Arcabuco (Lugaresquever, 2022).

2.1 Límites: al norte con Sutamarchán y Villa de Leiva; al este con Chíquiza; al sur con Samacá y Ráquira; al oeste con Ráquira y Sutamarchán (Lugaresquever, 2022).

2.2 Zonas: el municipio de Sáchica se divide en zona urbana y zona rural, esta última, conformada por 6 veredas: Arrayán y Canales, El Espinal, El Tintal, Quebrada Arriba, Ritoque y Centro (Lugaresquever, 2022).



FIGURA 1. (LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE SÁCHICA Y LA VEREDA EL TINTAL)

3. METODOLOGÍA

Ninguna vía está exenta a sucesos que provoquen posibles daños en su estructura que afecten a vehículos que transitan por el corredor vial, y a la comunidad aledaña que suele utilizar esta vía como acceso a distintas zonas de interés. Sáchica cuenta con una vía terciaria que comunica la Vereda El Tintal con la cabecera municipal. Esta vía se caracteriza por poseer complicaciones en la movilidad vehicular a causa de su mal estado presentado por falta de intervención de las autoridades y de las condiciones climáticas existentes en la zona; siendo visible, las posibles afectaciones que interceden en las necesidades básicas de la población. El municipio, en compañía de sus entes gubernamentales, ha de establecer una parte de los recursos financieros para ejecutar labores periódicas de mantenimiento que permitan beneficiar a la comunidad en general. Sin embargo, los recursos que se estipulan para ser destinados a estas labores no son distribuidos conforme a lo establecido,

dando paso a daños viales como es el caso (Jaarsma y Van Dijk, 2002).

Se hace indispensable buscar alternativas que solventen la problemática existente en el corredor vial, para encontrar la solución que contribuya de manera directa tanto a la comunidad afectada como a la comunidad externa que transita por esta vía. Hoy día, aquellos que intervienen en obras viales, evitan la construcción de nuevos pavimentos; así surge la idea activa de replantear la vía a través de un mejoramiento y una rehabilitación de carreteras (Cao et al., 2019). En consecuencia, implementar la alternativa del fresado, se ha considerado la opción más benéfica para garantizar un mejoramiento del corredor vial en estudio, con el propósito, de contribuir con un desarrollo social, económico, ambiental y sostenible de la región (Cao et al., 2019). Dentro del mejoramiento que se realice al corredor vial, se ha de contar con obras de arte (obras de drenaje, obras de señalización, obras de iluminación) adecuadas para evitar posibles incidentes inesperados.

Ejecutar el mejoramiento y mantenimiento de la vía en estudio se ha de realizar considerando secuencialmente diversas fases que permitan: recolectar información de la zona en estudio, evaluar la problemática actual y plantear solución a aquello que aqueja a la comunidad, para contribuir con la necesidad de comunicación terrestre del sector.

A. Fase 1. Diagnóstico técnico Fase en la que se evalúa el estado de deterioro que presenta el corredor vial Sáchica – Vereda El Tintal. Su consideración da pie para visualizar en el terreno involucrado, afectaciones que son consideradas causales del mal estado de la vía.

B. Fase 2. Programación de obra Fase en la que se contemplan las actividades necesarias

a realizar en campo para conseguir mejorar la vía a través del fresado como alternativa de solución, logrando establecer con estas los tiempos de ejecución de cada una y la estimación de costos a invertir en su desarrollo.

C. Fase 3: Desarrollo de la alternativa de solución en obra Fase en la que se lleva a cabo cada una de las actividades que conlleva el fresado para dar solución a condiciones poco favorables presentes en la vía.

D. Fase 4: Imprevistos en obra Fase en la que se identifican las distintas inconsistencias que pueda presentar el material durante la ejecución de cada una de las actividades que hacen parte de la alternativa de solución establecida.

4. RESULTADOS

A. Fase 1:

1. Diagnóstico técnico

Evaluar el estado en que se encuentra la vía en estudio, permite identificar la alternativa de solución óptima a implementar, considerando que, de acuerdo con el tipo de vía con que se cuenta, se puede evaluar la eficiencia del fresado ante la problemática presente.

1.1 Fallos y afectaciones en el corredor vial

- *Afectaciones a la salud humana:* producidas a causa de la emisión de partículas de polvo que pueden ser producto del paso de vehículos a lo largo del corredor no pavimentado. Como consecuencia, se presenta levantamiento del material del corredor vial destapado a razón del contacto que surge entre el material superficial presente en la vía y las ruedas de los automotores (Le Vern et al., 2022) the operation of vehicles on these roads results in dust emissions. As the number of passing vehicles increases, the soil surface gradually degrades under shearing caused by the tires. This enhances emissions and reduces visibility, increasing health and environmental related issues as well as the risk of collisions. The present study was conducted to quantify the effect of surface degradation on dust emissions from several types of vehicles travelling on different soils and assess the evolution of security risks in the vicinity of unpaved roads. Three types of vehicles (a passenger car, a 4WD vehicle and a truck. En casos extremos, la presencia de polvo se genera a causa de climas secos en la zona, ocasionando, malestar en las vías respiratorias e irritación ocular.

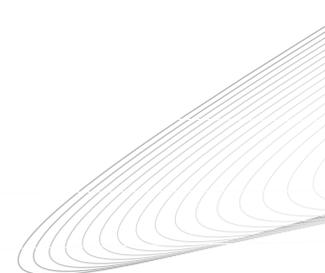




FIGURA 2. VÍA DESTAPADA

- *Falta de señalización:* según (INVÍAS, 2015), toda vía a de contar con una respectiva señalización, caso que no se cumple en este corredor vial; puesto que, la vía en estudio cuenta con nula señalización vial causal de accidentes por desinformación a lo largo del trayecto.



FIGURA 3. SEÑALIZACIÓN PRESENTE LA VÍA

- *Reparación de redes hidráulicas y puntos de gas:* cuando se ejecuta un mejoramiento y mantenimiento vial, se ha de garantizar que el corredor cuente con un estado adecuado en cuanto a redes hidráulicas y puntos de gas, para evitar posibles reparaciones imprevistas que ocasionen gastos adicionales. Contar con estudios previos favorece el conocer la ubicación de cada una de las redes hidráulicas y de los puntos de gas, para no afectar los que se encuentren en buen estado y reparar los averiados.



FIGURA 4. REPARACIÓN DE REDES HIDRÁULICAS Y PUNTOS DE GAS NATURAL

- *Desgaste de la superficie de la carretera:* producto del tránsito de vehículos pesados y comerciales (buses y camiones), la vía en sus años de servicio no ha podido soportar el volumen de tránsito al que ha estado expuesta, ocasionando deterioro vial y altos costos en la conservación vehicular (Agarwal et al., 2017), causales de una difícil movilidad en el corredor.



FIGURA 5. DESGASTE DE LA SUPERFICIE DE LA VÍA

- *Factores climáticos:* el tiempo climático juega un rol fundamental en la trayectoria de la vía. En tiempos de sequía se producen afectaciones a la salud humana; en tiempos de alta precipitación se ocasiona escorrentía superficial, motivo de afectaciones en la estructura vial generadores de accidentes de tránsito. Un obstáculo que no puede ser impedido en la carretera es la presencia de neblina, comprometiendo la visión del conductor e impidiendo que el flujo de vehículos sea el normal para el que fue diseñada la vía.



FIGURA 6. OBSTRUCCIÓN VISUAL POR FACTOR CLIMÁTICO

B. Fase 2:

1. **Programación de obra:** cuando se interviene un corredor vial, se ha de contar con una organización que permita identificar cada una de las labores a desarrollar para obtener el producto final esperado. El fresado, en este caso, es la alternativa de solución planteada a ejecutar en la zona. Esta alternativa, cuenta con diversas actividades necesarias para ejecutarse de la manera adecuada, solventando necesidades existentes, evaluando costos de cada una y tiempo de ejecución en la obra.

1.1 **Cronograma de actividades.** Considerando la alternativa de solución planteada, se establecen las actividades necesarias para ser ejecutado el fresado como actividad principal. El proceso ha de llevar consigo una secuencia que permita relacionar actividades acortando el tiempo a utilizar en obra esperado, siendo este de aproximadamente un 1 mes y 5 días.

Tabla 1: Cronograma de actividades

Nombre	Duración	Comienzo	Fin
Mantenimiento vial a través del fresado	35 días	4/03/2021	26/04/2021
1. Localización y replanteo	7 días	4/03/2021	12/03/2021
1.1 Revisión Topográfica	3 días	4/03/2021	9/03/2021
1.2 Gestión Documental	4 días	10/03/2021	12/03/2021
1.3 Demarcación del Tramo con Señalización	3 días	10/03/2021	12/03/2021
2. Limpieza y barrido	8 días	15/03/2021	25/03/2021
2.1 Perfilamiento de la Vía	2 días	15/03/2021	16/03/2021
2.2 Cuneteo	4 días	17/03/2021	23/03/2021
2.3 Escarificación y Reconformación de Material Existente	2 días	24/03/2021	25/03/2021
2.4 Vibrado del Material Existente	2 días	24/03/2021	25/03/2021
2.5 Riego de agua	2 días	24/03/2021	25/03/2021
3. Mejoramiento Capas Granulares	4 días	26/03/2021	31/03/2021
3.1 Mejoramiento Sub- Base Granular (Clase A)	2 días	26/03/2021	29/03/2021
3.2 Mejoramiento Base Granular (Clase A)	2 días	30/03/2021	31/03/2021
4. Fresado	14 días	5/04/2021	22/04/2021
4.1 Imprimación con Emulsión Asfáltica (CRL-1H)	14 días	5/04/2021	22/04/2021
4.2 Riego de Liga con Emulsión Asfáltica	14 días	5/04/2021	22/04/2021
4.3 Fresado Carpeta Asfáltica	14 días	5/04/2021	22/04/2021
4.4 Extendida del Material	14 días	5/04/2021	22/04/2021
4.5 Compactación del Material	14 días	23/04/2021	22/04/2021
5. Demarcación y señalización vial	2 días	23/04/2021	26/04/2021
5.1 Señalización Vertical y Horizontal	2 días	23/04/2021	26/04/2021

Norma:

El fresado como alternativa de solución se rige por el artículo 460 – 07 del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), tomando a consideración cada uno de los aspectos que en este se establecen para su correcta aplicación en campo. Esta estrategia de mejoramiento vial conlleva actividades que son ejecutadas mediante aprobación del interventor que en obra se encuentre evaluando la labor del constructor.

- *Material según la norma:* en la vía en estudio, al aplicar la alternativa de solución, se encontró que el componente principal del mejoramiento vial no cumplía con las especificaciones establecidas por norma. Se contaba con material de fresado contaminado por material orgánico, situación que debe ser evitada para contrarrestar incidentes a la hora de efectuar las labores necesarias para su extendida y su compactación (INVÍAS, s.f).
- *Cantidades para disponer en el mantenimiento vial:* Según ICC – SAS, empresa boyacense encargada de proponer la solución a la problemática de la vía terciaria que comunica la Vereda El Tintal con la cabecera municipal, fue necesario instalar:

Tabla 2. Cantidades de materiales a disponer en obra

Material	Cantidad
Afirmado	453.6m ³
Emulsión Asfáltica (2 Aplicaciones)	27 canecas – 9256.5m ²
Fresado: Extendido y Compactado	469.45m ³

1.2 Presupuesto estimado

Con relación a lo mencionado, se logra adquirir el presupuesto principal con el que se contará para ejecutar la obra. En el inciso anterior se establecen las actividades que conlleva ejecutar el fresado como alternativa de mejoramiento vial, con estas es viable el desarrollo del presupuesto, contemplando cantidades según normativa a utilizar en cada ítem a tener en cuenta.

Cada uno de los valores que acoge cierta actividad son extraídos de los análisis de precios unitarios (APU) de la Gobernación de Boyacá. En caso de necesitar materiales que no se encuentren en la base de datos de la gobernación, se debe recurrir a cotizaciones realizadas en lugares que brinden disponibilidad de estos.

Tabla 3: Presupuesto de la Obra

Nombre	Unidad	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Mantenimiento vial a través del fresado				
1. Localización y replanteo	Km	\$ 2,813,077.04	2	\$ 5,626,154
1.1 Gestión Documental				
1.2 Revisión Topográfica				
1.3 Demarcación Del Tramo Con Señalización				
Colombinas	UND	\$ 82,783.67	20	\$ 1,655,673
Maletas	UND	\$ 464,633.33	10	\$ 4,646,333
Paletas	UND	\$ 34,600.00	4	\$ 138,400
Señal Móvil	UND	\$ 279,566.67	8	\$ 2,236,533
Conos	UND	\$ 81,566.67	10	\$ 815,667
Cinta	Rollo (100 m)	\$ 41,922.00	2	\$ 83,844
Costo Directo Grupo				\$ 15,202,605

Nombre	Unidad	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
2. Limpieza y barrido				
2.1 Perfilamiento de la Vía	Km	\$ 628,400.00	2	\$ 1,256,800
2.2 Cuneteo				
2.3 Escarificación y Reconformación de Material Existente				
2.4 Vibrado del Material Existente	Km	\$ 6,086,507.61	2	\$ 12,173,015
2.5 Riego de agua				
Costo Directo Grupo				\$ 13,429,815
3. Mejoramiento Capas Granulares				
3.1 Mejoramiento de la Sub - Base Granular (Clase A)	m^3	\$ 90,100.77	250	\$ 22,525,193
3.2 Mejoramiento de la Base Granular (Clase A)	m^3	\$ 111,672.11	250	\$ 27,918,028
Costo Directo Grupo				\$ 50,443,220
4. Fresado				
4.1 Imprimación con Emulsión Asfáltica (CRL-1H)	m^2	\$ 3,399.59	5000	\$ 16,997,950
4.2 Riego de Liga Con Emulsión Asfáltica (CRL-1H)	m^2	\$ 2,192.53	5000	\$ 10,962,650
4.3 Fresado Carpeta Asfáltica	m^2	\$ 4,510.76	5000	\$ 22,553,800
4.4 Extendida del Material	m^3	\$ 74,810.75	250	\$ 18,702,688
4.5 Compactación del Material				
Costo Directo Grupo				\$ 69,217,088
5. Demarcación y señalización vial				
5.1 Señalización Vertical y Horizontal				
Señales De Tránsito Dimensiones 60x75cm (Delineadores De Curva)	UND	\$ 225,587.71	50	\$ 11,279,386
Suministro Y Aplicación de Pintura Acrílica con Microesferas, Líneas Continuas y Discontinuas de 12cm^2 Según Norma INVIAS	ml	\$ 2,328.25	2000	\$ 4,656,500
Suministro e Instalación de Señales Reglamentarias 60x60cm	UND	\$ 350,990.44	6	\$ 2,105,943
Suministro e Instalación de Señales Vial Informativa, Tamaño 2m x 50cm con Soporte en H según Norma INVIAS	UND	\$ 489,290.35	15	\$ 7,339,355
Suministro e Instalación de Señal Vial Preventiva, Tamaño 75 x 75cm Según Norma INVIAS	UND	\$ 245,332.02	20	\$ 4,906,640
Señales Reflectivas	UND	\$ 350,990.44	50	\$ 17,549,522
Costo Directo Grupo				\$ 47,837,346
Costos Directos Obra Civil				\$ 196,130,073
Interventoría (7%)				\$ 13,729,105
Administración (20%)				\$ 39,226,015
Imprevistos (8%)				\$ 15,690,406
Utilidad (2%)				\$ 3,922,601
Costo Total Obra				\$ 268,698,200

C. Fase 3:

1. Desarrollo de la alternativa de solución en obra

Para la ejecución de una obra se hace necesario delimitar el tramo a intervenir haciendo uso de señalización que permita identificar que en la zona se están desarrollando operaciones, en este caso, de mejoramiento y mantenimiento vial.



Figura 7. Señalización presente en la obra.

1.1 Mejoramiento de capas granulares

- *Extendida del material:* para su ejecución, se cuenta con un material que posee ciertas características que permiten su buen uso en obra para darle vida útil a la vía y así garantizar que los procesos posteriores sean desarrollados de manera eficiente.



Figura 8. Extendida material de fresado.

- *Humectación y compactación del material:* humectar el terreno para ser compactado es una actividad que se lleva a cabo para mejorar las condiciones de adherencia del material extendido. Una vez se vaya realizando la humectación, el material será compactado, con el fin de aumentar su densidad y reducir el índice de vacíos presentes entre las partículas dispuestas. Una compactación de calidad garantiza en la vía buenas propiedades al material como impermeabilidad y soporte de cargas impuestas por el tránsito a lo largo de su uso (Dynapac, 2017).



Figura 9. Humectación y compactación del material de fresado.

1.2 Imprimación con emulsión asfáltica

Tarea en la que se hace necesario cumplir con ciertos requisitos según lo establece la norma. La conformación, compactación y acabado de la capa, son de obligatorio cumplimiento para dar paso a la imprimación, siendo posible si se garantiza el control de humedad. Su aplicación en terreno se realiza una vez la capa superficial se encuentre libre de partículas que puedan ser perjudiciales para su proceso (Epm, s.f).



Figura 10. Imprimación con emulsión asfáltica entre capas

1.3 Fresado

- **Sello asfáltico:** material dispuesto en terreno como una capa fina para impermeabilizar la superficie, garantizando así, la adherencia de los vehículos que transitan por la vía (Destroyer, 2015).



Figura 11. Imprimación con emulsión asfáltica para sellado.

El sello asfáltico es considerado como la misma imprimación con emulsión asfáltica, sin embargo, varía en que su extensión en la superficie se realiza una vez se culmine el fresado.

- *Resultado final del fresado:* para el caso en estudio se consolidaron las diferentes etapas a ejecutar de manera secuencial para realizar un mantenimiento adecuado de la vía en estudio, dando cumplimiento al mejoramiento de las condiciones desfavorables que afectaban directamente a los vehículos e indirectamente a las personas que transitaban por la carretera.



Figura 12. Mejoramiento de la vía en estudio.

D. Fase 4:

1. *Imprevistos en obra*

La empresa ICC – SAS al desarrollar su labor en obra, encontró que el material de fresado, al ser reciclado y reutilizado, no contaba con la granulometría adecuada. En consecuencia, fue necesario realizar el tamizaje para separar las partículas mayores a 2in, con el fin de garantizar una adecuada extensión y compactación de este. Sin embargo, al ejecutar las dos actividades mencionadas junto con la aplicación de la emulsión asfáltica, se evidenció falta de adherencia entre los materiales.

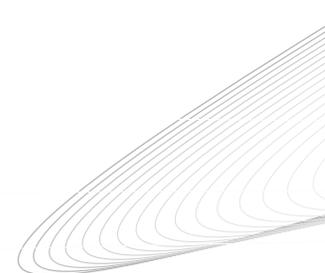




Figura 13. Irregularidades del material del fresado.

5. DISCUSIÓN

La implementación del fresado como alternativa de solución vial, condujo un proceso de reutilización de materiales (Vise, 2020). Esta técnica ha sido útil para contribuir con el ambiente, adicional, ha permitido reducir costos operacionales en cuanto a mejoramiento de carreteras. El reciclado y la reutilización de asfalto ha permitido sobresalir en el mercado como una alternativa de mejoramiento vial, opacando la construcción de nuevos pavimentos (Derichebourg, 2020) y (Cao et al., 2019).

La técnica descrita ha dado pie para fortalecer la economía rural, dado a que al ser implementada en carreteras terciarias se evalúa la posibilidad de contar con costos óptimos. En caso contrario, otras alternativas pueden ser útiles, pero resultan poco factibles a nivel económico por su elevado valor (Chaurey y Le, 2022). Por otra parte, es visible que entidades a cargo del mejoramiento y mantenimiento de una vía, puedan seleccionar de manera errónea la estructura que compondrá el pavimento a implementar en la rehabilitación vial (Pasindu et al., 2020).

Los municipios tienden a destinar una cierta cantidad económica limitada para mejoramiento y mantenimiento de infraestructura vial; cantidad dispuesta para contribuir con la eficiencia de carreteras de bajo volumen a rehabilitar (Van de Walle, 2002; Agarwal et al., 2017). A pesar de lo mencionado, la situación actual es distinta a lo esperado, esto debido a que son varios los municipios que presentan una falta de apoyo económico y de recursos para lograr mitigar las afectaciones en las vías (Pasindu et al., 2020), siendo posible la presencia de inequidad por parte de entidades del Estado (France-Mensah et al., 2019) agency decision-makers are tasked with making the most cost-effective decisions while accounting for the environment and social equity. Several studies have accounted for the economic and environmental considerations in infrastructure management decisions. However, there have been limited studies which have proposed quantitative approaches for integrating social equity as part of the highway Maintenance and Rehabilitation (M&R).

Las vías, al ser intervenidas con el método del fresado, contribuyen a mejorar la calidad de vida de las personas, optimizando el trayecto de un lugar a otro, con el fin de reducir tiempos de recorrido y mejorar las actividades económicas para aumentar niveles de productividad y ganancias monetarias (Shamdasani, 2021; Crossley, 1981; Asomani-Boateng et al., 2015). De no ser así, las carreteras rurales que prestan servicios básicos a la comunidad, no garantizarían beneficios sociales ni económicos (Agarwal et al., 2017); conociendo que el costo operacional de los vehículos que transitan por la vía aumentaría paulatinamente. Así pues, se estaría afectando en cierto grado a la comunidad y al medio ambiente a causa de la emisión de partículas contaminantes y de partículas de polvo; estas últimas, originadas por la degradación de la capa superficial del terreno (Crossley, 1981; France-Mensah et al., 2019; Le Verne et al., 2022). Con el pasar del tiempo,

el fresado como alternativa de mejoramiento y mantenimiento vial, ha sido una actividad que al ser ejecutada en campo, permite dar solución a daños presentes en la vía producidos por el uso del suelo con que cuenta el terreno, el volumen de tráfico inesperado en la vía y factores naturales como el clima (Pasindu et al., 2020; Ognjenovic et al., 2015). Este método de mejoramiento vial brinda una serie de ventajas que contribuyen de manera notoria, haciendo que esta alternativa sea utilizada con mucha más frecuencia dado a la reutilización de material con que se cuenta, la reducción de costos que conlleva, la disminución de tiempos al momento de intervenir la vía, entre otras (Secsa, 2017).

Mejorar carreteras terciarias en Colombia no solo permite evidenciar la trascendencia con que cuenta el país para optimizar la accesibilidad a lugares y la movilidad de los medios de transporte abierta a cualquier ser humano (Idei y Kato, 2020), sino que permite satisfacer necesidades sociales y económicas de la población que en algún momento se encontró vulnerable a causa del deterioro de la malla vial presentada en su momento (Pasindu et al., 2020; Agarwal et al., 2017).

6. CONCLUSIONES

Teniendo pleno conocimiento de la afectación que aqueja a la comunidad por el daño que presentaba el corredor vial en estudio, fue indispensable la intervención de la carretera con una alternativa de solución vial factible, como el fresado, lo que trae consigo algunos

beneficios como: la viabilidad económica para llevar a cabo esta alternativa y la reducción de tiempos en su ejecución.

Se puede evidenciar que si se cuenta con una vía deteriorada, la calidad de vida de las personas habitantes en cercanías a la carretera y de los transeúntes, se verá afectada al no contar con la posibilidad de transitar de un lugar a otro de manera fácil y segura; por esto es necesario implementar el fresado para brindar mejor accesibilidad a necesidades sociales y económicas de la región.

Todos los proyectos viales deben considerar el impacto ambiental que pueden contraer, pues se busca beneficiar a la sociedad sin causar afectaciones al medio ambiente.

Con el mejoramiento y el mantenimiento del corredor vial se puede generar una disminución en las afectaciones vehiculares, contribuyendo con el decrecimiento de accidentes que se puedan presentar y visualizando funcionalidad vial, así como larga vida útil del corredor.

Una vez se finiquite el mejoramiento vial, se hace indispensable ubicar, según norma, las señales de tránsito adecuadas que debe poseer la vía.

Considerando que el estudio de caso pertenece a una obra de carácter público, se debe de tener en cuenta el presupuesto final con que se cuenta, debido a que los recursos financieros son limitados, puesto que provienen de entidades del Estado.

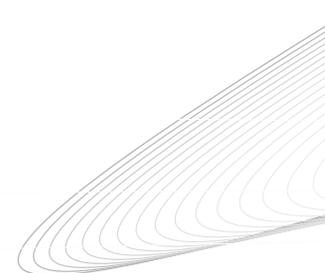
REFERENCIAS

Agarwal, P. K., Khan, A. B., y Choudhary, S. (2017). A Rational Strategy for Resource Allocation for Rural Road Maintenance. *Transportation Research Procedia*, 25, 2200–2212. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.422>

Agarwal, P., Khan, A., y Choudhary, S. (2016). A Rational Strategy for Resource Allocation for Rural Road Maintenance. *Transportation Research Procedia*. <https://www.sciencedirect.com/crai-ustadigital.usantomas.edu.co/science/article/pii/S2352146517307299>

- Asomani-Boateng, R., Fricano, R. J., y Adarkwa, F. (2015). Assessing the socio-economic impacts of rural road improvements in Ghana: A case study of Transport Sector Program Support (II). *Case Studies on Transport Policy*, 3(4), 355–366. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2015.04.006>
- Cao, R., Leng, Z., y Hsu, S. C. (2019). Comparative eco-efficiency analysis on asphalt pavement rehabilitation alternatives: Hot in-place recycling and milling-and-filling. *Journal of Cleaner Production*, 210, 1385–1395. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.122>
- Chaurey, R., y Le, D. T. (2022). Infrastructure maintenance and rural economic activity: Evidence from India. *Journal of Public Economics*, 214, 104725. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2022.104725>
- Crossley, C. (1981). Rural road characteristics and vehicle operating costs in developing countries. *Elsevier*, 18, 209-228. doi:[https://doi.org/10.1016/0022-4898\(81\)90027-6](https://doi.org/10.1016/0022-4898(81)90027-6)
- Derichebourg. (28 de Diciembre de 2020). ¿Cómo se hace el Reciclado de Asfalto? <https://www.derichebourgespana.com/como-se-hace-el-reciclado-de-asfalto/>
- Destroyer. (27 de Abril de 2015). Sello Asfáltico. <https://es.scribd.com/presentation/263289907/sello-asfaltico>
- Dynapac. (2017). Aplicaciones de las técnicas de compactación y pavimentación. http://dynapac.blog/latinoamerica/manual_compactador-pavimentacion-fresado/conozca-el-manual-da-compaction-pavimentacion-y-fresado-de-dynapac/?lang=ar
- Epm. (s.f). Norma de Construcción Imprimación, Riego y Liga para Pavimento. https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/NC_MN_OC05_03_Imprimacion_riego_y_liga_para_pavimento_compressed.pdf?ver=dJhs7Le5OA-qEHB4NzXAeg%3D%3D
- France-Mensah, J., Kothari, C., O'Brien, W. J., y Jiao, J. (2019). Integrating social equity in highway maintenance and rehabilitation programming: A quantitative approach. *Sustainable Cities and Society*, 48(April), 101526. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101526>
- Rika Idei y Kato, H. (2020). How does improving rural roads transform People's vehicle ownership? Findings from rural Cambodia. *Asian Transport Studies*, 6(April), 100023. <https://doi.org/10.1016/j.eastsj.2020.100023>
- INVÍAS. (09 de Julio de 2015). Manual de Señalización Vial 2015. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3825-manual-de-senalizacion-vial-2015>
- INVIAS. (30 de junio de 2021). INVIAS. Estado de la red vial: <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-principal/57-estado-de-la-red-vial>
- INVÍAS. (s.f). Fresado de Pavimento Asfáltico (Art 460-07). <http://gerconcesion.co/invias2007/Articulo460-07.pdf>
- Jaarsma, C. F., y Van Dijk, T. (2002). Financing local rural road maintenance. Who should pay what share and why? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(6), 507–524. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(01\)00018-0](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(01)00018-0)
- Le Vern, M., Razakamanantsoa, A., Murzyn, F., Larrarte, F., y Cerezo, V. (2022). Effects of soil surface degradation and vehicle momentum on dust emissions and visibility reduction from unpaved

- roads. *Transportation Geotechnics*, 37(April). <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100842>
- Lugaresquever. (27 de 08 de 2022). Sáchica. <https://lugaresquever.com/wiki/sachica?spmchkbj=spmprvbj3nzhVjQrE5HwWrOKEyc682d5K#:~:text=Modernamente%20se%20la%20llama%20C2%ABla,urbana%20y%202139%20la%20rural>
- Ognjenovic, S., Ristov, R., y Vatin, N. (2015). Designing of rehabilitations of urban and non-urban roads. *Procedia Engineering*, 117(1), 568–573. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.215>
- Pasindu, H. R., Gamage, D. E., y Bandara, J. M. S. J. (2020). Framework for selecting pavement type for low volume roads. *Transportation Research Procedia*, 48(2019), 3924–3938. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.028>
- Pradena y Echaveguren. (22 de 08 de 2008). Quality management in road maintenance based on the approach to the client principle. Scopus: <https://www-scopus-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-65649112885&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Mantenimiento+vial&sid=1b19bf7b2d26b690fa7df7f2d7f73c81&sot=b&sdt=b&sl=33&s=TITLE-ABS-KEY%28Mantenimiento+vial%29&>
- Secsa. (2017). Fresadora de pavimento – Aplicaciones, ventajas y deficiencias. <https://ventamaquinaria.mx/fresadora-pavimento-aplicaciones-ventajas-deficiencias/>
- Shamdasani, Y. (2021). Rural road infrastructure y agricultural production: Evidence from India. *Journal of Development Economics*, 152(April), 102686. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2021.102686>
- Van de Walle, D. (2002). Choosing Rural Road Investments to Help Reduce Poverty. *Elsevier*, 30, 575-589. doi:[https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(01\)00127-9](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(01)00127-9)
- Vise. (2020). Reciclado de Asfalto: Técnicas de Importancia. <https://blog.vise.com.mx/reciclado-de-asfalto-tecnicas-e-importancia>



Análisis de impacto ambiental en la construcción sostenible

Environmental Impact Analysis in Sustainable Construction

Amaya Saavedra Laura V.

Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja,
laura.amayas@usantoto.edu.co
Estudiante de Ingeniería Civil

Muñoz Arias Lorena C.

Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja,
lorena.munoz@usantoto.edu.co
Estudiante de Ingeniería Civil

Resumen

Con el paso del tiempo, la necesidad de solucionar problemas ambientales ha generado que diferentes sectores se pongan a disposición de contribuir con propuestas y/o acciones que tengan un impacto positivo en relación con todo lo que emerge a la sostenibilidad del medio. Para este caso el campo de la construcción tiene presente que la implementación de esta metodología va de la mano de regulaciones y certificaciones normativas que se encuentran en vigencia tanto a nivel nacional como internacional, y genera efectos que están enfocados a aspectos económicos, sociales y tecnológicos; buscando garantizar calidad de vida a la sociedad del presente como a las generaciones futuras. A partir del análisis de conceptos, problemas y estrategias se determinó que la aplicabilidad de esta metodología trae consigo efectos positivos tanto al entorno, como al estatus de las diferentes empresas que deseen incursionar en este mercado de la sostenibilidad, como la posibilidad de abrir campos investigativos a los futuros profesionales para contribuir al crecimiento en todo aquello que emerge a la temática ambiental.

Palabras clave: Construcción, sostenibilidad, proyectos, rentabilidad, ambiental.

Abstract

Over the years, the requirements to resolve environmental problems have generated different sectors that are now willing to contribute with proposals and/or actions that have a positive impact in relation to everything that emerges to the sustainability of the environment. In this case, the construction field is aware of the implementation of this methodology that goes hand in hand with regulations and normative certifications that are in force both nationally and internationally, generating effects focused on economic, social, and technological aspects; seeking to ensure quality of life for the present society as well as future generations.

This article presents a series of concepts, problems and strategies that allow an analysis of the scope of the implementation of sustainable methodologies in construction.

Keywords: construction, sustainability, projects, profitability, environmental.

Para citar este artículo: Amaya S., Laura; Muñoz A., Lorena C. "Análisis de Impacto Ambiental en la Construcción Sostenible" In L'Esprit Ingenieux. Vol. 13-1, pp. 28-36.

1. INTRODUCCIÓN

La evolución del sector de la construcción específicamente de los proyectos vinculados con sostenibilidad han sido uno de los pilares de mayor relevancia en el país, puesto que trae consigo el aumento de conciencia con el ambiente y el entorno social a través de buenas prácticas en el periodo útil de una edificación. La industria constructora juega un papel importante en el aumento de emisiones de gases contaminantes, producción de desechos; entre otros factores que impactan de manera negativa al medio.

En la revisión bibliográfica se evidencia cómo esta nueva era de proyectos sostenibles tiene como objetivo participar como agente primordial en la solución de problemáticas ambientales presentes a nivel mundial. Es por esto que hace aproximadamente trece años, con la creación del Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS) es posible establecer el auge de las políticas públicas determinadas en esta alternativa de construcción, a través de los informes de estado de la construcción sostenible en Colombia que son emitidos cada año; visibilizando así los aportes que esto trae consigo para el bienestar de la sociedad. (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2021).

Dentro del contenido de este artículo se encuentran los objetivos con base en el análisis de viabilidad para la realización de proyectos de esta índole, como el alcance de los efectos que trae consigo al sector ambiental y demás factores que involucran al ámbito constructor; logrando determinar del impacto de la implementación de esta metodología en la sociedad.

2. MÉTODO

Profesionales del sector ingenieril como referentes principales dentro de la industria de la construcción, en la actualidad, tienen como finalidad la vinculación de la ejecución de proyectos junto a la preservación de los recursos que el medio ofrece; resaltando que el país ha atravesado por un periodo de evolución constructiva de la mano del compromiso ambiental que se ha generado mundialmente con el transcurso de los años al ver las consecuencias que trae consigo el uso desmedido de los bienes naturales.

Dado a la implementación de certificaciones propias de entidades de carácter internacional, se ha visualizado que el aumento de acciones contribuyentes a la sostenibilidad por parte de la comunidad, desde diferentes sectores, genera un impacto positivo en pro al desarrollo ambiental como sociedad. Más allá de ir en busca de un sello ecológico, se evidencia que los cambios determinantes en cualquier tipo de sistema generan, en diferentes lapsos de tiempo, tanto rentabilidad económica como contribución al cuidado del ecosistema.

Es por esto que diferentes profesionales colombianos han realizado trabajos de investigación donde resaltan las vivencias y/o proyectos donde la vinculación con esta metodología ha permitido que sus entregables estén inmersos en enfoques como la construcción de espacios confortables tanto social como físicamente; acoplados a las necesidades de sus clientes; teniendo como punto a favor la reducción de impactos ambientales, así como, brindar mejor calidad de vida a los usuarios.

2.1 MARCO DE REFERENCIA

En el ejercicio de recopilación de información se extrajo documentación en la que figura la alcaldía mayor de Bogotá, específicamente, la Secretaría Distrital de Ambiente, en donde se desarrolló el proyecto llamado “Bogotá construcción sostenible con certificación en noviembre de 2014” y tiene como objeto promover obras sostenibles, mitigando el impacto ambiental que se ha generado por años y que poco a poco se ha incrementado; así mismo, la conservación y cuidado los recursos naturales de la ciudad y pueblos aledaños.

El proyecto ha sido un instrumento moderno y de gran utilidad para aumentar la sostenibilidad en la ciudad, llevando a cabo la certificación LEED otorgada por Estados Unidos, dando paso a que desde el año 2016 se hayan realizado 242 proyectos a nivel nacional, donde 42 se ubican en Bogotá (Categoría oro 35) (Valverde et al., 2017).

Otros proyectos de índole nacional e internacional que se destacan por su aporte a la disminución de la huella ecológica son el Edificio Bancolombia ubicado en la ciudad de Medellín (acreditado con la categoría Leed Oro) y Eva Laxmeerse, un eco barrio ubicado en Holanda (Ariesanti, 2015).

2.2 NORMATIVA

En cuanto a la normativa colombiana, mediante la resolución 0549 de 2015, se propone un procedimiento para la disminución de los porcentajes mínimos, medidas de ahorro de energía y disminución de consumo de agua en la construcción de nuevas edificaciones; adoptándola a las diferentes soluciones (activas y pasivas) que ofrece el mercado, con el fin de incentivar a la sociedad a optar por una construcción sostenible; incluyendo gradualmente cada territorio dependiendo del clima, la cantidad de habitantes, entre otros (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2015).

2.3 CERTIFICACIONES

Si bien, en el campo de las construcciones sostenibles una de las funciones principales es garantizar como constructores certificaciones que sean otorgadas por entidades en las que legalmente se clasifique al proyecto de carácter eco-ambiental; entre las que se pueden destacar principales sellos a nivel mundial como LEED (Leadership in Energy and Environmental Design); que enmarca a un sistema cuya finalidad es certificar que los edificios cumplan ciertos requisitos como la sostenibilidad, energía, impacto atmosférico, aprovechamiento del agua, entre otros.

Para obtener la certificación de este sistema se realiza la comparación de una construcción tradicional con una que implemente metodologías sostenibles; evaluando reducciones porcentuales considerables en aspectos como el consumo de energía a través de diferentes métodos de fuentes renovables; como el aprovechamiento de agua lluvias para reducir el consumo de este recurso hídrico; analizando así cada uno de los aspectos a evaluar en el proceso de certificación (Portela et al., 2010).

A nivel mundial se destacan sellos de gran reconocimiento como:

- BREEAM - Building Research establishment Environmental Assessment Methodology


 The image shows the BREEAM logo, which consists of the word "BREEAM" in a bold, green, sans-serif font, followed by a registered trademark symbol (®).

Figura 1. Logotipo BREEAM.

Este sello está constituido en el Reino Unido como el primero en la construcción sostenible, con ciertas características para reducir el impacto ambiental (uso de agua, energía, modo de construcción salud, etc.).

Es utilizado para las edificaciones nuevas y existentes (SENA y CAMACOL, 2016)

- GREEN STAR:



Figura 2. Logotipo GREEN STAR.

Creada desde el año 2003 por el Consejo Australiano de Construcción Sostenible, su finalidad es certificar las edificaciones y espacios donde prevalezca la optimización de los recursos renovables desde la construcción y operación.

Este sistema de calificación ha logrado certificar muchas construcciones, con el objetivo de tener una reducción en el cambio climático, la salud de las personas y la protección del medio ambiente (“Exploring Green Star | Green Building Council of Australia,” n.d.). Para continuar con la descripción de la sección se debe seguir con este tipo de estilo.

- EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies):



Figura 3. Logotipo Edge.

La certificación está constituida por la Corporación financiera internacional IFC, miembro del grupo mundial, donde su objetivo es la certificación de edificios ecológicos con la preservación de recursos naturales.

Este sello en Colombia debe ser certificado por medio de Camacol.

- CASA Colombia:



Figura 4. Logotipo CASA

La certificación implementada en Colombia brinda respaldo los proyectos con la reducción de efectos negativos en el ambiente en las múltiples construcciones (Vis, no Vis, edificios y con proyección a proyectos comerciales) (“Sistema de Certificación de Construcción Sostenible,” n.d.; Barrero y Baquero, 2020).

2.4 MATERIALES UTILIZADOS EN UNA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

La construcción sostenible ha traído varios cambios en las edificaciones del mundo, garantizando mejorar la calidad de vida, eficiencia, confort y rentabilidad, implicando procesos de cambio de una construcción convencional a una sostenible desde los materiales, proceso, utilización y demolición (Castro, Vera, y Burgos, 2021).

Se debe tener en cuenta que el cambio de materiales en algunas construcciones para implementar la esta metodología sostenible debe garantizar los comportamientos de los materiales utilizados en las edificaciones convencionales, como compuestos que no emitan ningún gas o toxinas para el daño de los trabajadores, ocupantes; así mismo, mitigando el impacto ambiental como aminorando el gasto de agua, energía y que provengan de componentes reciclados. De esta manera, al cumplir su ciclo de vida útil se pueda seguir a un proceso de reciclaje, disminuyendo la generación de basura (Uribe Vélez, 2019).

Carolina Uribe en su artículo de materiales y prácticas de construcción sostenible del año 2012 menciona unos materiales para la construcción de una edificación como lo son:

- Los bloques de tierra comprimida (BTC): la materia prima de este componente es de fácil acceso y maleable, trae beneficios como aislante térmico y acústico, acompañado del cemento como aditivo, implementado para la construcción de muros y la norma aplicable en Colombia para la realización de este tipo de bloques es la NTC 5324. (Uribe Vélez, 2012)

- Tapia: un sistema en el que consiste en elaborar muros de tierra que resistan grandes cargas compuesto por formaleta móvil elaborada en madera u otros elementos. (Uribe Vélez, 2012).

2.4.1 MAMPOSTERÍA SUSTENTABLE

- Ladrillos PET (Polietileno Tereftalato): compuesto de varios materiales en plástico, textil, empaques, entre otros, que al realizarle un el debido proceso se convierte en un elemento gris y con textura rugosa, la implementación de este tipo de ladrillos además de la implementación de la sostenibilidad en la construcción ayuda al impacto del medio ambiente general transformando la cantidad de basura reciclable en un elemento que tendrá un nuevo uso (Uribe Vélez, 2012).



Figura 5. Ladrillos pet (Uribe Vélez, 2012).

- Guadua: es comúnmente conocida como el acero de la naturaleza pues que por su gran resistencia, maleabilidad y prolongación de su vida útil es un gran elemento para las construcciones puesto que tiene factores de fácil acceso por su economía, su construcción es acelerada y con una gran capacidad de recibir cargas axiales. Además, ya se ha implementado en varias partes este material puesto que su impacto ambiental es reducido

por su crecimiento aligerado, asimismo en el proceso del cultivo minimiza la utilización de energía (Uribe Vélez, 2012).



Figura 6. Guadua (Uribe Vélez, 2012).

Caori Patricia Takeuchi menciona en su investigación “Caracterización mecánica del bambú guadua laminado para uso estructural” que la guadua es uno de los materiales de mayor abundancia en el territorio colombiano, resaltando que este elemento se califica como renovable y biodegradable lo que da paso a que sea ambientalmente amigables, debido a que su resistencia mecánica se adquiere en un periodo corto de tiempo. El procesamiento y transformación de este material facilita y aumenta su implementación en el área estructural como lo puede ser en vigas, columnas, tableros de piso y paneles, y una previa elaboración de uniones aumentando su tiempo de ensamble y eficiencia (Takeuchi, 2014).

2.4.2 MATERIALES PARA ACABADOS

- WPC (Wood plastic composite): este material está fabricado de cisco de arroz, plástico reciclable y trozos de madera, sus componentes lo hacen muy resistente, ha sido utilizado para la construcción de muebles, puertas, edificaciones, etc. Este tipo de mecanismos ayudar a la salud de la persona y a la reforestación masiva (Uribe Vélez, 2012).

- Cubiertas verdes: este tipo de cubiertas cumple con dos tipos las extensivas y las intensivas, son para diferente uso, las primeras se usan para que no supere los 15cm de sustrato con el fin de que soporte plantas pequeñas y la segunda es para especie de vegetación superior a 15 cm donde requiere más peso, cabe resaltar que diferenciarlas es importante porque a la hora de realizar este tipo de diseño

se debe evaluar este aspecto para que la estructura soporte la capa y no tenga daños a futuro (Uribe Vélez, 2012).

2.5 ESTRATEGIAS PARA UNA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Para la elaboración de una construcción sostenible se tiene en cuenta una programación y una serie de estadísticas con múltiples estrategias para su reducción de impacto ambiental, así mismo brindar soluciones para la población con el fin de minimizar su gasto energéticos, económicos y sustentables.

- Minimizar la polución y toxicidad para todo proyecto desde su planeación se debe contar con aspectos básicos sostenibles como los desechos que va a generar la construcción. Asimismo, realizar varias estadísticas de cuantos recursos se prevé gastar para dicha edificación para buscar múltiples soluciones para la reducción de ellas, otro aspecto importante e importante intervenir, es la utilización de materiales contaminante que pongan en riesgo la salud de la población (Acosta, 2009).
- Proyección urbana sustentable La realización de este tipo de estrategias es analizar un desarrollo sustentable basado en la ubicación del proyecto que favorezca al entorno, para ellos se debe realizar varios estudios a la población que va a ocupar la edificación como con sus labores que realizan diariamente, con esto se puede realizar una proyección de disminución de emisiones de gases, evitando los automóviles o transporte que generen CO₂, e implementar tramos cortos el uso de bicicletas. Asimismo, respetar las reservas y áreas naturales en vista de que numerosas ocasiones las construcciones intervienen afectando los intereses de estos lugares (Uribe Vélez, 2012).

- Disminución del consumo de recursos

En la construcción los ingenieros y arquitectos deben realizar los diseños con un propósito fundamental que es la optimización de espacios, recursos como materiales, energéticos y bajo consumo de agua esto con el fin de reducir el impacto ambiental además de esto puede contribuir en la reducción de costos en el proyecto a ejecutar.

Asimismo, se debe garantizar en el anteproyecto requisitos que cumplan con la implementación de captación de agua, como puede ser el agua lluvia y distribución de ella para su reutilización, otros factores a través del diseño arquitectónico como, la reducción energética, disposición de basuras, minimización de emisión de gases, entre otros (Acosta, 2009).

2.6 ALCANCE

La implementación de esta metodología trae consigo impactos en diferentes aspectos que involucran tanto al ambiente como a la sociedad; en primer lugar, mencionando los beneficios se destacan:

- Reducciones de consumo de energía y agua.
- Mejoras en la calidad de vida, salud y confort.
- Disminución de costos de operación.
- Generación de empleo.

Tomando como referente un estudio realizado por el Ministerio de trabajo publicado en el año 2015 (SENA y CAMACOL, 2016) se enmarcan diferentes acciones que generan impacto en el sostenimiento del medio natural, tales como:

- Uso de recursos externos: Ventilación e iluminación natural.
- Aprovechamiento de aguas: Metodologías de recolección de aguas lluvias y recuperación de agua residuales.

- Adaptación de equipos: Mejorar la eficiencia en el consumo de agua.

En relación con las particulares que se pueden presentar de manera negativa, los costos adicionales en la fase de ejecución del proyecto traen consigo tiempos de mora en la entrega de los mismos, así como la falta de profesionales especialistas en el tema de uso de nuevas tecnologías, limitando la obtención de certificaciones de reconocimiento internacional; factores que van de la mano con la falta de reconocimientos y/o incentivos por parte del sector encargado de las políticas ambientales que intervienen en parte significativa en el proceso de crecimiento de la industria constructora en aspectos sostenibles, desde las áreas propias de los desarrolladores del proyecto hasta los consultores, proveedores y demás.

3. DISCUSIÓN

La construcción sostenible en el mundo juega un papel muy importante puesto que va ligado con los objetivos de desarrollo sostenible, teniendo en cuenta que los que han tenido impacto a nivel social tienen relación con temas de cambio climático, impacto antrópico y la implementación de los recursos básicos hacia la población de una manera eficiente.

Se tiene conocimiento en el campo de la ingeniería civil, que el sector constructor es uno de los más contaminantes del entorno, puesto que no se implementa un sistema adecuado de manejo a los materiales; iniciando desde su materia prima, utilización y disposición al momento de ser retirada. Con el paso de los años la puesta en marcha de la construcción sostenible ha permitido evidenciar su aporte con respecto al manejo de materiales reutilizables, reducción de factores contaminantes y en el proceso de uso del edificio con la reducción y rentabilidad de sus recursos mediante los diseños arquitectónicos y proyectos ingenieriles, generando conservación y reutilización de agua.

Este nuevo campo de la construcción además de cambiar la percepción de las edificaciones volviéndolas amigables con el medio ambiente, y recibir las certificaciones con el apoyo de varios países para fomentar este método, ayuda a concientizar a las personas productoras, ingenieros, trabajadores, arquitectos a pensar más en la innovación de productos, servicios y técnicas, con el fin de contribuir a la conservación los recursos naturales.

Si bien es importante mencionar los aspectos positivos de la construcción sostenible, no puede ser tema de desconocimiento que factores económicos conllevan a la disminución de aplicación de este proceso constructivo, puesto que la disposición de los recursos destinados para realizar el proyecto debe contemplar el aumento de costos referentes a los materiales y suministros necesarios para ejecutar un proceso de obra que vaya de la mano con los parámetros establecidos para esta estrategia ambiental.

Por esta razón, los aportes de entes gubernamentales juegan un factor importante a la hora de brindar apoyo o suministrar algún tipo de financiación a las personas que deseen implementar estas metodologías en la construcción de sus proyectos; generando una relación entre aspectos políticos, ambientales y económicos en el plan de desarrollo nacional.

4. CONCLUSIONES

La construcción sostenible y sus diversos componentes, en la actualidad emergen un factor importante a nivel global con el fin de conservar y preservar los recursos naturales, teniendo en cuenta que si se habla de la implementación de esta metodología no puede estar limitada a la protección del medio. Se trata también de generar un impacto de manera positivas a aspectos de responsabilidad social y ecológica así como garantizar calidad de vida, por lo que se puede inferir que es necesario un cambio de cultura a nivel social como empresarial. Ya que en un escenario ideal cada sector apoyado por las autoridades competentes en el área, debería incluir en sus

actividades soluciones adecuadas y/o ligadas al uso y aplicación masiva de herramientas amigables con el ambiente.

En cuanto a diferencias estructurales de una obra sostenible con una tradicional se puede evidenciar que las estrategias y soluciones son multifocales, es decir, buscan atender a las necesidades como calidad del ambiente y la sociedad, de energía, agua y manejo adecuado de materiales. Así como se tiene presente que la construcción de obras no solo abarca el proceso de ejecución, se propone generar un “círculo” en el que se consideran aspectos referentes a la planeación, operación y cambios de uso o en su defecto demoliciones previstas.

Finalmente, se puede afirmar que el gremio constructor en la actualidad tiene acceso a materiales estandarizados acogidos a las normas técnicas colombianas e internacionales, logrando así que la aplicación de estrategias sostenibles no tenga una brecha amplia con la construcción de nuevas obras.

REFERENCIAS

- Acosta, D. (2009). *Arquitectura y construcción sostenibles: Conceptos, Problemas Y Estrategias*. *Dearq*, 1(4), 14–23.
- Agudelo, H. A., Hernández, A. V., y Cardona, D. A. R. (2012). *Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia*. *Gestión y ambiente*, 15(1), 105-118.
- Ariesanti (2015). *Análisis de la estructura de covarianza de indicadores relacionados con la salud de personas mayores que viven en sus hogares con enfoque en el sentido subjetivo de salud*. 1–55.
- Barrero, D., y Baquero, F. (2020). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: un contrato social posmoderno para la justicia, el desarrollo y la seguridad*. *Revista Científica General José María Córdova*, 18(29), 113–137. [Enlace al artículo](#).
- Castro, W. R. A., Vera, G. R., y Burgos, B. M. V. (2021). *Construcción sostenible en Colombia: análisis a partir del Proyecto de Ley No. 208/2019 Cámara*. *Revista de ciencias sociales*, 27(4), 571-583.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). *Resolución 0549 del 10 Julio*. In *Porcentajes mínimos de ahorro de agua y energía de las construcciones* (pp. 1–10). [Enlace al documento](#).
- Portela, J. M., Viguera, J. L., Pastor, A., Huerta, M. M., y Otero, M. (2010). *La Certificación LEED, como cumplir con un conjunto de normas para la sostenibilidad en el proyecto de ingeniería*. XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, 18(November), 1–8. [Enlace al artículo](#).
- SENA, S. N. de A., y CAMACOL, C. C. de la C. (2016). *Investigación del Sector de la Construcción de Edificaciones en Colombia*. Sena-Camacol.
- Takeuchi, C. P. (2014). *Caracterización mecánica del bambú guadua laminado para uso estructural*.
- Uribe Vélez, C. (2012). *Materiales y prácticas de construcción sostenible* (Bachelor’s thesis, Universidad EAFIT).
- Vásquez León, A. (2020). *Materiales reciclables en la construcción sostenible, una revisión de la literatura científica de los últimos 10 años*.

Prevención y control de erosión en taludes mediante uso de geotextiles derivados del fique

Prevention and control of erosion on slopes
through the use of geotextiles derived from fique

Camacho R. Andrés Leonardo

Universidad Santo Tomás de Aquino
andres.camachor@usantoto.edu.co

Díaz A. Mabel Vannesa

Universidad Santo Tomás de Aquino
mabel.diaz@usantoto.edu.co

Torres M. Angie Gabriela

Universidad Santo Tomás seccional Tunja
Daniela.torrem@usantoto.edu.co

Resumen

Los problemas de erosión en taludes son muy comunes debido a que son estructuras que están expuestas a la intemperie, por lo tanto, se encuentran constantemente sometidas a fenómenos naturales como lluvias, fuertes vientos y vibraciones por flujo vehicular. De esta manera, es necesario implementar elementos de recubrimiento en la superficie del talud con la finalidad de disminuir el riesgo de falla. Comúnmente los geomantos se fabrican a partir de productos derivados de polímeros, estos presentan excelentes condiciones de resistencia y durabilidad pero, al ser materiales sintéticos, son altamente contaminantes y no son biodegradables. La finalidad del presente artículo de investigación es la revisión y comparación de diferentes citas bibliográficas en las que se evalúan características mecánicas de la fibra de fique (resistencia a la tracción, rigidez, módulo de elasticidad, etc.); para determinar así su comportamiento y factibilidad hacia su posible uso a futuro en la fabricación de geomembranas para la sustitución de materiales sintéticos. En este caso, se logra identificar que la resistencia del fique depende directamente de la metodología empleada del tratamiento de la fibra, un material útil para la protección superficial de taludes ya que llega a controlar los problemas de erosión.

Palabras clave: Fibras naturales, fique, estabilidad de taludes, materiales sostenibles, cuidado al medio ambiente, erosión...

Abstract

Erosion problems on slopes are very common because they are structures that are exposed to the elements; therefore, they are constantly affected by natural phenomena such as rain, strong winds and vibrations due to vehicular flow. In this way, it is necessary to implement cover elements on the surface of the slope to reduce the risk of failure. Geomats are commonly manufactured from products derived from polymers, these have excellent conditions of resistance and durability but being synthetic materials are highly polluting and are not biodegradable. The purpose of this research article is the review and comparison of different bibliographical citations in which the mechanical characteristics of fique fiber (tensile strength, stiffness, modulus of elasticity, etc.) are evaluated; to determine this way, its behavior and feasibility made its possible use in the future in the manufacture of geo-membranes for the substitution of synthetic materials. In this case, it is possible to identify that the resistance of the fique depends directly on the methodology used for the treatment of the fiber, this is a useful material for the surface protection of slopes since it manages to control erosion problems.

Keywords: Natural fibers, fique, slope stability, sustainable materials, care for the environment, erosion.

Para citar este artículo: Camacho R., Andrés L.; Díaz A., Mabel V.; Torres M., Angie G. "Prevención y control de erosión en taludes mediante uso de geotextiles derivados del fique" In L'Esprit Ingenieur. Vol. 13-1, pp. 37-62.

1. INTRODUCCIÓN

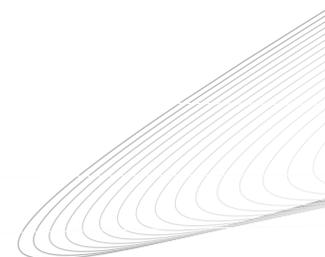
El fique es una planta clasificada taxonómicamente en la familia *agavaceae* y correspondiente al género *Furcraea*; también es su nombre científico. El cultivo de esta planta se presenta en diversos países latinoamericanos como lo son: Brasil, Colombia, Ecuador, Guatemala, México, Venezuela y el Caribe, además de países como Tanzania, Kenia y Madagascar, entre otros, debido a que se adapta a distintas condiciones agroecológicas. Internacionalmente se conoce esta especie de planta como fique, agave, pita, sisal, maguey, penca o cabuya.

Dentro de sus usos se resalta que tradicionalmente en Latinoamérica se ha empleado el fique en tejidos artesanales y en distintos países productores en los últimos años se ha implementado la fibra como materia prima del sector textil, industrial e incluso como abono orgánico. Sin embargo, el objetivo del presente artículo de investigación consiste en revisar y comparar distintas referencias bibliográficas mediante las cuales sea posible evaluar características mecánicas (resistencia a la tracción, rigidez y módulo de elasticidad) de fibras de origen natural especialmente del fique para de esta manera, conocer su comportamiento teórico y la viabilidad al implementar a futuro geo-membranas en la estabilización de taludes a partir de dichas fibras para que sustituyan el uso de materiales como: HDPE (Polietileno de alta densidad), VFPE (Polietileno de baja densidad), elastómero bituminoso, polipropileno (PP) o el cloruro de polivinilo (PVC).

Por lo que, para hacer del fique un material eco amigable en la ingeniería civil, se requiere determinar la factibilidad de reemplazar fibras de plásticos en obras de estabilización de taludes, aditivos para concretos, estabilizantes de terrenos y mediante la utilización de esta fibra en el mundo basado en la bibliografía, puesto que las constantes problemáticas por deslizamientos de grandes volúmenes de material en el planeta, han generado la búsqueda de distintas alternativas que mitiguen los problemas de estabilidad en terrenos inclinados.

No obstante, a causa de las diferentes condiciones de topografía y de relieve mundialmente se han generado distintos desprendimientos de material (caída de rocas y deslizamientos de tierra) que ocasionan grandes afectaciones estructurales a las viviendas aledañas, desestabilización en los terrenos y daños a los diferentes corredores viales en las regiones donde se causan problemas de comunicación entre poblaciones. Por lo cual, se hace necesaria la construcción de estructuras inclinadas (taludes) compuestas de un biomanto con la finalidad de protegerlas de los distintos sucesos naturales (lluvia e infiltración, fuertes vientos, erosión, etc.) a los cuales se expone dicha estructura constantemente; ofreciendo así, grandes beneficios como el bajo costo, impacto positivo al medio ambiente y gran disponibilidad de este insumo para dar solución ingenieril a dichas falencias presentes en la actualidad.

Se debe tener en cuenta que, como consecuencia la problemática ocasiona inconvenientes no solo en el ámbito económico, sino también social, puesto que se pone en peligro la integridad de quienes transitan a diario por estas zonas de riesgo, debido a la falta de protección superficial de los taludes; motivo por el cual, se requiere de atención inmediata. Dentro de la caracterización de la fibra de fique; en primer lugar, se realiza una revisión del estado del arte mediante la evaluación de criterios en los que se encuentran aspectos como la contaminación generada actualmente por el uso de geomantos a base de polipropileno y poliéster.



1.1 Revisión bibliográfica

A partir de la revisión bibliográfica se han podido determinar diferentes estudios enfocados en la estabilidad de taludes y control de erosión mediante el uso de fibras naturales en especial la de Fique a nivel internacional. Actualmente, campos como los de la bioingeniería y biotecnología han identificado diferentes técnicas en el control del suelo, por medio de taludes con geomallas a base a fibras naturales que contribuyen en la mejora de este; partiendo de que las fibras absorben de mejor manera el agua y controlan el transporte de material sobre el terreno.

Hernández et al. (2015) en su conferencia denominada implementación de fibras naturales en la estabilidad de Taludes se basan en la resolución 1083 del 04 de octubre de 1996. En los últimos años la búsqueda de la reducción de contaminación en las obras de ingeniería ordena el uso de fibras naturales, ya que estas generan un aporte ecológicamente positivo por ser biodegradables y al tiempo, le brindan nutrientes al suelo; de modo que, el crecimiento de la vegetación sea mayor para que se cree una capa vegetal que proteja al terreno de las gotas de lluvia y la escorrentía superficial para la disminución de la erosión ocasionada por el factor hídrico en estas estructuras inclinadas.

Adicionalmente, esta materia prima al ser catalogada como durable y resistente hace que se convierta en un material prominente con el pasar de los años en el sector de la construcción (Ray, 2016). Motivo por el cual, su implementación contribuye al desarrollo económico en las regiones productoras y en el sector de la ingeniería evalúa la eficiencia en la contención de terrenos como medida de mitigación de daños severos en sus capas superficiales, de tal forma que se garantice una óptima construcción, la cual se basa en estudios físico-mecánicos (resistencia a la tensión, rigidez, módulo de elasticidad y alargamiento) que den a conocer las características y condiciones reales del material. (Mejía y Gutiérrez, 2021)

Conjuntamente se hace necesario tener presente que todos los análisis están en función de la necesidad del terreno y zonas aledañas para facilitar la determinación de la viabilidad en el uso de estos biomantos independientemente de que sean permanentes o temporales; puesto que, aparte de los ensayo de laboratorio se pueden ejecutar algunas modelaciones a escala en las que se logre revisar las condiciones de riego y de factores ambientales que pueden influir y afectar directamente la estructura. (Caicedo y Ardila, 2017). Del mismo modo, al poner en marcha esta alternativa natural se imparten beneficios económicos como lo indica, Gómez, J. (2009); dado que, la reducción de costos es significativa al poseer fácil acceso a la fibra por su gran producción, sin dejar de lado que los métodos a emplear en cada zona de afectación deben ser acordes a factores pertenecientes netamente al lugar en el que se llevará a cabo la estructura de contención, (Vásquez, 2018) pero apoyados de dicha estrategia para contribuir en evitar la industrialización y uso masivo de plásticos que contaminan atmosféricamente y producen una considerable huella de carbono.

Por otro lado, es fundamental realizar investigaciones en las que se analicen las propiedades fisicoquímicas de la fibra; de manera que sea posible establecer la perspectiva adecuada de su utilización como refuerzo de matrices poliméricas en caso de que la fibra no tenga viabilidad al usarse individualmente. (Muñoz, 2014), dicha caracterización es posible por medio de tratamientos superficiales de la fibra como lo es la alcalinización, para este proceso se sumergen las fibras en una disolución acuosa de hidróxido de sodio (NaOH), para luego ser pre-impregnadas en una disolución de polietileno y así finalmente, ser secadas para realizar la verificación que indique que se mejoran las propiedades del material mediante ensayos de laboratorio.

Como complemento, se enfatiza en que es necesario hacer una caracterización mecánica en laboratorio de ensayos como: Espectroscopia Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR), comportamiento térmico de las

fibras con el Análisis Termo Gravimétrico (TGA), medición del desempeño mecánico a tensión regido a lo exigido por la norma ASTM D3822-07, en la cual se evalúan las fibras en función de su longitud, y por último se determina el ángulo de contacto para conocer el grado de mojabilidad de las fibras tratadas y no tratadas previamente. Lo anterior, permite que las fibras naturales tengan un mayor campo de acción en la ingeniería, puesto que, en el área vial y geotécnica es posible su implementación con el tratamiento para reforzar matrices poliméricas.

En cuanto al reforzamiento de polímeros; se destaca que, la fibra de fique posee altos estándares en su comportamiento mecánico que mejoran la calidad y su campo de aplicación; puesto que, podría llegar a reemplazar materiales que no tengan una resistencia significativa ante el desgaste, corrosión, amortiguación, aislamiento, entre otros, generando aportes a las obras civiles y reduciendo costos e impactos ambientales negativos. (Rua et al., 2021) Paralelo a esto, Ochoa et al. (2011), hacen hincapié en la importancia de los biomantos de fibra natural, no solo para que contribuyan en la recuperación del suelo erosionado por factores antrópicos o naturales, sino por la recuperación de la flora regional como un parámetro que permita aumentar la adhesión del material (talud-suelo) como método de estabilización en dichas áreas para aportar resistencia al terreno.

Para el control de erosión se han generado métodos complementarios a la revegetalización, hidrosiembra y paisajismo de taludes como procesos para llegar a obtener una vegetación permanente; puesto que el fique, mantiene la humedad del suelo y aporta sustratos orgánicos (Suárez, 2019). A pesar de ello, en algunos países como Brasil, la utilización del sisal debe ir acompañada de otras fibras como la de coco para que se ayude de sobremano en la recuperación del suelo. Como contribución innovadora enfocada en este primer material se resalta que este actúa no solo como fibra, sino que también en presentación molida como lo evidencia, Pacheco (2016) mostrando resultados factibles

en cuanto a la protección de la vegetación a través de biomantos de fibra de sisal y del sisal molido sobre el suelo.

Respecto a otras investigaciones en el sector geotécnico, el ya mencionado material no solo se ha implementado en el área de la estabilidad de taludes, ya que se ha evidenciado en presentaciones como la ceniza de fique acompañado de óxido de calcio como materiales que contribuyen en la optimización de suelos principalmente finos, de tal manera que la compactación del suelo permita aumentar la capacidad portante y la resistencia del mismo, adicional a la reducción de su plasticidad (Taype y Vega, 2020). De igual forma, García y Romero (2019), han hecho estudios de la actividad de estabilización del terreno en vías no pavimentadas, al unir la fibra de fique con el suelo, como método para optimizar la subrasante y mejorar el CBR, a partir de ensayos con adiciones o sin adiciones de cemento; dado que, es necesario tener en cuenta el tipo de suelo, que para el caso de estudio corresponde a uno arcillosos, por lo cual es difícil que se mezcle homogéneamente con la fibra y se requiere de un material adicional que puede elevar los costos de obra.

Luna y Quispe (2021) adicionan que tras realizar ensayos con muestras de este tipo de suelos no es oportuno hacer uso de esta fibra porque disminuye el valor de CBR, además que al tratar la fibra con óxido de calcio para mejorar sus propiedades no aumentan ni disminuyen la permeabilidad del suelo, ni logra establecer porcentajes de humedad óptimos, motivos por los cuales no se recomienda usarla en la estabilización de subrasantes. Mas, Aguirre y Valencia (2020), mencionan que la fibra de fique influye positivamente en el mejoramiento de la calidad de los suelos finos no arcillosos; al realizar laboratorios de análisis de suelos como límites de Atterberg y granulometría. Con respecto a las fibras naturales, se basaron en añadirlas a probetas de cilindros y vigas con concreto mediante ensayos de compresión inconfiada, de los cuales se resaltó el mejoramiento de suelos finos, adicional al aumento de resistencia a

la compresión, pues se mejoraron las propiedades mecánicas al compararlas con y sin refuerzo indicando que las fibras naturales si refuerzan adecuadamente.

Por otro lado, otras investigaciones consisten en buscar sostenibilidad al hacer de la fibra un aditivo del concreto para controlar el agrietamiento de este y así mismo mejorar sus propiedades (Moya, 2021). De la misma manera Okeola et al. (2018), agregan que el uso de fibra de sisal reduce la compresión, pero a su vez detiene la propagación de grietas de modo que se reduzca la relación de Poisson en vigas y cilindros. También, es de enfatizar que el hecho de implementar las diferentes fibras naturales ayuda a la construcción sostenible y al impacto ambiental.

Rodríguez y Díaz (2019) caracterizan la fibra de fique como una alternativa de sostenibilidad y reducciones económicas del pavimento hidráulico, basados en normas como la INVIAS y NTC en pruebas de laboratorio para el caso de Colombia, puesto que determinan factores como la compresión y flexión del concreto con cierto porcentaje de adición de la fibra, para obtener como resultado que se puede aplicar en losas debido a las fibras que actúan de mejor manera a compresión. Del mismo modo, Chopra y Razahi (2020), dicen que el asfalto de matriz de piedra (SMA) con la fibra de sisal en mezclas de asfalto reduce la estabilidad.

Por otra parte, el uso de la fibra de fique como aditivo de concreto ha sido analizado para medir sus propiedades mecánicas como lo indica Alegre (2018), a través de crear comparaciones de la mezcla común de concreto y la mezcla con adición de fibra de agave recubierto con parafina; dado que esta, es una materia prima con gran expansión en países subdesarrollados como Perú, razón por la que, se adquiere con gran facilidad, pero el tratamiento con parafina se da porque la absorción de agua en las fibras puede variar sus dimensiones; por lo tanto, se genera una contracción en la fibra cuando se endurece el concreto lo cual, podría disminuir la adherencia

entre materiales aunque las fibras posean propiedades físico-mecánicas representativas, como resistencia última a tensión.

Como complemento, Quico y Quico (2019), identificaron que, por medio de un tratamiento químico y uso a compresión de los elementos a base de concreto, estos tendrán un funcionamiento con mayor resistencia que si no tuviese un tratamiento, ya que en presencia de medios alcalinos se genera una notable reducción de la resistencia mecánica y tenacidad de los compuestos para hacer una adecuada contribución ingenieril sostenible (Coudert, 2019; Soto y Ramalho, 2014).

Asimismo, Saavedra y Ortega (2021,) al realizar un análisis añaden que es importante realizar una modelación digital para monitorear el comportamiento de las fibras al adicionarlas en diferentes cantidades, con lo cual se obtuvo que a flexión no resulta ser muy eficiente el concreto con la adición de fibra, pero a compresión sí.

Al hablar de concreto, se amplía el modo de utilización en la ingeniería no solo geotécnica sino también estructural, debido a que se ha investigado acerca la implementación de fique en muros sólidos de hormigón vaciado in situ y en la construcción de viviendas de interés social ya que, se disminuye el costo de obra y se puede producir sin perder calidad como lo indica Silva et al. (2019).

Bonilla (2017), argumenta que el desarrollo de materiales hechos a partir de una matriz de cemento portland y fibra de fique al compararla con otras fibras posee mayor resistencia que la fibra de vidrio, pero que al tratarla con el hidrofóbico never wet la resistencia se prolonga, por lo que se ha tratado de aplicarla en el sector de la construcción en elementos no estructurales como un compuesto reforzante para poseer mejores resultados.

2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación inicialmente se desarrolla una exhaustiva revisión bibliográfica de tópicos relacionados con el uso de la fibra natural de fique en la ingeniería civil, a través de la búsqueda de información en distintas bases de datos, entre estas se destacan scielo, Google académico y science-direct, así como repositorios de universidades nacionales e internacionales. Dicha búsqueda se realizó mediante operadores booleanos como O, OR, AND, NOT, WITH y 6W principalmente, que acompañados de palabras claves como lo son fibra, fique, estabilización, taludes, revegetación, entre otras.

A partir de la revisión anteriormente mencionada, se tuvieron en cuenta artículos relacionados con el adicionamiento de aditivos al concreto, estabilización de taludes y la utilización de esta fibra en diferentes países, lo cual permitirá analizar, evaluar y concluir la mejor alternativa para la utilización de esta fibra en especial en la estabilidad de taludes.

3. RESULTADOS

A partir de la revisión anteriormente mencionada, se tuvieron en cuenta artículos relacionados con el adicionamiento de aditivos al concreto, estabilización de taludes y la utilización de esta fibra en diferentes países, lo cual permitirá analizar, evaluar y concluir la mejor alternativa para la utilización de esta fibra en especial en la estabilidad de taludes. Dentro del desarrollo del presente artículo, se van a tener en cuenta distintas características de la fibra de fique, que involucra aspectos tales como: la disminución en la huella de carbono tras la sustitución de polímeros en la composición de geotextiles, que evalúen la contaminación ambiental actual generada por productos sintéticos que son desechados y la complejidad que se tiene para que puedan ser biodegradados.

Para la caracterización del fique, se establece la factibilidad y resistencia que posee esta fibra natural ante su posible uso como materia prima en la fabricación de geotextiles a futuro, lográndose medir cuantitativamente mediante la realización de distintos ensayos de laboratorio, además se logra comparar el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas de la fibra tras algunos tratamientos químicos verificados por distintos autores.

3.1 Fibras naturales como aditivos en el concreto

En los últimos años, se han reflejado avances tecnológicos en los diferentes materiales de construcción, debido a que se incluyen aditivos que permiten tener mayor calidad de las distintas propiedades del hormigón independientemente de su estado; el jugo del fique es uno de estos avances; ya que, su composición consiste en materia orgánica comprendida por sacarosa, proteínas, esteroides y saponinas, que se comportan como tensioactivos que son responsables del intervenir con el aire en los morteros y hormigones (Zapata, 2009).

Sin embargo, los aditivos utilizados actualmente en mezclas de hormigones y morteros son sintéticos, pero a través del tiempo se ha estudiado la adición de diferentes fibras de origen natural y vegetal, de esta forma es como el jugo del fique hace presencia en los nuevos estudios y se usa como un reforzante, pues durante el proceso de elaboración del hormigón, se forman poros que disminuyen la densidad de la mezcla y mejoran la durabilidad del hormigón ante los procesos físicos y químicos (Ochoa, J et al, 2007).

3.2 Estabilización de taludes con geomantos

Es importante destacar el uso y la innovación de materiales ecológicos que son implementados para las diferentes construcciones y la recuperación del medio ambiente. Los métodos de estabilización de taludes normalmente son enfocados en la reducción de fuerzas actuantes, incrementar fuerzas resistentes

o la combinación de ellas, para lograr esto, se debe hacer una excavación para extraer material, lo cual permite evaluar y desarrollar diferentes ensayos que permitan seleccionar cuál es el mejor método de estabilidad, ya que este depende de limitaciones técnicas como lo son: ubicación, factores económicos, tipo de suelo, entre otros.

La utilización de fibras naturales como lo son el cáñamo, coco, lino, son producidas naturalmente y caracterizadas por ser biodegradables, renovables, sostenibles y económicas (Hernández et al, 2015). Las tecnologías utilizadas para controlar la erosión se apoyan en la bioingeniería, más específicamente con materiales como pastos, vetiver, bambú o guadua; se tiene presente que para el desarrollo de obras de manejo de agua superficial se debe colocar una revegetalización con tela elaborada a partir de fibra de fique en vista de que, esta presenta propiedades absorbentes que ayudan a disminuir la erosión en los diferentes terrenos (Díaz Mendoza, 2011).

3.3 Contaminación por uso de geotextiles a base de materiales sintéticos

Actualmente, los productos a base de polímeros son consumidos y desechados en grandes volúmenes en todo el mundo, lo cual produce un daño notorio y genera un desequilibrio en el medio ambiente, perjudicando tanto a especies terrestres como a especies marinas, esto debido a que los polímeros se encuentran disponibles en una gran inmensidad de productos que se fabrican minuto a minuto por enormes industrias, como por ejemplo: las botellas plásticas que están elaboradas a base de Polietileno Tereftalato (PET), los distintos

usos del cloruro de polivinilo (PVC) empleados comúnmente en el sector de la construcción como en tuberías, revestimientos, techos, cubiertas, etc.

Otro elemento es el polipropileno (PP) también producido en enormes cantidades, este se encuentra disponible en empaques de alimentos, componentes de automóviles, tejidos, etc., el polipropileno además, es usado en la fabricación de geotextiles, por lo cual tiene la función de actuar como refuerzo en taludes, así como la prevención y control de la erosión, ya que es un material altamente resistente que tiene un buen rendimiento y presenta una gran durabilidad para su aplicación en este tipo de obras.

Para todos estos productos la demanda aumenta cada año y no se prevén alternativas para dar solución ante el daño provocado al medio ambiente producido por las enormes toneladas de desechos que se generan al año de materiales derivados de los polímeros.

En un contexto global, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha establecido que se producen más de 200 millones de toneladas de desechos plásticos, de las cuales más de 11 millones de toneladas llegan a los océanos, afectando enormemente a las especies marinas del planeta; Un claro ejemplo de esta problemática de desechos de productos a base de polímeros en el mundo, es el caso de la contaminación por materiales geosintéticos producida en la costa Sudoriental del Báltico (Rusia), la cual se generó a partir de la destrucción de las estructuras de protección costera en el año 2018.

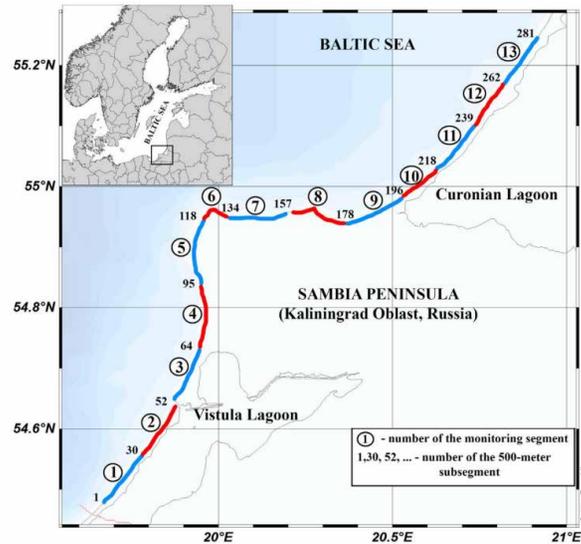


Figura 1. Diseño del campo de seguimiento en el báltico sudoriental.

Fuente: Chubarenkoa et ál. (2022).

Tras la destrucción de las estructuras de protección a los suelos costeros, se generó una gran contaminación en las aguas marinas y playas ubicadas a aproximadamente 1 km del lugar donde sucedieron los hechos, en la cual se encontraron grandes contenidos de restos de material geosintético, así como geomallas y geoceldas, afectando enormemente el ecosistema en la costa del Óblast de Kaliningrado en Rusia (Chubarenkoa et al., 2022).

La problemática radica en gran medida, en que estos compuestos arrojados al mar no son biodegradables, y por lo tanto la única forma de mitigar esta afectación al medio ambiente, es realizando jornadas de limpieza profundas en la zona afectada, para recolectar la mayor cantidad de desechos lo cual es casi imposible lograr obtener el 100 % de estos materiales disueltos en el mar. Por el contrario, si se emplearan geomantos a base de fibras naturales en estas obras cercanas a ecosistemas tan frágiles, se mitigaría en gran medida todo lo referente a daños ambientales, provocados por estas nuevas alternativas para el reforzamiento de suelos y control de erosión. Según Yao Z et al, (2022), la producción de polímeros en el mundo se distribuye de la siguiente manera:

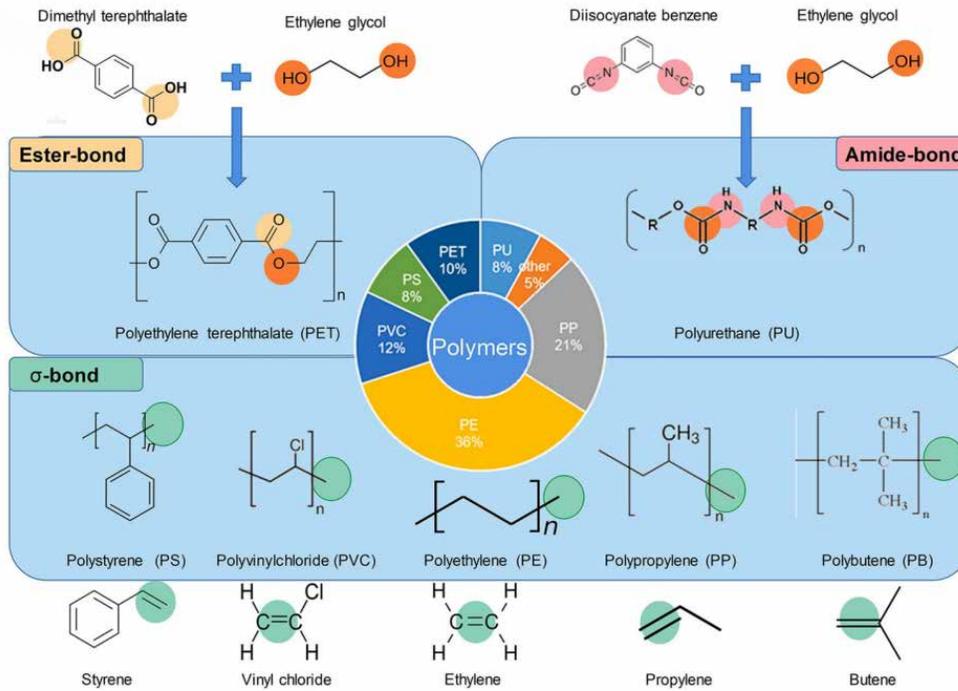


Figura 2. Los tipos de plástico más utilizados, su cuota de mercado y clasificación en función de la estructura química principal.

Fuente: Yao Z et al. (2022)

Como se puede evidenciar en el diagrama anterior, respecto a los productos derivados de los polímeros, en primer lugar, se encuentra el polietileno (PE) con un 38 % de participación en base a un análisis de su cuota de mercado, siendo el plástico más utilizado en pleno siglo XXI. El polietileno está compuesto por un 97.5 % de polímero y el 2.5 % faltante corresponde a antioxidantes, y estabilizadores de calor que hacen que la geomembrana sea más resistente a afectaciones climáticas como los rayos UV.

El polietileno tiene un gran uso en el campo de la ingeniería, ya que es empleado en embalses, represas, plantas de tratamiento de aguas, túneles, rellenos sanitarios, etc., se destaca también dentro de la investigación el polietileno de alta y baja densidad texturizadas (HDPE TXT) (LLDPE TXT), el cual se dispone en taludes ya que incrementa el ángulo de fricción entre ambas superficies que ayudan a estabilizar el material. Otro polímero usado en gran medida según la Figura 2, es el polipropileno (PP), con un porcentaje del 21 % respecto a otros polímeros solicitados por necesidades industriales, seguido del policloruro de vinilo (PVC) con una participación del 12 %. Estos elementos debido a sus excelentes resistencias mecánicas, químicas y flexibles son empleados como módulos de geomembranas sintéticas, tanques de agua potable, cubiertas arquitectónicas, entre otras (Geo Andes, 2019).

Todos estos polímeros están compuestos por energías no renovables y contaminantes como el petróleo y el carbón (Ray y Cooney, 2018). Cuando acaba la vida útil de todos estos elementos son desechados en enormes volúmenes y dispuestos de manera equivocada, siendo insostenible ambientalmente y colocando en peligro la salud de las personas. Al tratarse de compuestos sintéticos no son biodegradables, por lo tanto, la única manera de eliminarlos y que se ha venido realizando en los últimos años es mediante la incineración, lo que provoca aún más daños al medio ambiente.

3.4 Uso del fique a nivel nacional

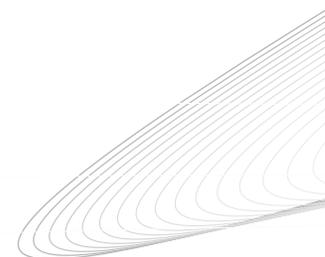
Dentro del contexto nacional, el departamento que históricamente ha suministrado la mayor producción del fique es el Cauca, ya que para el año 2013 se comercializaron 7.338 Toneladas, con un porcentaje de participación del 40 %, seguido del departamento de Nariño con un 37 % y en tercer lugar se encuentra Antioquia con el 13 %. La mayor obtención del fique se concentra principalmente en estos dos departamentos debido a que gran parte de la población indígena se encuentra organizada en estas zonas, las cuales se dedican a su extracción para la fabricación de artesanías y diversos productos (Echeverry et al., 2013).

Tabla 1. Zonas de producción de cabuya y porcentaje de participación por departamento.

Departamento	Toneladas año	Porcentaje (%)
Cauca	7.338	40
Nariño	6.724	37
Antioquia	2.309	13
Santander	1.678	9
Caldas	141	1 (entre los departamentos de Caldas, Boyacá, Risaralda y Norte de Santander)
Boyacá	87	
Risaralda	40	
Norte de Santander	9	
Total	18.326	100

Fuente: Echeverry et al. (2013).

Como se puede evidenciar en la Tabla 1, Boyacá se encuentra muy por debajo en lo referente a la producción del fique respecto a los demás departamentos, al ser este el departamento más cercano para la recolección de información se enfatiza en que, la gobernación de Boyacá para el año 2017, ha optado por realizar algunas medidas, con el fin de incentivar la diversificación y potenciar la producción de algunos productos, en el cual dentro de las cadenas productivas se encuentra el fique.



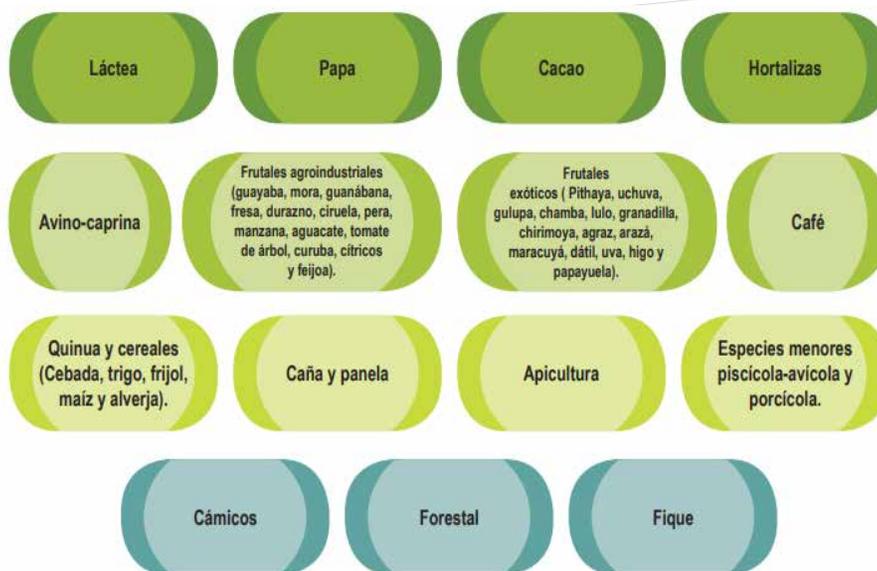


Figura 3. Cadenas productivas priorizadas.

Fuente: Gobernación de Boyacá, (2017).

Es importante tener en cuenta el interés de la Gobernación de Boyacá en la producción del fique, ya que contribuye directamente a la comunidad, ofreciendo una mayor oportunidad de empleo, en donde al diversificarse el uso de este elemento natural se expande directamente su mercado. Uno de los potenciales de uso especificado por la Gobernación para el fique es la de que se logre sustituir este elemento con las fibras sintéticas para la producción de geotextiles (Gobernación de Boyacá, 2018).

Tabla 2. Estado actual y perspectivas de futuro de las cadenas productivas en el departamento.

Fique	
Estado actual	Potencialidad
Se siembra como cerca viva y control de potreros	Elaboración de artesanías de trenza, alpargatas, fibras, entre otros.
Solo se aprovecha el 4 % fibra	Se debe reactivar como cultivo comercial
Bagazo, se puede utilizar la orellana para fortalecer la seguridad alimentaria	Las fibras sintéticas han desplazado el cultivo
Con los jugos se obtienen sopotinas, funguicidas y plaguicidas, así como ecogénicas que son base para medicamentos y otros derivados.	Potencial para producción de geotextiles, retención de suelos, fibras, entre otros.
1600 productores que cuentan con plantas de fique que actúan como linderos	Uso de fibra natural que reemplace fibras sintéticas

Fuente: Gobernación de Boyacá (2018).

3.5 Características físico-mecánicas de la fibra de fique

En base a la revisión bibliográfica, se han tomado en cuenta diversos estudios encaminados a la búsqueda y observación del comportamiento físico-mecánico que posee la fibra de fique mediante procesos experimentales con distintos ensayos en laboratorio, esto con la finalidad de lograr determinar de una manera mucho más exacta y analítica, la viabilidad que se tiene al sustituir esta fibra natural con los materiales sintéticos mayormente fabricados a base de polímeros actualmente.

Dentro de los ensayos encontrados principalmente en la base de datos para la búsqueda de elementos científicos en Sciencedirect, los distintos autores han elaborado especialmente el ensayo a tensión en las fibras de fique para lograr establecer las propiedades mecánicas y físicas de dicho elemento, por ejemplo: el módulo de elasticidad, esfuerzo máximo soportado por la fibra, deformación y alargamiento, resistencia a la tracción, etc., en los cuales la variable es el proceso de tratamiento superficial realizado dentro de la composición de las fibras de fique por cada autor al emplearse distintos elementos químicos para el mejoramiento de sus propiedades mecánicas en los que se espera una mayor resistencia de este elemento natural.

En primer lugar, en base a los artículos de revisión bibliográfica consultados, se estudia la metodología empleada por (Barandaoa et ál., 2017), los cuales buscan generar un biocompuesto sostenible con el medio ambiente y que sea posible sustituir este elemento con la fibra de vidrio, e incluso con algunas aleaciones de aluminio. Para determinar los parámetros de resistencia como módulo de elasticidad de la fibra de fique y obtener el diagrama de esfuerzo vs deformación del material, se emplearon ensayos a tracción realizadas de acuerdo con la norma ASTM D3822 / D3822M – 14 en el cual se utilizó una máquina de ensayo universal MTS 810. Para la caracterización de la fibra de fique (Barandaoa et al., 2017), consideraron tres (3) tipos de muestras de la siguiente manera: (a) Biocompuestos aleatorios de fibra corta (RSF), (b) Biocompuestos aleatorios de fibra discontinua (RDF), (c) Biocompuestos Unidireccionales de Fibra Larga (ULF):

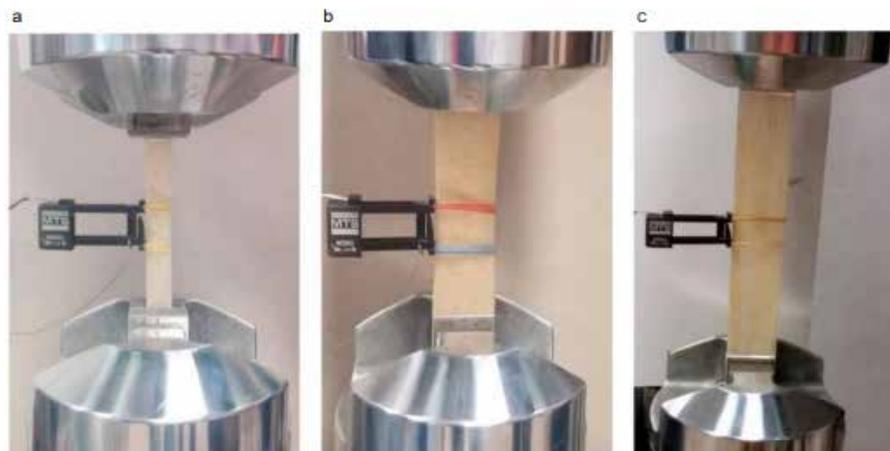


Figura 4. Ensayo a tracción para muestras (rsf), (rdf), (ulf).

Fuente: Barandaoa et al. (2017).

A partir del ensayo a tracción para cada una de las muestras de fibra de fique, se estableció que los compuestos unidireccionales de fibra larga (ULF) presentan un mejor comportamiento mecánico al de los compuestos de fibras cortas (RSF) y discontinuas (RDF), ya que, los resultados de la

resistencia última a tracción en promedio fueron de 215 MPa, 68 MPa y 50 MPa respectivamente, a continuación, se muestra el comportamiento para cada una de las probetas tipo (ULF) sometidas al ensayo de tracción:

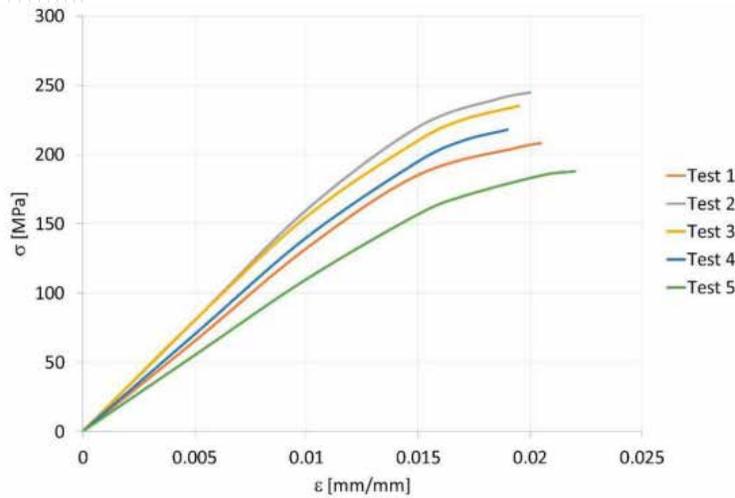


Figura 5. Curvas de tracción para (bio) compósitos de fibra larga unidireccional (ufl).

Fuente: Barandaoa et al. (2017)

Para la gráfica de esfuerzo vs deformación se puede identificar que el comportamiento de la fibra de fique sometida a tracción es elástico siendo casi lineal, con una rigidez que es progresivamente creciente hasta la zona en la cual se produce proceso de falla, además (Barandaoa et ál.,2017) establecieron que en este caso el módulo de Young longitudinal es de aproximadamente 15 GPa para este compuesto unidireccional de fibras largas (ULF). Esta diferencia notoria de resistencia a la tracción de las fibras de fique, se debe en gran medida a que la composición unidireccional de fibra larga (c), se desarrolló con un alineamiento transversal y longitudinal de la fibra con una presión de moldeo de 15 MPa para obtener una muestra con una buena compactación, hay que tener en cuenta que los moldes utilizados presentan dimensiones de 200 mm x 350 mm, y debido a este alineamiento de las fibras el espesor es más alto ya que posee una mayor concentración de volumen de las fibras (Barandaoa et ál.,2017).



Figura 6. Tejido de las fibras de fique (rsf), (rdf), (ulf).

Fuente: Barandaoa et ál. (2017).

En lo referente a la elaboración de los tres tejidos laminados en los moldes de la fibra de fique, se desarrollaron realizando una mezcla entre la matriz epoxi verde y la fibra vegetal, la cual es una matriz ecológica que presenta propiedades mecánicas comparable a una resina obtenida a partir de petroquímicos, con lo cual se reduciría entonces mayormente la huella de carbono al implementarse estos nuevos materiales en el sector de la ingeniería.

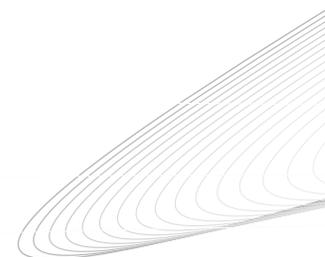
Por otro lado, Gómez (2009) se encargó de realizar ensayos de laboratorio a distintas fibras de origen natural (coco, bagazo de caña y de fique) siguiendo lo exigido por la normativa ASTM C1557-03, en el cual se especifica la metodología a seguir para la realización del ensayo a tensión de dichas fibras.



Figura 7. Montaje de las fibras en la máquina de tensión.

Fuente: Gómez (2009).

Según el autor, este ensayo se ejecutó a una temperatura de 25°C con una humedad relativa del 50 %, aplicándose un torque de 20 N/m. En este caso se estudiaron los comportamientos de las fibras tratadas y no tratadas químicamente, según (Dipa y Sarkar, 2000), es viable someter las fibras vegetales a soluciones alcalinas como el NaOH (hidróxido de sodio), las cuales pueden mejorar algunas de sus características, obteniéndose una mayor compatibilidad entre las fibras que componen el elemento.



A. Modulo de elasticidad (MPa)

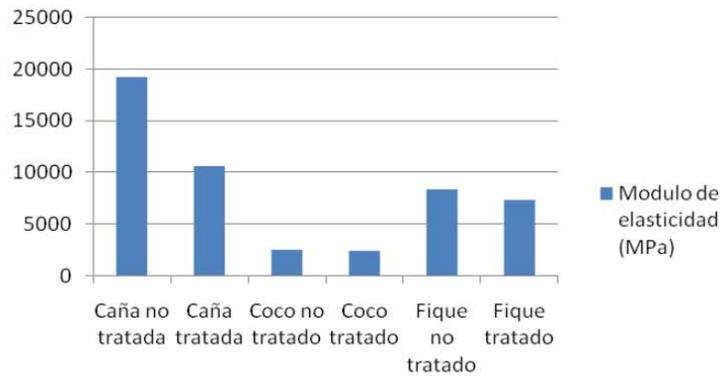


Figura 8. Módulo de elasticidad de las fibras naturales.

Fuente: Gómez (2009).

En la Figura 8 se observan los resultados obtenidos del módulo de elasticidad de las fibras vegetales, esto nos ayuda a identificar que tanta rigidez poseen los materiales. En este caso se observa que la fibra de caña no tratada posee el mayor módulo de elasticidad respecto a las otras fibras, con un valor de aproximadamente 19200 MPa, Luego se encuentra la fibra de caña tratada con (NaOH) en la cual el módulo de elasticidad obtenido es de 10500 MPa, disminuyendo su rigidez en un 45 %.

Este comportamiento de descenso del módulo de elasticidad en las fibras naturales también se logra evidenciar en la fibra de fique y de coco, las cuales poseen valores de 8000 MPa y 2500 MPa respectivamente, se puede evidenciar entonces, que al emplearse esta solución alcalina (NaOH) afecta enormemente el comportamiento mecánico de estos elementos. Por lo tanto, se redujo la concentración de esta solución del 5 % a una aplicación del 2 % sumergiéndose las fibras durante un tiempo de 4 horas, con la finalidad de mejorar sus propiedades.

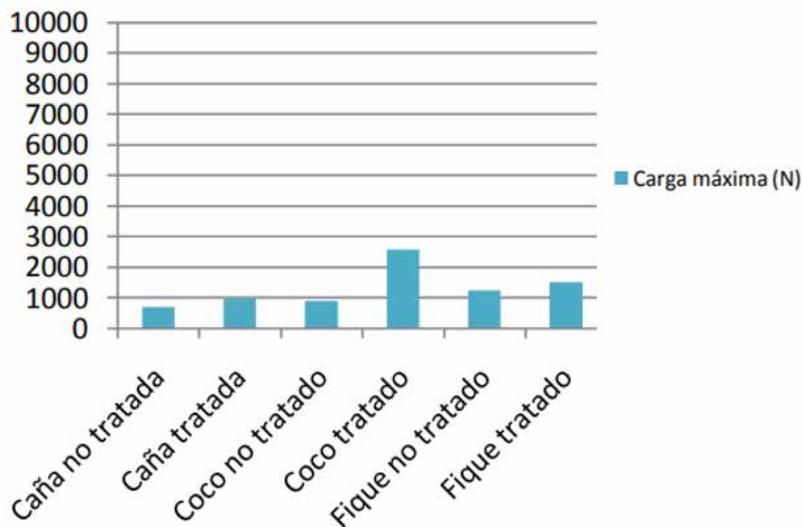


Figura 9. Esfuerzo máximo soportado por las fibras.

Fuente: Gómez (2009).

Como se puede evidenciar en la Figura 9, las fibras tratadas con NaOH poseen una mayor resistencia ante la aplicación de cargas, en las que se destaca la fibra de coco tratada en la cual la carga máxima soportada es de 2600 N, también, se encuentra con un buen comportamiento mecánico la fibra de fique con un esfuerzo máximo soportado de 1500 N, por último, la fibra de caña tratada con una carga máxima de 1000 N, esto debido en mayor parte en que el bagazo de caña es un material mucho más rígido y por lo tanto frágil ante la aplicación de esfuerzos. Por otro lado, las fibras de coco y fique presentan este comportamiento debido a que son elementos mucho más flexibles y manipulables (Gómez, 2009).

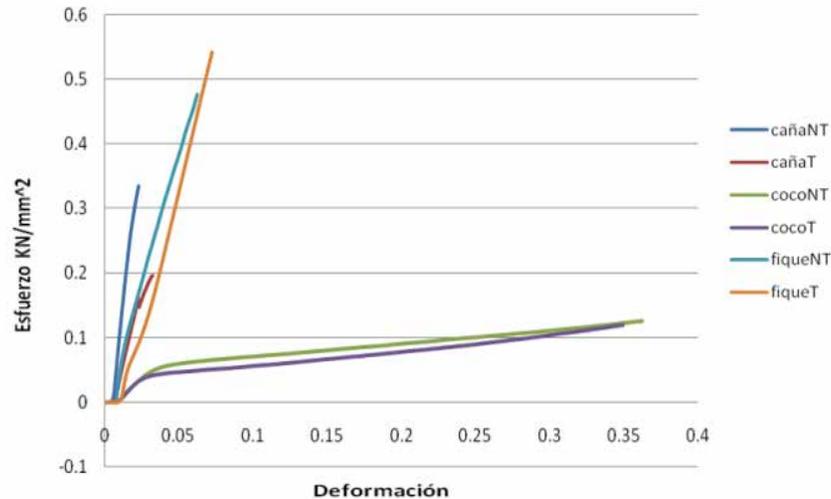


Figura 10. Esfuerzo vs deformación unitaria de las fibras.

Fuente: Gómez (2009).

Respecto a la gráfica de esfuerzo vs deformación (Figura 10), se puede evidenciar que la fibra de fique tratada denotada de color naranja, posee una mayor resistencia ante la aplicación de esfuerzos presentando una baja deformación en su estructura, esto quiere decir que dicho elemento es capaz de cubrir valores más altos de deformación (KN/mm²) y valores de deformación más bajos que las otras fibras vegetales (coco y bagazo de caña). La fibra de coco presenta baja resistencia ante la aplicación de esfuerzos y es un elemento natural altamente deformable.

En tercer lugar, Luna et ál. (2017) proponen el uso de plasma de grabado seco dentro de la matriz de fibra de fique. Los autores emplearon distintos tiempos de exposición para lograr identificar el lapso adecuado del tratamiento con plasma, con la finalidad de mejorar las irregularidades que presenta la superficie de la fibra, esto sin que se afecte la resistencia de este material, a continuación, se muestra el estado de las fibras mediante un microscopio electrónico de barrido (SEM) para: a) 0 segundos, b) 200 segundos, c) 400 segundos, d) 600 segundos, e) 800 segundos, f) 1000 segundos y g) 1200 segundos.

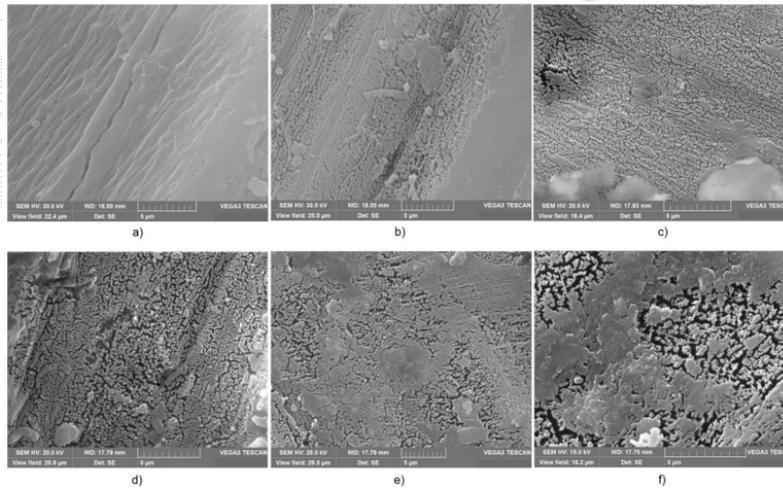


Figura 11. Micrografías sem de la fibra de fique.

Fuente: Luna et al. (2017)

Con las micrografías (SEM), se puede observar que a medida que aumenta el tiempo de exposición de las fibras con el plasma de grabado seco, la superficie de la fibra se va tornando más gruesa y rugosa como sucede a un tiempo de tratamiento de 1000 segundos (e) y 1200 segundos (f), lo que permite una mejor unión de la matriz del material vegetal, esto se debe principalmente a que al aplicarse el plasma de grabado seco causa un bombardeo de iones en la superficie de las fibras (Amirou et ál., 2013).

Dentro de esta investigación, se pudo comprobar la importancia de realizar tratamientos de carácter químico a la superficie de esta fibra, ya que, al tratarse de un producto totalmente natural, su superficie presenta demasiadas irregularidades que hacen que no se tenga una buena adherencia entre las fibras y por lo tanto las propiedades de resistencia del material disminuyen considerablemente. Principalmente estos elementos naturales están compuestos por celulosa, con el cual se difiere un comportamiento hidrofílico generado por reacciones químicas que hacen que exista una incompatibilidad química entre la fibra, teniendo entonces un mal rendimiento a las tensiones a las que estará sometido el material (Pickering y Efendy, 2015). De acuerdo con la norma ASTM 1557-14 (Luna et ál., 2017), luego del tratamiento con plasma a la fibra de fique, se encargaron de someter 5 muestras para cada uno de los periodos (0 seg, 200 seg, 400 seg, 600 seg, 800 seg, 1000 seg y 1200 seg) al ensayo de resistencia a la tracción, en el cual, para un análisis más detallado de la existencia de una mejora en la resistencia de la fibra, los autores promediaron los resultados para cada uno de los tiempos establecidos para el ensayo.

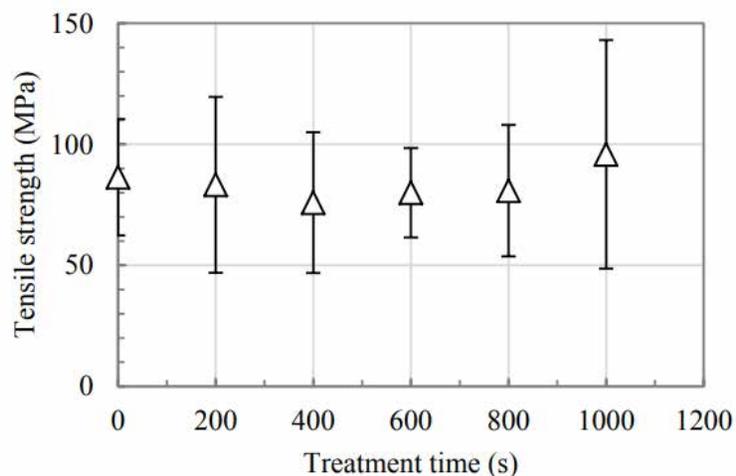


Figura 12. Resistencia a la tracción de la fibra de fique

Fuente: luna et ál. (2017)

Como se puede observar, inicialmente la fibra de fique al no estar sometida a un tratamiento superficial posee una resistencia a la tracción aceptable (entre 50 MPa y 110 MPa), por otro lado, para los tiempos de tratamiento de la fibra de fique con plasma entre 200 segundos y 800 segundos presentan un comportamiento similar, con una resistencia a la tracción de las distintas muestras presentando una resistencia a la tracción entre un rango de 50 MPa y un valor máximo de 120 MPa. Por último, se puede corroborar que el tratamiento con plasma es útil al emplearse para el tratamiento de esta fibra natural, ya que aumenta la resistencia de la fibra al generarse una estructura más gruesa y rugosa en su superficie, un material vegetal que alcanza una resistencia a la tracción de hasta 140 MPa gracias a este tratamiento.

Otra metodología desarrollada para investigar el comportamiento físico-mecánico de la fibra de fique es la empleada por (Sathiamurthi et ál., 2021), en el cual, se basaron en un proceso de moldeo por compresión entre la fibra de fique y una resina epoxi con endurecedor, con esto crearon compuestos híbridos que luego se sometieron a los ensayos de tracción de acuerdo con la norma ASTM D638 en la máquina universal y el ensayo a compresión siguiendo lo establecido por la norma ASTM D790-10.



Figura 13. Muestras fracturadas a) muestras de tracción y b) muestras de flexión.

Fuente: Sathiamurthi et ál. (2021)

Para el análisis adecuado de las propiedades de resistencia de las fibras de fique, los autores mezclaron en cuatro fracciones de peso relativo denominado (Wf), en porcentajes de 10 %, 15 %, 20 % y 25 % de resina aplicada al molde en conjunto con la fibra vegetal, además se realizó una variación de la longitud de las fibras para cada híbrido entre fibra y la resina epoxi, a continuación se muestran los resultados obtenidos por los autores respecto al ensayo de tracción para a) 1 cm, b) 2 cm, c) 3cm, d) 4 cm:

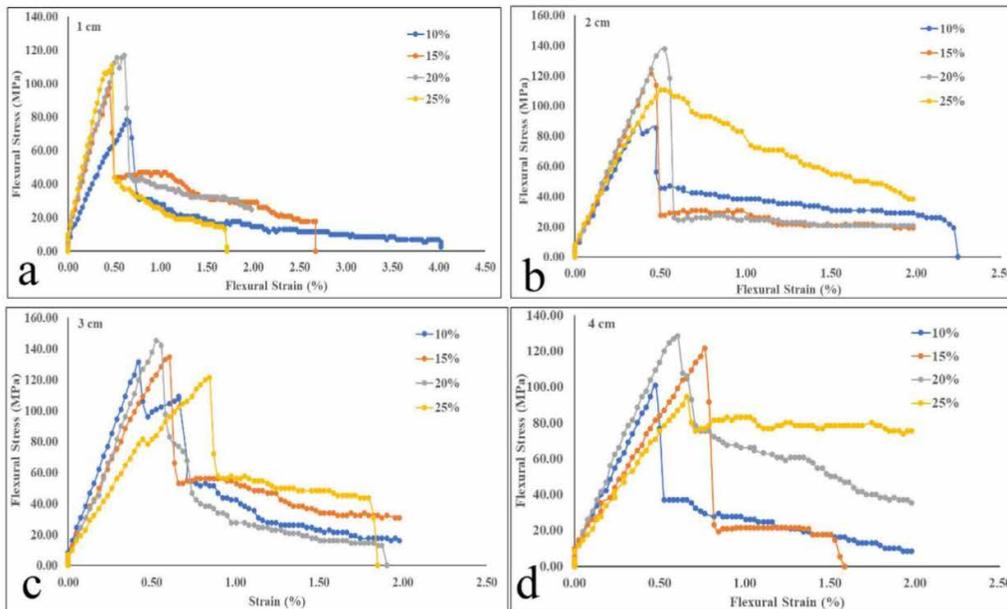


Figura 14. Curvas de esfuerzo de tracción versus deformación de compuestos híbridos.

Fuente: Sathiamurthi et al. (2021)

Respecto a las curvas de esfuerzo de tracción vs deformación de los compuestos, los autores lograron identificar que aumenta la resistencia del material al implementar un 20 % de resina epoxi dentro de la fabricación de cada compuesto. Además, se verifica que, al prolongar la longitud de las fibras, la resistencia a la tracción es superior en los cuales se obtienen valores que oscilan los 140 MPa para las longitudes de 3 cm y 4 cm de la fibra, y con las extensiones de 1cm y 2 cm esta resistencia está alrededor de los 120 MPa. Con esto los autores lograron identificar de que cuando menor sea la longitud, se disminuirá el módulo de tracción de la fibra de fique debido a la facilidad de extracción de las fibras de la matriz. Por último, como se pudo observar anteriormente, existe una gran variedad respecto a las metodologías adoptadas para mejoramiento del comportamiento físico-mecánicas de fibras vegetales en distintas partes del mundo, ya que resulta una alternativa en gran medida sustentable y sostenible con el medio ambiente y que son productos de bajo costo, en el cual resulta importante a día de hoy implementar nuevos materiales de carácter biodegradables para promover una ingeniería que resulte amigable con la naturaleza, cuidando de manera adecuada los distintos ecosistemas.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de realizar una revisión de distintas alternativas de tratamiento superficial y químico de la fibra de fique, se puede identificar que algunas metodologías resultan más efectivas que otras, esto debido a que se puede analizar de manera cuantitativa las características de resistencia de este material vegetal mediante la elaboración de ensayos en laboratorio.

Con esta información recolectada por diversos autores, es posible comparar las propiedades físico-mecánicas del fique con las de productos derivados de polímeros como el polietileno y/o polipropileno, ya que son la materia prima hoy en día más utilizada para la fabricación de geomantos para el control de erosión en taludes, que resultan elementos que poseen una alta huella de carbono y que no son biodegradables, se acumulan año a año millones de toneladas de materiales derivados de polímeros en todo el mundo, lo que genera grandes consecuencias de contaminación ambiental. Dentro de la comparación de los métodos de tratamiento de la fibra de fique, en primer lugar, se va a analizar el módulo de elasticidad obtenido por los distintos autores mediante los respectivos ensayos de laboratorio, en el cual se resumen los resultados obtenidos en la siguiente gráfica:

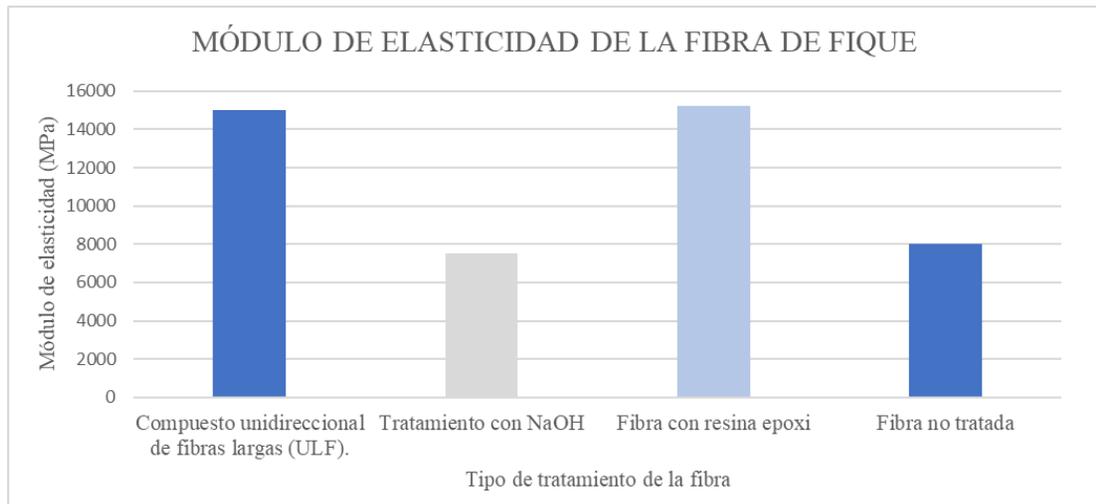


Figura 15. Módulo de elasticidad de la fibra de fique con diferentes tratamientos.

En primer lugar, se puede identificar de que la fibra de fique no tratada posee un módulo de elasticidad de aproximadamente 8000 MPa (Gómez, 2009); En el cual el mismo autor, tras realizar un tratamiento superficial a esta fibra natural mediante la aplicación de un 5 % de solución alcalina (NaOH), disminuye un poco el módulo de elasticidad el cual alcanza aproximadamente los 7800 MPa; Por lo tanto, se logra determinar que este procedimiento de alcalinización de la fibra no resulta efectivo, ya que disminuye levemente su comportamiento mecánico.

Por otro lado, el módulo de elasticidad obtenido para el compuesto unidireccional de fibras largas (ULF) desarrollado por (Barandaoa et ál., 2017), y el tratamiento empleado a las fibras con la fabricación de un compuesto entre la fibra de fique y resina epoxi (Sathiamurthi et ál., 2021), obtuvieron resultados muy similares ya que el módulo obtenido por ambos autores es de aproximadamente 15000 MPa, se puede concluir que ambos tratamientos a la fibra de fique resultan muy efectivos, ya que se logra aumentar el módulo de elasticidad del material en un 90 %, lo que significa que se logra incrementar considerablemente la rigidez del material.

Otra manera de evaluar la eficiencia de los tratamientos empleados a la fibra de fique es mediante los valores obtenidos por los distintos autores de la resistencia a la tracción a partir del uso de la máquina universal siguiendo las normas ASTM D638, ASTM C1557-03, ASTM D3822 / D3822M – 14. Los resultados son los siguientes:

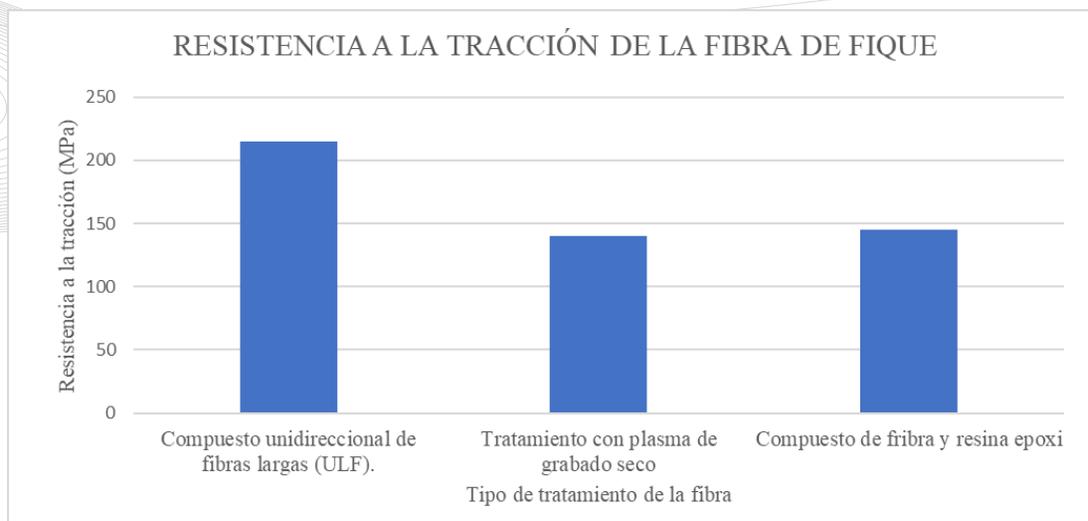


Figura 16. Resistencia a la tracción de la fibra de fique con diferentes tratamientos.

Como se puede evidenciar en la anterior figura, el tratamiento con plasma de grabado seco elaborado por (Luna et ál., 2017), y el compuesto entre fibra y resina epoxi (Sathiamurthi et ál., 2021), obtuvieron valores de similares, con valores de resistencia a la tracción de 140 MPa y 145 MPa respectivamente. La metodología empleada para la fabricación de un compuesto unidireccional de fibras largas (ULF) resulta el más efectivo respecto a la medición de este parámetro mecánico de la fibra del fique, con el cual, se logra alcanzar una resistencia a la tracción máxima de 215 MPa. Por lo tanto, empleando esta metodología se logra aumentar su resistencia en un 48 % aproximadamente respecto a los otros dos métodos analizados.

De esta manera, se logra determinar de que el módulo elasticidad y la resistencia a la tracción de los compuestos generados con la fibra de fique, dependen principalmente de la adhesión entre la fibra y la matriz a emplearse. Es de vital importancia aplicar el adecuado tratamiento al material vegetal ya que este posee diversas irregularidades en su superficie y esto impide que las fibras se adhieran de manera adecuada, por lo tanto, los esfuerzos de tensión no se transitarían de manera adecuada en todo el elemento y provocaría un rompimiento inmediato en el material.

La resistencia de la fibra de fique radica principalmente en el tratamiento que se le pueda aplicar, lo que implica que se pueden obtener materiales de excelente calidad a partir de este elemento natural, siempre y cuando se maneje un adecuado proceso de tratamiento y curado principalmente verificando la correcta orientación de las fibras, así como el tratamiento empleado para mejorar su adhesión y mejorar las propiedades de resistencia.

5. CONCLUSIONES

Se puede determinar la gran importancia que posee la elección del tratamiento adecuado a la fibra de fique, ya que es una variable dependiente la cual afecta directamente las propiedades de resistencia del material.

Dentro de las distintas metodologías empleadas para el tratamiento de la fibra de fique, es posible establecer que la más óptima es la de los compuestos unidireccionales de fibra larga (ULF), ya que con esta técnica de disposición de las fibras aumenta considerablemente las propiedades de resistencia como el módulo de elasticidad y resistencia a la tracción.

El uso del tratamiento a la fibra de fique mediante el uso de plasma de grabado en seco resulta una buena alternativa para el mejoramiento de las propiedades mecánicas de este elemento natural, ya que proporciona un aumento respecto a la resistencia de la fibra debido a la alteración que genera en la fibra, la cual genera una superficie mucho más gruesa y rugosa que permite una mejor adherencia en la matriz.

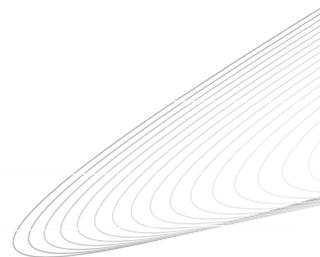
La fibra de fique presenta unas características adecuadas físico-mecánicas respecto a otras fibras vegetales (coco y bagazo de caña). Es importante tener en cuenta de que al tratarse de un elemento natural se presenta una alta irregularidad en su estructura, por lo tanto, es necesario el tratamiento con soluciones alcalinas (NaOH) para una mejor adhesión y composición de la matriz de la fibra, que mejora considerablemente sus condiciones de resistencia y deformabilidad, en este caso es positiva la caracterización de la fibra de fique su posible uso en la elaboración de geomantos para la protección de taludes ante la erosión, sustituyendo de una manera amigable con el medio ambiente los elementos fabricados con fibras sintéticas.

Es necesario evaluar el tipo de resina epoxi con el que han trabajado algunos autores para elaborar las muestras sometidas a los ensayos de laboratorio, ya que algunas pueden resultar altamente contaminantes y no tendría relación alguna con la búsqueda de la fabricación de materiales amigables con el medio ambiente.

Hacer uso de fibras naturales como el fique en este momento en el que se busca disminuir la contaminación para reducir factores como el cambio climático, es una gran estrategia para aportar positivamente al medio ambiente, así como al suelo que se busca estabilizar; ya que, mediante esta se le aporta nutrientes, contención y minimización de erosión.

Se recomienda realizar más estudios de la resistencia y funcionalidad de la fibra de fique en condiciones variables de precipitación, temperatura y clima; ya que de acuerdo con las referencias consultadas estos parámetros son mínimamente tenidos en cuenta, pero para hacer un estudio más detallado serían muy útiles para brindar un aporte significativo.

Por otro lado, el uso de las fibras naturales para la construcción de geomantos resulta una alternativa factible, sostenible y amigable con el medio ambiente, ya que se ha demostrado que estos materiales brindan buenas condiciones de resistencia y durabilidad presentando además bajos costos en su producción; Es importante seguir en este campo de la caracterización de las fibras naturales (fique, coco, bagazo de caña, etc.) ya que poseen distintas ventajas dentro de su aplicación como refuerzo y control de la erosión en taludes, en procesos importantes como la revegetalización que brinda mayor soporte y resistencia del suelo.



REFERENCIAS

- Aguirre, G., y Valencia, J. (2020). Mejoramiento de las propiedades mecánicas de suelos finos mediante la adición de residuos provenientes de fibras vegetales. *Sell journal*, 5(1), 55.
- Alegre, C. (2018). Resistencia a la flexión en vigas de concreto $f'c=201$ kg/cm², al adicionar en un 5% y 10% de fibra de agave lechuguilla. Desarrollo de la expresión oral a través de títeres con niños de 5 años de la i.e. no 821067 san pablo - cajamarca, 1–113. [Http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/usanpedro/7765/tesis_58639.pdf?sequence=1&isallowed=y](http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/usanpedro/7765/tesis_58639.pdf?sequence=1&isallowed=y)
- Barandaoa, V., Infanteb, A., Deusc. (2017). Implementation of eco-sustainable biocomposite materials reinforced by optimized agave fibers. Palermo, Italia: University of Palermo.
- Caicedo, L., y Ardila, P. (2017). Beneficios de los mantos de control de erosión temporal para la recuperación y protección de taludes y representación de un modelo físico de laboratorio. 111.
- Chopra, A., y Razahi, M. (2020). A review of using sisal fiber and coir fiber as additives in stone matrix asphalt. *International research journal of engineering and technology*, july. [Www.irjet.net](http://www.irjet.net)
- Coudert, I. (2019). Influencia del tratamiento superficial de las fibras de fique en las propiedades mecánicas del compuesto fibra-matriz cementante. 110. [Https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78742/tesis_loic_coudert_final.pdf?sequence=1&isallowed=y](https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78742/tesis_loic_coudert_final.pdf?sequence=1&isallowed=y)
- Chubarenkoa B, Esiukova A., Pinchuk P., y Simonc F. (2022). Conjunto de datos sobre la contaminación por desechos de material geosintético en la costa sudoriental del Báltico. Moscú, Rusia: BAM Instituto Federal de Investigación y Ensayo de Materiales.
- Díaz, C. (2011). Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización. *Ingeniería e Investigación*, 31(3), 80–90. <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v31n3/v31n3a09.pdf>
- De Moya, L. (2021). Exploración de la viabilidad para uso de la fibra de fique como material sostenible en el reforzamiento del concreto. Un enfoque eco-amigable como alternativa de la fibra de polipropileno.
- DIP R., Sarkar B (2000). Characterization of Alkali-Treated Jute Fibers for Physical and Mechanical Properties. Calcutta.s.n.
- Echeverry, R., Franco L., y Gonzáles M. (2013). Fique en Colombia. Editorial ITM.
- García L., D. A., y Romero N., A. (2019). Verificación de resistencia entre la estabilización de suelo-cemento y la estabilización con suelo-cemento y fibra de fique. *universidad de Ibagué*, 3, 1–9.
- Geo Andes. (s.f.). Geomembranas pvc. Obtenido de: https://www.geoandes.co/geosinteticos/geomembranas_pvc/
- Gobernación de Boyacá. (2018). Plan integral de desarrollo agropecuario y rural con enfoque territorial. Agencia de desarrollo rural.
- Gómez, J. (2009). Diseño de un material compuesto con fibra natural para sustituir la utilización de la fibra de vidrio. Universidad EAFIT, 10.
- González, D. I., Castro Olivares, J. E., Flores Méndez, J., Mendoza Quiñónez, J. A., Michua Camarillo, A., y Aparicio Razo, M. (2021). Evaluación y comparación de resistencia a la tracción y flexión

- de Quiote del Maguey Manso (Agave Salmiana) contra bambú Guadua. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 22(3), 1–6. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2021.22.3.019>
- Hashemifard, H., Mehrzadeh, M., & Chenari, M. (2012). Mechanical and physical properties of sugarloaf. *Advances in environmental biology*, 6(1), 368–375.
- Hernández, R., Pérez, D., y Rincón, J. D. (2015). Implementación de fibras naturales en la estabilidad de taludes. Preliminary Cost Assessment for Offshore Wind Energy in Puerto Rico. <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.186>
- Jaramillo, P. (2017). Mejora de las condiciones de durabilidad de la fibra de fique como elemento reforzante del concreto. *Universidad pontificia bolivariana*, 6–18
- Luna, A. Mariño, J. Lizarazo, O. Beltrán. (2017). Dry etching plasma applied to fique fibers: influence on their mechanical properties and surface appearance. Bogotá-[9] [9] [22] Colombia: Departamento de ingeniería Civil y Agricultura, Universidad Nacional de Colombia.
- Luna, E., Quispe, G. (2021). Fibras de agave americana tratada con óxido de calcio en la estabilización de suelos arcillosos en la subrasante de pavimentos rígidos en la ciudad de Cusco.
- Muñoz, M., Hidalgo, M., Mina, J. (2014). Fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. influencia de la modificación superficial. *Biocología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12.
- Mejía, M., y Gutiérrez, J. (2021). Potencial de mallas tejidas en fibras de fique (*furcraea*) para la protección del suelo y el control de erosión en los taludes.
- Ochoa, J., Magreth, J., Passos, H., Jhony, A., y Liévano, A. B. (2011). Mantos de control para la recuperación de zonas erosionadas Estudio de factibilidad para la creación de una empresa dedicada a la comercialización e instalación de mantos de control para la recuperación de zonas erosionadas.
- Ochoa, J., Jaramillo, L. (2007). Uso del jugo de fique como aditivo orgánico en el hormigón. *Scientia Et Technica*, XIII(36), 455–459. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84903681.pdf>
- Okeola, A., Abuodha, S., y Mwero, J. (2018). The effect of specimen shape on the mechanical properties of sisal fiber-reinforced concrete. *The open civil engineering journal*, 12(1), 368–382. <https://doi.org/10.2174/1874149501812010368>
- Pacheco, P. (2016). *Produção E Aplicação De Biomantas Para Controle De Erosão Em Taludes*. 75.
- Quico, J., Quico, N. (2019). Influencia de la adición de fibra de maguey en la resistencia del concreto. *Universidad peruana unión*.
- Ray, S. (2018). Degradación térmica de polímeros y compuestos poliméricos. *Manual de degradación ambiental de materiales*.
- Rodríguez, L., y Díaz, J. (2019). Análisis de la respuesta mecánica en la modificación del concreto hidráulico para pavimentos mediante fibra de fique. *Universidad Piloto de Colombia*, 126(1).
- Rua, J., Buchely, M., Monteiro, S., Echeverri, G. I., Colorado, H. A. (2021). Impact behavior of laminated composites built with fique fibers and epoxy resin: a mechanical analysis using impact and flexural behavior. *Journal of Materials Research and Technology*, 14, 428–438. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.06.068>.

- Saavedra, J., y Ortega, C. (2021). Comportamiento mecánico a la flexión y compresión del concreto reforzado con fibra de fique en vigas y cilindros. Universidad Católica de Colombia, 0(0), 0.
- Sathiamurthi P., Karthi Vinith K., Sathishkumar T., Arunkumar S., Anaamalaai A. (2021). Fiber extraction and mechanical properties of Agave Americana/ Kenaf fiber reinforced hybrid epoxy composite. Tamil Nadu, India: Kongu Engineering College.
- Silva, A., De Castro, I., Pinto, E. (2019). Study of concrete properties with vegetal and polypropylene fibers for use in structural walls. *Revista materia*, 24(2). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620190002.0679>
- Soto, I., Ramalho, M. (2014). Aplicação de cinzas residuais e de fibra de sisal na produção de argamassas e concretos: revisão application of residual ash and sisal fiber in the production of mortar and concrete: review. *Ingeniería y desarrollo.*, 31(2), 344;368.
- Soluciones Ambientales Integrales S.A de C.V. (s.f.). Geomembrana de polietileno (PE). Obtenido de: <https://www.geosai.com/productos/geomembrana-de-polietileno-pe/>
- Suárez Y. (2019). Análisis de estabilidad de taludes aplicando diferentes técnicas de revegetalización.
- Taype, M., Vega, K. (2020). Incorporación de óxido de calcio y fibra de fique para el mejoramiento de la subrasante en el tramo unión leticia-condorcocha, junín, 2020. Universidad Andina del Cusco, 1–118. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/gutierrez_rs-sd.pdf?sequence=1&isallowed=y
- Vásquez, D. (2018). Manual de procedimientos generales para obras de control de procesos erosivos y deslizamientos pequeños en taludes teniendo en cuenta factores in situ como el clima, las características del suelo y la morfología del terreno. Universidad de Antioquia.
- Yao Z., Jeong H., Jang Y. (2022). Environmental toxicity and decomposition of polyethylene. Jinju, Republic of Korea: Division of Applied Life Science (BK21), Department of Applied Life Chemistry, Institute of Agriculture y Life Science (IALS).
- Zapata, L. (2009). Evaluación del Jugo de Fique como aditivo oclisor de aire y su influencia en la durabilidad y resistencia del concreto. 9–133.

Eliminación de Giardia y Cristosporidium en la planta de tratamiento de agua potable de Villa de Leyva, Boyacá, Colombia

Elimination of giardia and cryptosporidium
at the Villa de Leyva, Boyacá, Colombia
drinking water treatment plant

Martínez M. Cristian

Universidad Santo Tomás de Aquino
cristian.martinezm@usantoto.edu.co

Pardo R. Juan

Universidad Santo Tomás de Aquino
juan.pardor@usantoto.edu.co

Sierra R. Fabián

Universidad Santo Tomás, seccional Tunja
fabian.sierrar@usantoto.edu.co

Resumen

La Giardia y Cryptosporidium son parásitos que se encuentran expuestos en la entrega de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) del municipio de Villa de Leyva Boyacá. La investigación abarca una búsqueda bibliográfica a partir de recursos como buscadores booleanos sobre: tipos de coagulación, floculación, sedimentación, flotación por aire disuelto y desinfección. Finalmente se puede evidenciar que estos métodos convencionales no son eficientes para erradicar estos patógenos protozoos. Por otra parte, el resultado de la investigación sobre la flotación por aire disuelto logra romper una barrera protectora de estos quistes.

Palabras clave: Giardia, Cryptosporidium, coagulación, floculación, sedimentación, flotación por aire disuelto, desinfección.

Abstract

Giardia and Cryptosporidium are parasites that are exposed in the delivery of drinking water from the treatment plant of the municipality of Villa de Leyva Boyacá (PTAP). This research includes a bibliographic search using resources such as Boolean search engines on types of coagulation, flocculation, sedimentation, dissolved air flotation and disinfection. Finally, it can be shown that these conventional methods are not efficient to eradicate these pathogenic protozoa. On the other hand, the result of the research on dissolved air flotation manages to break a protective barrier of these cysts.

Keywords: Giardia, Cryptosporidium, coagulation, flocculation, sedimentation, dissolved air flotation, disinfection.

Para citar este artículo: Martínez M., Cristian; Pardo D., Juan; Sierra R., Fabián. "Eliminación de Giardia y Cryptosporidium en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Villa de Leyva, Boyacá, Colombia" In L'Esprit Ingenieur. Vol. 13-1, pp. 63-75.

1. INTRODUCCIÓN

Es necesario que la calidad del agua en el momento de ser distribuida por la planta de tratamiento sea apta para el consumo humano; si no se purifica de manera correcta se encontrarán en ella muchos contaminantes que pueden ser perjudiciales para la salud del consumidor. Al ser el agua un recurso destinado a labores cotidianas se aumenta el riesgo de estar expuesto a distintos agentes infecciosos.

La Giardia y Cryptosporidium son parásitos que se encuentran en el agua al salir de la planta de tratamiento del municipio de Villa de Leyva y afectan la zona intestinal de quien lo consume. Por esta razón, es indispensable remover estos microorganismos antes de la distribución de este recurso al municipio, con el fin de prevenir sus efectos más adelante.

La Giardia y Cryptosporidium, parásitos protozoarios entéricos obligados que infectan el tracto gastrointestinal de animales y humanos (Carey y Lee, 2004). Se presentan en el agua en forma de quistes, estos son casi esféricos con un diámetro de alrededor de 5 μm , que a su vez los protege del proceso de coagulación y el tratamiento convencional (floculación seguida de una filtración rápida a través de medios granulares) (Gregory, 1994). Para dar solución al paso de ooquistes se usa la flotación por aire disuelto que se enfoca en la separación de partículas de baja densidad que se pierden en los procesos de sedimentación por gravedad (Gregory, 1994).

Pese a ser un mejor proceso para la eliminación de parásitos que se encuentran en el agua en forma de quistes con baja densidad, cabe la posibilidad de que alguno de los quistes pase por el proceso de tratamiento; una solución para eliminarlos en tal caso puede ser la filtración: columnas de arena de grano fino que eliminan eficazmente los ooquistes en la variedad de condiciones examinadas con bajas concentraciones de estos (Logan, Stevik, Siegrist, y Ronn, 2001). Una extensa investigación se ha centrado en la optimización de los procesos de tratamiento y la aplicación de nuevas tecnologías para reducir las concentraciones de quistes (Betancourt y Rose, 2004).

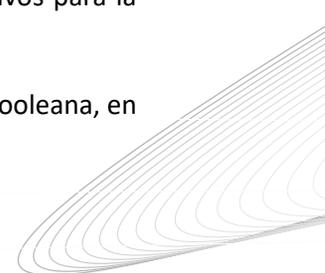
Dentro de los objetivos de este artículo se encuentran determinar el comportamiento de los parásitos Cryptosporidium y Giardia en la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Villa de Leyva e investigar sobre los procesos que ayuden a la eliminación de los microorganismos.

Desde luego, en la metodología de investigación, se buscó alternativas de solución para la eliminación de la Giardia y Cryptosporidium, con la finalidad de brindar información sobre el tratamiento efectivo del agua. Esto llevando a cabo un procedimiento explicativo, a través de antecedentes, brindando conclusiones y recomendaciones con un amplio estado del arte sobre el tema a tratar.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el desarrollo de la problemática planteada sobre la eliminación de la Giardia y Cryptosporidium, se realiza una búsqueda bibliográfica de tratamientos representativos y evolutivos para la eliminación efectiva de ooquistes en el último siglo.

Los investigadores consultados son producto de una indagación de información booleana, en la cual se usó como palabras claves; eliminación, Giardia y Cryptosporidium.



A partir de la ecuación a,b,c,d se consiguen resultados acordes a la investigación bibliográfica, con el fin de suprimir artículos de información acerca de otros organismos protozoarios y obtener similitud en la búsqueda. Por tanto, se emplean los operadores or, and, not, como se muestra a continuación.

- a. Cryptosporidium or Giardia
- b. Dissolved Air Flotation
- c. Cryptosporidium or oocyst or Giardia
- d. Cryptosporidium or oocyst or Giardia and “Dissolved Air Flotation”

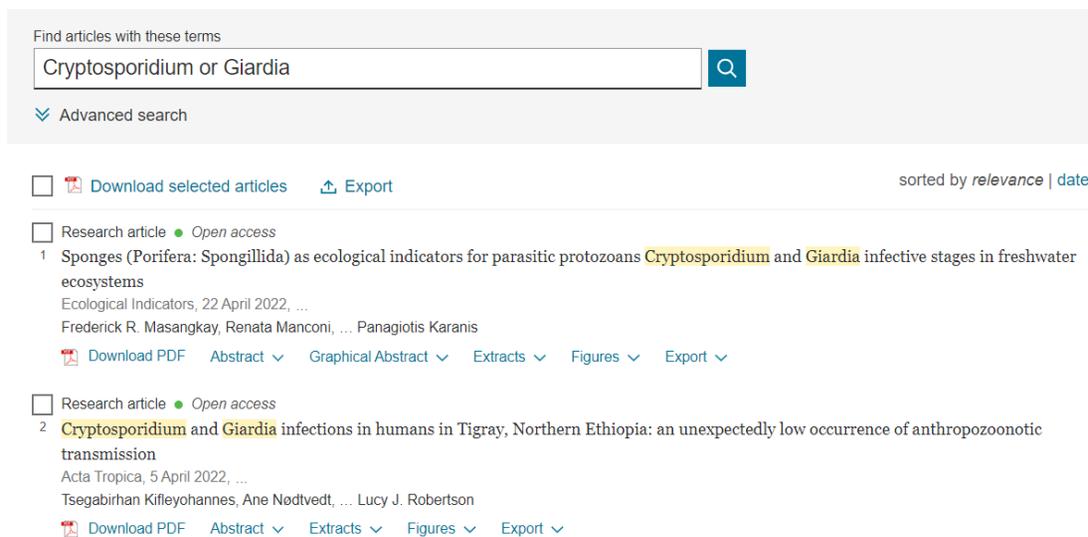


Figura 1. Búsqueda booleana.

Se encuentra que un método efectivo utilizado para la eliminación de estos parásitos es la flotación por aire disuelto (FAD), la cual remueve los sólidos suspendidos o flocs. Este procedimiento consiste en una fuerza de empuje que inserta finas burbujas de aire dentro del agua, separando los ooquistes de las sustancias en la fase líquida contenidas dentro del agua.

2.1 Buscadores Booleanos

- Cryptisporidium or oocyst or Giardia and “Dissolved Air Flotation”
- Cryptosporidium or Giardia
- Dissolved Air Flotation
- Cryptosporidium or oocyst or Giardia

3. RESULTADOS

Una extensa investigación se ha centrado en la optimización de los procesos de tratamiento y la aplicación de nuevas tecnologías para reducir las concentraciones de ooquistes, (Betancourt y Rose, 2004). El efecto del tratamiento químico de agua con sulfato de aluminio, sobre la infectividad del ooquiste *Cryptosporidium*, se ha evaluado mediante un ensayo que combina el cultivo celular y las técnicas de reacción en cadena de la polimerasa en tiempo real (Keegan, Daminato y Nonis, 2008); la coagulación con quitosano a dosis de 0,1, 0,5 y 1,0 mg/L no dio lugar a mejoras apreciables en la eliminación del ooquiste de *C. parvum* (Brown y Emelko, 2009). Por esto, se requiere buscar procesos alternativos al no poder romper los quistes de *Cryptosporidium*.

Debido a que los tratamientos convencionales no son muy efectivos para la eliminación de los quistes es necesario recurrir a otros métodos para el tratamiento de aguas más avanzados. Los tratamientos tradicionales son (coagulación, floculación y sedimentación) y estos son ineficaces si se manejan de manera separada, ya que para que la floculación se pueda dar, debe haber un coagulante inyectado en el proceso de coagulación y así mismo, con las partículas formadas en la floculación, bajan por su mayor densidad al fondo del tanque en la sedimentación para ser removidas.

El *Cryptosporidium parvum* se comporta de manera similar a otras partículas coloidales de baja densidad en el agua (French, Guest, Finch y Haas, 2000), en este caso, la flotación por aire disuelto se enfoca en la separación de partículas de baja densidad que se pierden en los procesos de sedimentación por gravedad.

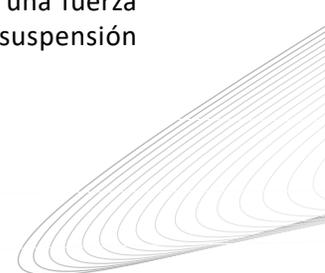
Pese a ser un proceso mejor para la eliminación de parásitos presentes en el agua en forma de quistes con baja densidad, cabe la posibilidad de que alguno de los quistes pase

por el proceso de tratamiento; una solución para eliminarlos puede ser la filtración (Logan, Stevik, Siegrist y Ronn, 2001).

Es importante determinar el número de ooquistes que se pueden encontrar en una muestra de agua, para ello es fundamental identificar que método es el más apropiado para llevar a cabo este proceso, aunque, en Colombia este ha sido un paso difícil de lograr debido al alto costo que tienen estos ensayos, la agencia de protección ambiental de estados unidos USEPA, ha desarrollado un método automatizado más económico que los métodos convencionales y con una reducción significativa en el porcentaje de errores; es un prototipo para el recuento de células CD4 capturando las células teñidas en una membrana dentro de un microchip seguido de obtener imágenes de las células capturadas y convertir la imagen digital en un recuento de células utilizando un algoritmo informático. (Bondelind, Sasic y Bergdahl, 2013).

El prototipo cuenta con dos mecanismos que funcionan a través de fuerzas magnéticas inducidas por estos mismos, el primer mecanismo emplea un poste magnético depositado dentro de una matriz de micro pocillos. Se crea un pozo de potencial magnético empinado al exponer el poste a un campo magnético usando una fuente magnética externa que puede ser un imán permanente o un electroimán. Cada pocillo tiene un diámetro de 5 o 12 μm que están cerca del tamaño de *Giardia* y *cryptosporidium*, respectivamente, por lo que pueden atrapar solo una célula. La velocidad de flujo de la muestra introducida se ha ajustado para empujar cualquier posible aglomeración de celdas hacia los pocillos siguientes (Ramadan y Chritophe, 2009).

El segundo mecanismo emplea el acoplamiento entre conductores portadores de corriente (CCC) planares a microescala y un imán permanente para generar una fuerza magnética programable en la suspensión



de perlas celulares (Fig. 2 b). Los CCC pueden ser funcionalizados eléctricamente para crear zonas de atracción y rebelión de acuerdo con la dirección actual de cada bucle (Ramadan y Chritophe, 2009).

En la Figura 2 (Imagen (a)), se muestran los dos mecanismos utilizados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, donde se evidencia las fuerzas magnéticas en forma de vectores que actúan en cada uno de ellos, y, en la Figura 3 (Imagen (b)) se muestra una representación esquemática de las células que estos mecanismos son capaces de capturar, esta imagen muestra microorganismos de un tamaño de $2.8 \mu\text{m}$, tamaño que está relacionado al de microorganismos como la Giardia y Cryptosporidium.

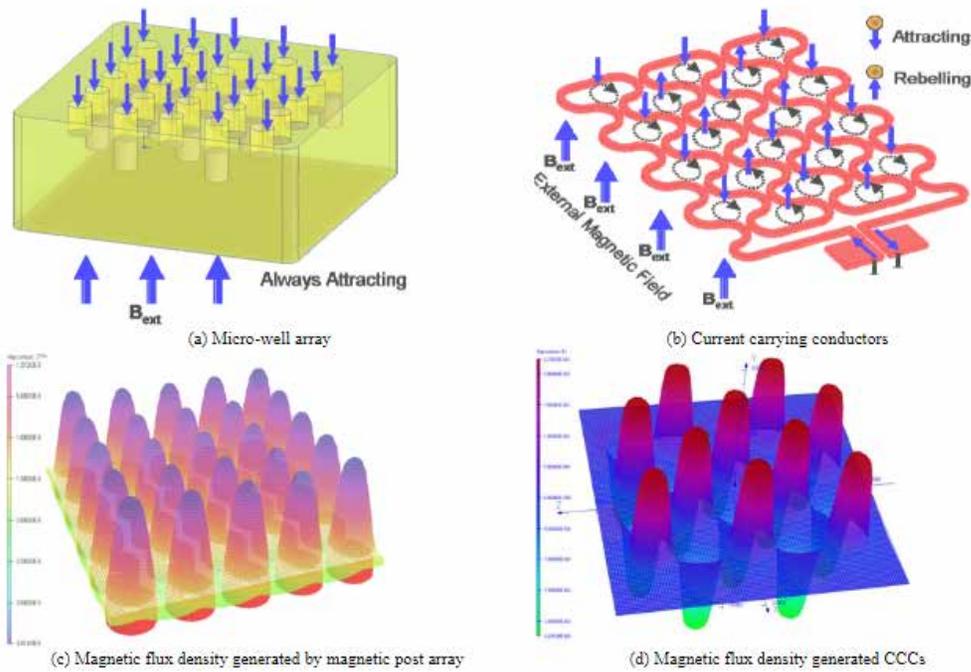


Figura 2. Fuerzas magnéticas.

Fuente: Ramadan y Chritophe (2009)

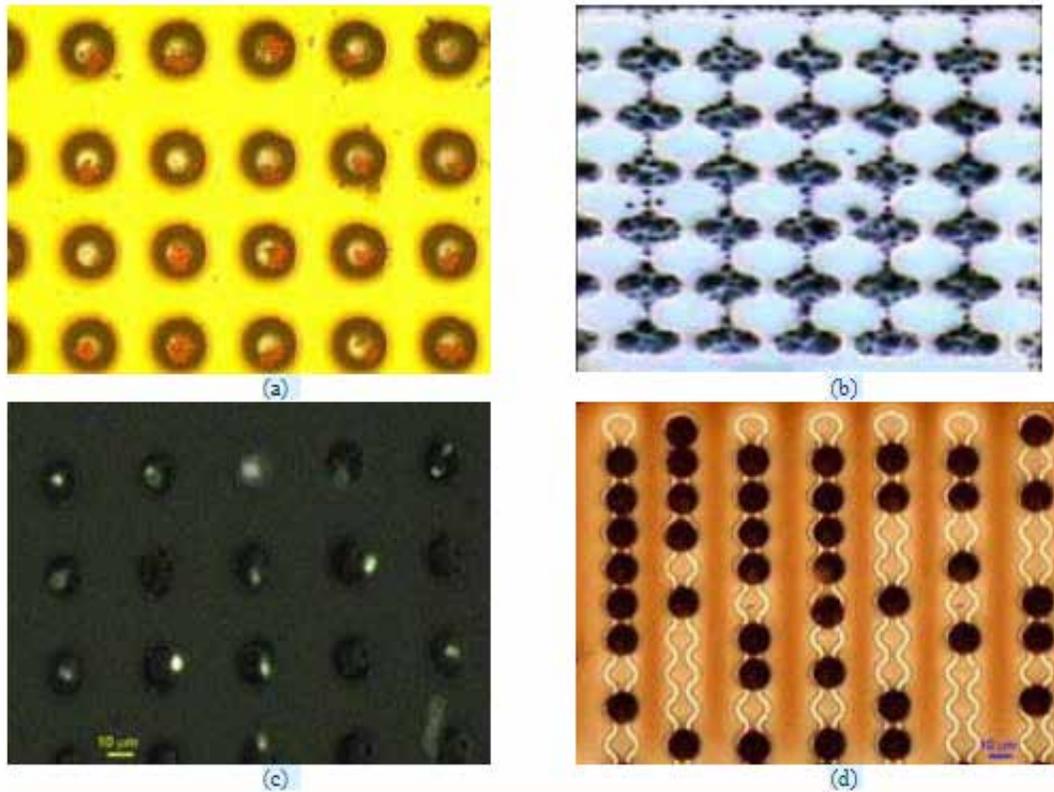


Figura 3. Fuerzas magnéticas.

Fuente: Ramadan y Chritophe (2009)

Uno de los métodos para la eliminación de los quistes de *Giardia* y *Cryptosporidium* es la inactivación por ozono. Este método consiste en disolver el ozono gaseoso en las instalaciones de tratamiento de agua, con el fin de proporcionar protección contra el parásito *Cryptosporidium parvum* (Craik, Smith, Chandrakanth, y Belosevic, 2003); pese a ser efectivo para la eliminación de los quistes, este método no es viable en Colombia por su alto costo.

Se debe tener en cuenta que la inactivación por ozono es riesgosa, puede producir bromato como subproducto de la desinfección, teniendo consecuencias en el cuerpo humano originando síntomas de depresión, degradación del ácido fólico, metahemoglobinemia, en casos más críticos cáncer y la muerte.

Adicionalmente, el clima que tenga el lugar donde se va a tratar el agua por medio del ozono va a interferir en los resultados esperados, por ejemplo, en climas templados, el ozono se puede usar apropiadamente para la desinfección y en dosis bastantes bajas (0.3-1 mg/L) para tiempos de contacto muy cortos (1 min) donde son capaces de inactivar hasta 99 % de quistes y ooquistes (Betancourt y Rose, 2004), en climas con menor temperatura el tiempo de contacto aumenta para las mismas dosis de ozono.

La eliminación de los quistes por inmovilización de células individuales tiene una eficiencia de inmovilización celular individual del 82 % (Ramadan y Chritophe, 2009). Sin embargo, este proceso es más minucioso y requiere de una tecnología más avanzada, que por el momento no es viable en el país.

Los estudios han demostrado que la eliminación de *Cryptosporidium* en todas las etapas del proceso de tratamiento convencional es influenciado en gran medida por la eficacia del pretratamiento de la coagulación (Betancourt y Rose, 2004).

Por consiguiente, la coagulación mejorada se define como el proceso de obtención de una mejor eliminación de los precursores de DBP (desinfección por medio de productos) mediante tratamiento convencional modificado que incluye la reducción del pH a niveles de 5–6 y el uso de dosis más altas de coagulantes (Betancourt y Rose, 2004). Si bien tenemos entendido que la *Giardia* y *Cryptosporidium* son microorganismos muy resistentes a tratamientos convencionales, se ha logrado eliminar parte de estos mediante altas concentraciones de desinfectante o coagulante con tiempos de contacto muy altos. En los ooquistes las remociones fueron más altas a un pH de 5.0 cuando las dosis de coagulante eran más altas que las actuales aplicados para la eliminación de la turbidez (Betancourt y Rose, 2004).

Betancourt and J. B. Rose evaluaron las remociones de *Giardia* y *Cryptosporidium* por flotación de aire disuelto DAF, combinada con filtración de doble sentido. DAF y filtración juntos lograron remociones promedio de >5 log, que fueron comparables a las logradas por sedimentación y filtración, dando un foco investigativo al estudio desarrollado en este método DAF (Betancourt y Rose, 2004).

El agua se mantiene en un tanque de retención bajo presión, durante varios minutos, para dar tiempo a que el aire penetre en el agua (de acuerdo con la Ley de Henry). Posteriormente se deja pasar el agua por una válvula para liberar la presión y luego se conduce al tanque de flotación donde el aire deja de estar en disolución y se desprende en forma de burbujas diminutas por todo el volumen del líquido, las cuales al ascender arrastran a la superficie las partículas que se pretenden eliminar (Novelo, López, Peraza, Borges y Riancho, 2008). Este proceso ha demostrado tener una gran efectividad en el tratamiento de agua para el consumo humano, eliminando partículas y microorganismos procedentes de la materia orgánica, como lo son la *Giardia* y *Cryptosporidium*.

No solo el número de burbujas de aire adheridas a un flóculo es relevante para el proceso, sino también el tamaño de las burbujas de aire y los flóculos afectan significativamente la eficiencia del proceso (Bondelind, Sasic y Bergdahl, 2013). M. Bondelind, S. Sasic, and L. Bergdahl, a partir de un modelo estudian el tamaño de los agregados formados en el proceso de flotación por aire disuelto. Obtienen a partir de esta investigación los siguientes resultados.

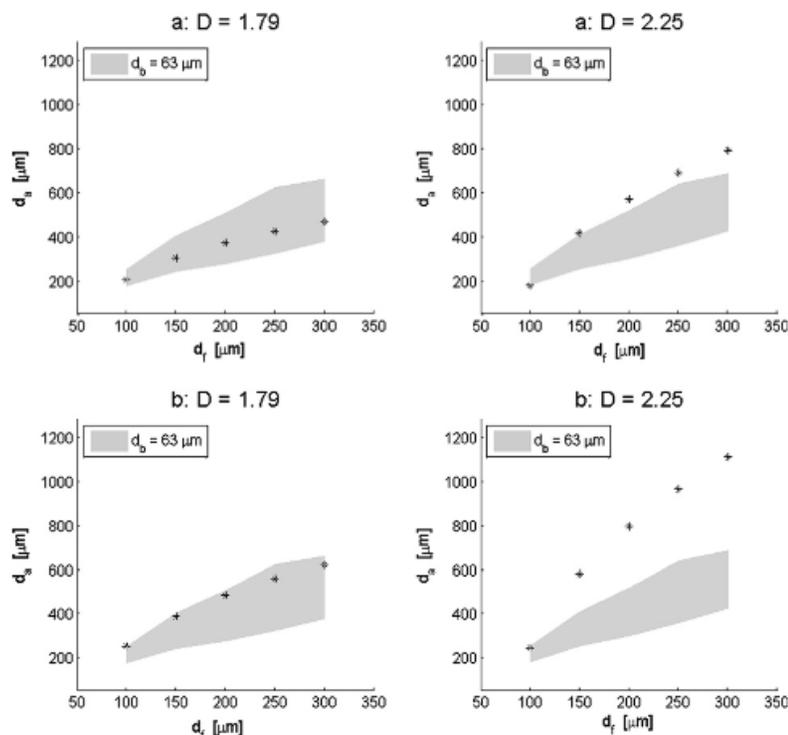


figura 4. Proceso de flotación por aire disuelto.

Fuente: Bondelind, Sasic y Bergdahl (2013)

Estudian el tamaño del agregado (d_a) en función del diámetro del floc (d_f), el área sombreada muestra los tamaños agregados estimados experimentalmente según el número de burbujas unido a un floc, D es un número experimental obtenido a través de un estudio de Johnson y Logan donde indagaron el cambio de las dimensiones fractales D a partir de la velocidad de sedimentación de los agregados, (Bondelind, Sasic y Bergdahl, 2013).

Las propiedades superficiales de los flóculos a eliminar en una planta de tratamiento de agua están determinadas por el material particulado en el agua bruta y el coagulante utilizados en la etapa de floculación. En este último, el coagulante se agrega para promover la formación de los flóculos sin embargo, es igualmente importante que las propiedades superficiales de los flóculos favorezcan la formación de agregados burbujas-flocs en el siguiente paso de flotación (Bondelind, Sasic y Bergdahl, 2013).

Estos microorganismos son difíciles de detectar y los equipos para su detección no son muy comunes en Colombia, en el caso del *Cryptosporidium* un método para ser detectado es el RT-PCR dirigida al ADN (Souza, Brien, Santin y Jenkins, 2019)

La filtración directa tampoco es un método muy eficaz a la hora de tratar el *Cryptosporidium*. Sin embargo, el uso del aditivo PolyDADMAC ayuda a una mayor eliminación de los quistes (Mnhephu, Fkwanzala y Mombra, 2021). El uso de productos químicos es muy común en los procesos de tratamiento estándar (Liu, y otros, 2019).

Además de productos químicos la investigación y las nuevas tecnologías han ayudado a encontrar nuevos métodos para reemplazar los tratamientos de agua convencionales, entre ellos el uso de la nanotecnología es un factor a tener en cuenta más adelante si se desean erradicar estos parásitos protozoarios (Gitis y Hankins, 2018).

Los quistes de Giarda y Cryptosporidium se presentan más que todo en las fuentes hídricas cercanas a mataderos y zonas ganaderas, puesto que se encuentran en las heces de estos animales (Jain, Costa Melo, Dolabella, Dolabella y Lin, 2019).

El Tratamiento de los parásitos protozoarios es una tarea complicada debido a su tamaño y resistencia a los tratamientos convencionales (Faloum, Avinmode y Adejinmi, 2021). Además de esto, cabe resaltar que existen muchos subtipos de Cryptosporidium por lo que el tratamiento y detección se vuelve más difícil (Ogura y Sabogal, 2021).

La separación en la flotación por aire disuelto se consigue introduciendo burbujas finas de gas (generalmente aire) en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas y la fuerza ascendente del conjunto de partículas y burbujas de gas es tal, que hace que la partícula ascienda a la superficie. De esta forma se pueden remover partículas de densidad menor que el líquido. Una vez que las partículas se hallan en la superficie, pueden recogerse mediante un rascador superficial (Petterson, Bradford, Wall y Byleveld, 2021).

La planta de tratamiento de agua potable de Villa de Leyva tiene unos procedimientos muy convencionales, por lo cual se puede afirmar que carece de procesos para la eliminación de microorganismos como la Giarda y Cryptosporidium. Estos están presentes en el punto de captación del agua de la planta de tratamiento, ya que se encuentra en una zona de ganadería y se encuentra expuesto a las heces de estos animales. Este punto de captación se llama Río Cané ubicado en la vereda Alto de los Migueles del municipio de Villa de Leyva.

El agua llega a una torre de aireación de cinco bandejas, cuatro de aireación y una de recolección, donde las funciones son oxigenación y oxidación. También se cuenta con un sistema de coagulación conformado por la caída de agua al canal de recepción del floculador generando una mezcla hidráulica la cual se encuentra en el punto de mezcla rápida del coagulante que es el químico que cumple la función de clarificación del agua, tal y como se evidencia en la Figura 5.



Figura 5. Sistema de coagulación.

Fuente: Aquaductos (2011)

A su vez, la planta de tratamiento de agua potable (PTAP), cuenta con un sistema de floculación donde se busca generar tres velocidades que aseguren la mezcla y acción del coagulante, en el caso de la planta de tratamiento con sulfato de aluminio tipo A, Figura 6.



Figura 6. Sistema de floculación.

Fuente: aquaductos (2011)

El último proceso de la planta de tratamiento de Villa de Leyva es el proceso de sedimentación (sedimentador de tasa alta) como se observa en la Figura 7, el cual se presenta un paso ascendente del agua acompañada de un módulo de sedimentación acelerada tipo colmena.



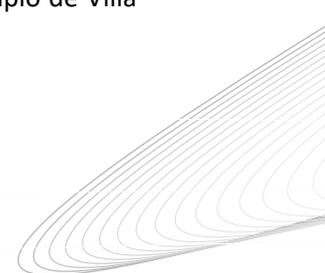
Figura 7. Proceso de sedimentación.

Fuente: Aquaductos (2011)

Para dar solución al proceso de la mejora de la planta de tratamiento es importante realizar una valoración exhaustiva respecto al ámbito ambiental del proyecto. Para esto se realiza una estimación mediante una matriz de impacto ambiental.

4. CONCLUSIONES

Un sistema convencional de coagulación, floculación, sedimentación y desinfección no logra eliminar por completo los patógenos detectados en la fuente de agua del municipio de Villa de Leyva, como *Giardia* y *Cryptosporidium*.



El flujo del agua en el proceso de coagulación no favorece una disolución efectiva del agente coagulante en el suministro de agua para la planta. La floculación y sedimentación en la planta tampoco son óptimas debido a la velocidad del agua y a la baja densidad de los quistes que actúan como una barrera protectora para los microorganismos que se intentan eliminar, permitiendo así el paso de patógenos al sistema de acueducto del municipio.

La técnica de flotación por aire disuelto, en cambio, logra romper esta barrera protectora de los microorganismos, incluyendo Giardia y

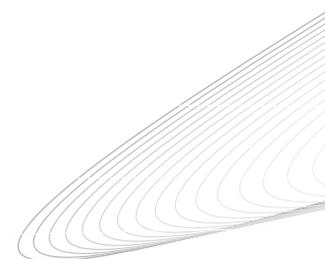
Cryptosporidium. Además, su diseño permite agrupar estos microorganismos con los sedimentos para su expulsión de la planta.

Los quistes encontrados presentan un comportamiento coloidal, mostrando una fase líquido-gas. En este caso, la coagulación y floculación no son métodos altamente efectivos para abordar esta situación. Por ende, se propone la implementación de una cámara de sedimentación para contrarrestar este efecto y mejorar la eficiencia del proceso.

REFERENCIAS

- Betancourt, Q., y Rose, J. (2004, diciembre). Drinking water treatment processes for removal of Cryptosporidium and Giardia.
- Bondelind, M., Sasic, S., y Bergdahl, L. (2013, marzo). A model to estimate the size of aggregates formed in a Dissolved Air Flotation unit.
- Brown, T., y Emelko, B. (2009). Chitosan and metal salt coagulant impacts on Cryptosporidium and microsphere removal by filtration.
- Carey, C., y Lee, H. a. (2004, febrero). Biology, persistence and detection of Cryptosporidium parvum and Cryptosporidium hominis oocyst.
- Craik, S., Smith, W., Chandrakanth, M. y Belosevic, M. (2003, septiembre). Effect of turbulent gas-liquid contact in a static mixer on Cryptosporidium parvum oocyst inactivation by ozone.
- Faloum, O., Avinmode, B., y Adejinmi, O. (2021, febrero). Molecular characterisation of Cryptosporidium isolates from rivers, water treatment plants and abattoirs in Ibadan, Nigeria.
- French, K., Guest, R., Finch, G., y Haas, C. (2000, noviembre). Correlación de la eliminación de Cryptosporidium mediante flotación por aire disuelto en el tratamiento del agua.
- Gitis, V., y Hankins, N. (2018, octubre). Water treatment chemicals: Trends and challenges.
- Gregory. (1994, mayo). Cryptosporidium in water: Treatment and monitoring methods.
- Investigación y Educación en Enfermería. (2007). El resumen de un artículo científico: Qué es y qué no es, 25(1), 14-17. Recuperado el 10 de marzo de 2016, de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-53072007000100001&lng=en&tln g=es.
- Jain, S., Costa Melo, T., Dolabella, S., Dolabella, S., y Lin, J. (2019, diciembre). Current and emerging tools for detecting protozoan cysts and oocysts in water.
- Keegan, D., Daminato, C., y Nonis, T. (2008, marzo). Effect of water treatment processes on Cryptosporidium infectivity.

- Liu, L., Wang, S., Craik, W., James, Z., Shu, R., y Lin, Y. (2019, septiembre). Removal of *Cryptosporidium* surrogates in drinking water direct filtration.
- Logan, A., Stevik, K., Siegrist, R., y Ronn, R. (2001, diciembre). Transport and fate of *Cryptosporidium parvum* oocysts in intermittent sand filters.
- Mnhephu, M., Fkwanzala, y Mombra, N. (2021, abril). *Cryptosporidium* species and subtypes in river water and riverbed sediment using next-generation sequencing.
- Novelo, R., López, A., Peraza, V., Borges, E., y Riancho, M. (2008). Remoción de materia orgánica y metales pesados de lixiviados por flotación con aire disuelto.
- Ogura, A., y Sabogal, L. (2021, abril). Detection and alkaline inactivation of *Cryptosporidium* spp. oocysts and *Giardia* spp. cysts in drinking-water treatment sludge.
- Petterson, S., Bradford, S. L., Wall, K., y Byleveld, P. (2021, agosto). Application of QMRA to prioritise water supplies for *Cryptosporidium* risk in New South Wales, Australia.
- Ramadan, Q., y Chritophe, L. (2009, septiembre). Individual cells immobilization for water-borne pathogen detection and enumeration.
- Souza, M., Brien, C., Santin, M., y Jenkins, M. (2019, febrero). A highly sensitive method for detecting *Cryptosporidium parvum* oocysts recovered from source and finished water using RT-PCR directed to *Cryptosporidium* RNA.
- U Rosario. (2016, 10 de marzo). Ciencias humanas - guías de calidad académica. Obtenido de: <http://www.urosario.edu.co/cienciashumanas/GuiasdeCalidadAcademica/49c/>



Alternativa a la corrección de la eficiencia por DBO soluble en lagunas de estabilización

Alternative to efficiency correction using soluble BOD in stabilization ponds

Acosta-Castellanos, Pedro Mauricio
Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja
Pedro.acosta@usantoto.edu.co

Pacheco-García, Brigid Hiomara
Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja
Brigid.pacheco@usantoto.edu.co

Resumen

Las lagunas de estabilización son un sistema de tratamiento de aguas residuales muy utilizado en zonas geográficas en desarrollo. Estos sistemas se caracterizan por los grandes espacios utilizados en términos de área, debido a los altos tiempos de retención hidráulica que se necesitan para remover la materia orgánica del agua residual. Uno de los métodos más conocidos es el planteado en 1970 por McGarry y Pescod, este modelo es prácticamente empírico y se basa en experimentaciones realizadas en modelos físicos. Algunas incertidumbres han surgido al pasar los años desde su aplicación como modelo de diseño, una de ellas es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) soluble como parámetro de corrección del efluente primario que busca darle un pulido al efluente dentro del tratamiento. En este artículo se presenta una alternativa más intuitiva al proceso de corrección por DBO soluble, que involucra la carga orgánica superficial máxima y la carga orgánica removida del efluente primario. Se logró conseguir eficiencias teóricas con la aplicación de esta premisa superiores al 90 % en todo el sistema de tratamiento.

Palabras clave: agua residual, tratamiento de agua residual, PTAR, plantas de tratamiento, DBO, DBO soluble.

Abstract

Stabilization ponds are a wastewater treatment system widely used in developing geographical areas. These systems are characterized by their large space requirements in terms of area due to the extended hydraulic retention times needed for organic matter removal from wastewater. One of the most well-known methods was proposed in 1970 by McGarry y Pescod. This model is primarily empirical and based on experiments conducted on physical models. Some uncertainties have arisen over the years since its application as a design model, one of which is the use of soluble Biochemical Oxygen Demand (BOD) as a parameter for primary effluent correction to provide further treatment. This article presents a more intuitive alternative to the correction process using soluble BOD, which involves the maximum organic surface load and the organic load removed from the primary effluent. The application of this premise resulted in theoretical efficiencies exceeding 90% throughout the treatment system.

Keywords: M Wastewater, wastewater treatment, WWTP (Wastewater Treatment Plant), treatment plants, BOD (Biochemical Oxygen Demand), soluble BOD.

Para citar este artículo: Acosta-Castellanos, Pedro M.; Pacheco García, Brigid. "Alternativa a la corrección de la eficiencia por DBO soluble en lagunas de estabilización." In L'Esprit Ingenieux. Vol. 13-1, pp. 76-87.

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales son aguas producto de la actividad humana que contienen diversos contaminantes, muchos de estos son fruto de los procesos de transformación del agua ambiente en el uso industrial o doméstico. Así mismo, contienen entre otras cosas productos químicos, microorganismos patógenos, nutrientes, entre otros (Eriksson et al., 2002). La mala disposición o vertimiento de estas aguas tiene un impacto significativo en el ambiente, así como en la biodiversidad y en la calidad de vida de los seres humanos (Acosta-Castellanos et al., 2023; Castro Ortégón et al., 2020)duration and frequency (IDF. Esto a su vez redundo en altos costos en el tratamiento de agua para el consumo humano y profundiza en los problemas asociados al cambio climático y al balance hídrico además de reducir la posibilidad de lograr el desarrollo sostenible en donde el agua residual no es tratada (Acosta-Castellanos y Queiruga-Dios, 2022).

Las aguas residuales tienen indicadores de contaminación que se utilizan para evaluar el grado y tipo de contaminación. Los indicadores son fundamentales para diseñar y operar las plantas de tratamiento de agua residual, algunos de estos indicadores son la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Oxígeno disuelto (OD), Sólidos suspendidos (SS), Coliformes fecales (CF), Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) entre otros (Eriksson et al., 2002).

El primer indicador que se evalúa para la remoción de contaminantes en plantas de tratamiento de aguas residuales es DBO. La DBO mide la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para descomponer la materia orgánica (MO) presente en el agua, la asociación entre presencia de materia orgánica y contaminación es directa, esto quiere decir que entre más alto el contenido de MO mayor es de esperar su grado de contaminación. A su vez, dentro del espectro de indicadores que se desprenden de la DBO, se puede encontrar la DBO soluble que es una fracción de la DBO total (Cárdenas et al., 2002). La DBO soluble se refiere a los compuestos orgánicos disueltos en agua, como carbohidratos, proteínas, grasas y otros compuestos biodegradables que están en solución y pueden ser utilizados por los microorganismos en el proceso de descomposición aeróbica (El-Rehaili, 1994).

La DBO soluble es importante en el tratamiento de aguas residuales porque indica la carga de MO soluble presente en el agua, que es esencial para determinar la cantidad de oxígeno necesario para su descomposición. Dentro de una planta de tratamiento reducir la DBO es indispensable para garantizar que se cumplan con los porcentajes de remoción o las normas específicas de vertimientos (Goffin et al., 2018). La principal diferencia entre la DBO total y la DBO soluble es la forma en que se considera la MO dentro del ensayo de laboratorio para su respectiva medición. La DBO total mide tanto la materia orgánica soluble como la no soluble, es decir, las partículas suspendidas o coloides, por su parte, la DBO soluble es únicamente la medida de la MO biodegradable que está disuelta en el agua (Amir y Gevorg P. Pirumyan, 2018; Aziz y Tebbutt, 1980; Leiviskä et al., 2008).

Las lagunas de estabilización o lagunas de oxidación son sistemas de tratamiento de aguas residuales con un tipo de tratamiento que busca reducir sus parámetros o indicadores de contaminación, especialmente se enfocan en la reducción de la DBO. Estos sistemas son caracterizados por tener pozos, piscinas o lagunas con profundidades no mayores a los 3 metros, en general con valores entre 1.0 metro a 1.5 metros. Estas piscinas permiten la descomposición aeróbica y anaeróbica de la materia orgánica a través de la acción de microorganismos presentes

en el agua y en el fondo donde actúan parcialmente los microorganismos anaeróbicos, debido a la acumulación de sedimentos (Crini y Lichtfouse, 2019; Saqqar y Pescod, 1992).

Las lagunas facultativas son una parte del sistema de lagunas de estabilización, que unidas a otras lagunas del mismo tipo o de otro, pueden conformar una planta de tratamiento de agua residual. La zona superficial está expuesta al aire y contiene oxígeno, lo que permite la descomposición aeróbica de la materia orgánica, a su vez favorece la simbiosis entre microorganismos, MO y la aparición de algas, estas últimas a su vez ayudan en el proceso de remoción de la MO y sirven como indicador de funcionamiento de la laguna. Por otra parte, en la zona más profunda hay una falta de oxígeno, lo que promueve la descomposición anaeróbica de la materia orgánica, pero en una menor proporción (Ellis y Rodrigues, 1995; Mara et al., 1979; Saqqar y Pescod, 1992).

Las lagunas facultativas son un sistema efectivo de tratamiento de agua residual, ya que ofrecen excelentes porcentajes de remoción de DBO y comparados con los sistemas convencionales de tratamiento son mucho más económicos. Esta última característica hace que sea una opción muy utilizada en países en vía de desarrollo o en zonas con limitados recursos económicos (Romero-Rojas, 2005).

El diseño de las lagunas facultativas generalmente es empírico y se basa en diferentes experimentaciones que han realizado investigadores de todo el mundo. Es así que pueden encontrarse modelos de diseño muy reconocidos como el de McGarry y Pescod formulado en 1970 y muchos más que se reparten en diferentes partes del globo, especialmente en zonas con temperaturas tropicales, ya que las temperaturas altas favorecen la remoción de MO (Ellis y Rodrigues, 1995; Mara et al., 1979; Romero-Rojas, 2005).

El modelo de diseño de McGarry y Pescod implica dentro de sus cálculos la suposición de una relación de DBO soluble, que usualmente

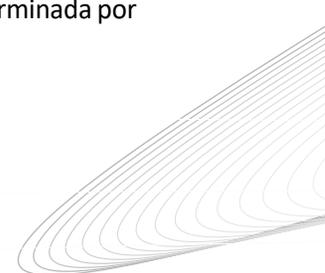
es tomada por la mayoría de diseñadores en 2, es decir en igual proporción. La suposición se basa en el hecho que la mayoría de los ensayos de laboratorio solo miden la DBO total y no la soluble, esta suposición solo puede ser aplicada en países o zonas donde se pretende tratar el agua residual y no existe la posibilidad de medir la soluble. En este artículo se propone una suposición alternativa dentro del diseño planteado por McGarry y Pescod en 1970 con respecto a la DBO soluble (Romero-Rojas, 2005).

2. METODOLOGÍA

Es importante aclarar que este artículo pretende ser la guía para los estudiantes de sistemas de tratamiento de agua residual o asignaturas similares de las facultades de ingeniería civil, sanitaria o ambiental de países donde comúnmente se aplican las lagunas facultativas. Para entender el reemplazo de la suposición en la DBO soluble, se procede en los acápites subsiguientes a mostrar el proceso de diseño común de una laguna facultativa por el método de McGarry y Pescod.

2.1 Carga orgánica superficial máxima (CMS)

Según McGarry y Pescod (1970), en los análisis operativos determinaron que en las lagunas facultativas la carga superficial puede aplicarse en un valor máximo antes de que entre en anaerobiosis y está intrínsecamente relacionada a la temperatura, en especial a la más baja que se presente en la zona de estudio. La carga superficial máxima es la que puede ser aplicada en relación con la superficie de contacto. La carga superficial máxima en lagunas facultativas se refiere a la cantidad máxima de carga orgánica, expresada en términos de DBO, que puede aplicarse por unidad de área superficial de la laguna sin comprometer la eficiencia de tratamiento del sistema, su cálculo está dado por la expresión empírica [1], determinada por McGarry y Pescod (1970).



$$CSM = 60.3 (1.0993)^{T_a} [1]$$

Donde;

CSM= Carga superficial máxima (kgDBO/ha-d)

T_a: Temperatura del mes más frío (grados centígrados)

2.2 Área superficial

El parámetro geométrico del área superficial es equivalente al área expuesta al ambiente una vez la laguna esté en uso y determinará la superficie necesaria para poder albergarla. Generalmente y por operatividad del tratamiento esta sección es rectangular, como puede verse en la figura 1. A su vez este parámetro de diseño está relacionado directamente por la CSM y se calcula con la expresión [2].

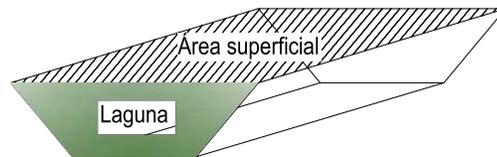


Ilustración 1. Representación gráfica del área superficial en una laguna facultativa.

El área en las lagunas facultativas representa un valor alto de superficie, usualmente llegando a valores por encima de los 10000 m², o 1 una hectárea (ha).

$$A = \frac{Q * DBO}{CSM}$$

Donde;

A: Área

DBO: Demanda biológica de oxígeno (mg/lt)

CSM: Carga orgánica superficial máxima (kgDBO/ha-d)

2.3 Tiempo de residencia hidráulico o de retención

El tiempo de residencia hidráulico es el tiempo en que el agua residual va a estar en la laguna. Cabe recordar que este tipo de tratamientos dan como resultado tiempos prolongados, usualmente semanas, o meses, debido a que la degradación biológica se realiza sin ayuda de adición de sustrato, procesos mecánicos o químicos. Los tiempos de residencia hidráulica alta están asociados a los valores altos de área superficial y a su vez a la profundidad de las lagunas, la expresión [3], se usa para calcular este parámetro de diseño.

$$\theta h = \frac{A * H}{Q} \quad [3]$$

Donde;

θh : Tiempo de residencia hidráulica (días)

A: área (m²)

H: profundidad útil de la laguna (m)

Q= Caudal (m³/día)

2.4 Carga orgánica volumétrica (COV)

La carga orgánica volumétrica o carga orgánica específica, es un parámetro utilizado en el diseño y la operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, que se calcula con la expresión [4]. Este valor representa la cantidad de materia orgánica presente en un volumen específico de agua que fluye a través del sistema de tratamiento en un período de tiempo específico. Se expresa en unidades de masa de materia orgánica por unidad de volumen y tiempo, como kilogramos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) por metro cúbico por día (kg DBO/m³·d) o gramos de DBO por litro por día (g DBO/L·d). La COV es un indicador importante para evaluar la eficiencia y la capacidad de un sistema de tratamiento. Este parámetro ayuda a monitorear y controlar la eficiencia del proceso de tratamiento, asegurando que la carga orgánica no supere la capacidad de descomposición biológica o la CMS. Si la carga es demasiado alta, puede resultar en un rendimiento insuficiente.

$$COV = \frac{DBO * Q}{A * H} \quad [4]$$

Donde;

COV: Carga volumétrica orgánica (gDBO/m³-día)

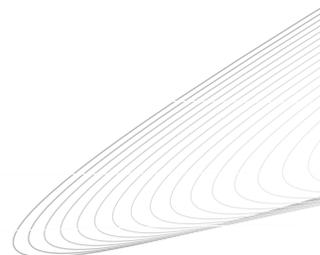
DBO: Demanda biológica de oxígeno (g/l)

Q= Caudal (m³/día) A: área (m²)

H: profundidad útil de la laguna (m)

2.5 Carga orgánica superficial removida (COV)

Una vez determinados los parámetros geométricos de la laguna se puede llevar a cabo el cálculo de la remoción de carga orgánica, mediante la expresión [5], hallada mediante procesos comparativos de operación.



$$COR = 10.35 + 0.752 * (CSM) [5]$$

Donde;

COR: Carga orgánica superficial removida (kgDBO/ha-d)

CSM: Carga orgánica superficial máxima (kgDBO/ha-d)

La carga orgánica superficial removida en una laguna facultativa se refiere a la cantidad de materia orgánica expresada en DBO, que es eliminada o reducida por unidad de área superficial de la laguna facultativa durante un período determinado. Es un indicador que evalúa la eficiencia del proceso de tratamiento en la laguna facultativa para remover la carga orgánica presente en el agua residual. Este parámetro está asociado a la CMS como puede verse en la ilustración 2, que a su vez se relaciona con la temperatura del mes más frío.

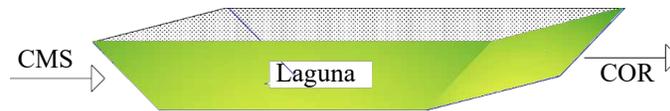


Ilustración 2. Representación de la carga de entrada en forma de CMS y la de salida en forma de COR en una laguna facultativa.

2.6 Eficiencia de remoción

Le eficiencia de remoción es la cantidad de DBO que puede remover el sistema por unidad de superficie con relación a un día de operación, generalmente se expresa en % de eficiencia, se calcula bajo la relación de CSM y COR como se observa en la expresión 6.

$$E_1 = \frac{COR}{CSM} [6]$$

Donde;

E: Eficiencia (%)

COR: Carga orgánica superficial removida (kgDBO/ha-d)

CSM: Carga orgánica superficial máxima (kgDBO/ha-d)

El valor porcentual restante es el remanente de DBO que no podrá ser removido, y se calcula con la expresión [7], este valor es teórico y existen varias incertidumbres en el proceso de aplicación y operación de este tipo de tratamientos, adicional a que está basado en procesos empíricos, por lo tanto, es necesario prácticamente en todos los casos corregir el sistema de tratamiento teniendo presente otros factores que adicionen confiabilidad al efluente que se pretende tratar (Mara, 2003),

$$CO_1 = DBO * Q * E_r [7]$$

Donde;

Er=Remanente

Q =Caudal (m³/día)

DBO=Demanda biológica de oxígeno (g/Lt)

2.7 Corrección del sistema por DBO soluble

Teniendo presente las incertidumbres mencionadas, la corrección del efluente primario se hace bajo la suposición de DBO soluble, en la gran mayoría de casos este valor se asume como una relación de 2. Es decir que el DBO_{total}/DBO soluble igual a 2. En este punto es importante mencionar que la CMS es lo máximo que el sistema podrá soportar y que la CO1 no puede superar el valor de CMS. Esto a su vez implica una incertidumbre adicional a las ya mencionadas, pues el sistema puede tener un sobredimensionamiento o un subdimensionamiento cuando el valor de CO1 en el primer caso es muy bajo o en caso contrario muy alto (Romero-Rojas, 2005).

Posterior a lo anterior, el modelo se calcula nuevamente siguiendo todos los parámetros anteriores y se determina la eficiencia global del sistema, a partir de la remoción del efluente primario y el secundario, este último teniendo presente la premisa de la DBO soluble.

3. ALTERNATIVA AL DBO SOLUBLE COMO CORRECCIÓN DEL SISTEMA

Tomando como base la incertidumbre que genera el asumir la relación de DBO soluble y DBO total que es usada generalmente para el cálculo del efluente secundario que, a su vez, busca generar un factor de seguridad para darle una mejor eficiencia al sistema. Se buscó determinar una alternativa igual de coherente y que a su vez genere un factor de seguridad a todo el sistema elevando la eficiencia global del sistema.

Para visualizar mejor el problema asociado al asumir la relación de DBO soluble se muestra en la Tabla 1. El cálculo de una laguna facultativa teniendo una relación de 2 en DBO soluble y total. Se tomó como ejemplo un DBO del afluente de 200 mg/lit. El valor de CO1 se calculó con la expresión [7] y a su vez CO1c se determinó a partir de la relación de 2 en DBO soluble, es decir el valor se multiplicó por 2. Aunque el valor no supera la CSM, en la eficiencia global del sistema se observa que se supera el 100 %, esto como ya se mencionó anteriormente es un sobredimensionamiento del sistema inducido por la suposición de la relación de DBO_{total} y DBO soluble.

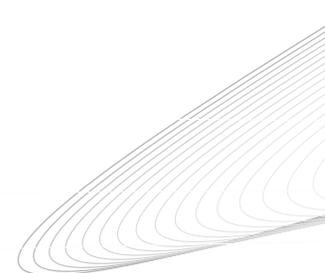


Tabla 1. Cálculo de una laguna facultativa por McGarry y Pescod, asumiendo un valor de relación de DBOtotal/DBOsoluble de 2.

DBO	200	mg/Lt
Temperatura	29	°C
Caudal	700	m ³ /día
CSM	939,05	KgDBO/ha.d
Área	0,1491	Ha
Área	1490,8712	m ²
∅h	6,38945	día
COV	0,03130161	KgDBO/Lt.d
COR	691,160006	KgDBO/Ha.d
E1	0,736	74%
CO1	36,9569	mgDBO/Ha.d
CO1c	73,9138967	
Área	1,8941	Ha
Área	18940,96	m ²
∅h	81,17553	día
COV	0,0024638	KgDBO/Lt.d
COR	37,1437876	KgDBO/Ha.d
E2	1,005	101%
E Global	1,001	100%

Para no incurrir en este error inducido, existe la alternativa de reducir el valor de relación, pero aun así se basaría en una suposición. Por este motivo se propone estimar un valor de CO1c mediante la relación de DBO de entrada y DBO de salida. Es decir, la CSM restando el valor de COR, que sería el remanente del sistema, este valor es la parte de DBO total (que ya incluye el DBO soluble) que no va a ser removido del sistema. Por lo tanto, el CO1c se calcularía mediante la expresión [8].

$$CO_1 = CMS * COR[8]$$

Con esta expresión coherente en unidades de carga se corregiría la incertidumbre asumida por la relación de DBO soluble. Así las cosas, el mismo ejemplo que se muestra en la tabla 1, pero con corrección de carga teniendo presente la expresión [8], se tendrían los resultados que se muestran en la tabla 2.

Tabla 1. Cálculo de una laguna facultativa por McGarry y Pescod, tomando el valor de remanente COR.

DBO	200	mg/Lt
Temperatura	29	°C
Caudal	700	m ³ /día
CSM	939,05	KgDBO/ha.d
Área	0,1491	Ha

Área	1490,8712	m ²
∅h	6,38945	día
COV	0,03130161	KgDBO/Lt.d
COR	691,160006	KgDBO/Ha.d
E1	0,736	74 %
CO1	247,8883	mgDBO/Ha.d
CO1C	247,8883	
Área	0,5648	Ha
Área	5647,71	m ²
∅h	24,20445	día
COV	0,00826294	KgDBO/Lt.d
COR	190,069002	KgDBO/Ha.d
E2	0,767	77 %
E _{Global}	0,938	94 %

Como puede observarse la eficiencia global del sistema baja, esto influenciado por la eficiencia del efluente secundario, ya que el efluente primario en ambos casos no cambia, el área total a su vez también se reduce. Bajo esta premisa se sigue considerando un factor de seguridad pues se calcula un efluente secundario al igual que en el caso de la relación por DBO soluble.

4. CONCLUSIONES

La DBO soluble que se asume dentro de los cálculos para el diseño de una laguna facultativa por el método de McGarry y Pescod, aunque genera un grado de confiabilidad alto, puede inducir a sobredimensionamientos, que a su vez debido al tipo de características asociadas al área que tienen las lagunas facultativas, puede repercutir en altos costos de construcción. Teniendo presente que estos sistemas de tratamiento son mayormente utilizados en países en desarrollo, esto puede suponer que obras tan importantes, puedan desecharse por sus altos costos dentro de estas regiones.

Con la expresión planteada en esta investigación se alcanzaron en diferentes escenarios valores superiores en eficiencia total al 93 % y nunca superan el 100 %. Caso contrario al utilizar la relación de 2 de DBO soluble, donde se tienen eficiencias globales superiores al 100 %. Bajo la suposición de tener un solo efluente, es decir, el efluente primario, donde en cualquiera de los casos las eficiencias no superan el 80%.

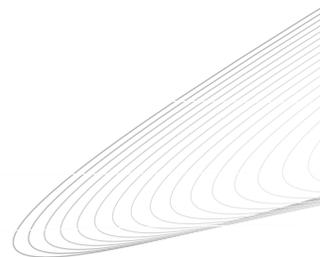
Es importante mencionar que los valores de eficiencias superiores al 100% utilizando la relación de DBO soluble se alcanzan en los casos de DBO bajas y caudales bajos, esto es debido a las expresiones empíricas implícitas en el método, con la alternativa planteada en este artículo se omite estos errores y permite dar un pulido al efluente primario asignado un valor de seguridad que aumenta la eficiencia global en el sistema.

Aunque la alternativa planteada supone una solución a errores inducidos bajo la relación de DBO soluble y total, es necesario revisar el argumento y expresión acá planteadas mediante la construcción de una planta piloto que determine su uso correcto. Por tal motivo, es importante mencionar que se debe seguir investigando al respecto y generar otras alternativas a la suposición de valores inherentes a los modelos empíricos para el cálculo de lagunas de estabilización.

5. REFERENCIAS

- Acosta-Castellanos, P. M., Castro Ortegón, Y. A. y Perico Granados, N. R. (2023). Regionalization of IDF Curves by Interpolating the Intensity and Adjustment Parameters: Application to Boyacá, Colombia, South America. *Water* 2023, Vol. 15, Page 561, 15(3), 561. <https://doi.org/10.3390/W15030561>
- Acosta-Castellanos, P. M., y Queiruga-Dios, A. (2022). Education for Sustainable Development (ESD): An Example of Curricular Inclusion in Environmental Engineering in Colombia. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 9866, 14(16), 9866. <https://doi.org/10.3390/SU14169866>
- Amir, H., y Gevorg P. Pirumyan. (2018). Evaluation of Non-Organic Solids Removal in Wastewater Treatment of Pulp Factories with Ozonation. *International Journal of Scientific Engineering and Science*, 2, 9–11. https://www.academia.edu/36284661/Evaluation_of_Non_Organic_Solids_Removal_in_Wastewater_Treatment_of_Pulp_Factories_with_Ozonation
- Aziz, J. A., y Tebbutt, T. H. Y. (1980). Significance of COD, BOD and TOC correlations in kinetic models of biological oxidation. *Water Research*, 14(4), 319–324. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90077-9](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90077-9)
- Cárdenas, C., Perruelo, T., Fernández, D., Quero, R., Chávez, E., Saules, L., y Herrera, L. (2002). Treatment for domestic wastewater by using aerated ponds. *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia*, 25(2), 00–00. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702002000200003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Castro Ortegón, Y. A., Acosta Castellanos, P. M., Pardo Garcia, M. A., y Guisa Arias, S. A. (2020). Design of an Aquaponic Production System for the Quinchas of the Municipality of Otanche - Boyacá, under the Approach of the New Rurality. *ACM International Conference Proceeding Series*, 219–224. <https://doi.org/10.1145/3434780.3436672>
- Crini, G., y Lichtfouse, E. (2019). Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 17(1), 145–155. <https://doi.org/10.1007/S10311-018-0785-9/METRICS>
- El-Rehaili, A. M. (1994). Implications of activated sludge kinetics based on total or soluble BOD, COD and TOC. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 15(12), 1161–1172. <https://doi.org/10.1080/09593339409385525>
- Ellis, K. V., y Rodrigues, P. C. C. (1995). Multiple regression design equations for stabilization ponds. *Water Research*, 29(11), 2509–2519. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(95\)00081-U](https://doi.org/10.1016/0043-1354(95)00081-U)
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., y Ledin, A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, 4(1), 85–104. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4)
- Goffin, A., Guérin, S., Rocher, V., y Varrault, G. (2018). Towards a better control of the wastewater treatment process: excitation-emission matrix fluorescence spectroscopy of dissolved organic matter as a predictive tool of soluble BOD5 in influents of six Parisian wastewater treatment plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(9), 8765–8776. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1205-1>

- Leiviskä, T., Nurmesniemi, H., Pöykiö, R., Rämö, J., Kuokkanen, T., y Pellinen, J. (2008). Effect of biological wastewater treatment on the molecular weight distribution of soluble organic compounds and on the reduction of BOD, COD and P in pulp and paper mill effluent. *Water Research*, 42(14), 3952–3960. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.06.016>
- Mara, D. D. (2003). *Domestic Wastewater treatment in developing countries* (2nd ed.). Earthscan.
- Mara, D. D., de Ceballos, B. S., y Silva, S. A. (1979). Design Verification for Tropical Oxidation Ponds. *Journal of the Environmental Engineering Division*, 105(1), 151–155. <https://doi.org/10.1061/JEEGAV.0000864>
- Romero-Rojas, J. (2005). *Lagunas de estabilización de aguas residuales*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogota, Colombia.
- Saqqar, M. M., y Pescod, M. B. (1992). Modelling coliform reduction in wastewater stabilization ponds. *Water Science and Technology*, 26(7–8), 1667–1677. <https://doi.org/10.2166/WST.1992.0610>



Políticas para autores

SELECCIÓN DE ARTÍCULOS

Entre los criterios que se tendrán en cuenta para la selección de los artículos se encuentran los definidos a continuación:

1) Artículo de investigación científica: Documento que presentan resultados originales de proyectos de investigación científica terminados.

2) Artículo de reflexiones originales: Documento que presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.

3) Artículo de revisión: Estudios hechos por el o los autores con el fin de dar una perspectiva general del estado de un dominio específico de la ciencia y la tecnología, de sus evoluciones durante un período de tiempo, y donde se señalan las perspectivas de su desarrollo y de evolución futura. Estos artículos son realizados por quienes han logrado tener una mirada de conjunto de dominio y están caracterizados por revisar una amplia bibliografía, que se refleja en el gran número de referencias bibliográficas, por lo menos de 50 referencias.

Tipos de artículos

Estructura del artículo

A continuación se presentan las características y requisitos que deben contener los artículos presentados por los autores a consideración del Comité Editorial para su publicación.

Título	Debe incluir el título de trabajo que resuma en forma clara y concisa la idea principal de la Investigación. Máx. 15 palabras.
Autor(es)	Nombre(s) del (los) autor(es), nombre de la Institución a la cual pertenece(n), país de la institución, correo electrónico institucional y último título académico obtenido.
Resumen	Debe contar con una extensión entre 100 y 200 palabras. El resumen según el campo de las ciencias administrativas, de negocios y contables tendrá que ser analítico, en el cual se evidencie de manera concisa la problemática del autor, sus hipótesis y sus propuestas. Corregir la redacción, reduciendo el texto a lo mínimo indispensable, quitando las palabras inútiles, las repeticiones, imprecisiones y las ambigüedades, eliminar los adjetivos calificativos.
Palabras clave	Mín. 3 - Máx. 10 palabras con base a Tesouro de la UNESCO.
Abstract	Será la traducción al inglés del resumen, en la que el autor vele por conservar el sentido del mismo.
Keywords	Debe corresponder a la traducción al inglés de las palabras clave consignadas en español.

Introducción	Se deben incluir tres ítems: a) un planteamiento del problema objeto de estudio y la estrategia de investigación a utilizar; b) una revisión de la literatura recolectada para abarcar el estudio del problema y; c) el planteamiento del propósito del trabajo, una hipótesis y la definición de las posibles variables.
Metodología	Se expone en qué etapa de la investigación se ubica el trabajo, los diseños y métodos utilizados para el estudio del problema.
Resultados	Brevemente se discuten los resultados o hallazgos.
Conclusiones	Reflexiones personales. Deben ir relacionadas con los objetivos del estudio, evite declaraciones no derivadas de los resultados del estudio.
Referencias	Se requiere la utilización del sistema APA (American Psychological Association) Sexta edición para las citas de referencia.

El artículo deberá ser presentado en procesador de palabra, compatible con Word, con una extensión entre 15 y 25 páginas tamaño carta, en letra Arial 12, con espacio interlineado de 1,5 y márgenes de 3 cm.

Nota: El Comité Editorial tiene autonomía para decidir acerca de la extensión de los artículos. Así mismo, en casos especiales podrá determinar la extensión de algunos artículos.

Nota: Las imágenes deben ser presentadas en formatos jpg o tif. Se recomienda una buena resolución al momento de capturarlas.

Derechos de Autor

Los autores que postulen sus artículos para publicación, deben firmar una carta acorde al formato de la Revista presentado a continuación, donde se garantiza la originalidad del escrito y la cesión de derechos de autor.

Nota: El Comité Editorial tiene autonomía para decidir acerca de la extensión de los artículos. Así mismo, en casos especiales podrá determinar la extensión de algunos artículos.

-En una nota o pie de página superpuesta al nombre del autor, en el inicio del artículo, debe mencionarse cargo e institución en que labora, máximo título académico obtenido, correo electrónico, nombre del proyecto y estado de la investigación, grupo de investigación al cual pertenece y la clase de artículo que es.

Nota: El comité editorial se reserva el derecho a publicar aquellos artículos que hayan cambiado con motivo de una eventual corrección de estilo, inclusive siendo aceptados.

Referencias bibliográficas:

Se sugiere la utilización del sistema APA (American Psychological Association) para las citas se referencia, así:

CITAS DE REFERENCIA EN EL TEXTO (CITA TEXTUAL)

El estilo APA requiere que el autor del trabajo documente su estudio a través del texto, identificando autor y fecha de los recursos investigados. Este método de citar por autor fecha (apellido y fecha de publicación), permite al lector localizar la fuente de información en orden alfabético, en la lista de referencias al final del trabajo.

Cita en el texto de una obra por un autor:

1. De acuerdo a Meléndez Brau (2000), el trabajo afecta los estilos de ocio...
 2. En un estudio sobre la influencia del trabajo sobre los estilos de ocio... (Meléndez Brau, 2000).
 3. En el año 2000, Meléndez Brau estudió la relación entre los estilos de ocio y el trabajo...
- Cuando el apellido del autor forma parte de la narrativa, como ocurre en el ejemplo 1, se incluye solamente el año de publicación del artículo entre paréntesis. En el ejemplo 2, el apellido y fecha de publicación no forman parte de la narrativa del texto, por consiguiente, se incluyen entre paréntesis ambos elementos, separados por una coma. Rara vez, tanto la fecha como el apellido forman parte de la oración (ejemplo 3), en cuyo caso no llevan paréntesis.

B. Obras con múltiples autores:

1. Cuando un trabajo tiene dos autores (as), siempre se cita los dos apellidos cada vez que la referencia ocurre en el texto.
2. Cuando un trabajo tiene tres, cuatro o cinco autores, se citan todos los autores la primera vez que ocurre la referencia en el texto. En las citas subsiguientes del mismo trabajo, se escribe solamente el apellido del primer autor seguido de la frase "et al." y el año de publicación.

Ejemplos:

Ramírez, Santos, Aguilera y Santiago (1999). Encontraron que los pacientes... (primera vez que se cita en el texto).

Ramírez et al. (1999). Concluyeron que... (próxima vez que se menciona en el texto).

-Cuando una obra se compone de seis o más autores (as), se cita solamente el apellido del primer autor seguido por la frase "et al." y el año de publicación, desde la primera vez que aparece en el texto. (En la lista de referencias, sin embargo, se proveen los apellidos de todos los autores.)

-En el caso que se citen dos o más obras por diferentes autores en una misma referencia, se escriben los apellidos y respectivos años de publicación, separados por un punto y coma dentro de un mismo paréntesis.

Ejemplo:

En varias investigaciones (Ayala, 1994; Conde, 1996; López & Muñoz, 1999). Concluyeron que...

Citas literales:

-Todo el texto que es citado directamente (palabra por palabra) de otro autor requiere de un trato diferente para incluirse en el texto. Al citar directamente, se representa la cita palabra por palabra y se incluye el apellido del autor, año de publicación y la página en donde aparece la cita.

-Cuando las citas directas son cortas (menos de 40 palabras), estas se incorporan a la narrativa del texto entre comillas. Las normas de la APA no aclaran si ese texto debe ir en cursiva o no, desde mi punto de vista si el texto va corrido dentro de un párrafo más amplio se deja en letra normal, pero si se destaca con dos puntos y aparte entonces debe poner en cursiva.

Ejemplo:

“En estudios psicométricos realizados por la Universidad de Connecticut, se ha encontrado que los niños tienen menos habilidades que las niñas” (Ferrer, 1986, p. 454).

-Cuando las citas directas constan de 40 o más palabras, estas se destacan en el texto en forma de bloque sin el uso de comillas. Comienza este bloque en una línea nueva, sangrando las mismas y subsiguientes líneas a cinco espacios (se puede utilizar el Tabulador). El bloque citado se escribe a doble espacio.

Ejemplo:

Miele (1993), encontró lo siguiente:

El “efecto de placebo” que había sido verificado en estudio previo, desapareció cuando las conductas fueron estudiadas de esta forma. Las conductas nunca fueron exhibidas de nuevo aun cuando se administran drogas verdaderas. Estudios anteriores fueron claramente prematuros en atribuir los resultados al efecto placebo (p. 276).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS AL FINAL DEL DOCUMENTO

La lista bibliográfica según el estilo APA guarda una relación exacta con las citas que aparecen en el texto del trabajo. Solamente se incluyen aquellos recursos que se utilizaron para llevar a cabo la investigación y preparación del trabajo y que, por tanto, están citados en el cuerpo del mismo tal y como se veía en el apartado anterior.

- La lista bibliográfica se titulará: Referencias bibliográficas o Referencias.
- La lista tiene un orden alfabético por apellido del autor y se incluye con las iniciales de sus nombres de pila.
- Debemos sangrar la segunda línea de cada entrada en la lista a cinco espacios (utilice la función sangría francesa del procesador de palabras).
- Los títulos de revistas o de libros se ponen en letra itálica; en el caso de revistas, la letra itálica comprende desde el título de la revista hasta el número del volumen (incluye las comas antes y después del número del volumen).
- Se deja un solo espacio después de cada signo de puntuación.

Formatos básicos generales

Publicaciones periódicas (revistas)

- Autor, A.A. (año). Título del artículo. Título de la revista, volumen, páginas.

Publicaciones no periódicas (libros)

- Autor, A.A. (año). Título de la obra. Lugar de publicación: Editor o casa publicadora.

EJEMPLOS DE REFERENCIAS

Revistas profesionales o “journals”.

Artículo con dos autores:

- Campoy, T.J. y Pantoja, A. (2005). Hacia una expresión de diferentes culturas en el

aula: percepciones sobre la educación multicultural. *Revista de Educación*, 336, 415 – 136.

Artículo con un solo autor:

- Pantoja, A. (2005). La acción tutorial en la universidad: propuestas para el cambio. *Cultura y Educación*, 17 (1), 67-82.

Revista popular (magacín)

- Sánchez, A. (2000, mayo). Bogotá: La capital más cercana a las estrellas. *Geomundo*, 24, 20-29.

Se incluye la fecha de la publicación –el mes en el caso de publicaciones mensuales y el mes y el día en el caso de publicaciones semanales. Se incluye número de volumen.

Artículos de periódicos

- Ferrer, M. (2000, 14 de julio). El centro de Bellas Artes escenario para 12 estrellas de ópera. *El San Juan Star*, p. 24.

Ejemplos de referencia a libros

- Pantoja, A. (2004). *La intervención psicopedagógica en la Sociedad de la Información. Educar y orientar con nuevas tecnologías*. Madrid: EOS.

Libro con nueva edición:

- Match, J. E., & Birch, J. W. (1987). *Guide to successful thesis and dissertation* (4th ed). New York: Marcel Dekker.

Libro con autor colectivo (agencia de gobierno, asociaciones, institutos científicos, etc.):

- American Psychological Association. (2001). *Publication manual of the American Psychological Association* (5th ed.). Washintong, DC: Author.

Cuando el autor y editor son los mismos, se utiliza la palabra Authot (Autor) para identificar la casa editora.

Enciclopedia:

- Llorca, C. (1991). Revolución Francesa. En: *Gran enciclopedia RIALP* (Vol. 20, pp. 237-241). Madrid: Ediciones RIALP.

Tesis de maestría no publicada

- Rocafort, C. M., Sterenberg, C., & Vargas, M. (1990). *La importancia de la comunicación efectiva en el proceso de una fusión bancaria*. Tesis de maestría no publicada, Universidad del Sagrado Corazón, Santurce, Puerto Rico.

La World Wide Web nos provee una variedad de recursos que incluyen artículos de libros, revistas, periódicos, documentos de agencias privadas y gubernamentales, etc. Estas referencias deben proveer al menos, el título del recurso, fecha de publicación o fecha de acceso, y la dirección (URL) del recurso en la Web. En la medida que sea posible, se debe proveer el autor del recurso.

Documentos con acceso en el World Wide Web (WWW):

- Brave, R. (2001, December 10). *Governing the genome*. Retrieved June 12, 2001, from <http://online.sfsu.edu/%7Erone/GEessays/GoverningGenome.html>
- Suñol, J. (2001). *Rejuvenecimiento facial*. Recuperado el 12 de junio de 2001, de <http://drsunol.com>

Artículo de revista localizado en un banco de datos (ProQuest):

- Lewis, J. (2001). Career and personal counseling: Comparing process and outcome. *Journal of Employment Counseling*, 38, 82-90. Retrieved June 12, 2002, from <http://proquest.umi.com/pqdweb>

Artículo de un periódico en formato electrónico:

- Melvilla, N. (2002, 6 de junio). Descubra los poderes del ácido fólico. *El Nuevo Día Interactivo*. Recuperado el 12 de junio de 2002, de: <http://endi.com/salud>

Documentos jurídicos y gubernamentales de Colombia:

- Colombia, Congreso Nacional de la República (2005, 29 de junio), “Ley 960 del 28 de junio de 2005, por medio de la cual se aprueba la Enmienda del Protocolo de Montreal relativo a sustancias que agoten la capa de ozono’, adoptada en Beijing, China, el 3 de diciembre de 1999”, en *Diario Oficial*, núm. 45.955, 30 de junio de 2005, Bogotá.
- Protocolo de Montreal relativo a sustancias que agoten la capa de ozono, adoptada en Beijing, China, el 3 de diciembre de 1999”, en *Diario Oficial*, núm. 45.955, 30 de junio de 2005, Bogotá.
- Colombia, Ministerio del Interior (2005, 29 de febrero), “Decreto número 321 del 25 de febrero de 2005, por el cual se crea la Comisión Intersectorial Permanente para los Derechos Humanos y el Derecho Internacional Humanitario”, en *Diario Oficial*, núm. 25.659, 5 de julio de 2005, Bogotá.
- Colombia (1997), *Constitución Política*, Bogotá, Legis.
- Colombia, Corte Constitucional (1995, octubre), “Sentencia C – 543”, M. p. Hernández Galindo, J. G., Bogotá.
- Colombia, Ministerio de Educación Nacional (2005), “Estándares para el Currículo de lengua castellana” [documento de trabajo].
- Colombia (2005), *Código Penal*, Bogotá, Temis. (Fin cita textual)

Las fotografías, ilustraciones y gráficos deberán enviarse en archivos independientes del texto principal. También deberán ser identificadas como “figura” y enumeradas según el orden de utilización en el texto. La buena calidad de las ilustraciones, en la publicación se debe a la calidad de archivo enviado por el autor. Cada ilustración debe tener un pie de imagen que dé cuenta de su providencia.

Nota: Las imágenes deben ser presentadas en formatos jpg o tif. Se recomienda una buena resolución al momento de capturarlas.

Proceso editorial

Cuando un artículo ha sido presentado para su publicación, será leído primeramente por el Editor y Comité Editorial, para validar el cumplimiento de las normas editoriales, quienes en el transcurso de cinco días hábiles después de la recepción del documento, decidirán si el artículo pasa a la etapa de evaluación por pares.

Si el artículo supera la primera revisión, será sometido a un proceso de evaluación por pares. Este proceso consiste en examinar el trabajo presentado por dos evaluadores especializados en el tema del artículo. Dicha evaluación cumple un criterio de doblemente ciego, es decir, el

nombre de los autores no será revelado a los evaluadores, ni los autores sabrán los nombres de los evaluadores. El proceso de evaluación toma aproximadamente dos meses.

Los pares académicos externos, determinarán en forma anónima: a) Artículo aprobado, b) Artículo aprobado con cambios, c) Artículo rechazado. En caso de diferencia entre ambos resultados, el texto será enviado a un tercer árbitro, cuya decisión definirá su publicación. Los resultados del proceso de dictamen académico serán inapelables en todos los casos.

Si el artículo es aprobado, el autor tiene una semana para hacer los cambios y correcciones pertinentes sugeridos por los pares y enviar la versión final a la Revista.

Posterior a la recepción final, los artículos son sometidos al proceso de correcciones de estilo por parte de la Revista.

Permiso de reimpresión

Para solicitar permiso para utilizar un artículo publicado en Revista *In Vestigium Ire* en otra publicación, favor de enviar un correo a la siguiente dirección electrónica, revista. investigiumire@ustatunja.edu.co, No olvide incluir título del artículo y del autor en su solicitud.

Propiedad intelectual, reproducción de textos, buenas prácticas editoriales y responsabilidad de la revista

La revista *L'esprit Ingénieux* velará siempre por el ejercicio de buenas prácticas en la producción escrita, adopta la filosofía creative commons para la reproducción de textos, asumiendo la siguiente licencia: "El material puede ser distribuido, copiado y exhibido por terceros si se muestra en los créditos. No se puede obtener ningún beneficio comercial. No se pueden realizar obras derivadas" (En la publicación virtual se verá reflejada la imagen de la licencia). Para prevenir que sean publicados documentos con usos inadecuados de citación o utilización de textos de otros autores, en la etapa de recepción del artículo se verificará su contenido con ayuda de un software libre y se incluirá en la evaluación la utilización adecuada de citas y referencias. La revista velará siempre por una conducta ética y de responsabilidad por parte de los autores en su producción escrita, para lo cual implementará de manera progresiva el "Código de conducta y guías de buenas prácticas para editores de revistas" del Committee on publication Ethics COPE.

Para salvaguardar los principios de derechos de propiedad intelectual, los autores deberán certificar la sesión de los derechos a la revista con el formato de declaración de originalidad para distribuir y reproducir los trabajos de los autores, que además incluya la certificación del autor de ser un trabajo original e inédito y que no se encuentra en proceso de publicación en otra revista. Esto se realizará al momento de diligenciar el formato virtual de envío de artículos a la revista, los autores deben adjuntar el formato e incluir la información de cada uno de los artículos, esta situación será verificada por el editor(a) de la revista en la primera etapa descrita del proceso editorial de los artículos. En todo caso las ideas expresadas por los autores son de su responsabilidad y en nada comprometen a la institución editora o a la revista *L'esprit Ingénieux*.

El proceso de edición de *L'esprit Ingénieux*, posee facultad para organizar la información correspondiente a los datos del autor y del texto, mencionando en primera nota pie de página la información del autor con respecto a sus estudios de pregrado y posgrado, además de la filiación institucional del autor y medios para establecer contacto, bien sea por vía electrónica (e-mail) o por medio de números telefónicos fijos o móviles. Aunado a lo anterior se establecerá con las siglas **AI** y **AE** si el autor es interno o externo.

CÓDIGO DE ÉTICA

Revista *L'esprit Ingénieur*

Desde el punto de Vista a editores y/o Comité editorial

El Comité Editorial velará por mantener el anonimato de los autores y sus evaluadores, colaborando a que el proceso completo de recepción y revisión del artículo esté amparado en la transparencia, una práctica objetiva y confidencialidad de las partes involucradas en el proceso editorial para garantizar durante todas las etapas la calidad. Orientado por este mismo principio, se busca contar en el menor tiempo posible con la asignación de los/as evaluadores/as más idóneos/as para el artículo que postula a ser publicado en la Revista *In L'Esprit Ingénieur*.

Los editores serán responsables de garantizar el cumplimiento de los tiempos límite de espera para la emisión del resultado del proceso, siendo un plazo máximo de 60 días para que el/la autor sepa la situación de su artículo: "aceptado", "aceptado con correcciones" o "rechazado".

La aceptación no obliga necesariamente a la revista a incluir el artículo en el número en la cual se ha postulado. Siendo así, que la revista se reserva el derecho a publicar en un número siguiente si se excede en el número de artículos para el presente número.

El Comité Editorial deberá revelar cualquier conflicto de intereses; y si alguno de los miembros considera que debe declararse impedido este lo hará por escrito.

Al respecto los/as autores/as serán notificados/as por el Editor en qué número saldrá publicado el artículo que ha sido previamente aceptado.

Permitir a los autores el derecho a apelar una decisión del comité editorial.

Mantener informados a los autores desde el momento de recepción de sus trabajos hasta el momento en que se haya tomado una decisión.

Llevar a cabo un proceso de edición y publicación transparente y con entero respeto a los autores.

Estar disponibles tanto para los autores como para los evaluadores con el fin de aclarar las dudas que surjan durante los procesos de evaluación, revisión, diagramación y de edición.

Aceptar o rechazar los trabajos recibidos por la dirección de la revista con base únicamente en los resultados anónimos previstos de los pares evaluadores (si estos no coincidieran en su veredicto, el director y el comité editorial de la revista deberán tomar una decisión final).

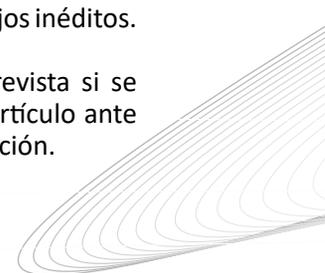
Desde el punto de vista autores / as

Al enviar un artículo a la revista *In L'esprit Ingénieur*, los/as autores/as se comprometen a no enviar de modo paralelo su paper a otra publicación científica.

Los textos deben ser de autoría propia y no tratarse de uno ya publicado al cual se han realizado solo modificaciones menores respecto a una investigación ya difundida.

Por lo mismo, en revista *In L'esprit Ingénieur* únicamente pueden presentarse trabajos inéditos.

Al actuar como Autor, se compromete a comunicar al comité editorial de la revista si se enfrentara a un conflicto de interés o inhabilidad al momento de presentar un artículo ante algún evaluador que considere no sea idóneo para su respectiva revisión y evaluación.



Respecto a los datos contenidos en la investigación, deben ser verídicos, lo que significa, que no han sido modificados para mantener una coherencia con la perspectiva teórica y metodológica utilizada.

Del mismo modo, cuando dichos datos involucran la participación de personas como sujetos/as de estudio, tal vinculación se ha efectuado bajo la doctrina del consentimiento informado, lo cual implica una participación informada, libre y voluntaria en la investigación, manteniendo el anonimato de personas e instituciones.

Los/as autores/as al revisar los antecedentes teóricos y conceptuales de otras investigaciones conducidas en el ámbito temático del trabajo, se comprometen a abordar con exhaustividad esos trabajos, haciendo que el estado del arte sobre el tema sea una revisión exhaustiva que sistematiza lo más actual, relevante y con diversidad de enfoques epistemológicos y metodológicos que han abordado el tema.

En ese mismo sentido, se garantiza la inclusión de autores/as que han realizado contribuciones científicamente significativas en el ámbito (multi/trans/inter) disciplinar respecto al tema de investigación.

En relación a la autoría del trabajo de investigación se compromete la inclusión de todos/as los/as personas que han aportado de modo significativo a la discusión teórica, a la sistematización del estado del arte y análisis de los datos así también a la Escritura del texto, absteniéndose de incluir a otras personas solo por nexos de amistad, o vínculos intelectuales.

Un/a autor/a que ha presentado un artículo a la revista y que aún no ha sido publicado, puede solicitar el retiro de su artículo expresando los motivos que originan tal solicitud, quedando en libertad de acción luego que reciba de parte de el/la director/a de la revista la respuesta positiva a la solicitud.

Los/as autores/as son responsables por las perspectivas teórico-conceptuales que adopten y por las conclusiones, opiniones o afirmaciones que formulen las cuales no son necesariamente compartidas por la revista *In L'esprit Ingénieux* ni por la Universidad Santo Tomás.

Desde el punto de vista a pares evaluadores/as

Quienes actúan como pares evaluadores son personas que participan de modo voluntario en este rol, siendo idóneos desde el punto de vista intelectual y/o teórico-metodológico para emitir un juicio evaluativo respecto a los trabajos mediante los cuales los autores postulan a su publicación a la revista *In L'esprit Ingénieux*.

Al actuar como par, se compromete a comunicar al comité editorial de la revista si se enfrentarán a un conflicto de interés o inhabilidad al momento de evaluar un artículo, junto con respetar la confidencialidad de la información relacionada con el proceso editorial.

De este modo, un/a evaluador/a se adhiere estrictamente a las políticas del proceso de evaluación de la revista, buscando siempre efectuar una crítica honesta y constructiva, manteniendo siempre la discreción con el contenido de los documentos evaluados.

Se aplicará la pauta de doble ciego de la cual dispone la revista *L'esprit Ingénieux*, de ese modo se promueve el respeto hacia el autor y la revista, consolidando así una cultura de gestión en la calidad.

Una vez aceptado el artículo para el respectivo proceso de revisión y evaluación se asume que estará acogido al código de ética de la Revista *In L'esprit Ingénieux*.

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE ARTÍCULO PRESENTADO

Título del artículo: _____

Área: _____

Autor(es): _____

Fecha de presentación: _____

Por medio de esta comunicación, certifico que el artículo que estoy presentando para posible publicación en la revista *In L'esprit Ingénieux*, adscrita a la División de Arquitectura e Ingenierías de la Universidad Santo Tomás, seccional Tunja, es de mi entera autoría, siendo sus contenidos producto de mi directa contribución intelectual.

Todos los datos y referencias a publicaciones hechas están debidamente identificados con su respectiva nota bibliográfica y en las citas que se destacan como tal. Por todo lo anterior, declaro que el material presentado se encuentra conforme a la legislación aplicable en materia de propiedad intelectual y, por lo tanto, me (nos) responsabilizo (amos) de cualquier reclamación relacionada a esta.

Manifiesto que este artículo es un trabajo inédito y que no ha sido publicado anteriormente en formato impreso, electrónico o página web, ni aceptado ni enviado simultáneamente a otra revista. Por tanto, asumo el código de ética de la Revista *In L'esprit Ingénieux*.

En caso de que el artículo presentado sea publicado, manifiesto que cedo plenamente a la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, los derechos de reproducción del mismo.

Como contraprestación de la presente cesión, declaro mi conformidad de recibir 2 ejemplares del número de la revista en que aparezca mi artículo.

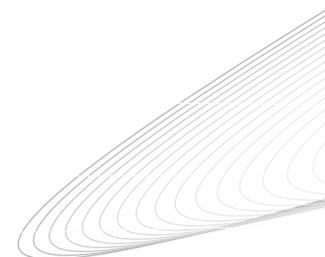
El Autor,

El Editor,

C.C.

C.C.

IN L'ESPRIT INGÉNIEUX ISSN 2145 - 9274 (Impreso)
IN L'ESPRIT INGÉNIEUX ISSN 2422-2445 (En línea)



L'esprit Ingénieux

1|3



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
T U N J A



Res. MEN No. 01456 del 29 de enero de 2016

Vigencia por seis años

Facultad de Ingeniería Civil