

EDITORIAL
UNIAUTÓNOMA

De la investigación formativa A la investigación formal

Investigación para el desarrollo sostenible

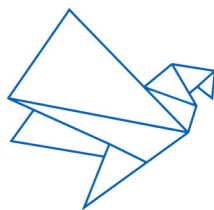


Ramsés López Santamaría
Julián David Guachetá Torres
Editores

SELLO EDITORIAL UNIAUTÓNOMA DEL CAUCA

De la investigación formativa A la investigación formal

Investigación para el desarrollo sostenible



EDITORIAL
UNIAUTÓNOMA
Desplegamos Historias

Catalogación en la publicación – Biblioteca Nacional de Colombia

De la investigación formativa a la investigación formal - Segundo Encuentro de Semilleros de Investigación Uniautónomos 2022, Investigación para el Desarrollo Sostenible / editores, Ramsés López Santamaría, Julián David Guachetá Torres. -- edición en español. -- Popayán: Sello Editorial Uniautónoma del Cauca, 2023.

páginas. -- (Investigaciones)

Incluye datos curriculares de los autores.

ISBN: (impreso 978-628-7691-12-4) -- (digital 978-628-7691-13-1)

1. Investigación en ciencias sociales y humanas 2. Investigación en ingenierías y ciencias exactas I. López

Santamaría, Ramsés, editor II. Guachetá Torres, Julián David, editor

CDD: 342.861087 ed. 23 CO-BoBN– a1120603

© Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, 2023

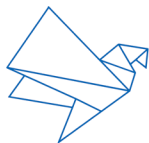
© Ramsés López Santamaría, Julián David Guachetá Torres. 2023. (Editores)

ISBN Digital: 978-628-7691-13-1

ISBN Impreso: 978-628-7691-12-4

Primera edición en español

Sello Editorial Uniautónoma del Cauca [diciembre], 2023



E D I T O R I A L
UNIAUTÓNOMA

Diagramación: Samava Ediciones EU

Corrección de estilo: Sello Editorial Uniautónoma del Cauca

Diseño de carátula: Samava Ediciones EU

Sello Editorial Uniautónoma del Cauca

Serie: Investigaciones

Editor General de Publicaciones: Ramsés López Santamaría

Calle 5 No. 3-85

Popayán, Colombia

Teléfono: PBX: 8213000 - Fax: 8214000

<https://www.uniautonoma.edu.co/>

Info copia: 1 copia disponible en la Biblioteca Nacional de Colombia Existencias

Biblioteca Nacional de Colombia Copia Material Localización

1 libro Electrónico Biblioteca Nacional

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de información, ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado: electrónico, mecánico, fotocopia, etc., sin permiso previo de los titulares de los derechos de la propiedad intelectual.

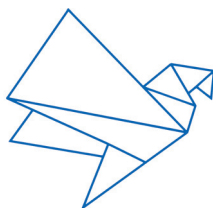


De la investigación formativa A la investigación formal

Investigación para el desarrollo sostenible

Ramsés López Santamaría
Julián David Guachetá Torres

Editores



EDITORIAL
UNIAUTÓNOMA
Desplegamos Historias

Corporación Universitaria Autónoma del Cauca
Facultad de Derecho, Ciencias Sociales y Políticas
Popayán, 2023

TABLA DE CONTENIDO

Presentación	9
Capítulo 1. Estudio de factibilidad para la puesta en marcha de una planta procesadora de café especial en el municipio del Tambo-Cauca mediante la metodología Onudi	11
Capítulo 2. Desarrollo de un sistema de inyección de plásticos de dos etapas para el aprovechamiento de polietileno reciclado dirigidos a la economía circular.	35
Capítulo 3. Caracterización de agroquímicos en zona agrícola del corregimiento de Gabriel López (Totoró-Cauca)	57
Capítulo 4. Tecnologías innovadoras para el tratamiento de efluentes mineros auríferos	85
Capítulo 5. Tratamiento Foto-Fenton para la remoción de dipirona en agua residual hospitalaria de San Antonio de Padua, La Plata - Huila	109
Capítulo 6. Caracterización energética en una estación piscícola del departamento del Cauca	131
Capítulo 7. Identificación de talentos deportivos en fútbol sala en la Fundación Atlético Cauca del municipio de Popayán	159
Capítulo 8. Implementación del modelo de periodización contemporánea ATR en deportistas de clase T1 - T2 de la comisión departamental de Paracycling del Cauca	177

Capítulo 9. Desarrollo de estímulos y destrezas musicales de melodía y ritmo, mediante el uso de aplicaciones móviles para el refuerzo en el aprendizaje musical en niños con trastorno del espectro autista y necesidades educativas especiales193

Capítulo 10. Análisis de los acuerdos comerciales y económicos entre los BRICS y su impacto en la economía colombiana209

Capítulo 11. Evaluación del desempeño docente desde la optica del analisis de sentimientos: un caso de estudio en la Uniautónoma del Cauca243

PRESENTACIÓN

El presente libro resultado de investigación, reúne los mejores trabajos que fueron presentados en el Segundo Encuentro de Semilleros de Investigación Uniautónomos 2022, el cual tuvo como consigna, *“Investigación para el Desarrollo Sostenible”*. Esta publicación busca socializar los resultados de investigación de semilleristas no solo de la Uniautónoma del Cauca, sino también de estudiantes de distintas universidades que participaron del encuentro de semilleros.

Este libro permite observar el tránsito entre la investigación formativa y la investigación formal o aplicada. Desde el Sello Editorial de la Uniautónoma del Cauca, se reconoce el valioso esfuerzo que los estudiantes y profesores han dedicado para conseguir productos de investigación de alta calidad y que impacten las realidades, que desde las distintas disciplinas y ciencias se deben estudiar.

Investigar en el contexto universitario debe ser una premisa básica, ya que comprender los problemas es el primer paso para encontrar soluciones que se sustenten en la ciencia y en evidencia empírica, de modo que el pensamiento crítico que se cultiva al interior de los semilleros será fundamental para emprender procesos de investigación, que hoy se ven reflejados con la siguiente publicación.

CAPÍTULO 1.

Estudio de factibilidad para la puesta en marcha de una planta procesadora de café especial en el municipio del Tambo-Cauca mediante la metodología Onudi

BEYINNI NARVAEZ TORO¹
HENRY CAMAYO FERNÁNDEZ²
YESID ANACONA MOPÁN, M. Sc³

Resumen

Esta investigación busca estudiar la viabilidad de establecer una planta de procesamiento y comercialización de café tostado y molido en el municipio del Tambo, Cauca, Colombia, en respuesta a la creciente generación de empresas en el país. Este estudio de factibilidad evalúa los niveles de riesgo asociados a la implementación de la planta y diagnostica su potencial éxito en el mercado local. Se abordan aspectos como la demanda de café, el análisis de riesgos, los requisitos técnicos, la viabilidad financiera y las estrategias de comercialización. El objetivo es proporcionar una evaluación integral que permita la tomar decisiones sobre la viabilidad de este proyecto en el contexto empresarial colombiano. A partir de los resultados obtenidos en la investigación de mercado, se determina la capacidad operativa del proyecto, se identifican los recursos requeridos para su implementación y se evalúa su disponibilidad. Asimismo, se considera la ubicación adecuada para el proyecto y se definen los procesos operativos

-
- 1 Estudiante de Ingeniería Industrial, Corporación Universitaria Comfacauc (Unicomfacauc). beyinninarvaez@unicomfacauc.edu.co
 - 2 Estudiante de Ingeniería Industrial, Corporación Universitaria Comfacauc (Unicomfacauc). henrycamayo@unicomfacauc.edu.co
 - 3 Docente de Ingeniería Industrial, Corporación Universitaria Comfacauc (Unicomfacauc). yanacona@unicomfacauc.edu.co

esenciales para brindar el servicio. Se establece una estructura organizativa basada en procesos relacionados con la actividad empresarial. Además, se llevará a cabo un análisis financiero que examina diversos criterios de evaluación para determinar la viabilidad económica del proyecto.

Palabras Clave: Demanda, viabilidad financiera, factibilidad.

Introducción

En los últimos años Colombia ha experimentado un notable crecimiento en el sector empresarial, generando un impacto significativo en la generación de empleo, la innovación y el desarrollo económico a nivel nacional y local. En el año 2021 se crearon 307.679 nuevas empresas en todo el territorio nacional, presentando un aumento del 10,6% en comparación al 2020 (Confecamaras, 2022). Es importante resaltar que para el año 2023 Colombia registro un total de 1.854.086 empresas de las cuales el 95,3% pertenece a las microempresas, mientras que las medianas y grandes con el 0,9% y 0,3% del total nacional, respectivamente (Mincit, 2023). No obstante, numerosas de estas empresas se ven confrontadas con desafíos que podrían resultar en fracaso de sus operaciones. Entre los factores que podrían contribuir con el fracaso de las pymes en Colombia, se destaca la carencia de planificación y presupuesto de inversión adecuados, restringiendo la capacidad de estas empresas para competir en el mercado y afrontar los retos externos (Montaño & Martínez, 2021). Medir y gestionar riesgos es un aspecto crítico al poner en marcha una empresa. El entorno empresarial es inherentemente incierto, y la toma de riesgos es esencial para el crecimiento y el éxito. Sin embargo, es igualmente esencial comprender, evaluar y mitigar estos riesgos de manera efectiva para proteger la viabilidad y sostenibilidad de un negocio.

El estudio de factibilidad se convierte en el cimiento sobre el cual los directivos, quienes ostentan la responsabilidad de aprobar inversiones, basan sus decisiones. La identificación de variables financieras es una parte esencial de las herramientas de factibilidad utilizada en la evaluación de proyectos empresariales (Romero, 2013). Estas herramientas se emplean para analizar la viabilidad económica y financiera de una inversión o proyecto, estas herramientas ayudan a la toma de decisiones al evaluar el potencial de retorno y riesgo asociado a la inversión, comprendiendo el entorno a largo plazo (Alejandra, 2009). La toma de decisiones se basa en la evaluación de indicadores críticos, tales como el Periodo de Recuperación (PR), el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Estos indicadores

orientan la estrategia de ejecución de las inversiones, considerando las prioridades que surgen de estos indicadores y la disponibilidad de fuentes de financiamiento (Hugo, 2006).

Del mismo modo, se debe considerar el comportamiento y análisis de estudios que aportan a la sostenibilidad de un proyecto, como lo destaca la metodología ONUDI, el cual comprende estudios de mercado, técnicos, legales, ambientales y económicos, evaluando y planificando proyectos empresariales de manera íntegra, lo que ayuda a aumentar las posibilidades de éxito, minimizando riesgos y garantizando el uso eficiente de los recursos. (Franco & Montoya, 2012)

En base a lo expuesto anteriormente, se presenta este estudio que tiene como objetivo principal evaluar la viabilidad de establecer una planta de procesamiento y comercialización de café especial, con un enfoque en los aspectos técnicos y financieros. Para lograrlo, se llevará a cabo un análisis exhaustivo que abarca un estudio de mercado, técnico y económico. Determinando si este tipo de empresa es rentable en la región del Tambo, Cauca. Además, busca apoyar a la Asociación de Mujeres Agropecuarias del Tambo Cauca AMACA y a sus miembros, al mismo tiempo contribuir al crecimiento económico de la región. La elección de la metodología ONUDI se justifica debido a su énfasis en el proceso de planificación, un aspecto fundamental que será detallado en este trabajo. Además, esta metodología es un estándar internacionalmente reconocido, regulado, confiable y preciso que proporciona una estructura organizada para evaluar proyectos de manera efectiva.

Descripción del Proyecto

El proyecto propuesto se centra en la construcción de una planta de procesamiento de café de alta calidad en un lugar estratégico de la región de Tambo, en el Estado de Cauca (Colombia). Esta instalación será gestionada por la Asociación de Mujeres Caficultoras del Tambo (AMACA), un grupo comprometido con la producción de café de calidad y la promoción de prácticas sostenibles en la región.

Colombia desempeña un papel clave en la economía mundial del café y es conocida por su producción de grano. Sin embargo, en el pasado, la mayor parte de la oferta local se centraba en la producción de café de baja calidad con escasa trazabilidad (Celis, 2017). Este proyecto pretende cambiar esta dinámica y centrarse en la producción de café de especialidad que cumpla con los estrictos estándares de calidad de la Specialty Coffee Association of America (SCAA).

La región de Tambo ofrece condiciones geográficas y micro climáticas óptimas para la producción de granos de café excepcionales (Macana & Moriones, 2017). Los suelos fértiles y las altitudes adecuadas proporcionan un entorno favorable para el cultivo de variedades de café de alta calidad. El proyecto se divide en tres fases, siguiendo la metodología de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) (Franco & Montoya, 2012) En la fase de pre-inversión, se realizan estudios para evaluar la viabilidad del proyecto. Esto incluirá la identificación de fuentes de financiación, un análisis de mercado y la selección de tecnologías apropiadas.

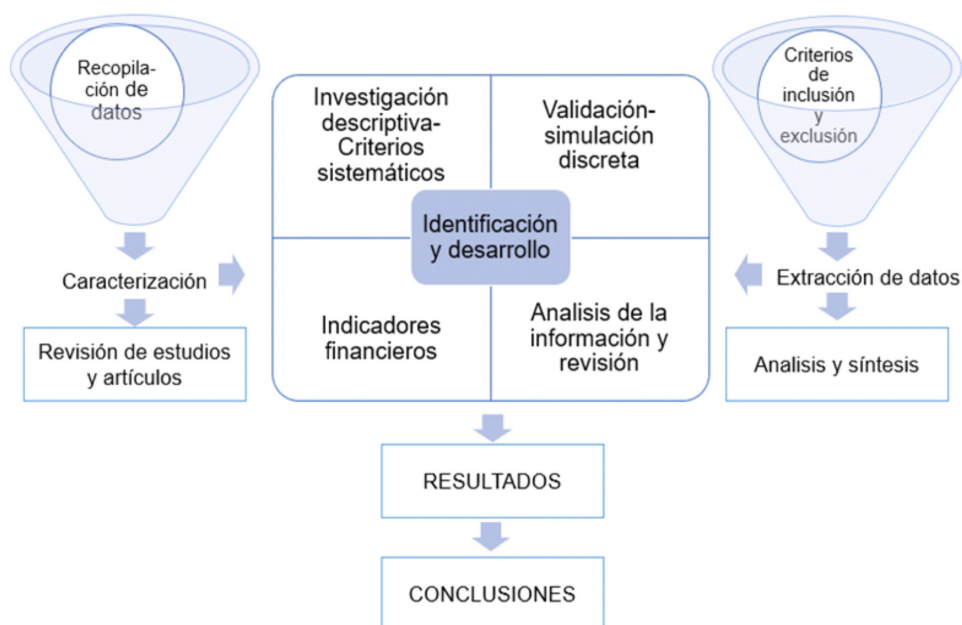
La ubicación estratégica de la planta en la región de Tambo es fundamental para el éxito del proyecto. Investigaciones anteriores han demostrado que esta región tiene un microclima que mejora las características organolépticas del café (Villamizar, *et al*, 2018). Esto es esencial para la producción de café con sabores únicos y características distintivas que atraen a los amantes del café de alta calidad. La planta procesadora recibe los granos de café en su estado pergamino y realiza una serie de procesos, como lavado, secado, tostado y molido. Para el tostado se utilizan equipos especiales que permiten alcanzar temperaturas precisas para mejorar las características organolépticas del café (Méndez, *et al*, 2019).

La viabilidad del proyecto se sustenta en un análisis detallado de la demanda de café de alta calidad en el mercado mundial. La identificación de los clientes objetivo, la evaluación de la competencia y la definición de los canales de comercialización serán esenciales en esta fase (Arias, Ruiz, & Londoño, 2018). Las encuestas y el análisis de bases de datos proporcionarán información precisa para comprender las preferencias del mercado. Este proyecto no solo pretende satisfacer la creciente demanda mundial de café de alta calidad, sino también contribuir al desarrollo económico de la región de Tambo. Se espera que la creación de puestos de trabajo y la producción de café de alta calidad tengan un impacto positivo en la comunidad y la economía local (Briceño & Fatur, 2021).

Materiales y Metodología

Para el desarrollo de esta investigación se proporciona una estructura organizada y efectiva para evaluar la factibilidad de proyectos, asegurando que todas las etapas críticas se aborden de manera integral y precisa.

Figura 1. Diseño Metodológico



Fuente: Elaboración propia.

Fase I.

Para el desarrollo de la investigación es necesario realizar diferentes estudios entre ellos:

Estudio del entorno y análisis sectorial: Se analiza el entorno en el que se va a desarrollar el proyecto, incluyendo información geográfica, social (edad, sexo, clase socioeconómica...) y económica.

La fase requerida implica una investigación en profundidad que incluye un análisis documental para comprender el entorno en el que opera la empresa y una evaluación de la competencia, utilizando el método PESTEL para analizar los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, medioambientales y legales. Además, se realiza un análisis del entorno y sectorial. Los datos recogidos se someten a un análisis DOFA para identificar las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas de la empresa. Este enfoque exhaustivo proporciona una comprensión completa de la situación de la empresa y es esencial para la toma de decisiones estratégicas.

Estudio de mercado: se trata de determinar la aceptación de la especialidad de café mediante la recopilación y el análisis de información sobre el producto, el precio, los clientes objetivo, la competencia, el

marketing, los proveedores y la demanda. Se utiliza una herramienta de recogida de datos (encuestas estructuradas) para analizar el mercado objetivo y la demanda.

Estudio técnico: teniendo en cuenta la información anterior, será posible estimar el equipo que se utilizará, el tamaño de las instalaciones físicas, el personal, los insumos, la capacidad y la ubicación de la planta; de este modo, se cuantificará el importe aproximado de la inversión y los costes de funcionamiento. Esto se valida mediante una simulación de eventos discretos utilizando el software FlexSim. Estudio de la organización: Este estudio muestra la estructura de la empresa. Identifica las necesidades de personal, los puestos, los perfiles, los métodos de contratación y la descripción de los procesos de producción.

Aspectos fiscales y jurídicos: Se recopila la información legal y jurídica para tener en cuenta en este proyecto, analizando las leyes, normas y reglamentos, así como los requisitos legales que se deben cumplir para operar una planta de beneficio de café de un tipo determinado. Aspectos medioambientales: A través de la recopilación de antecedentes de proyectos similares, se identificarán y analizarán los impactos ambientales que pueden derivarse de un proyecto de este tipo, con el fin de poder prevenir o controlar los impactos ambientales negativos.

Análisis financiero y valoración: En este estudio se recopila la información monetaria de los estudios anteriores para crear una proyección financiera del flujo de caja a lo largo del horizonte de planificación del proyecto. Para ello, es necesario identificar partidas como inversiones, costes, beneficios, gastos, depreciación, servicio de la deuda y capital circulante neto. Al final del proyecto debe incluirse el valor residual, que supone que el proyecto tiene un valor igual al que puede generar en el futuro.

Fase II

Es importante destacar que, para llevar a cabo a cada uno de los estudios, se recopila información de diversas fuentes, incluyendo bases de datos gubernamentales como el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), el Ministerio de Agricultura (MinAgricultura) y la Federación Nacional de Cafeteros. (FNC). Estas fuentes proporcionan datos y estadísticas confiables que son fundamentales para el análisis y la toma de decisiones.

Fase III

Para analizar la información se implementa una serie de herramientas por cada uno de los estudios. Se traza una investigación cuantitativa en la que se recopila información mediante formularios previamente diseñados. Se implementará simulación discreta para la validación del proceso de producción. Para mitigar y contrarrestar los impactos que pueda generar la implementación de una planta procesadora se realiza una Revisión Ambiental Inicial GTC 93, por último, se busca evaluar la inversión de riesgo mediante indicadores financieros Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Neto (VPN) y costo- beneficio.

Resultados y Discusión

Análisis y Resultado de los Estudios

Se realizaron estudios medioambientales, sectoriales, de mercado, técnicos, organizativos y jurídicos en el marco del estudio de viabilidad de un beneficio de café en Tambo Cauca. Estos estudios evaluaron la viabilidad del proyecto, con el apoyo de un análisis financiero basado en indicadores financieros. Se realizó un análisis ambiental y sectorial para identificar las variables macroeconómicas que afectarían el proyecto de construcción de una fábrica de cafés especiales en Tambo Cauca. Se realizó un análisis P.E.S.T.E.L. para evaluar los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales esenciales para determinar la viabilidad del proyecto.

Este cuadro (Cuadro 1) resume claramente las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas derivadas del estudio medioambiental y del análisis sectorial. Ofrece una visión ordenada de los principales factores que afectan al contexto del estudio y evalúa detalladamente cada aspecto y sus oportunidades. El cuadro 1 recopila datos clave para futuras decisiones de evaluación medioambiental y análisis sectorial. El objetivo es comprender los retos y oportunidades esenciales para unas estrategias eficaces en el medio ambiente y el sector objeto de estudio.

Tabla 1. D.O.F.A. del Estudio del Entorno y el Análisis Sectorial.

Aspecto	Debilidades	Oportunidades	Fortalezas	Amenazas
Acceso a activos productivos	Limitado acceso a tierras y recursos.	Potencial de inversión en modernización.	tradición cafetera arraigada en la cultura.	Competencia global intensa.
Factores climáticos y mercado	Vulnerabilidad a eventos climáticos.	Diversificación de variedades de café.	Cafés especiales y calidad reconocida.	Fluctuaciones de precios y clima.
Comercialización	Restricciones en la exportación y mercados.	Acceso a mercados internacionales.	Sistema de cooperativas y exportación.	Cambios en regulaciones comerciales.
Sostenibilidad	Uso intensivo de recursos naturales.	Demanda creciente de productos sostenibles.	Iniciativas de producción ecológica.	Presión ambiental y regulaciones.
Política y regulación	Cambios en políticas agrícolas.	Incentivos gubernamentales para el sector.	Normativas de calidad y certificación.	Riesgos políticos y legales.
Tecnología e innovación	Falta de acceso a tecnologías avanzadas.	Investigación en nuevas variedades y métodos.	Centros de investigación y desarrollo.	Brecha tecnológica.
Recursos humanos	Escasa capacitación y educación en el sector.	Potencial de programas de formación.	Mano de obra experimentada.	Emigración de mano de obra.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de Mercado

El estudio se centró en un grupo demográfico específico formado por personas de entre 18 y 60 años (Mendoza, 2020). Este grupo de edad fue cuidadosamente seleccionado ya que representa una porción significativa de la población activa y económicamente activa en Popayán. Se espera que este grupo demográfico, que va desde adultos jóvenes hasta personas de mediana edad, juegue un papel clave en la conformación de la demanda de cafés especiales.

El estrato socioeconómico también se consideró un factor clave en la selección del grupo objetivo. En particular, la atención se centró en los

estratos 3, 4 y 5 (Gómez & López, 2018), lo que significa que se incluyó deliberadamente en el estudio a personas de estrato económico medio y alto. Esto se debe a que se observó que los consumidores pertenecientes a estos estratos tienden a tener mayor poder adquisitivo y están más dispuestos a pagar un precio más alto por productos de alta calidad como el café de especialidad.

Los criterios se seleccionaron con base en investigaciones previas que revelaron la existencia de un nicho de mercado en Popayán que busca productos de alta calidad con un origen especial. La investigación tuvo como objetivo conocer las preferencias y hábitos de consumo de estas personas por el café de especialidad. Además, se llevó a cabo una cuidadosa revisión de la literatura académica y de las tendencias actuales en la industria mundial del café de especialidad (Johnson & Rodríguez, 2021; Martin, 2019). Esto nos permitió contextualizar el diseño de la investigación y asegurar su relevancia en el contexto local y global. El enfoque sistemático de esta investigación nos permitió no solo identificar la población objetivo, sino también recopilar datos de manera estructurada y representativa.

Tabla 2. Segmentación del Mercado

Segmentación Geográfica	
Región	Popayán – Cauca.
Densidad	Urbana.
Clima	Cálido.
Segmentación Psicográfica	
Tendencia a productos de alta calidad.	
Preferencia por productos locales.	
Alto valor por producto realizados por mujeres.	
Segmentación Demográfica	
Sexo	Masculino – Femenino.
Edad	18 años – 60 años.
Segmentación Socioeconómica	
Ingresos	Más de 2 smmlv.
Clase social	Media, media - alta y alta.
Nivel de estudios	Educación superior.
Estratos	3, 4, 5 y 6.

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el tamaño del mercado y la demanda del café tipo especial se realizó una investigación descriptiva o estadística para la población objetivo de Popayán, utilizando criterios sistemáticos que permitan comparar la información con otras fuentes. Para llevar a cabo la investigación se seleccionó la población que cumpliera con los siguientes criterios.

Figura 2. Parámetros Estadísticos

Parámetros	
Población N	Mayor a 100.000 (Infinita)
Error E	5%
Nivel de Confianza	95%
Z	1,96
Varianza S	0,5

Fuente: Elaboración propia.

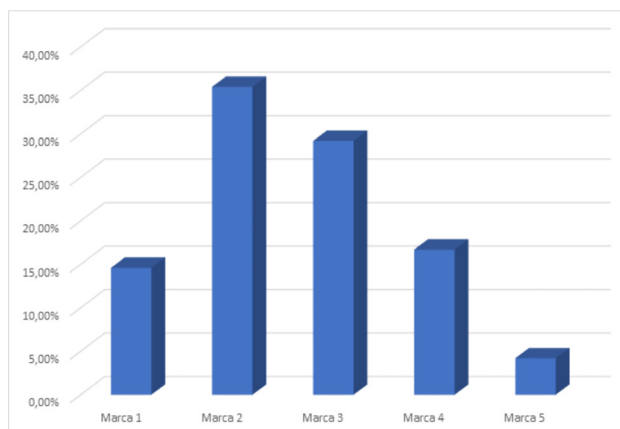
Obteniendo los datos necesarios se realiza el cálculo para el tamaño muestral, para ello se emplea la fórmula de muestreo aleatorio simple para poblaciones infinitas. Debido a que las preguntas formuladas de las encuestas serán cuantitativas y cuantitativas.

$$n = \frac{z^2 s^2}{e^2}$$
$$n = \frac{(1,96)^2 (0,5)^2}{(0,05)^2} = 384$$

Según el cálculo de muestreo aleatorio simple se deberían encuestar 384 personas, el cual permitirá medir la aceptación del producto en la población objetiva de estudio mediante una muestra representativa.

A continuación, se analiza las preguntas más relevantes para el estudio.

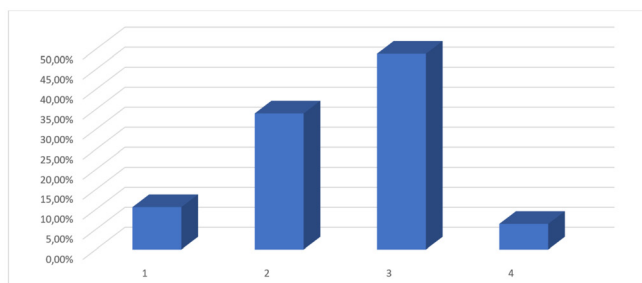
Gráfica 1. Consumo de Café Local



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la competencia es una parte crucial de cualquier estudio de factibilidad y permite comprender el mercado y las preferencias de los consumidores. Se determinó que cerca del 35% de los encuestados consume café Marca 1, Marca 2 29%, identificando a su vez la competencia directa dentro de la región, por lo que es importante analizar el precio y marketing de estos productos.

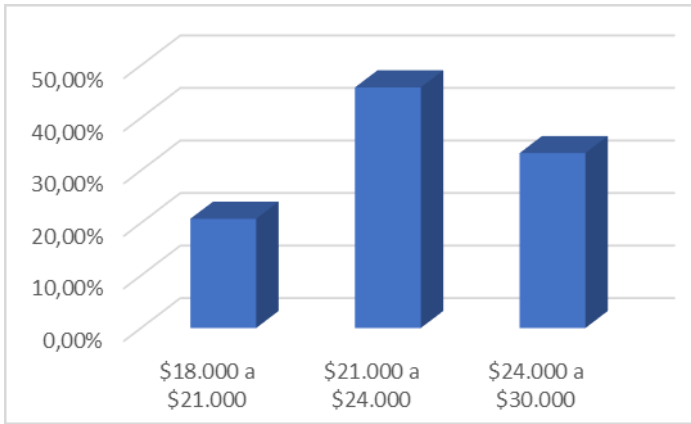
Gráfica 2. Frecuencia de consumo durante el día



Fuente: Elaboración propia.

Mediante la Grafica 2 se puede observar que dentro de la población encuestada 48,9% toman 3 tazas de café al día, siguiendo un consumo de 2 tazas al día con un 34%. Por lo que se puede determinar que el café es una de las bebidas más consumidas en los hogares colombianos, incrementando la aceptación del producto.

Gráfica 3. Precio dispuesto a pagar por libra de café especial



Fuente: Elaboración propia.

Es importante analizar el precio que la población objetivo está dispuesta a pagar por una libra de café especial determinando estrategias de fijación de precios del producto. el 45,8% de los encuestados están dispuestos a pagar entre \$21.000 a \$24.000 y cerca del 33,3% de los encuestados están dispuestos a pagar entre \$24.000 a \$30.000 pesos por una libra de café especial. Mediante los datos obtenidos se determinó el tamaño del mercado.

Diseño de la Investigación

En la encuesta aplicada el total de la población (384 encuestas) consumen café, aplicando el porcentaje de aceptación del producto, el consumo de cada uno de los encuestados de forma mensual es de 2 libras, de igual forma se calcula la desviación estándar en 1 libra de café, como se presenta a continuación.

$$x = \frac{\sum x}{n} = \frac{756}{348} = 2,17 \text{ libras de café por mes}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - x)^2}{348 - 1}} = \sqrt{\frac{214}{348 - 1}} = 1 \text{ libras}$$

También se calcula la desviación estándar, el error muestral y los límites, representando la tasa mínima de frecuencia de consumo, para ello se utilizó un nivel de confianza del 95%.

$$s = \sqrt{p \times (1 - p)} = \sqrt{0,31 \times (1 - 0,31)} = 0,46$$

$$\alpha p = \frac{S \times Z}{\sqrt{N}} = \frac{0,46 \times 1,96}{\sqrt{348}} = 0,048$$

$$Llp = p - \alpha p = 0,31 - 0,048 = 0,262$$

$$LSp = p + \alpha p = 0,31 + 0,048 = 0,358$$

A continuación, se calcula la desviación, el erro, tomando en cuenta los límites y el promedio de café consumido en la encuesta, el cual fue de 2 libras al mes por persona, tomando una desviación estándar de 1 libra, con un nivel de confianza del 95%.

$$\alpha x = \frac{S \times Z}{\sqrt{47}} = \frac{0,46 \times 1,96}{\sqrt{348}} = 0,048$$

$$Llx = x - \alpha x = 2 - 0,048 = 1,95$$

$$LSx = x + \alpha x = 2 + 0,048 = 2,048$$

Para el proyecto la segmentación depende de los estratos 3,4,5 y 6, en donde el mercado objetivo se presenta en la ciudad de Popayán con una población de 10.612 habitantes, con este dato se procede al cálculo del tamaño actual del mercado.

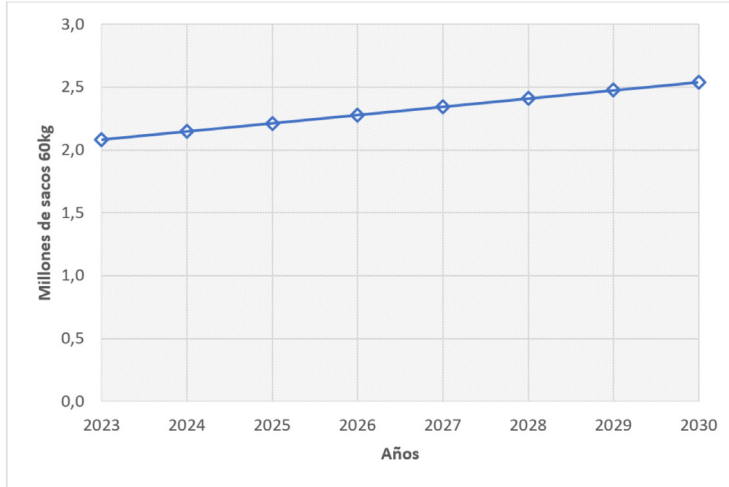
$$Q = N \times Llp \times Llx$$

$$Q = 10612 \times 1,95 \times 2,048 = 42.380 \text{ Libras de café/mes}$$

Con el cálculo del tamaño del mercado, se puede decir que aproximadamente la población objetivo consume al mes un total de 42.380 libras de café, para esta investigación es importante conocer la capacidad de la asociación debido a que ya generan y comercializan un producto a base de café (café tradicional) en el mercado y esperando tener la misma aceptación se ha propuesto producir el 1,8%, conforme a que cuenta con la maquinaria necesaria para la obtención de la materia prima, correspondiente a la elaboración de 763 libras de café al mes, produciendo al día un total de 25

unidades. De igual forma se realiza un pronóstico de ventas tomando datos históricos de consumo, ajustando las cifras a una ecuación lineal simple.

Gráfica 4. Pronostico de ventas en millones de sacos de 60kg

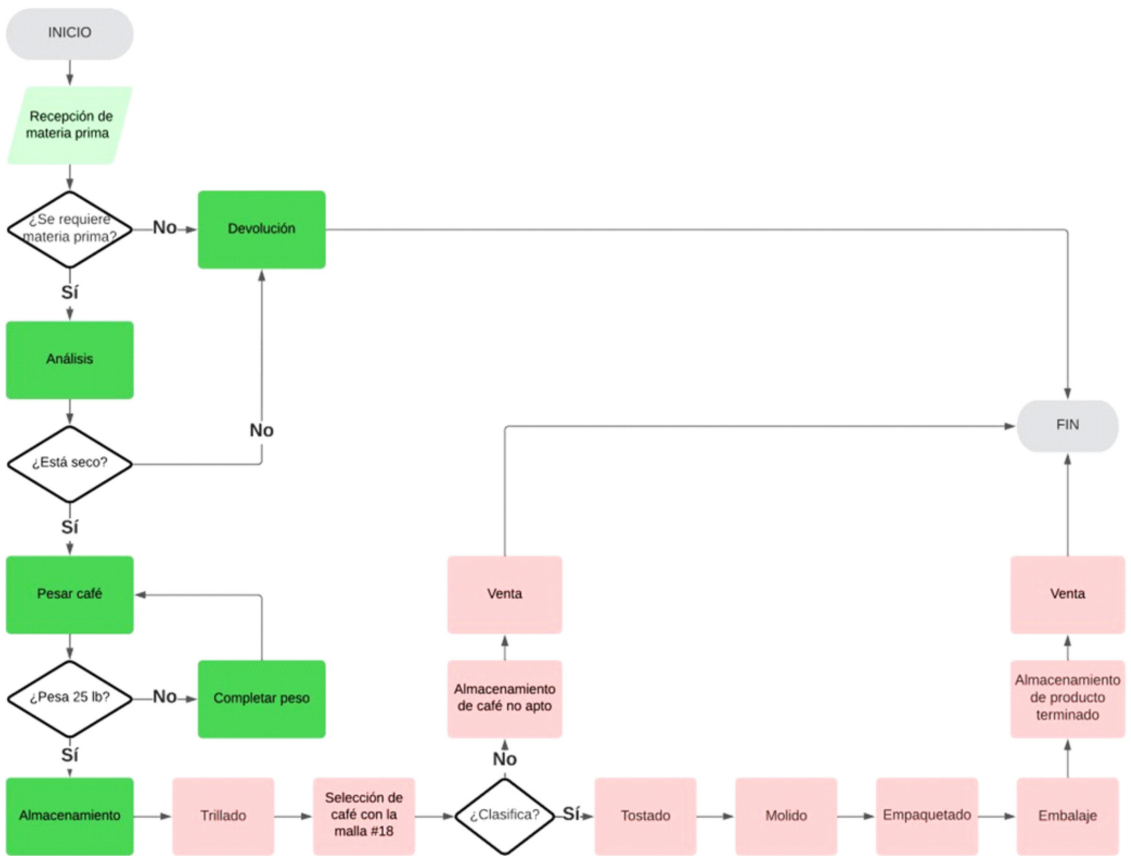


Fuente: Elaboración propia.

Propuesta de Producción

Se presenta una propuesta integral para la producción de cafés especiales por parte de la Asociación AMACA, siguiendo las normas de calidad de la industria cafetera. Un diagrama de flujo describe los distintos pasos del proceso para garantizar la calidad y un sabor distintivo. La precisión en cada etapa es importante, porque los amantes de las especialidades de café valoran la calidad excelente en todo el proceso de producción. El diagrama de este proceso de producción puede verse en la figura 4.

Gráfica 5. Diagrama de flujo des sistema productivo



Fuente: Elaboración propia.

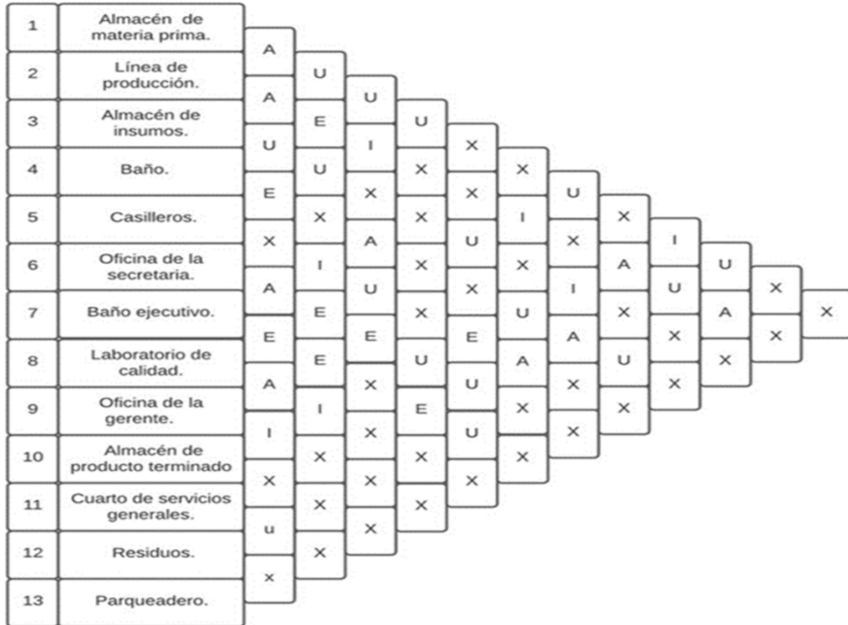
Método SLP para la distribución de planta

El diseño de plantas en el diseño industrial es crucial para la rentabilidad y la eficiencia. Los errores pueden causar ineficiencias y costes innecesarios. El método SLP (Systematic Layout Planning) de Richard Muther es una valiosa herramienta que sigue fases, procedimientos y reglas para identificar y visualizar elementos clave en la preparación de un diseño de planta eficiente (Arcila, Castaño & Amador, 2016).

Para diseñar la distribución se utilizó el método SLP, centrado en criterios cuantitativos para mejorar la productividad y reducir los costes departamentales, teniendo en cuenta el tamaño, las limitaciones legales y los requisitos predefinidos (Flores & Coronado, 2020).

El resultado de este proceso es una propuesta de plan de diseño que cumple con todos los requisitos y criterios previamente definidos. Este diseño tiene como objetivo optimizar la disposición de los departamentos y recursos en la planta y garantizar un funcionamiento más eficiente y rentable (García & López, 2017).

Gráfica 6. Aplicación criterios SLP



Fuente: Elaboración propia.

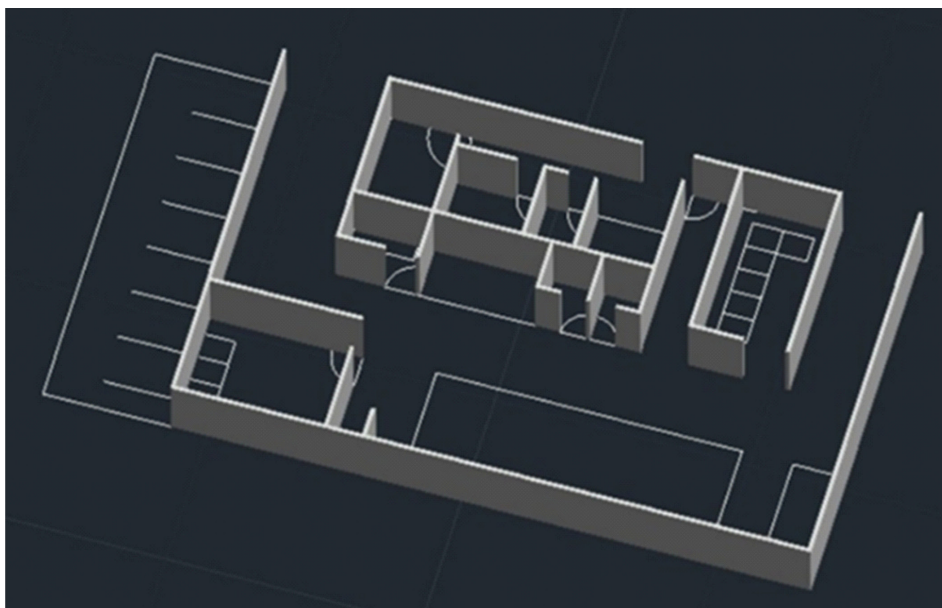
El diseño de los locales tuvo en cuenta las necesidades del cliente y cumplió los requisitos legales, como la Decisión 2400 de 1979 sobre alojamiento y seguridad en el lugar de trabajo y la Ley 9 de 1979 sobre salud e higiene. A partir del análisis de los datos anteriores, las zonas 9, 8, 7 y 6 se destinaron a una sala de descanso para el personal directivo, mientras que las zonas 10, 5, 1 y 4 se situaron cerca de la producción y no en la zona del personal directivo. Las zonas 3, 1 y 12 estaban situadas cerca de la línea de producción debido a la frecuente sustitución de artículos. La zona 12 servía de aparcamiento, situado fuera del edificio (Decisión 2400, 1979; Ley 9, 1979).

Estas decisiones de planificación se basaron en una cuidadosa consideración de las necesidades operativas, los requisitos legales y las interacciones específicas entre las áreas. La planta propuesta se ha diseñado con el objetivo de optimizar la eficacia y funcionalidad de la zona de trabajo, cumpliendo al mismo tiempo los requisitos legales aplicables.

Validación

Se puede determinar que el café al ser una de las principales bebidas consumidas a nivel nacional, se mantendrá en constante crecimiento, incrementando las posibilidades de aceptación del producto en el mercado. Siguiendo con los lineamientos de la metodología se realiza una distribución de planta, implementando los criterios segunda la metodología SLP identificando los procesos de producción, al igual se valida la distribución con la simulación discreta.

Figura 3. Plano 3D



Fuente: Elaboración propia AotuCAD.

Es esencial considerar que la conformidad con las normativas de iluminación no solo asegura un entorno laboral seguro y agradable, sino que también impulsa la eficiencia y la productividad de los empleados (Herrera & Londoño, 2017)

Para evaluar y mejorar la iluminación de la planta, se ha utilizado la simulación a través del software Dialux. Esta herramienta nos brinda la capacidad de analizar detenidamente los resultados de la simulación y aplicar las medidas necesarias para corregir cualquier insuficiencia en el sistema de iluminación.

Figura 4. Simulación de iluminación



Fuente: Elaboración propia Dialux.

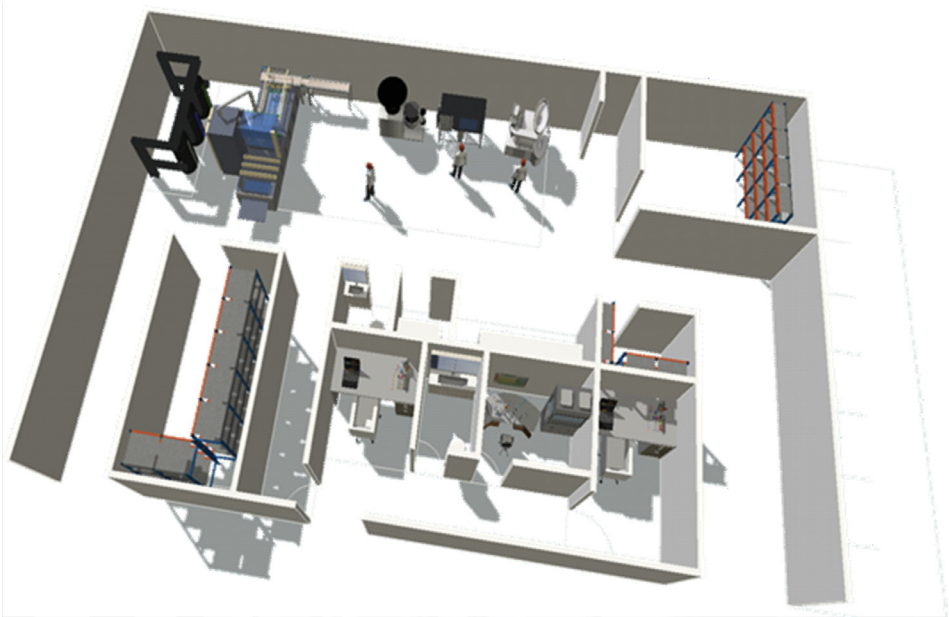
A través del software, podemos constatar el cumplimiento de la normativa RETILAP, que proporciona las especificaciones necesarias para la iluminación de cada área de trabajo, incluyendo tanto la zona administrativa como la de producción. En total, el software arroja un cálculo de 109 luminarias necesarias para cumplir con los niveles de luminosidad requeridos.

La optimización de la producción es un desafío constante para las empresas en busca de eficiencia y rentabilidad. Una herramienta poderosa que ha ganado prominencia en este campo es la simulación discreta (Robles, Granillo & Piedra 2013).

En este contexto, se explorará cómo la simulación discreta se implementó con éxito para validar y mejorar la producción de una empresa con el objetivo de alcanzar una cifra específica, en este caso, 11.367 unidades

diarias. Para llevar a cabo este desarrollo, se implementó el software FlexSim, una plataforma líder en la simulación de procesos y sistemas. A lo largo de esta exploración, se analizarán los beneficios y la metodología detrás de esta implementación, así como las implicaciones que tuvo en la eficiencia operativa y la toma de decisiones estratégicas de la empresa.

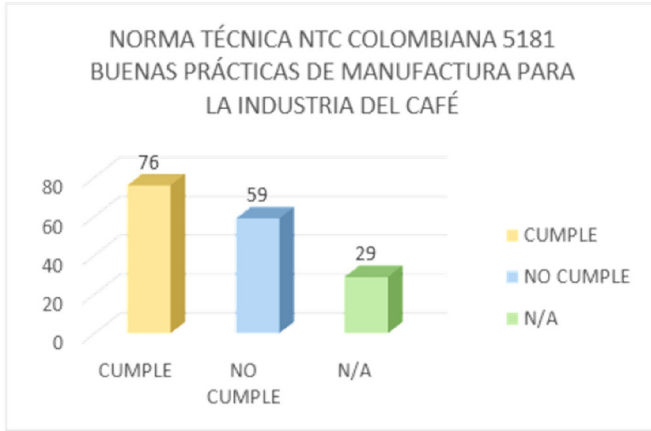
Figura 5. Simulación de Procesamiento



Fuente: Elaboración propia FlexSim.

Por último, se considera que un mundo cada vez más enfocado en la calidad y la seguridad de los productos, cumplir con las normativas vigentes es esencial para cualquier empresa. (Serrano & Cardozo, 2019). Para lograr este objetivo, se ha utilizado la simulación de eventos discretos y políticas internas específicas. La implementación de estas medidas no solo busca garantizar la calidad del producto sino también asegurar el cumplimiento legal. Esto indica un compromiso por parte de la empresa en mantener altos estándares de calidad y cumplir con las regulaciones, lo que podría fortalecer su posición en el mercado y mejorar la confianza de los consumidores.

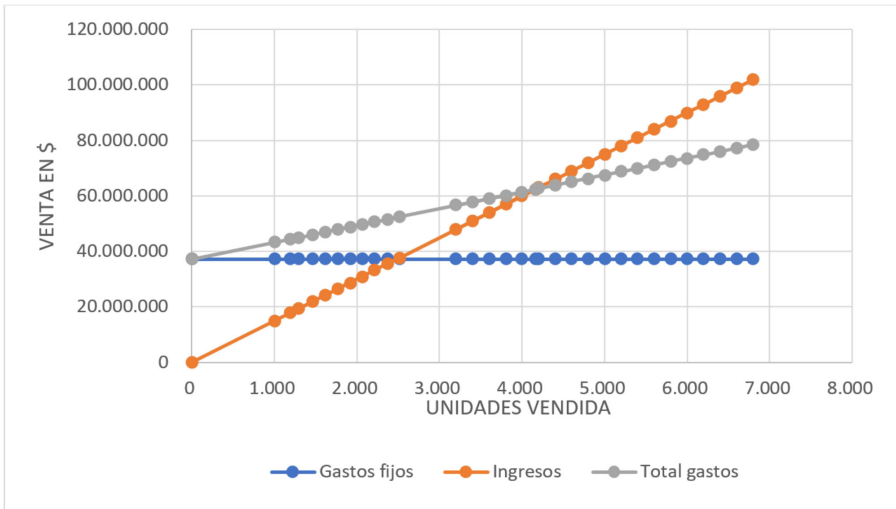
Gráfica 4. Resultados Normativa NTC 5181



Fuente: Elaboración propia.

A través del Gráfico 4, se evidencia el nivel de cumplimiento de la normativa aplicada, destacando que al implementar la normativa NTC 5181, se logran satisfacer 76 de los criterios establecidos en dicha regulación, abordando así las cuestiones legales y de seguridad y salud que son fundamentales dentro del entorno empresarial.

Gráfica 5. Análisis por costeo variable



Fuente: Elaboración Propia.

En el cálculo de la rentabilidad financiera, se emplea el punto de equilibrio con un precio de \$21.000 pesos por unidad y costos fijos de \$37.162.829 pesos. Con un costo variable unitario de \$6.073 pesos y un margen de contribución unitario de \$8.926 pesos, se alcanza el punto de equilibrio mensual vendiendo 4 mil unidades. Este indicador muestra cuándo la empresa puede cubrir sus obligaciones financieras, proporcionando una perspectiva de ventas y ganancias.

Conclusiones

Mediante el estudio de mercado permitió definir una demanda aproximadamente de 42.380 libras de café, así mismo se pudo identificar la tendencia de crecimiento en las ventas proyectadas a diez años.

Los parámetros adicionales que se han identificado en el estudio de mercado son muy importantes para tomar decisiones relacionadas con el proyecto, permitiendo identificar el valor del café, la aceptación del producto y la competencia, permitiendo plantear estrategias de comercialización.

la utilización del software Dialux ha sido fundamental para evaluar y garantizar el cumplimiento de la normativa RETILAP en cuanto a la iluminación de las áreas de trabajo. Los resultados obtenidos revelan la necesidad de instalar un total de 109 luminarias, asegurando así que se cumplan los niveles de luminosidad exigidos. Esta información proporciona una base sólida para llevar a cabo las adecuaciones necesarias y garantizar un ambiente laboral seguro y productivo en todas las áreas de la empresa.

La implementación de la simulación discreta mediante el uso del software FlexSim para mejorar la producción empresarial y alcanzar una meta específica de 11.367 unidades diarias ha sido exitosa. A lo largo de esta exploración, se han examinado tanto los beneficios como la metodología detrás de esta implementación. Además, se ha resaltado cómo esta estrategia ha influido positivamente en la eficiencia operativa y en la capacidad de la empresa para tomar decisiones estratégicas informadas.

El método de costeo variable señala que la venta de 4 mil unidades cubriría las obligaciones financieras. No obstante, se recomienda un análisis adicional utilizando indicadores financieros como la TIR y el costo-beneficio para obtener una perspectiva más completa y precisa de la viabilidad del proyecto.

Debido a que el proyecto se encuentra en desarrollo es fundamental evaluar su viabilidad financiera mediante indicadores, ya que estos proporcionan información clave que ayuda en la toma de decisiones y la seguridad de que el proyecto sea sostenible desde el punto de vista económico.

Referencias

- Nava Rosillón, M. A. (2009). Análisis financiero: una herramienta clave para una gestión financiera eficiente. *Revista venezolana de Gerencia*, 14(48), 606-628.
- Las microempresas fortalecen el tejido empresarial colombiano | MINCITO. (Dakota del Norte). MINCITO.
- Montaño Gómez, LD, & Martínez Díaz, D. (2021). El papel de las Fintech en la Inclusión Financiera, fuente de financiamiento de pymes colombianas. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/negocios_relaciones/263
- Hugo, B. (2006). Ediciones Umbral.
- Serrano, L., & Cardozo, J. (2019). Plan de negocios para la comercialización de una marca de café (Doctoral disertación, Universidad Santo Tomás).
- Simón-Marmolejo, I., Santana-Robles, F., Granillo-Macías, R., & Piedra-Mayorga, V. M. (2013). La simulación con FlexSim, una fuente alternativa para la toma de decisiones en las operaciones de un sistema híbrido. *Científica*, 17(1), 39-49.
- Celis, S. N. J. (2017). De la parcela a la mesa. El trabajo de las mujeres en torno a la pequeña producción de café en Oaxaca, México. *Revista latinoamericana de antropología del trabajo*, 1(1).
- Macana Toro, A. D., & Moriones Fernández, L. M. (2017). Diseño de un portafolio para la creación de un producto turístico en el municipio del Tambo Cauca (Doctoral disertación, Uniautónoma del Cauca. Facultad de Ciencias Administrativas, Contables y Económicas. Programa de Hotelería y Turismo).
- Méndez-Parra, R. M., Carmona-Tabares, P. C., & Molina-Díaz, O. E. (2019). Evaluación del efecto de tres niveles de tosti3n en la calidad en taza de algunas variedades de café de la especie *Coffea Arabica* L. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 31(1), 54-61.
- Arias, F., Ruiz, A., & Londoño, J. (2018). Análisis del mercado de cafés especiales y el posicionamiento colombiano en las nuevas tendencias mundiales. *Journal of research, education and society*, 4483-1741.
- Briceño Bellomo, R., & Fatur Gonzalez, B. A. (2021). Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta procesadora de café (*Coffea arabica*) tostado y molido en sacos filtrantes.
- Mendoza, M. R. (2020). Estudio de factibilidad para el establecimiento de una exportadora de café robusta en Orellana, Ecuador, para su comercialización en Alemania (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2020.).
- Gómez, A., & López, M. (2018). Estratificación socioeconómica y comportamiento del consumidor. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 12(1), 45-58.
- Johnson, P., & Rodriguez, L. (2021). Global Trends in Specialty Coffee Consumption. *Journal of Coffee Economics*, 56(2), 189-206.

- Martin, R. (2019). The Specialty Coffee Market: Growth and Challenges. *Coffee Studies*, 34(4), 405-421.
- Johnson, P., & Rodriguez, L. (2021). Global Trends in Specialty Coffee Consumption. *Journal of Coffee Economics*, 56(2), 189-206.
- Herrera Jaramillo, J. D., & Londoño Arango, C. S. (2017). Inspección eléctrica y lumínica de la Institución Educativa Jesús de la Buena Esperanza basados en el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE), la Norma Técnica Colombiana (NTC 2050) y el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP).
- Pacheco, N. P. G. (2015). Las microempresas un segmento fundamental en el desarrollo empresarial y la generación de empleo en Colombia y Perú. *Horizonte empresarial*, 2(2).
- Smith, J., García, M., & Johnson, R. (2020). Targeting the Coffee Consumer: Age Segmentation for Specialty Coffee Markets. *Journal of Coffee Research*, 47(3), 211-228.
- Romero Espinosa, F. (2013). Variables financieras determinantes del fracaso empresarial para la pequeña y mediana empresa en Colombia: análisis bajo modelo Logit. *Pensamiento & Gestión*, (34), 235-277.
- Arcila, W., Castaño, S. H. A. R. O. N., Amador, M., & DEL CAUCA, V. A. L. L. E. (2016). Metodología de la planeación sistemática de la distribución en planta (Systematic Layout Planning) de Muther. Obtenido de http://www.academia.edu/download/46317235/METODO_LOGIA_SLP_1_1.pdf.
- Flores, K. A. E., Barahona, J. M. T., & Coronado, M. H. V. (2020). Gestión por procesos para incrementar la productividad en la empresa “Comercio Industria y Servicios GMV EIRL”. *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 7(1).
- García, M., & López, A. (2017). Optimizing Industrial Plant Layout Using Systematic Layout Planning. *International Journal of Production Research*, 55(10), 2698-2712.
- Franco, M. A., & Montoya, L. M. (2012). Aplicación de la metodología ONUDI para proyectos de crecimiento orgánico en grupo EMI (Doctoral dissertation, Universidad EAFIT).

CAPÍTULO 2.

Desarrollo de un sistema de inyección de plásticos de dos etapas para el aprovechamiento de polietileno reciclado dirigidos a la economía circular.

RODRIGO ÁRNUL QUIÑONES JAIME¹
HÉCTOR DAVID GONZÁLEZ CASTRO²
JHON STIVEN ROMO ORDOÑEZ³
JONATAN ANACONA⁴
DIEGO ANDRÉS CAMPO CEBALLOS⁵
JAVIER ANDRÉS MUÑOZ CHAVES⁶

Resumen

La manufactura desempeña un papel crucial en el desarrollo económico al transformar materias primas en productos útiles. No obstante, el incremento en la producción de plásticos derivados del petróleo ha generado una crisis ambiental debido a la acumulación de desechos en océanos y otros lugares. Este estudio se enfoca en implementar una máquina de reciclaje de polipropileno para fomentar la sostenibilidad en la manufactura. Utilizando la metodología de diseño Mecatrónico, se creó un sistema de

-
- 1 Estudiante de Ingeniería Mecatrónica, Corporación Universitaria Comfacaucá (Unicomfacaucá). rodrigoquinones@unicomfacaucá.edu.co
 - 2 Estudiante de Ingeniería Mecatrónica, Corporación Universitaria Comfacaucá (Unicomfacaucá). hectorgonzalez@unicomfacaucá.edu.co
 - 3 Estudiante de Ingeniería Mecatrónica, Corporación Universitaria Comfacaucá (Unicomfacaucá). jhonromo@unicomfacaucá.edu.co
 - 4 Estudiante de Ingeniería Mecatrónica, Corporación Universitaria Comfacaucá (Unicomfacaucá). jonatananacona@unicomfacaucá.edu.co
 - 5 Docente de Ingeniería Mecatrónica, Corporación Universitaria Comfacaucá (Unicomfacaucá). dcampo@unicomfacaucá.edu.co
 - 6 Docente investigador de Ingeniería Mecatrónica, Corporación Universitaria Comfacaucá (Unicomfacaucá). jmunoz@unicomfacaucá.edu.co

inyección de plástico reciclado de dos etapas (IPR-2E). Los resultados demostraron un adecuado funcionamiento del sistema, incluyendo el transporte del material fundido, el control de velocidad y temperatura, y el proceso de inyección. Se aplicó la metodología de diseño mecatrónico para desarrollar un prototipo de inyección de dos etapas, desde la investigación de literatura hasta la implementación. Se consideraron aspectos clave como materiales, tipo de husillo y características del sistema de inyección. Tras el bosquejo y el diseño en 3D con SolidWorks, se procedió a la fabricación del prototipo. Actualmente, en la etapa C, se trabaja en un sistema de control de temperatura y velocidad para optimizar el proceso de fabricación y reducir la pérdida de material al proporcionar flexibilidad y evitar obstrucciones en el cilindro. Se estableció la importancia de controlar la temperatura, la velocidad de extrusión y la densidad del material en un sistema conjunto de extrusión e inyección, recomendando el uso de múltiples resistencias en los cilindros para mantener la consistencia del material. El prototipo final será validado mediante pruebas mecánicas en probetas para estudiar propiedades y aplicaciones, buscando mejorar el control de temperatura y velocidad con el fin de optimizar el proceso de inyección.

Palabras Clave: Extrusión, Inyección, Polipropileno, Economía circular.

Introducción

Durante las últimas décadas, el uso del plástico se ha incrementado significativamente a nivel mundial, impulsado por su bajo costo, durabilidad y practicidad, además de su capacidad para adaptarse a las necesidades del consumidor (Cabezas Saldarriaga *et al.*, 2022). Sin embargo, también se ha producido un aumento en la cantidad de plásticos que terminan en los océanos, representando entre el 60% y el 80% de la basura marina. Esto no sólo afecta negativamente la estética del entorno, sino que también impacta de manera económica en sectores como el turismo y la pesca.

La economía circular, un modelo que busca reducir la cantidad de residuos y la dependencia de los recursos no renovables, presenta ciertas limitaciones en el reciclaje de ciertos productos, como es el caso de los plásticos. Si bien las empresas de refrescos han considerado esta tendencia como positiva, en la práctica, el reciclaje de envases de plástico ha resultado en una gran contaminación debido a que solo se recicla el 2% de ellos. Esta situación se ha agravado en los últimos años y su proyección es preocupante, una vez que se estima que el consumo de plástico aumentará de 311 millones

de toneladas en 2014 a 1.124 millones de toneladas en 2050 (De Viviendas *et al.*, 2019).

En este sentido, es reportado por la Asociación de Plásticos Manufactureros del continente europeo (Plasticseurope) (Bazalar Herrera & Palomino Munguía, 2018), que en el año 2018 se fabricaron cerca de 360 millones de toneladas de plástico, distribuyendo su producción de la siguiente manera: Asia (51%), Europa (20%), América del norte (18%), África (7%) y América Latina (4%), donde únicamente China alcanzó el (30%) de los plásticos producidos durante este año.

Se estima que en Colombia se produce una cantidad mensual de 912 toneladas de plástico, pero lamentablemente sólo se recupera el 7% de ese total, lo cual contrasta con otros países que aprovechan hasta tres veces más los materiales plásticos. Esta situación evidencia un alto grado de desaprovechamiento de los recursos plásticos, los cuales, si no se integran como materia prima en la cadena productiva, pueden convertirse en los principales contaminantes del medio ambiente debido a su larga vida útil y su poca capacidad degradativa (Plan de Gestión de Buenas Prácticas Del Uso Del Plástico Reciclado En El Sector de La Construcción En Colombia: Un Análisis Comparativo Internacionalmente, n.d.).

Con el fin de mejorar estos indicadores, resulta crucial analizar el papel que desempeña la cadena de valor del reciclaje, comprendiendo en detalle sus componentes, actividades y actores involucrados. Esto permitirá identificar las barreras existentes en la cadena de valor, proponer estrategias para superarlas y lograr un aprovechamiento más eficiente de los residuos (Jose Gary Bolaños Zea, n.d.).

En general, a partir de la literatura se han identificado tres problemáticas asociadas a los micro plásticos y la biodiversidad de los ecosistemas marinos, estos son, su ingestión por la biota marina, la proliferación de microorganismos no deseados y la biomagnificación de sustancias tóxicas (Andrés Mendoza Quiroga *et al.*, n.d.). Esta evidencia respalda la idea de que las partículas de micro plásticos representan una amenaza para los ecosistemas marinos de Colombia (Maciej Serda *et al.*, 2023), por lo que es necesario implementar medidas que permitan un mejor aprovechamiento de los materiales plásticos, de manera que se reduzca el impacto ambiental y se promueva una economía circular y sostenible. En respuesta a este problema, se han desarrollado iniciativas para reducir el uso de plástico, como la implementación de políticas de reciclaje y el fomento de alternativas más amigables con el medio ambiente.

Es así como los gobiernos están implementando planes, programas

y estrategias para involucrar a todos los sectores sociales, políticos y económicos en todo el mundo en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos en la Agenda 2030 (Zottele Allende & Nájera Jiménez, 2022). Asu vez, la educación es fundamental para el éxito de estos objetivos y de futuras agendas relacionadas con la sostenibilidad. La Ley Orgánica de Modificación de la Ley de Educación (LOMLOE), aprobada en diciembre de 2020, se enfoca en promover una educación centrada en el desarrollo de competencias y valores, con el fin de que la comunidad educativa pueda contribuir y ser protagonista en la consecución de los ODS (Unidas, 2030). La economía circular, que se rige por los principios de las 7R (Reciclar, Rediseñar, Reducir, Reutilizar, Reparar y Recuperar), tiene una estrecha relación con los ODS y se contrapone al modelo lineal predominante de producir, utilizar y desechar que ha llevado a la generación de residuos y la degradación del medio ambiente. De esta forma, es importante destacar que la educación en sostenibilidad y economía circular es esencial para avanzar hacia una sociedad más sostenible y cumplir con los ODS (BOE-A-2020-17264 Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, Por La Que Se Modifica La Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación., n.d.).

En este sentido, se han llevado a cabo diversas investigaciones sobre la reutilización de plásticos derivados de fuentes fósiles para la producción de nuevos materiales. Por ejemplo, es reportada la producción de pisos fabricados con HDPE. Este material ofrece ventajas como una larga vida útil, fácil acceso y un proceso de producción sencillo. Para su elaboración se han tenido en cuenta las regulaciones establecidas en el país para los adoquines y baldosas, y se ha analizado la dinámica de producción y comercialización tanto a nivel nacional como internacional (Cañibano Furones, 2022).

Felipe and A. Victoria analiza el uso de los compuestos de madera y plástico (WPC) en diversas aplicaciones y presenta una revisión de las técnicas de fabricación de WPC. También examina el carácter ecológico de los WPC y las posibilidades de reciclarlos (Felipe & Victoria, 2014).

Bolaños Zea, tiene como objetivo investigar en detalle el proceso y el reciclaje del plástico Polietileno Tereftalato (PET), así como sus usos en la industria. Se realizó una revisión teórica exhaustiva utilizando una metodología exploratoria y no experimental. Como resultado de esta investigación, se propone la implementación de una planta de reciclaje de PET, aprovechando los conocimientos adquiridos (Bolaños Zea, 2019).

Á. A. Matias *et al.*, analiza los retos que plantea el reciclado de residuos poliméricos, en particular PET y PP, debido a su heterogeneidad

y a la dificultad de mantener sus propiedades tras el reciclado mecánico. Se propone una solución consistente en utilizar formulaciones de PP/PET al 70/30 % en peso para la fabricación de tuberías. De esta forma, se explora el impacto del uso de este material teniendo en cuenta su microestructura, propiedades térmicas y mecánicas y se evalúa el uso de un compatibilizador para contrarrestar la inmiscibilidad natural entre los dominios del PP y PET. Finalmente se concluye que la formulación desarrollada con PET reciclado es un buen ejemplo de la aplicabilidad del trabajo a escala de laboratorio en la producción del material con proyección a escala industrial (Matías *et al.*, 2020).

En definitiva, el reciclaje de plásticos es una estrategia fundamental para mitigar el impacto negativo de estos materiales en el medio ambiente. Además, como se puede observar, las opciones de reciclaje son cada vez más diversas y prometedoras, lo que hace pensar en un futuro más sostenible para la sociedad.

Sin embargo, vale resaltar que antes de producir elementos a partir del reciclaje de plástico de origen fósil, es importante tener en cuenta los procesos de manufactura adecuados para fabricarlos. Entre estos procesos se encuentran el termoformado, la extrusión y la inyección, los cuales tienen características y ventajas propias (Botet Latre, 2019).

En este sentido, es importante dar especial atención al proceso de inyección, ya que es uno de los procesos más comunes y versátiles en la producción de piezas de plástico. Además, el uso de plástico reciclado puede presentar desafíos específicos en el proceso de inyección, como la necesidad de ajustar los parámetros del proceso para asegurar la calidad y la estabilidad de las piezas.

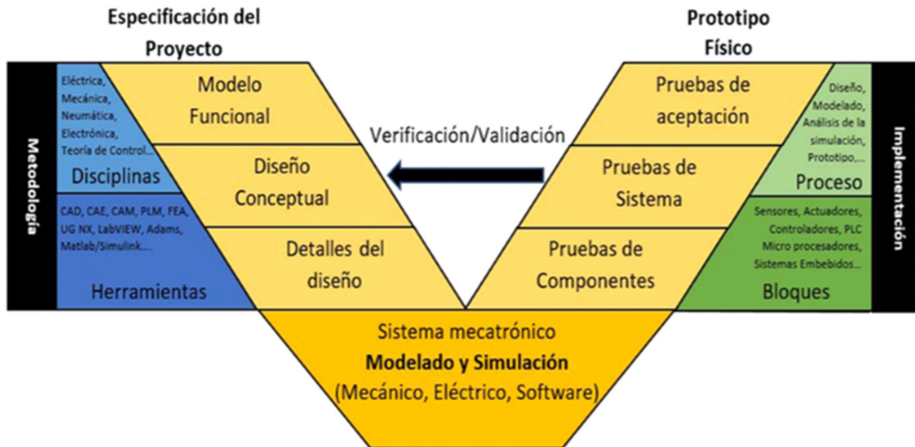
En este contexto, en el marco de la presente investigación, se ha desarrollado un sistema de inyección de plástico reciclado de dos etapas (extrusión-inyección) utilizando la metodología de diseño mecatrónico (Lugo-González *et al.*, n.d.).

Vale destacar, que la combinación de estos dos procesos en un único sistema puede permitir una mayor eficiencia en la producción y la creación de productos con formas complejas que no se pueden lograr con solo un proceso de moldeo. Además, debido a su diseño modular, el sistema también se puede usar en modo extrusión, lo que aumenta la versatilidad de los productos obtenidos con material plástico reciclado. Es importante destacar que este enfoque puede contribuir a la reducción de residuos plásticos y a la creación de productos más sostenibles.

Desarrollo

El proceso de diseño e implementación del sistema de inyección de dos etapas se llevó a cabo usando la metodología de diseño mecatrónico, presentada en la figura 1 (Lugo-González *et al.*, n.d.).

Figura 1. Metodología de Diseño Mecatrónico modelo en V.



Fuente: Elaboración propia.

A seguir se describen las actividades desarrolladas en cada una de las etapas del proceso de diseño e implementación del sistema, en base a esta metodología.

A: Identificación de parámetros de diseño

En esta fase inicial se realizó una búsqueda exhaustiva de proyectos e investigaciones relacionados con la temática, así como las consecuencias que impulsan dichos proyectos para establecer los objetivos del trabajo. Así, se llevó a cabo una revisión del estado del arte de sistemas de extrusión inyección y procesamiento de plásticos reciclados, y la definición de especificaciones para el diseño funcional y estructural. A partir de esta búsqueda, se estableció una base sólida para el diseño y la implementación del sistema de inyección de plástico reciclado de dos etapas

B: Construcción del prototipo a escala

En la segunda fase, se procede a la construcción del prototipo a escala de la máquina extrusora e inyectora, que permitirá llevar a cabo pruebas adecuadas para evaluar el acople y transporte del material plástico reciclado. Se inicia con la elaboración de un bosquejo y la definición del diagrama

general de funcionamiento del sistema. Luego, cada pieza individualizada del prototipo es diseñada en software CAD, para luego ser evaluada en un sistema a escala, donde se fabrica cada pieza a través de impresión 3D. De esta manera, se busca comprobar que cada pieza de la máquina funciona correctamente y se acopla adecuadamente al sistema en su conjunto, garantizando la funcionalidad y la eficiencia del prototipo.

C: Simulación estructural y de mecanizado del sistema a escala real

Después de la etapa de diseño y construcción del prototipo a escala, se lleva a cabo la fase de simulación de cargas estáticas y térmicas. Para esta fase, se utilizan herramientas de software CAE (Computer Aided Engineering) para analizar y validar el sistema, permitiendo obtener información precisa sobre el comportamiento estructural del prototipo. A seguir se usan herramientas CAM (Computer Aided Manufacturing) para generar los programas de mecanizado necesarios para la producción de las piezas. De esta manera, se logra una mayor eficiencia y precisión en la fabricación, asegurando la calidad y funcionalidad del prototipo.

D: Implementación y validación funcional del sistema

Una vez que se han realizado las simulaciones y se han optimizado los parámetros de diseño, se procede a mecanizar las piezas del prototipo. Para ello, se utilizan máquinas de mecanizado adecuadas para garantizar la calidad y precisión de las piezas fabricadas. Con las piezas mecanizadas, se realiza la implementación a escala real del sistema extrusor-inyector, lo que permitirá evaluar su desempeño en condiciones reales y validar los resultados obtenidos en las simulaciones.

Diseño Conceptual

Un sistema de extrusión e inyección para plástico reciclado consta de varias partes principales que deben ser cuidadosamente diseñadas y seleccionadas para lograr un prototipo funcional. De esta forma, con base en la revisión de investigaciones y prototipos de extrusión/inyección de plásticos, se establecieron algunas características para el diseño, entre estas se destacan:

Tolva de alimentación: es la parte del sistema donde se coloca el material plástico reciclado antes de ser procesado. Debe adecuarse a la cantidad de material a ser procesado y diseñarse de manera que permita una alimentación uniforme y constante del material al sistema.

Extrusor: es la parte del sistema que funde y mezcla el material plástico reciclado para formar una masa homogénea fluida que pueda ser transportada

hacia la siguiente etapa. Para construir un prototipo funcional, se debe controlar la temperatura del material para asegurar que se funda y pueda ser procesado adecuadamente.

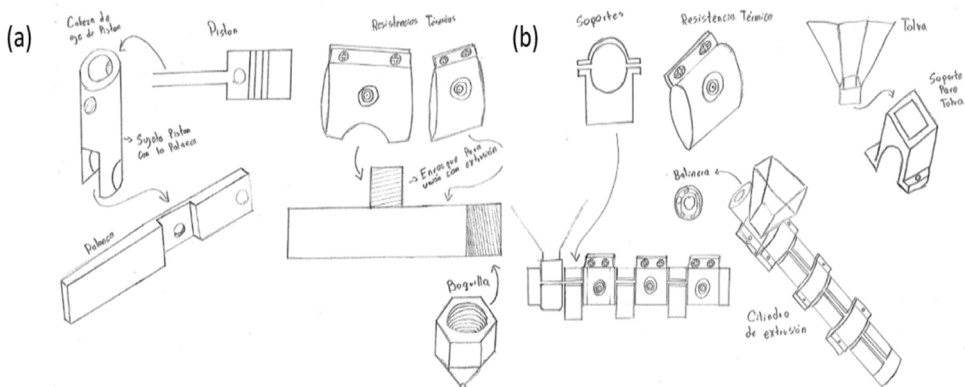
Cilindro de inyección: es el componente del sistema que tiene como función mantener el material fluido para ser inyectado en el molde a alta presión y obtener la pieza deseada. Aquí se destaca el cabezal de inyección, el cual limita la presión de inyección para asegurar que el material se distribuya de manera uniforme y se llene completamente el molde.

Vale destacar que como en este caso se plantea un sistema de inyección de dos etapas, debe existir un adecuado acople entre el componente de extrusión y el de inyección, tal que, se garantice un transporte adecuado del material fundido del extrusor al cilindro de inyección.

En este sentido, todas las partes del sistema deben estar diseñadas para resistir las altas temperaturas y las fuerzas de presión que se generan durante el proceso de extrusión e inyección. Esto implica el uso de materiales resistentes al calor y al desgaste, así como un diseño robusto y preciso.

Así, el prototipo del sistema de inyección de dos etapas parte de un diseño conceptual y funcional que consta de dos subsistemas principales (ver Figura 2).

Figura 2. Boceto a mano alzada de los subsistemas de (a) inyección y (b) extrusión.

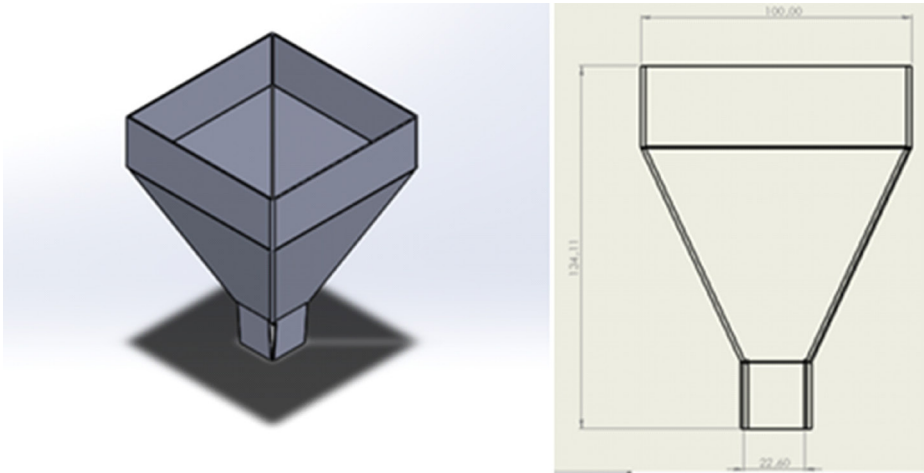


Fuente: Elaboración propia.

Virtualización del Prototipo en Software CAD

Con base en los bocetos a mano alzada se prosigue a realizar el diseño CAD usando SolidWorks, en el cual adicionalmente se definieron los materiales para la construcción de este. La figura 3, presenta las vistas de la tolva de alimentación del sistema. De forma general esta se diseñó para una capacidad de 1200 gramos de material. El material para usar en la tolva será polietilenos de alta densidad y polipropileno de baja densidad debido a su capacidad de procesamiento por medio de extrusión e inyección.

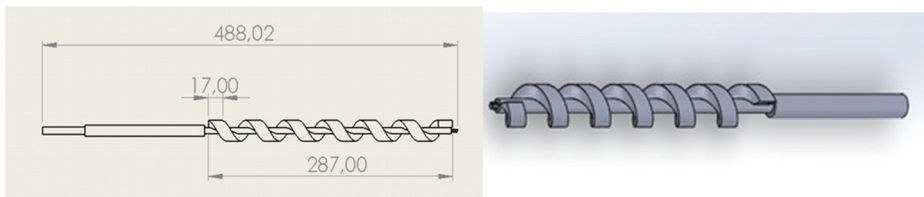
Figura 3. Diseño de la tolva de alimentación.



Fuente: Elaboración propia.

La figura 4, muestra el diseño del tornillo extrusor, encargado de realizar tanto la extrusión como el transporte de material hasta la etapa de inyección. Este diseño se realizó con base en las dimensiones estándar de un barreno para madera.

Figura 4. Diseño CAD del tornillo extrusor.



Fuente: Elaboración propia.

A través de la ecuación 1 (Fuerza de Rozamiento. Coeficiente de Arrastre, n.d.), fue posible determinar el flujo de arrastre del tornillo extrusor.

$$\text{Flujo de arrastre} = \frac{[0.95 * \pi * D * 2 * H * \left(L - \frac{W}{L}\right) * RPM * (\text{Sin}\theta * \text{Cos}\theta)]}{2}$$

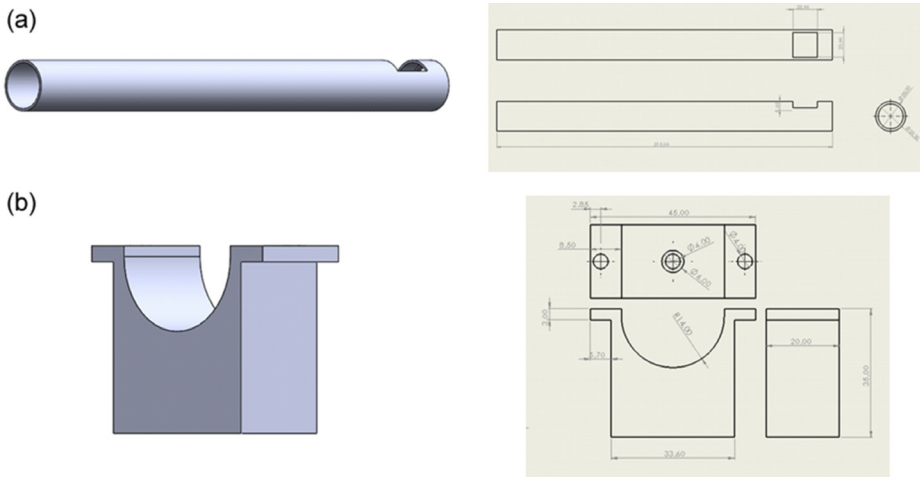
Donde:

- Diámetro interior D = 5 mm
- Profundidad del canal H = 10 mm
- Profundidad del filete L = 27 mm
- Anchura del canal W= 17 mm
- Angulo de la hélice = 15°
- Velocidad de extrusión RPM a RPS = 35 RPM = 0.583333 RPS

Con estos valores se estimó un flujo de 1147,74 mm^3/s

La figura 5, presenta el cilindro de extrusión que cubre al tornillo, así como sus respectivos soportes. Este cilindro tiene un diámetro de 2.54 cm, lo cual garantiza un giro adecuado del tornillo extrusor en su interior. Vale destacar que el uso de soportes se realiza con el fin de fijar el subsistema de extrusión a la estructura, para evitar cualquier movimiento involuntario tras la activación de la máquina y con el fin de obtener una altura adecuada, que facilite el acople con la entrada de la cámara de inyección. Adicionalmente, este cilindro posee un orificio en la parte superior para acoplar la tolva.

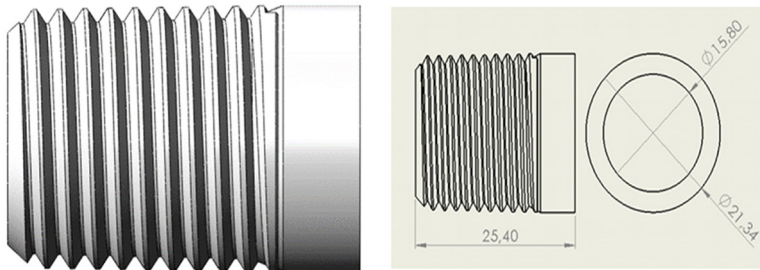
Figura 5. Diseño CAD de (a) Cilindro extrusor y (b) Soportes.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez que los subsistemas de extrusión e inyección son diseñados de forma independientes, es necesario establecer un acople entre los cilindros que permita el flujo de material transportado desde el subsistema extrusión hasta la cámara de inyección, para ello se diseñó un acople con rosca para el cilindro donde se inyecta el material y en la salida del cilindro donde se extruye (Figura 6).

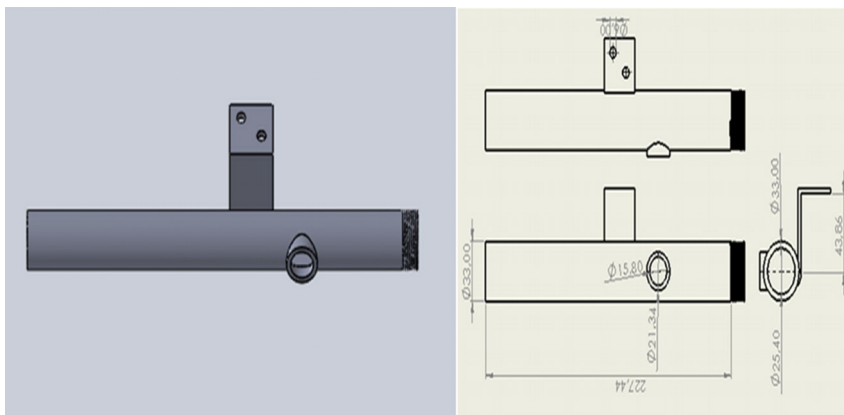
Figura 6 Diseño CAD del acople entre los subsistemas de extrusión e inyección.



Fuente: Elaboración propia.

Con relación al subsistema de inyección, la figura 7 muestra el diseño del cilindro de inyección que tiene una capacidad para inyectar 55,88 cm³ de material. Este diseño cuenta con un orificio lateral de acople directo con el cilindro de extrusión. Para obtener un sistema más versátil, en el extremo de salida de material se realizó un mecanizado en forma de rosca que permitirá acoplar diversas boquillas según el tipo molde de inyección a utilizar.

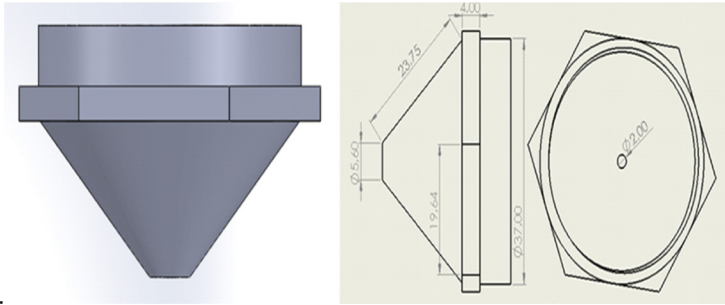
Figura 7. Diseño CAD del cilindro de inyección.



Fuente: Elaboración propia.

En particular, para controlar moderadamente el volumen del material a ser expulsado de la etapa de inyección, se diseña una boquilla cónica en roscable al cilindro inyector (Figura 8). Esta boquilla permite una salida mínima y constante, respecto a la cantidad de material que se desea inyectar.

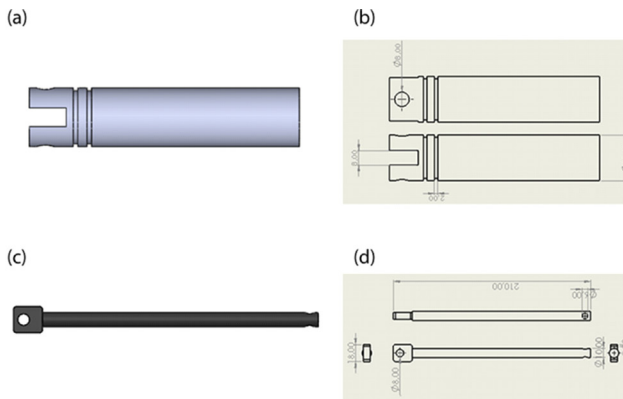
Figura 8. Diseño CAD de la boquilla de inyección



Fuente: Elaboración propia.

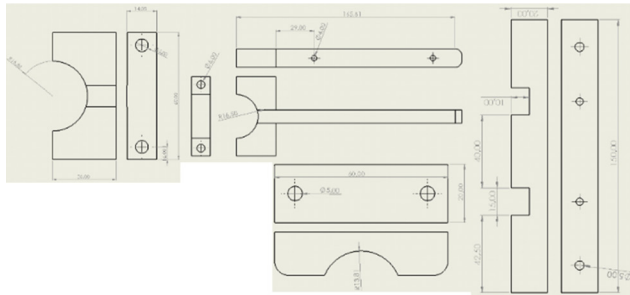
Con el fin poder inyectar el volumen de material entrante al cilindro, se optó por el diseño de un pistón, ya que su estructura se consideró adecuada, tanto por su forma acorde con la cavidad cilíndrica en la cual éste debe estar, como el movimiento que éste puede realizar para empujar el material. Para esto se diseñó un embolo con su respectivo eje, que se encarga de llevar a cabo el movimiento de inyección vertical hacia abajo y un eje fijado al pistón que permite la transmisión de fuerza aplicada desde un sistema de palanca externo. Las figuras 9 y 10 muestran los componentes del pistón (embolo y eje) y la palanca de accionamiento con sus soportes, respectivamente.

Figura 9. Diseño CAD del pistón (a) embolo y (b) eje



Fuente: Elaboración propia.

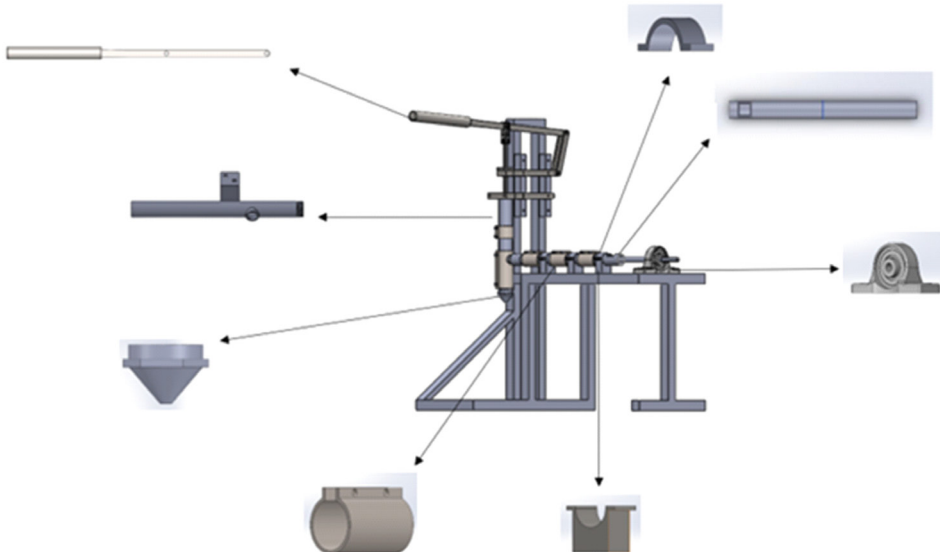
Figura 10. Diseño CAD de la palanca de accionamiento del sistema.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se acoplan los dos subsistemas junto con la estructura diseñada. Así, es obtenido como resultado el diseño CAD ensamblado del sistema de inyección de dos etapas presentado en la figura 11.

Figura 11. Ensamble del sistema de inyección de dos etapas mostrando la boquilla, soportes, resistencias, estructura, palanca y el husillo



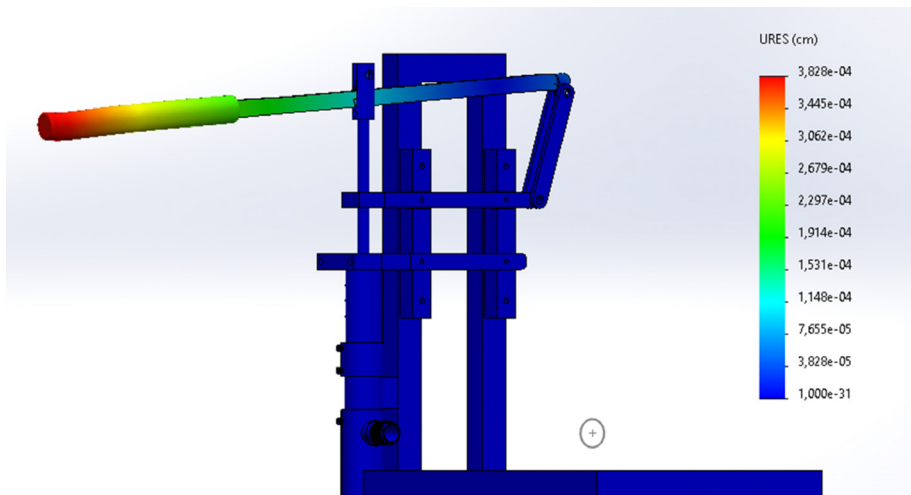
Fuente: Elaboración propia.

Análisis Estructural y Térmico del Sistema Mediante Herramientas de Software CAE

El análisis CAE de esfuerzos mecánicos y térmicos es una técnica de ingeniería para simular el comportamiento de un sistema ante diversas condiciones. En el caso del sistema de inyección de dos etapas, se utilizó el análisis CAE en piezas específicas para evaluar su resistencia y durabilidad.

La figura 12 muestra la simulación de esfuerzo mecánicos sobre la palanca de inyección asumiendo una carga de 150N considerando el estado viscoso de los materiales a ser usados y las presiones de inyección consultadas en la literatura (Overview of Materials for Polypropylene, Molded, n.d.). Como observado en la figura al aplicar esta carga se observa una deformación de $3,82 \times 10^{-4}$ la cual no tiene un efecto representativo sobre la integridad del sistema.

Figura 12. Simulación estática del sistema inyección en SolidWorks

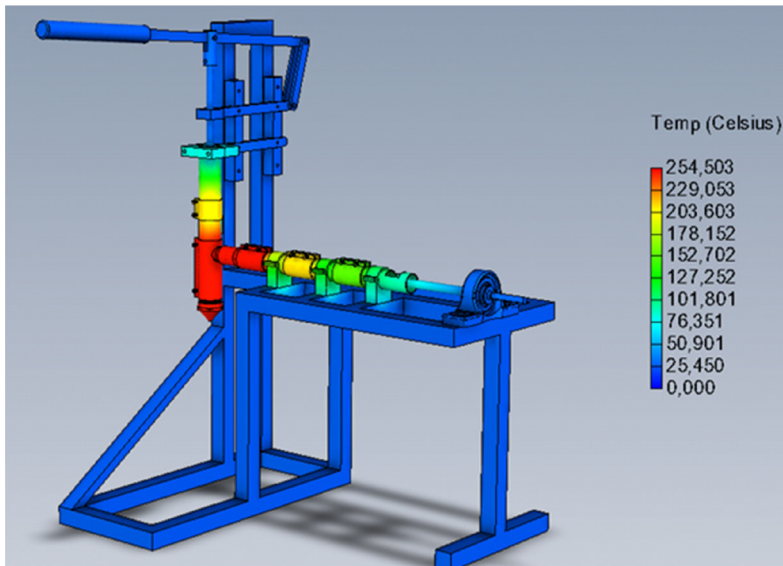


Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, considerando como material de estudio el polietileno

reciclado, el sistema requiere de tres etapas de calentamiento considerando los cilindros de extrusión e inyección. Así, se diseñaron resistencias calefactoras que aplican temperaturas entre 150°C y 250°C para fundir el material y lograr su fluidez. En el subsistema de extrusión se usan temperaturas de 150°C, 180°C y 220°C, mientras que en el subsistema de inyección se mantiene la temperatura en 220°C. Esto permite una adecuada transferencia de calor y el cambio del polímero de estado sólido a viscoso para su inyección. Como observado en la figura 13, las altas temperaturas del proceso no se extienden a la estructura por disipación de calor, evitando riesgos. Vale destacar, que las temperaturas óptimas varían según el material, pero suelen recomendarse 180-230°C en inyección y 30-50°C en el molde, siendo necesario realizar pruebas y ajustes de temperatura para cada tipo de polímero reciclado que se desee inyectar.

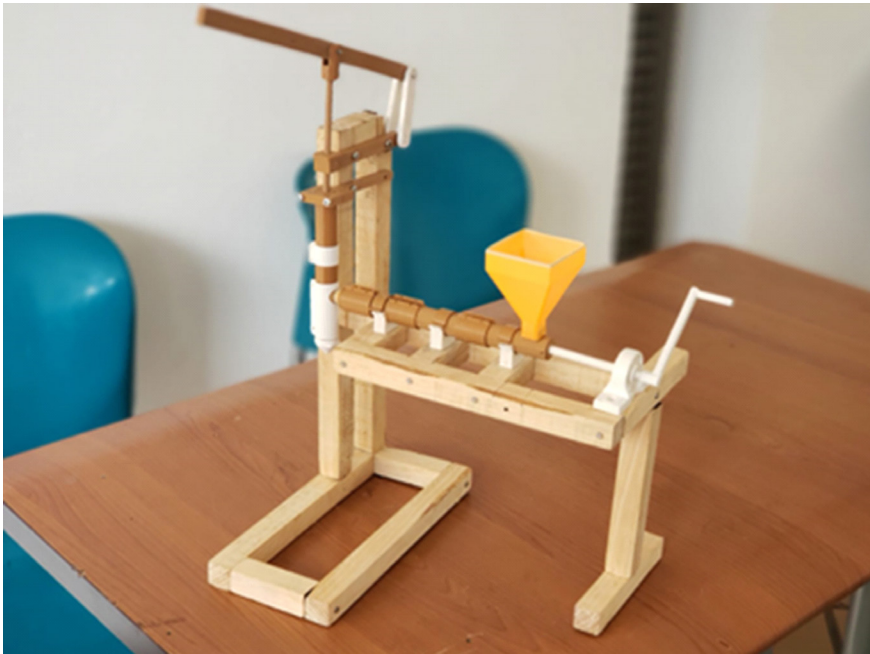
Figura 13 Simulación térmica de ambos sistemas en SolidWorks



Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se han obtenido todos los detalles de diseño del sistema, se procedió al prototipado rápido del sistema en escala 1:2 Figura 14. En esta fase se utilizaron tecnologías de fabricación aditiva, como la impresión 3D, para producir las piezas del prototipo de manera rápida y precisa. Es importante destacar que este proceso de prototipado permite identificar posibles errores en el diseño y realizar ajustes antes de la fabricación final del sistema a escala real. La prueba realizada demostró que el diseño de la máquina de extrusión e inyección es viable, al comprobar su capacidad para transportar el material a través del cilindro extrusor, pasarlo al inyector y finalmente inyectarlo por la boquilla cónica según lo planeado.

Figura 14. Prototipado rápido del sistema de inyección de dos etapas (escala 1:2)



Fuente: Elaboración propia.

Implementación y Verificación de la Operatividad del Sistema

Figura 15 Montaje de ambos sistemas en la estructura elaborada.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez implementado el sistema en escala real figura 14, se realizaron pruebas de funcionamiento con un fluido viscoso elaborado a partir de harina de trigo mezclada con agua, dado que tomaba una consistencia similar al plástico derretido, con lo que se consiguió validar tanto el transporte del material como la inyección y el volumen de salida que ocurre en la boquilla figura 16.

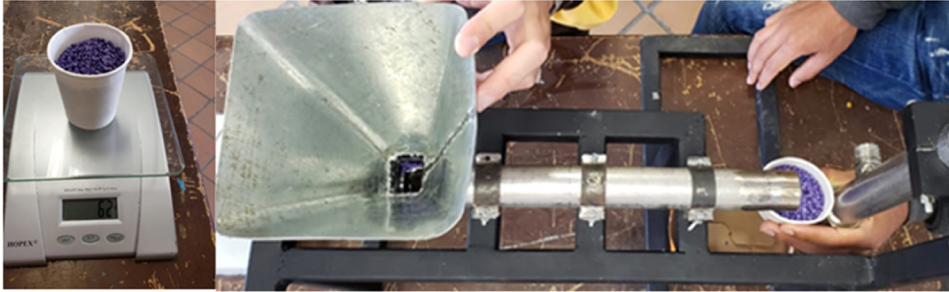
Figura 16 Ensayo de transporte de material



Fuente: Elaboración propia.

A modo de ensayo también se llevó a cabo una prueba a fin de evaluar el adecuado transporte de los pellets de polietileno de alta densidad, los cuales se usarán a futuro para generar piezas inyectadas a futuro. De esta forma se evidenció un transporte adecuado de los pellets a lo largo del cilindro extrusor figura 17.

Figura 17. Ensayo de transporte de material pellet



Fuente: Elaboración propia.

De esta forma fue posible evaluar la funcionalidad parcial del sistema, siendo necesario aun la implementación de un sistema de control que permita regular tanto la velocidad de giro del tornillo extrusor, así como, la temperatura de cada una de las resistencias que efectuaran los procesos de precalentamiento, calentamiento e inyección.

Conclusiones

La metodología de diseño mecatrónico permitió llevar a cabo el diseño e implementación del prototipo de inyección de dos etapas, partiendo desde la búsqueda de literatura para el aporte de diferentes aspectos relevantes a tener en cuenta, como los materiales para la estructura, el tipo de husillo para el transporte, características del sistema de la palanca de inyección, que son elementos importantes para su implementación. Seguido de la elaboración del bosquejo del sistema se procedió al diseño 3D en software CAD (SolidWorks) para el análisis estructural y de temperatura y continuar con la fabricación del sistema final. La metodología empleada facilitó operar entre las etapas de verificación y validación, permitiendo realizar mejoras y/o cambios cuando necesario.

El prototipo queda en elaboración en la etapa C, dado que se está trabajando en un sistema de control de temperatura y velocidad para los

actuadores identificados (resistencias de abrazadera y motor de al menos 1hp) y de esta forma optimizar, tiempo y material en el momento de fabricación. Así, el prototipo final será validado mediante el procesamiento de probetas para ensayos mecánicos a fin de estudiar sus propiedades y evaluar posibles aplicaciones.

De esto se deduce que el porcentaje de pérdida disminuirá una vez se aplique un control de temperatura y velocidad sobre el proceso, ya que, le otorgará al material más flexibilidad y maleabilidad para desplazarse evitando que este se quede o permanezca obstaculizado en algún lugar del cilindro.

Se determinó que, para el desarrollo de un sistema conjunto de extrusión e inyección, es necesario tener en cuenta de que las variables a tener en consideración para lograr un buen resultado son la temperatura en los cilindros, la velocidad con la que se extruye y la densidad del material que se someterá al proceso. Por lo cual es recomendable usar al menos 3 resistencias en el cilindro extrusor y entre 1 y 2 en el cilindro inyector para que el estado del material fluctúa lo menos posible mientras esté sometido a los procesos extrusión-inyección.

Referencias

- Andres Mendoza Quiroga, R., Fabregas Villegas, J., & Buelvas Castro, E. M. (n.d.). Analysis of the value chain of plastic recycling. A case study of the department of Atlantico (Colombia). Retrieved June 23, 2023, from <https://www.researchgate.net/publication/343599147>
- Bazalar Herrera, G. P., & Palomino Munguia, C. (2018). Análisis en la gestión empresarial de las empresas privadas en la industria de plásticos que han incorporado a las asociaciones de recicladores en su cadena de valor, en Lima Metropolitana. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). <https://doi.org/10.19083/TESIS/624798>
- BOE-A-2020-17264 Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. (n.d.). Retrieved May 8, 2023, from <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2020-17264>
- Bolaños Zea, J. J. G. (2019, December). Reciclado de Plástico PET. Artículo. http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/UCSP/16146/1/BOLA%C3%91OS_ZEA_JUA_PET.pdf
- Botet Latre, A. (2019). Estudio de los plásticos como material de reciclado para la obtención de material de construcción. <https://riunet.upv.es/handle/10251/115263>
- Cabezas Saldarriaga, A. Y., López Collazos, M. C., Argot Galeano, J., & Empresas, A. de. (2022). Estudio de viabilidad para la creación de la empresa “Natural Bio Chal” productora de platos a base de hojas de plátano en la ciudad de Santiago de Cali. <http://repository.unicatolica.edu.co/handle/20.500.12237/2260>
- Cañibano Furones, Á. (2022). Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 en la materia de Tecnología y Digitalización de 3o ESO del sistema educativo español a través de la economía circular. <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/63994>
- De Viviendas, P., De, M., Cinco, H., En, P., Ciudad, L. A., Lima, D. E., El, Y., Carlos, J., & Montes, S. (2019). Propuesta de medidas para incrementar la sostenibilidad en proyectos de viviendas multifamiliares de hasta cinco pisos en la ciudad de Lima y el Callao. Universidad Tecnológica Del Perú. <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/2782>
- Felipe, A., & Victoria, A. (2014). Plan de negocios para la creación de una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de productos de madera plástica en Cali Valle del Cauca. <https://repositorio.uceva.edu.co/handle/20.500.12993/498>
- Fuerza de rozamiento. Coeficiente de arrastre. (n.d.). Retrieved May 22, 2023, from <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/fluidos/reynolds/reynolds.html>
- Jose Gary Bolaños Zea, J. (n.d.). “Reciclado de Plástico PET.”

- Lugo-González, E., Velarde-Galván, A. Y., & Arias-Montiel, M. (n.d.). Capítulo 2 Diseño mecatrónico implementado en el desarrollo de prototipos virtuales y físicos Chapter 2 Mechatronic design implemented in the development of virtual and physical prototypes. <https://doi.org/10.35429/H.2020.5.22.39>
- Maciej Serda, Becker, F. G., Cleary, M., Team, R. M., Holtermann, H., The, D., Agenda, N., Science, P., Sk, S. K., Hinnebusch, R., Hinnebusch A, R., Rabinovich, I., Olmert, Y., Uld, D. Q. G. L. Q., Ri, W. K. H. U., Lq, V., Frxqw, W. K. H., Zklfk, E., Edvhg, L. V, ... ح. ىمطاف. (2023). Optimización del muestreo de microplásticos: Ensayos para la mejora de la monitorización en áreas marinas mediante la aplicación de diseños innovadores y el empleo de barcos de oportunidad. *Uniwersytet Śląski*, 7(1), 343–354. <https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>
- Matias, Á. A., Lima, M. S., Pereira, J., Pereira, P., Barros, R., Coelho, J. F. J., & Serra, A. C. (2020). Use of recycled polypropylene/poly(ethylene terephthalate) blends to manufacture water pipes: An industrial scale study. *Waste Management*, 101, 250–258. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2019.10.001>
- Overview of materials for Polypropylene, Molded. (n.d.). Retrieved July 30, 2023, from <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=08fb0f47ef7e454fbf7092517b2264b2&ckck=1>
- Plan de gestión de buenas prácticas del uso del plástico reciclado en el sector de la construcción en Colombia: un análisis comparativo internacionalmente - 10596/54270. (n.d.). Retrieved April 19, 2023, from <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/54270>
- Unidas, N. (2030). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. www.issuu.com/publicacionescepal/stacks
- Zottele Allende, A. C., & Nájera Jiménez, L. E. (2022). Economía circular: contribución a la Agenda 2030. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época REMEF*, 17(4), e792. <https://doi.org/10.21919/remef.v17i4.792>

CAPÍTULO 3.

Caracterización de Agroquímicos en Zona Agrícola del Corregimiento de Gabriel López (Totoró-Cauca)

NATALY OROZCO CERTUCHE¹

DIANA MUÑOZ SOLARTE²

CARLOS AYALA CHIGUAD³

Resumen

Actualmente en el ejercicio agrícola existe un elevado uso de plaguicidas con el fin de prevenir, controlar y eliminar plagas que afectan la producción de un cultivo. Estas prácticas pueden llegar a generar un alto riesgo dentro de los ecosistemas y en la salud de las comunidades agrícolas, por los diferentes componentes de los agroquímicos poseen características tóxicas. Se realizó un estudio sobre para estimar el riesgo ecológico por uso de plaguicidas en una zona agrícola ubicada en Totoró – Cauca, con el fin de identificar el grado de afectación que pueden provocar estos compuestos químicos en el ambiente. Se tuvo en cuenta 40 fincas seleccionadas por los líderes comunitarios, seguido de un diagnóstico de las sustancias utilizadas en los cultivos de papa donde se estableció la categoría toxicológica y el grado de peligrosidad de estas sustancias. Como resultado el mayor peligro se presenta en los ecosistemas acuáticos con un 53 % a nivel general, la mayor cantidad de sustancias utilizadas producen un bajo contenido de residuos

1 Ingeniera Ambiental y Sanitaria, Joven investigadora, nataly.orozco@uni-autonoma.edu.co

2 , Ph.D. Ciencias Ambientales, Docente investigadora, diana.munoz.s@uni-autonoma.edu.co

3 , Ingeniero Ambiental y Sanitario, carlos.ayala.c@uni-autonoma.edu.co

tóxicos en el producto, marca un riesgo leve en la salud de las personas. Se estudió de forma cualitativa el impacto en las áreas del cultivo, obteniendo que en la mayoría de las zonas existe un riesgo moderado y el ecosistema más afectado es el acuático. Por último, se sugirieron medidas de control ecológico, donde se dieron a conocer alternativas amigables y sostenibles con el ambiente. Se concluyó que el uso excesivo de plaguicidas en los cultivos de papa, pueden traer un gran impacto negativo en los ecosistemas acuáticos, debido a que se caracterizan por ser bioacumulables y volátiles.

Palabras claves: Estimación, Riesgo, Ecosistema, Agroquímicos.

Introducción

En la actualidad gran parte de los países han venido implementando el uso de plaguicidas en las actividades agrícolas con el fin de reducir daños y pérdidas ocasionada por plagas, malezas y enfermedades en los cultivos, para así obtener una producción más favorable. Las sustancias utilizadas son nocivas y destructivas tanto como para el ser humano y el ambiente, debido a que son de naturaleza tóxica, cancerígena, bioacumulables y persistentes en los sistemas ecológicos (Benítez-Díaz *et al.*, 2015).

En Colombia se realiza una alta producción de papa, la cual representa el 32 % de las actividades agrícolas, de modo que el empleo de plaguicidas es alto y muy significativo en todas las zonas productoras de papa. Es por esto que estas zonas son focos de alta contaminación debido a la expansión de los cultivos de papa en ecosistemas vírgenes de páramo, llegando a generar cambios en la diversidad biológica, paisajística y cultural, así como también provocando la disminución de la capacidad de captación y regulación del agua (*Normatividad*, s. f.).

La actividad agrícola y el uso irracional de agroquímicos para su producción es alta. De acuerdo con el Banco Mundial y el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario), en 2015, incrementó en un 360 % el uso en toneladas de plaguicidas y 50,9 millones de litros en la producción de este. Cabe resaltar que este tipo de sustancias químicas son consideradas nocivas para los ecosistemas, siendo los plaguicidas organofosforados y carbamatos el grupo de insecticidas más frecuentemente utilizados en el control de plagas de los cultivos de papa (<https://www.virtualpro.co>, 2019). Posiblemente, estas cifras se deben a que los agricultores carecen de conocimiento para su

adecuada utilización, lo que conlleva a que se presenten perjuicios notables como la aparición de plagas más resistentes, contaminación del agua, incremento continuo de la salinidad en el suelo, erosión, agotamiento de la fertilidad y proliferación de enfermedades (Estupiñán, 2015).

De acuerdo con el estudio “Papas y tierras en Boyacá: investigación etnobotánica y etnohistórica de uno de los principales productos de la alimentación colombiana” realizado en el 2015, en el país se generan alrededor 1’865.000 toneladas de alimentos y productos agrícolas al año, de los cuales la papa es el principal alimento producido, con 579.027 toneladas y 39.956 hectáreas sembradas (Estupiñán, 2015); el municipio de Totoró en el departamento del Cauca (Colombia), es una zona reconocida por la producción de este alimento. Dentro de los plaguicidas mayormente utilizados son aquellos pertenecientes a la categoría toxicológica III (medianamente tóxicos) seguidos por la categoría I (extremadamente tóxicos) (Muñoz Solarte *et al.*, 2022). Es así como estas zonas son consideradas focos de altos índices de contaminación afectando parte limítrofe de la zona del Páramo de las Delicias (cordillera central) invadidas por siembras de cultivo de papa, reduciendo y contaminando fuentes hídricas como la cuenca alta del Río Palacé (Cauca), las cuales aportan el caudal de agua para ser potabilizada y consumida en la capital Caucana (Popayán) (User, 2017).

Dentro de la zona de estudio se encuentran cuatro Veredas que orientan su principal actividad al cultivo de la papa (Chuscales, Calvache, Tabaco y Agua Bonita), hacen parte del corregimiento de Gabriel López en el municipio de Totoró – Cauca, ubicado en el Valle de Malvazá limitando con el Páramo de las Delicias. Esta zona posee ambientes propicios que favorecen el cultivo de este tubérculo, pero en su producción los recursos naturales de estos ecosistemas están expuestos a estos compuestos químicos (Collazos & Landazury, 2008).

Considerando lo mencionado anteriormente, fue necesario realizar una caracterización del uso de agroquímicos, su categoría toxicológica y riesgo ecológico en un ecosistema en la localidad de Gabriel López (Totoró - Cauca), con el propósito de estimar los posibles efectos negativos del uso de plaguicidas sobre el ambiente. Este estudio permitió realizar un conjunto de acciones y procedimientos en un área geográfica determinada, con el fin de obtener información sobre los peligros que se pueden generar dentro de un ecosistema partiendo de las propiedades (físicas, químicas, toxicológicas y eco-toxicológicas) de las sustancias, las características del ambiente y

de las aplicaciones en el cultivo; de esta manera poder identificar aspectos sociales, físicos y ecológicos prioritarios a intervención para reducir el impacto causado por la utilización desmedida de estas sustancias, a través del seguimiento y control, que permitirán generar alternativas de prevención.

La ejecución del proyecto fue factible y viable en términos económicos, ya que se tuvo la aceptación de los líderes de la zona, la alcaldía y la comunidad, los cuales brindaron la ayuda y el tiempo necesario para completar el trabajo de campo, dado que el estudio es de observación y análisis. Además, se encontró pertinente llevar a cabo el proyecto ya que en esta zona no se han realizado estudios previos de esta índole, esta investigación es considerada como pionera en esta zona agrícola del Cauca, convirtiéndose en una investigación innovadora.

Finalmente se espera que este estudio se constituya en la base para que los entes gubernamentales y demás instituciones ambientales que fomenten programas de prevención ambiental y salud, así mismo lograr sensibilizar a la comunidad para hacer posible un cambio que contribuya de manera positiva al ambiente y mejora de su calidad de vida.

Desarrollo

Estudios y metodologías asociadas al análisis de riesgos por agroquímicos en zonas expuestas

Se realizó un análisis de varios estudios a nivel nacional e internacional relacionados con el tema de caracterización, estimación y evaluación de riesgo ecológico por agroquímicos, de los cuales se tomó en cuenta aquellos más relacionados con el tema y contexto central. Se evidencian en la tabla 1, aquellos estudios que se constituyeron en la base para proponer la metodología en el presente estudio.

Tabla 1. Estudios a nivel nacional e internacional realizados sobre caracterización, estimación y evaluación de riesgo ecológico

Tema o título	Objetivos	Métodos	Resultados	Conclusiones	Referencia
Propuesta metodológica para la evaluación de riesgo ambiental causado por el uso de plaguicidas en la sabana de Bogotá (Colombia - 2011).	Diseñar una propuesta metodológica de evaluación del riesgo por el uso de plaguicidas.	Se revisan metodologías para la estimación de riesgo ecológico en los componentes agua, suelo y aire para generar una nueva metodología.	Se adoptó el índice (IRR), el modelo GUS, el modelo RECAP y el cociente de riesgo, para estimar el riesgo ecológico.	Es una buena herramienta para la determinación del riesgo ecológico a pesar de que puede fallar en algunos estudios debido a que los datos que se toman son utilizados de diferentes literaturas y no en campo.	(Leiva <i>et al.</i> , 2012)
Fundamentos de la evaluación del riesgo ecológico (Colombia -2010).	Desarrollar un modelo conceptual de las rutas de exposición al estrés ambiental.	Se utilizó el programa GENEEC, desarrollado por la oficina de programas sobre plaguicidas de la USEPA.	Para todos los escenarios de uso sobrepasaron el valor de 1, que es indicativo de un riesgo potencial.	Bajas concentraciones de atrazina, los riesgos de efectos tóxicos en los organismos acuáticos son reducidos.	(Carpio <i>et al.</i> , 2015)
Guía de evaluación de riesgos ambientales (Perú -2010).	Instrumento ambiental, que ayude a determinar el nivel de riesgos ambientales.	Estimación de consecuencias, intensidad y extensión del probable daño, y caracterización del riesgo ambiental.	Instrumento de orientación para la estimación del riesgo durante una evaluación ambiental.	Esta Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales es aplicable a áreas afectadas o propensas a daños de origen antrópico o natural.	(Luz, 2011)

Tema o título	Objetivos	Métodos	Resultados	Conclusiones	Referencia
Propuesta metodológica para el análisis de riesgo ambiental en el subsector productivo de leche (Colombia - 2008).	Elaborar una propuesta metodológica para el análisis de riesgo ambiental.	Recopilación de información primaria, secundaria, metodologías para el análisis de riesgos ambientales.	El mayor riesgo tanto ambiental como sanitario lo genera el uso del Malathion producto empleado como garrapaticida	Esta metodología permite evaluar de forma organizada y lógica el riesgo ambiental.	(Galarza Rodríguez & Bocanegra, 2008)
Problemática y riesgo ambiental por el uso de plaguicidas en Sinaloa (México – 2012).	Revisión sobre las principales causas y efectos de la aplicación de plaguicidas en los cultivos.	Implementación de la agricultura orgánica y el uso de bioplaguicidas para el control de plagas y enfermedades.	En la superficie reflejaron una alta cantidad de sustancias tóxicas.	La reglamentación es importante en cuanto a la aplicación de productos, llevando a la práctica la agricultura orgánica y el uso de biofertilizantes.	(García-Gutiérrez & Rodríguez-Meza, 2012)
Riesgo ambiental por el uso de agroquímicos (Colombia - 2010).	Identificar los efectos sobre él o los ecosistemas expuestos, de acuerdo con la FAO.	Caracterización fisicoquímica del ingrediente activo del plaguicida, y el establecimiento de las condiciones ambientales de la zona.	Se encontró un verdadero efecto sobre él o los ecosistemas expuestos.	La evaluación del riesgo es una metodología basada en rigurosos principios científicos, está aún en su etapa de desarrollo, no sólo en Colombia sino a escala mundial.	(M. & Suarez, 2010)
Guía para la gestión ambiental responsable de los plaguicidas químicos de uso agrícola (Colombia -2003).	Estrategia para la reducción de riesgos ocasionados por agroquímicos.	Se toman en cuenta factores como la dosis, frecuencia, aplicación y las propiedades fisicoquímicas que influyen en esa evaluación del riesgo.	Se muestra de manera teórica si el agroquímico es susceptible de degradación y metabolismo en los ecosistemas.	Se estudia el destino y el comportamiento de las sustancias activas y los otros componentes de los plaguicidas químicos de uso agrícola.	(Ministerio del ambiente, 2003)

Tema o título	Objetivos	Métodos	Resultados	Conclusiones	Referencia
Impacto del manejo de agroquímicos, en la parte alta de la microcuenca Chorro Hondo Marinilla (Colombia – 2013).	Determinar el impacto generado por el manejo de agroquímicos.	Estudio descriptivo, observaciones directas de muestras de agua, suelo y aire y entrevistas.	El 31 % manifestaron que el agua sí estaba contaminada de agroquímicos por escorrentía de lluvia.	El 27 % de los predios tenía más de 50 metros de distancia de la fuente hídrica, el 53 % cumple lo dispuesto en el Decreto 1843 de 1991 del Ministerio de Protección Social.	(Montoya R <i>et al.</i> , 2014)
Niveles de colinesterasa en cultivadores de papa expuestos ocupacionalmente a plaguicidas, Totoró, Cauca (Colombia – 2017).	Identificar efectos adversos en la salud y en el medio ambiente asociado con el manejo de plaguicidas.	Se realizó un estudio descriptivo transversal en el municipio de Totoró – Cauca, con una muestra de 125 trabajadores.	El 74,4 % (n=93) de los trabajadores empleaban plaguicidas en su trabajo y el 49,6 % (n=62) los usaban en el hogar.	El plaguicida más frecuentemente utilizado en el trabajo fue el Manzate de categoría toxicológica III, mientras que en casa fue el Furadan (categoría toxicológica I).	(Díaz <i>et al.</i> , 2017)
Evaluación del impacto ambiental generado por los residuos peligrosos, municipio de Nobsa, Boyacá (Colombia – 2017).	Realizar la evaluación del impacto ambiental que generan los residuos peligrosos.	Se realizó un diagnóstico (encuestas), visitas de campo, listas de chequeo, y evaluación de impactos por medio de la matriz CONESA.	Buenas prácticas agrícolas y prácticas de seguridad y salud en el trabajo aplicables al manejo de los residuos peligrosos.	Se aplicó la metodología de evaluación de impactos mediante la matriz de CONESA, donde de forma cuantitativa se permitió evaluar el cultivo de la cebolla cabezona.	(Cabrera Calderón <i>et al.</i> , 2023)
Diagnóstico del manejo de agroquímicos y el papel de la mujer (Guatemala – 2011).	Establecer la situación actual del uso, manejo de los agroquímicos.	Grupo de localización, fase de muestreo y observación directa.	Productos químicos más utilizados organofosforados, carbamatos y piretroides	El 91 % de las mujeres encuestadas en las 4 aldeas de Patzicía, almacenan los agroquímicos fuera de la casa sin seguridad.	(Marroquín Karen, 2011)

Fuente: Elaboración propia.

El riesgo ecológico en el sector agrícola

La contaminación generada por plaguicidas está dada fundamentalmente por aplicaciones directas en los cultivos agrícolas, lavado inadecuado de tanques contenedores, filtraciones en los depósitos de almacenamiento y residuos descargados y dispuestos en el suelo, derrames accidentales, el uso inadecuado de los mismos por parte de la población, que frecuentemente son empleados para contener agua y alimentos en los hogares ante el desconocimiento de los efectos adversos que provocan en la salud, la unión de estos factores provoca su distribución en la naturaleza y los restos de estos plaguicidas se dispersan en el ambiente convirtiéndose en contaminantes para los sistemas biótico (animales y plantas principalmente) y abióticas (suelo, aire y agua) amenazando su estabilidad y representando un peligro de salud pública (User, 2017).

El riesgo ecológico es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno que afecta al medio ambiente, por tal razón, realizar una estimación de riesgo por el uso de plaguicidas ayuda a identificar los valores ambientales de interés y los riesgos más importantes causados por las actividades antropogénicas. Es trascendental diferenciar los cambios ocurridos por fenómenos naturales con las actividades humanas. El riesgo ecológico/ambiental es estimado a partir de la relación entre la exposición y los efectos, teniendo en cuenta la complejidad del gran número de especies y la diversidad de las rutas de exposición. Una evaluación de riesgo ecológico se puede desarrollar siguiendo los lineamientos sugeridos por la USEPA (1998), que divide estas evaluaciones en tres etapas: definición del problema, análisis y caracterización del riesgo (Ministerio del Medio Ambiente, 2014).

Clasificación toxicológica de los agroquímicos

Los agroquímicos están formados por diferentes componentes tóxicos que comúnmente son denominados compuestos activos y que poseen un alto grado de peligrosidad para el medio ambiente y la salud de las personas, por este motivo es necesario clasificar cada producto químico mediante el cálculo de su toxicidad. Esta medición se realiza teniendo en cuenta la DL50 (Dosis Letal 50) y CL50 (Concentración Letal 50). La clasificación de toxicidad de los productos que sigue corresponde a la establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como se muestra en la tabla 2. Se divide en cinco grupos. Los valores DL50 indicados corresponden a vía oral (Ramírez, J. A. y Lacasaña, M., 2001).

Tabla 2. Clasificación toxicológica de los agroquímicos

Clasificación de la OMS, según los riesgos:	Formulación líquida DL50 Aguda (mg/kg)		Formulación sólida DL50 Aguda (mg/kg)	
	Oral	Dermal	Oral	Dermal
Clase 1a productos sumamente peligrosos	>20	>40	>5	>10
Clase 1b productos muy peligrosos	20 a 200	40 a 400	5 a 50	10 a 100
Clase II productos moderadamente peligrosos	200 a 2000	400 a 4000	50 a 500	10 a 1000
Clase III productos poco peligrosos	2000 a 3000	>4000	500 a 2000	>1000
Clase IV productos que normalmente no ofrecen peligro	>3000		>2000	

Fuente: (Ramírez, J. A. y Lacasaña, M., 2001)

Clasificación de peligrosidad de productos químicos

Todos los agroquímicos que se utilizan en las actividades agrícolas poseen características de riesgo para el medio ambiente y la salud humana, estos productos se pueden clasificar como: tóxicos, corrosivos, irritantes, inflamables, explosivos u oxidantes. Algunos productos agroquímicos también pueden ocasionar más de uno de esos peligros, como por ejemplo la generación de cáncer y la mutación de la genética de un organismo, así mismo el contacto de esas sustancias con el medio ambiente puede provocar daños al ecosistema a corto o largo plazo (Revista seguridad minera, 2017).

Gradiente de toxicidad

Dependiendo de la exposición de una sustancia altamente tóxica se puede establecer un gradiente de toxicidad, en el cual se observa que si no hay exposición (cero dosis) no hay efecto, a medida que se incrementa la dosis pueden empezar a aparecer efectos bioquímicos, hasta llegar a los efectos fisiológicos. Sin embargo, ambos efectos pueden pasar desapercibidos si no se cuenta con técnicas y equipos que permitan ponerlos de manifiesto. Cuando la dosis alcanza niveles significativos, que varían de una sustancia a otra, pueden aparecer signos y síntomas clínicos que dan lugar a estados patológicos o enfermedades diversas, así como también puede ocurrir la muerte (Instituto Nacional de Ecología, 2000).

Propiedades físicas y químicas que hacen riesgosas a las sustancias

Entre las propiedades que inciden en el riesgo de las sustancias químicas, resaltan aquellas que favorecen su movilización a través del aire, como lo es su presión de vapor que determina su volatilidad; su solubilidad en agua, que influye en su infiltración en el suelo hacia los mantos acuíferos; su coeficiente de reparto octanol/agua, que permite conocer su capacidad de penetrar a través de las membranas biológicas y de acumularse en el tejido adiposo así como su persistencia, que indica cual es la vida media de las sustancias en el ambiente conservando sus propiedades tóxicas (Instituto Nacional de Ecología, 2000).

Procesos del cultivo de papa

Para realizar el cultivo de papa dentro una parcela se tiene en cuenta diferentes procesos ordenados, para que así el producto sea favorable en la cosecha. Dentro de estos procesos se tiene como primero, la preparación del suelo, la cual implica tener en cuenta las condiciones físicas del suelo, así como también la textura ideal que es de suelos limosos, franco-arenosos profundos, con buen drenaje y alta cantidad de materia orgánica que permite buena aireación y desarrollo de los tubérculos, de modo que para preparar del suelo se debe utilizar el subsolador a 40 cm o más para mejorar la infiltración del agua, así como también utilizar cal para mejorar el pH del suelo, surquear a nivel, de forma manual, con bueyes o con caballo. Seguido a esto se debe sembrar la papa en surcos a una distancia entre 0,70 m a 1 m entre surcos, de 0,15 a 0,25 m entre plantas (depende del tamaño de la semilla utilizada) y a una profundidad alrededor de 0,20 m; es recomendable utilizar semilla que haya alcanzado su grado de madurez, alcance la brotación en varios ojos del tubérculo, libre de malezas, plagas y enfermedades. Después de colocar los tubérculos (semilla) dentro de los surcos, estos se tienen que tapar con una capa de suelo de aproximadamente entre 7-10 cm (Vargas *et al.*, 2018).

La fertilización es importante aplicar en el primer mes teniendo en cuenta la zona, las condiciones edafoclimáticas y requerimientos de cada variedad, para esta actividad se realizan dos aplicaciones, una en el fondo del surco con agroquímicos de alto contenido de fósforo, y otra en la capa del suelo que tapa la semilla con fórmulas altas en potasio. Con relación a lo anterior por ciclo de cultivo requiere aproximadamente 270 kg/ha de nitrógeno, 130 kg/ha de fósforo y 385 kg/ha de potasio y elementos menores

como calcio, magnesio, azufre, boro, cobre, hierro, manganeso y zinc (Vargas *et al.*, 2018).

También es muy necesario cubrir con suelo desde los surcos hasta la base de la planta, formando un lomillo más alto, esto con el fin de que los talluelos no caigan al suelo y se puedan formar nuevos tallos, así como también evitar la entrada de plagas principalmente de polilla, mejorar el drenaje y la aireación que ayudan al desarrollo de la planta. La práctica se puede realizar de forma manual con el uso de herramientas como palas o azadas. El rendimiento de un cultivo puede ser afectado por las diferentes malezas indeseables, razón por la cual es indispensable realizar un control en los primeros 40 días después de la siembra, mediante la aplicación de herbicidas y la aporca profunda. Del mismo modo existen plagas que retrasan o dañan por completo un cultivo lo que implica grandes pérdidas económicas, para esto se debe aplicar diferentes plaguicidas en el transcurso del ciclo del cultivo (Vargas *et al.*, 2018).

Zona de Estudio

La zona de estudio para la presente investigación está ubicada en las veredas Calvache, Tabaco, Chuscales y Agua Bonita los cuales pertenecen al corregimiento de Gabriel López (Totoró - Cauca - Colombia). Se encuentra sobre la cordillera central de los Andes entre las coordenadas geográficas (50 28' 22,07" N, 790 5' 50,84" W y 50 17' 30,88" N y 790 16' 52,84" W) a una altura de 2800 a 3600 msnm (Muñoz Gomez *et al.*, 2018), cómo se muestra en la figura 1.

Figura 1. Veredas del corregimiento Gabriel López (Totoró - Cauca), vista panorámica



Clasificación de las sustancias químicas presentes en los agroquímicos

Se tuvo en cuenta el inventario y diagnóstico de las sustancias químicas utilizadas en la producción de papa con lo cual se contó en el momento como información primaria. Para la identificación de riesgos de cada sustancia se tuvo en cuenta sus respectivos pictogramas por clasificación, color, nomenclatura R (riesgo) y S (seguridad), como se muestra en el documento de “Nuevos pictogramas de peligro para la clasificación, etiquetado y envasado de sustancias químicas” figuras 2 y 3 (Ramírez Torres *et al.*, 2017). También se utilizó la norma NFPA 704 (*Clasificación de Productos Químicos Según La Norma NFPA 704 | PDF | Agua | Química, s. f.*) y el Decreto 1843 de 1991, Artículo 14 (SAS, 1991a) que explican el diamante de materiales peligrosos como se muestra en la figura 4 y la categoría toxicológica de las sustancias químicas en relación con la salud y el medio ambiente como se indica en la tabla 3.

Figura 2. Pictogramas de seguridad



Fuente: (Pictogramas CLP - ECHA, 2023)

Figura 3. Pictogramas de peligro



Fuente: (Pictogramas CLP - ECHA, 2023)

Figura 4. Diamante del fuego



Fuente: (Pictogramas CLP - ECHA, 2023)

Tabla 3. Categorías Toxicológicas

Categoría	Denominación toxicológica	Color
“Ligeramente tóxicos”	IV	Verde
“Medianamente tóxicos”	III	Azul
“Altamente tóxicos”	II	Amarillo
“Extremadamente tóxicos”	I	Rojo

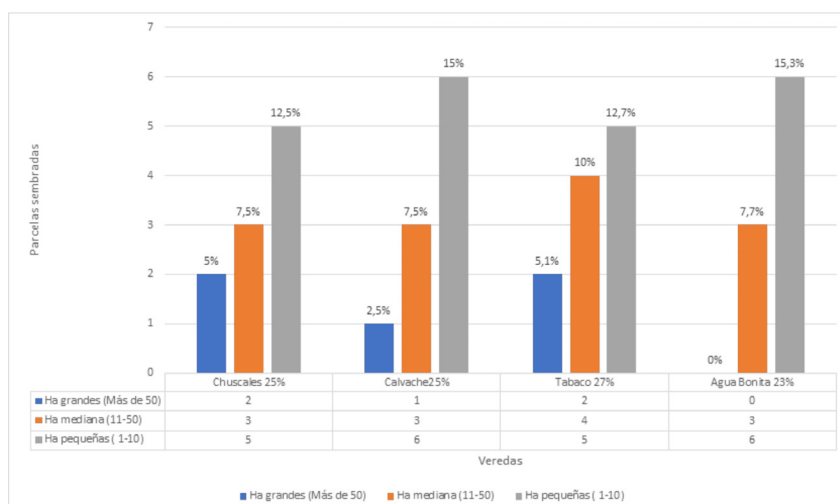
Fuente: (SAS, 1991b)

Resultados

Categorización de parcelas según tamaño

En la zona de estudio se determinó la categorización de las diferentes parcelas de acuerdo con el número de hectáreas, tomando como pequeños productores los que poseen de 1 a 10 ha, medianos productores de 11 a 50 ha y como grandes productores de 50 ha en adelante (Figura 5). Las zonas cultivadas con papa en las veredas de Chuscales, Calvache, Agua Bonita y Tabaco representan un porcentaje del 10 % con respecto al número total de hectáreas sembradas. El 55 % del área total cultivada en las 4 veredas son pequeños productores, debido a que su área de siembra no es muy extensa.

Figura 5. Parcelas sembradas según la cantidad de hectáreas en las veredas Chuscales, Calvache, Tabaco y Agua Bonita (Gabriel López - Cauca)

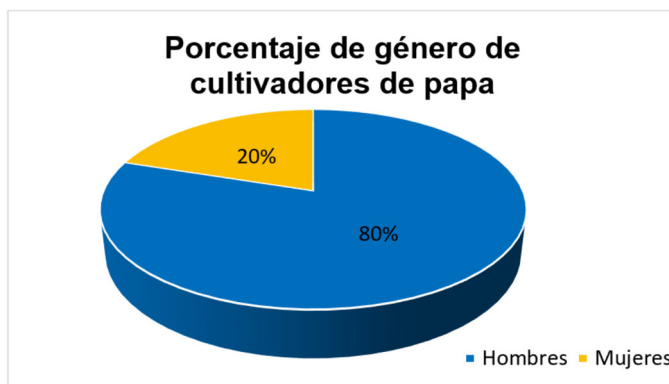


Fuente: Elaboración propia.

Actividad agrícola según género

En la figura 6 se puede observar el porcentaje de género de cultivadores de papa dentro de las veredas de Chuscales, Calvache, Agua Bonita y Tabaco del corregimiento de Gabriel López, en el cual se encuentran empleados agricultores masculinos y femeninos. De acuerdo con los resultados, el 80 % hace parte del género masculino en vista de que son los encargados del sustento del hogar y, un 20 % de los agricultores pertenecen al género femenino, lo cual evidencia que las mujeres son cada vez más incluidas en estas actividades agrícolas, debido a que varias parcelas hacen parte de la rentabilidad familiar (Figura 6).

Figura 6. Porcentaje de género de cultivadores de papa en el corregimiento de Gabriel López

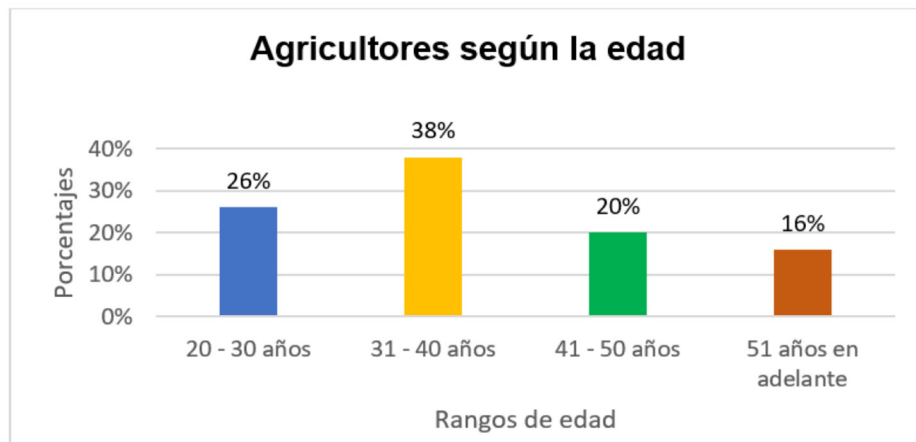


Fuente: Elaboración propia.

Categorización de agricultores de papa según la edad

En relación con esta variable, el 26 % de la población que inicia con las actividades agrícolas se encuentra en un rango de edad entre los 20 y 30 años. El 38 % para personas de 31 a 40 años, los cuales corresponden a la mayoría de los agricultores independiente del género que se dedican a las labores agrícolas del cultivo de papa. El rango de 41 a 50 años tuvo un porcentaje de 20 % y para personas mayores a 51 años un 16 % como se evidencia en la Figura 7. Estos trabajadores son los encargados de realizar la preparación del terreno, la labranza convencional mediante maquinaria pesada y la fertilización del producto. Cabe resaltar que la actividad de la producción de papa en el corregimiento de Gabriel López puede ser desempeñada por personas sin tener presente su edad.

Figura 7. Porcentaje de agricultores de papa según rangos de edad en el corregimiento de Gabriel López



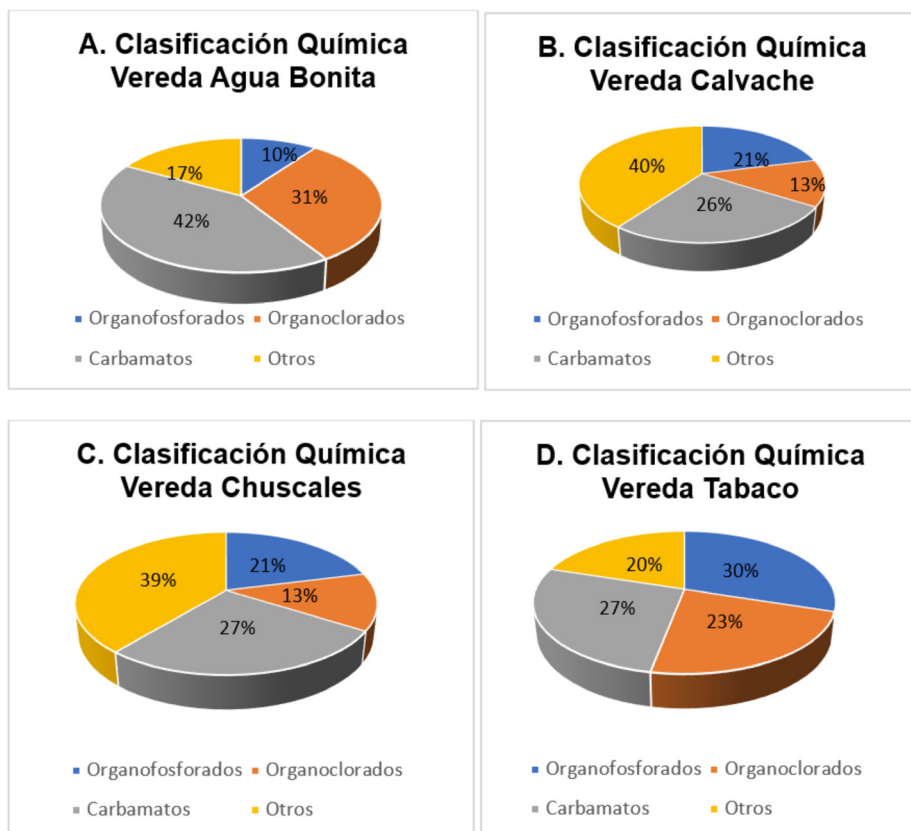
Fuente: Elaboración propia.

Identificación del grupo químico de los agroquímicos usados en el cultivo de papa en el corregimiento de Gabriel López

Se realizó un levantamiento de un inventario de sustancias químicas por cada vereda en los cultivos de papa. Esto se llevó a cabo a través de la información recolectada del trabajo denominado “Evaluación del manejo de los residuos peligrosos provenientes de la actividad agrícola de cultivo de papa en el corregimiento de Gabriel López (Totoró - Cauca)” (*Base de datos de propiedades de pesticidas, 2023*), en los cuales se tuvieron en cuenta cada plaguicida utilizado por los agricultores. La mayoría de estas sustancias pueden llegar a ocasionar grandes afectaciones al suelo, agua, aire y a los seres vivos al no tener un uso adecuado. Los agroquímicos comunes encontrados en las 4 veredas fueron clasificados como organofosforados, organoclorados, carbamatos y otros, los cuales hacen referencias a fungicidas y herbicidas entre otros. Los resultados de la categorización de estas sustancias se presentan en la Figura 8.

Los principales resultados acerca del grupo químico característico en las veredas Agua Bonita y Calvache (Figuras 8A y B) arrojan un 42 % y 26 % del uso de agroquímicos carbamatos, lo que indica que estas veredas tendrán una afectación para todo el ambiente y los seres vivos. Particularmente en el caso de las aves al momento de consumir este producto como alimento,

Figura 8. Clasificación de agroquímicos según el grupo químico encontrados en las 4 veredas del corregimiento de Gabriel López. A. Agua Bonita. B. Calvache. C. Chuscales y D. Tabaco



Fuente: Elaboración propia.

pues un estudio realizado en Estados Unidos determinó que alrededor de 70 millones de aves habían muerto cada año producto de la exposición directa a este tipo de sustancias (Devine *et al.*, 2008). Los carbamatos tienen un contenido orgánico y una de las características principales es su alta toxicidad especialmente a la biota acuática, ocasionando un daño a los seres que en él habitan y contaminando el recurso hídrico.

Los compuestos organofosforados tuvieron un porcentaje del 21 % en la vereda Chuscales (Figura 8C) y 30 % en la vereda de Tabaco (Figura 8D). Estos compuestos son ésteres conformados por fósforo, los cuales son altamente tóxicos, liposolubles y volátiles. En el caso de los seres humanos tienen la capacidad de alterar el sistema nervioso, por lo tanto, es importante conocer el grado de toxicidad, la vía de ingreso y el tiempo de evolución en

el organismo (Fernández A. *et al.*, 2010). Entre el 17 % y 40 % corresponden a otros compuestos en las 4 veredas, los cuales son fertilizantes y herbicidas, que, en los cultivos agrícolas, son los responsables del crecimiento y mejora de las plantas, entre otros.

Las veredas Chuscales y Tabaco tuvieron ambas 27 % de carbamatos y 21 y 30 % de organofosforados, respectivamente (Figuras 8C y D), considerándose estos valores altos y peligrosos para los ecosistemas. Dentro de los organoclorados, los porcentajes fueron del 13 % en la vereda Chuscales y 23 % en Tabaco; estos son compuestos de hidrocarburos con contenido de cloro, no solubles en el medio acuoso, químicamente inestables, grandes contaminantes debido a que son persistente en el ambiente como los carbamatos debido a que terminan en el recurso hídrico, provocando la bioconcentración en los organismos acuáticos y en los seres humanos, almacenándose especialmente en el tejido adiposo e hígado afectando un poco más a los agricultores de avanzada de edad. Este tipo de plaguicida en las plantas ocasionan problemas con las semillas al momento de germinar y en todo su desarrollo vegetativo hasta la cosecha. En los cultivos de papa si se llegara a realizar una aplicación excesiva de estos químicos, podría ocasionar una contaminación química [49]. Por último, un 39 % y 20 % fueron los resultados de otros (fertilizantes, herbicidas, abonos), son utilizados mayormente para proteger y mantener sanos los cultivos.

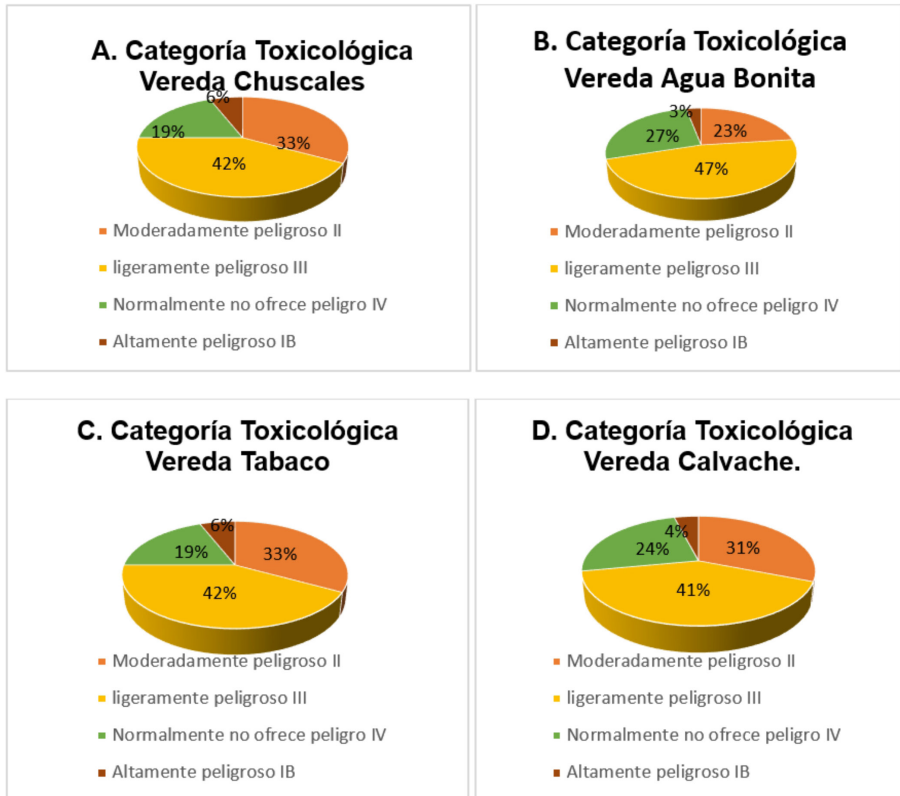
Caracterización de las sustancias químicas por categoría toxicológica de los agroquímicos en la zona de estudio

Para la caracterización de las sustancias químicas, se realizó la revisión de las fichas técnicas de cada plaguicida donde se evidenció la categoría toxicológica y su nivel de peligrosidad. Las veredas Chuscales y Agua Bonita (Figura 9A y B), presentan un orden similar con respecto a la cantidad de plaguicidas y a su nivel de toxicidad, ya que en ambas veredas el mayor porcentaje corresponde al 42 % y 47 % catalogándose como agroquímicos ligeramente peligrosos III. Del mismo modo se encontró una baja cantidad de sustancias altamente peligrosas pertenecientes al 6 % y 3 %, respectivamente. Ambas veredas también presentan un alto porcentaje de plaguicidas moderadamente peligrosos equivalentes al 33 % en la vereda Chuscales y 23 % en la vereda Agua Bonita, así mismo el 19 % y el 27 % de estos no causan riesgos ambientales.

Las veredas Tabaco y Calvache (Figura 9C y D) tienen porcentajes similares, debido a que gran parte de los plaguicidas utilizados en estas

zonas pertenecen a una categoría toxicológica ligeramente peligrosa III (41 - 42 %). Se obtuvo un alto porcentaje de agroquímicos con toxicidad moderadamente peligrosa (31 – 33 %) en estas zonas de estudio. En ambas veredas también se determinó similitud en los resultados en cuanto a la baja cantidad de plaguicidas con alta peligrosidad (4 - 6%).

Figura 9. Categoría toxicológica de agroquímicos usados en la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia.

El tiempo de permanencia de los plaguicidas ligeramente peligrosos en el sistema edáfico pueden llegar a estar presente durante muchos años en la tierra, debido a que son muy persistentes y su degradación es lenta, aunque también depende de las propiedades que posea el suelo al momento de transformarlos. Cabe resaltar que este tipo de sustancias tóxicas incrementan el riesgo potencial en especies acuáticas como por ejemplo la trucha, así como en los animales mamíferos, artrópodos y aves,

lo que ocasiona un desequilibrio en los ecosistemas ya que pueden llegar a modificar sus características llegando afectar algunos tipos de especies, como los microorganismos, vegetación, entre otros (Ramírez Torres *et al.*, 2017). En las 4 veredas de la zona de estudio se determinó una baja cantidad de plaguicidas altamente tóxicos con un porcentaje del 5 %, lo que implica que se debe tener un gran cuidado con el manejo de estas sustancias porque a pesar de ser un porcentaje bajo, según la OMS aún en bajas dosis pueden causar efectos tóxicos, agudos o crónicos en el ser humano y en la flora y fauna de un ecosistema (Plaguicidas altamente peligrosos - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud, s. f.).

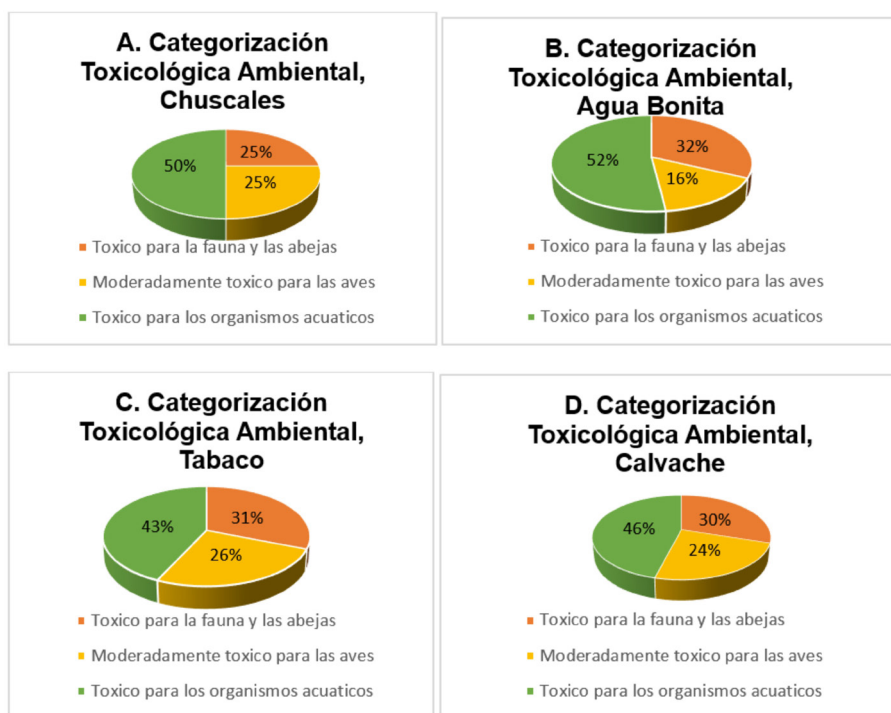
Categorización toxicológica ambiental de las 4 veredas del corregimiento de Gabriel López

El alto uso de agroquímicos en la zona de estudio genera grandes afectaciones en los ecosistemas, debido a que muchos de los plaguicidas que se utilizan en los cultivos de papa poseen características peligrosas para la fauna y la flora que se encuentra en todo el corregimiento de Gabriel López (Totoró - Cauca). Por este motivo se realizó una categorización toxicológica ambiental dentro de estos entornos y así determinar qué factores se encuentran en mayor riesgo y cuáles pueden afectar las condiciones de un ecosistema (Iannacone *et al.*, 2000).

En las 4 veredas de la zona de estudio Chuscales, Calvache, Agua Bonita y Tabaco, se obtuvo una mayor cantidad de plaguicidas que principalmente afectan a los organismos acuáticos de la zona; por ejemplo, Chuscales y Agua Bonita (Figura 10A y B) tuvieron 50 % y 52 % respectivamente, mientras que Calvache 46 % y Tabaco presentó 43 % de toxicología en medios acuáticos (Figura 10C y D). Con relación a lo anterior, se determinó que existe un gran impacto dentro del ecosistema acuático, debido a que se emplean muchas sustancias tóxicas como por ejemplo los carbamatos que tienen características peligrosas para los seres vivos de los sistemas hídricos por su baja solubilidad en el agua, así como también estas pueden llegar a los cauces aledaños a los cultivos de papa y provocar una contaminación a las especies que en él habitan. En estas zonas hay una gran permanencia de compuestos tóxicos, tanto para la fauna como para las abejas ya que el porcentaje de agroquímicos que presentan estas características están entre el 25 % y el 32 %, lo que significa que hay un alto uso de plaguicidas que generan un impacto negativo hacia las especies de la zona, llevando consigo cambios en los ecosistemas debido a que se puede modificar la cadena trófica del ciclo de vida, por ende la extinción de algunos animales o plantas, como

por ejemplo las abejas que son insectos encargados de la polinización y el equilibrio ambiental del lugar (Pesquera, 2023). Se halló una similitud en las 4 zonas de estudio con relación a la cantidad de sustancias que son moderadamente tóxicas para las aves, teniendo como resultado para la vereda Chuscales un 25 %, Agua Bonita 16 %, Tabaco 26% y Calvache 24 %, lo que indica que estos tienen efectos leves en los sistemas ecológicos de las aves, además se utilizan bajas cantidades de este tipo de plaguicidas.

Figura 10. Caracterización toxicológica ambiental de agroquímicos usados en la zona de estudio. A. Chuscales, B. Agua Bonita, C. Calvache, D. Tabaco



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta un análisis general toxicológico ambiental de las 4 veredas en el corregimiento de Gabriel López, se puede evidenciar que la mayor representación de riesgo en cuanto a la toxicología ambiental está en tóxico para organismos acuáticos; por lo tanto, es importante priorizar medidas preventivas frente a este peligro ambiental.

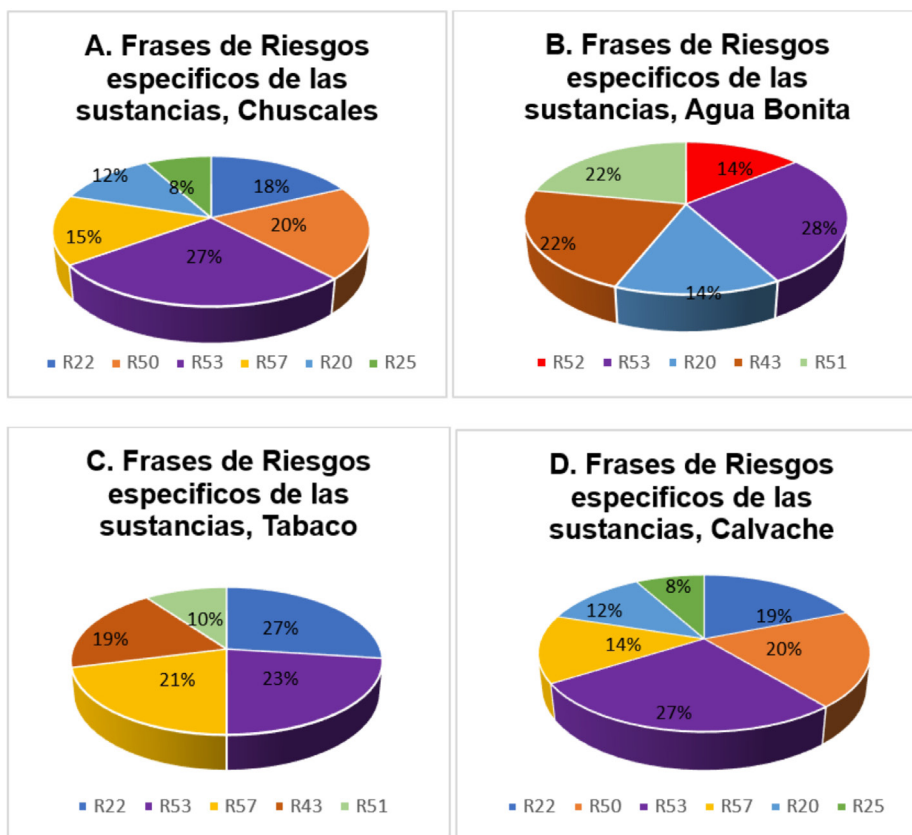
Frases de riesgo específicas de las sustancias presentes en los agroquímicos usados en la zona de estudio

Con base en los impactos que pueden ocasionar los agroquímicos en un sistema ecológico y en la salud humana se tiene en cuenta las frases de riesgos de los plaguicidas que se utilizan en la zona de estudio. Dentro de las veredas Chuscales, Agua Bonita y Calvache (Figura 11A, B y D), se obtuvieron los más altos porcentajes equivalentes al 27 - 28 % con relación a sustancias **R53**, las cuales pueden provocar daños a largo plazo al ambiente acuático, también se obtuvo un resultado considerable con un 23 % de estas sustancias en la vereda Tabaco (Figura 11C). Esto indica que el alto empleo de estos insumos puede generar a futuro una gran afectación en los ecosistemas acuáticos y por ende en la salud de las personas, ya que la comunidad de la zona agrícola se alimenta de la trucha que muy probablemente puede estar contaminada por este tipo de agroquímicos.

Para las veredas Chuscales y Calvache se obtuvieron valores representativos de plaguicidas **R50** iguales al 20 % (Figura 11A y D) lo que significa que son muy tóxicos para los organismos acuáticos, provocando la muerte y llegando a generar un cambio en la cadena alimenticia de este ecosistema. En las veredas Agua Bonita y Tabaco (Figura 11B y C) existe el uso de sustancias **R43** con un 22 % y 19 %, que pueden ocasionar una posible irritación en la piel de las personas que lo manipulan y **R51** con un 22 % y 10 %, que tiene la probabilidad de causar un impacto negativo hacia los peces.

En el estudio también se caracterizaron plaguicidas **R57** tóxicos para las abejas en las veredas de Chuscales con un 15 %, Tabaco 21 % y Calvache 14 %, así como también se encontraron agroquímicos **R22** dentro de estas 3 veredas, con un rango de porcentajes entre 18 – 27 % y que son sustancias nocivas si se ingieren y llegan al organismo. También en las veredas Chuscales y Calvache se obtuvieron insumos con características de riesgos nocivos por inhalación (**R20**) con un porcentaje del 12 % y tóxicos por ingestión (**R25**) con un valor del 8 % para las 2 zonas (Figura 11A y D), haciendo referencia que el uso excesivo de estos agroquímicos puede provocar efectos adversos como dolores de cabeza, vómito, mareos, intoxicaciones y llegar a causar la muerte (Pesquera, 2023) (Ramírez, 2018).

Figura 11. Frases de riesgo de agroquímicos usados en la zona de estudio. A. Chuscales, B. agua Bonita, C. Tabaco y D. Calvache



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Las veredas de Chuscales, Calvache, Agua Bonita y Tabaco, presentan un alto porcentaje de plaguicidas carbamatos con un 30,5 %, los cuales tienen características peligrosas para ecosistemas acuáticos.

El diagnóstico de agroquímicos realizado en el corregimiento de Gabriel López dio a conocer que las sustancias más utilizadas están compuestas por grupos químicos de carbamatos y organofosforados, de los cuales los más frecuente fueron carbamatos con un 30,5 % seguido por los organofosforados con un 20,5 %, organoclorados con un 20 % y otros con un 29 %, donde se encuentran, fertilizantes, aditivos y pegantes. En relación con la categoría toxicológica, la mayor parte de sustancias químicas fueron de categoría

toxicológica de grado II moderadamente peligroso con un 30 % y III ligeramente peligroso con un 43 %.

De acuerdo con las fichas químicas y al riesgo ecológico, el mayor riesgo por uso de plaguicidas que se puede producir en las zonas de estudio es el riesgo en sistemas acuáticos, debido a que la mayoría de estas sustancias presentan características bioacumulables, alta toxicidad, volatilidad y largos tiempos de vida media. También se determinó que existe un bajo porcentaje de plaguicidas que producen un riesgo en el suelo, en aguas subterráneas y de acumulación en las plantas.

Se socializó los resultados de la caracterización de caracterización de agroquímicos a los agricultores del corregimiento de Gabriel López (Totoró-Cauca), se dió a conocer a la comunidad la importancia en una segunda fase del estudio de evaluar el riesgo que existe por el uso excesivo de sustancias tóxicas dentro de un cultivo y por la ampliación de cultivos en zonas protegidas, lo cual genera que los ecosistemas se modifiquen y las especies migren hacia otros lugares, provocando un daño ambiental.

Referencias:

- Base de datos de propiedades de pesticidas. (2023). <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>
- Benítez-Díaz, P., Miranda-Contreras, L., Molina-Morales, Y., Sánchez-Gil, B., & Balza-Quintero, A. (2015). Residuos de plaguicidas en la cáscara e interior de la papa (*Solanum tuberosum* L.) proveniente de una región agrícola del estado Mérida, Venezuela. *Bioagro*, 27(1), 27-36.
- Cabrera Calderón, O. M., Ortíz Ríos, J., & Carvajal Flórez, E. (2023). Evaluación del impacto ambiental generado por la gestión inadecuada de residuos sólidos en la cuenca La Iguaná de la ciudad de Medellín-Colombia. *Actas del X Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos: Hacia la circularidad y el residuo cero*. Castelló de la Plana, 20, 21 y 22 de junio de 2023, 2023, ISBN 978-84-09-53123-3, 87. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9094825>
- Carpio, Y., Omar, J., Riviere-Cinnamond, A., & Távora, R. S. (2015). Articulando enfoques y metodologías de investigación acción colaborativa. 5.
- Clasificación de Productos Químicos Según La Norma NFPA 704 | PDF | Agua | Química. (s. f.). Scribd. Recuperado 7 de noviembre de 2023, de <https://es.scribd.com/document/287817321/Clasificacion-de-Productos-Quimicos-Segun-La-Norma-NFPA-704>
- Collazos, J. J. C., & Landazury, R. C. (2008). De la cuestión agropecuaria, las economías de enclave y los desequilibrios ecológicos en el Valle de Malvazá: Un análisis económico de impacto ambiental. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 6(2), Article 2.
- Devine, G. J., Eza, D., Ogusuku, E., & Furlong, M. J. (2008). Uso de insecticidas: Contexto y consecuencias ecológicas. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 25(1), 74-100.
- Díaz, S. M., Sánchez, F., Varona, M., Eljach, V., & Muñoz G, M. N. (2017). Niveles de colinesterasa en cultivadores de papa expuestos ocupacionalmente a plaguicidas, Totoró, Cauca. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 49(1), 85-92. <https://doi.org/10.18273/revsal.v49n1-2017008>
- Estupiñán, L. L. (2015). Papas y tierras en Boyacá: Investigación etnobotánica y etnohistórica de uno de los principales productos de la alimentación colombiana. *Boletín de Antropología*, 30(50), Article 50. <https://doi.org/10.17533/udea.boan.v30n50a07>
- Fernández A., D. G., Mancipe G., L. C., & Fernández A., D. C. (2010). INTOXICACIÓN POR ORGANOFOSFORADOS. *Revista Med*, 18(1), 84-92.
- Galarza Rodríguez, H., & Bocanegra, L. V. (2008). Propuesta metodológica para el análisis de riesgo ambiental (ARA) en el subsector productivo de leche hasta la etapa de ordeño aplicada a un estudio de caso en el muni-

- cipio de Sotaquirá—Boyacá. Ingeniería Ambiental y Sanitaria. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/598
- García-Gutiérrez, C., & Rodríguez-Meza, G. D. (2012). Problemática Y Riesgo Ambiental Por El Uso De Plaguicidas En Sinaloa. *Ra Ximhai*, 8(3b), 1-10.
- <https://www.virtualpro.co>. (2019, agosto 27). En 20 años Colombia aumentó uso de plaguicidas en un 360 %. *VirtualPro.co*. <https://www.virtualpro.co/noticias/en-20-anos-colombia-aumento-uso-de-plaguicidas-en-un-360->
- Iannacone, J., Alvarino, L., Caballero, C., & Sánchez, J. (2000). CUATRO ENSAYOS ECOTOXICOLOGICOS PARA EVALUAR LINDANO Y CLORPIRIFOS. *Gayana (Concepción)*, 64(2), 139-146. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382000000200003>
- Instituto Nacional de Ecología. (2000). Características de peligrosidad ambiental de plaguicidas, riesgos químicos ambientales. Mexico. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.ingenieroambiental.com/4014/plagui.pdf>
- Leiva, F., Fuentes, C., & Guaiteiro, B. (2012). Metodología para la evaluación del riesgo ambiental causado por el uso de plaguicidas en sistemas hortofrutícolas en el departamento de Cundinamarca (pp. 99-110).
- Luz, Y. (2011). Guía de Evaluación de Riesgos ambientales. Ministerio del Ambiente – MINAM. https://www.academia.edu/17383567/Guia_de_Evaluacion_de_Riesgos_ambientales
- M., F., & Suarez, I. (2010). Riesgo Ambiental por el uso de Agroquímicos. *Revista Inventum*, 5, 32. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.5.9.2010.32-41>
- Marroquín Karen. (2011, octubre). Diagnóstico del manejo de agroquímicos en el hogar y el papel de la mujer en el contexto del uso seguro en las Aldeas: El Sitán, Camán, La Canoa y Pautit, en Patzicía, Chimaltenango, Guatemala, C.A. <https://1library.co/document/y808d5wq-diagnostico-agroquimicos-contexto-sitan-caman-patzicia-chimaltenango-guatemala.html>
- Ministerio del ambiente. (2003). GUÍA PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL RESPONSABLE DE LOS PLAGUICIDAS QUÍMICOS DE USO AGRÍCOLA EN COLOMBIA.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2014). Lineamientos metodológicos para la evaluación del riesgo ecológico. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sqi.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/07/g2-Guia-Methodologica-Evaluacion-Riesgo-Ambiental.pdf>
- Montoya R, M. L., Restrepo M, F. M., Moreno T, N., & Mejía G, P. A. (2014). Impacto del manejo de agroquímicos, parte alta de la microcuenca Chorro Hondo, Marinilla, 2011. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 32(2), 26-35.

- Muñoz Gomez, F., Galicia, L., & Pérez, E. H. (2018). Agricultura migratoria conductor del cambio de uso del suelo de ecosistemas alto-andinos de colombia Driver change agricultura itinerante uso do solo ecosistema de altos andes colômbia Migratory agriculture conductor of change of soil use of high-andean ecosystems of colombia. 16. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v16n1.630>
- Muñoz Solarte, D., Pérez, E., & Cháves Velasco, J. (2022). Estrategias Preventivas del manejo seguro de residuos peligrosos en una zona agrícola mediante las TIC (pp. 207-222).
- Normatividad. (s. f.). Recuperado 7 de noviembre de 2023, de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Pages/Normatividad.aspx>
- Pesquera, S. de I. A. y. (2023, mayo). Las abejas son uno de los eslabones fundamentales de la cadena alimentaria. [gob.mx. http://www.gob.mx/siap/articulos/las-abejas-son-uno-de-los-eslabones-fundamentales-de-la-cadena-alimentaria](http://www.gob.mx/siap/articulos/las-abejas-son-uno-de-los-eslabones-fundamentales-de-la-cadena-alimentaria)
- Pictogramas CLP - ECHA. (2023). <https://echa.europa.eu/es/regulations/clp/clp-pictograms>
- Plaguicidas altamente peligrosos—OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. (s. f.). Recuperado 7 de noviembre de 2023, de <https://www.paho.org/es/temas/plaguicidas-altamente-peligrosos>
- Ramírez, J. A. y Lacasaña, M. (2001). Plaguicidas: Clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://archivosdeprevencion.eu/view_document.php?tpd=2&i=1270
- Ramírez Moreno, L. A. (2018). Exposición agroquímicos en trabajadores de un cultivo de flores de la Sabana de Bogotá. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/930>
- Ramírez Torres, L. A., Martínez-Vázquez, J., García-Luna, V., Bernal-González, M., García-Gómez, R., Ramírez-Burgos, L., Espinosa-Aquino, B., Cano-Rodríguez, M., & Durán-Domínguez-de-Bazúa, M. D. C. (2017). Destino de los plaguicidas en el ambiente: Un estudio de caso para el programa de apoyo a proyectos para la innovación y mejoramiento de la enseñanza de la UNAM. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34864.10244>
- Revista seguridad minera. (2017). Sustancias químicas según su peligrosidad. <https://www.revistaseguridadminera.com/materiales-peligrosos/sustancias-quimicas-segun-su-peligrosidad/>
- SAS, R. (1991a). Decreto 1843 de 1991 Ministerio de Salud—Colombia. www.redjurista.com. https://www.redjurista.com/Documents/decreto_1843_de_1991_ministerio_de_salud.aspx
- SAS, R. (1991b). Decreto 1843 de 1991 Ministerio de Salud—Colombia. www.redjurista.com. https://www.redjurista.com/Documents/decreto_1843_de_1991_ministerio_de_salud.aspx
- User, S. (2017). RICCLISA - Visita técnica al Valle de Malvazá en el Cauca,

para la actualización de los mapas de clasificación y uso del suelo.
<https://www.ricclisa.org/index.php/noticias/item/247-visita-tecnica-al-valle-de-malvaza-en-el-cauca-para-para-la-actualizacion-de-los-mapas-de-clasificacion-y-uso-del-suelo>

Vargas, A., Watler, W., Morales, M., & Vignola, R. (2018). Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en Costa Rica. Ficha técnica sector productivo avícola, San José, Costa Rica. <https://scholar.google.com/scholar?cluster=14727588125562862787&hl=en&oi=scholar>

CAPÍTULO 4.

Tecnologías innovadoras para el tratamiento de efluentes mineros auríferos

HEIBER HERNÁN MARIN ARCINIEGAS¹
MAURICIO ALEXÁNDER SANTACRUZ LASSO²
EDWIN FERNANDO SIERRA GAVIRIA³
ARNOL ARIAS HOYOS⁴
CÉSAR FERNÁNDEZ MORANTES⁵

Resumen

Suarez Cauca, un municipio con abundantes recursos naturales, depende en gran medida de la agricultura y la minería como sus principales fuentes económicas. Sin embargo, la actividad minera ha provocado serios problemas al verter contaminantes en el agua, afectando la calidad de las fuentes hídricas y su vida acuática, además de causar problemas de salud en las comunidades debido a la toxicidad de los residuos. El objetivo principal de esta investigación es realizar una revisión bibliográfica de tecnologías innovadoras destinadas al tratamiento de efluentes mineros auríferos, con el propósito de reducir el impacto ambiental y encontrar alternativas eficientes para la eliminación de estos efluentes, identificando las mejores opciones para adoptarlas al contexto de Suárez. Entre las posibles soluciones se encuentran la remoción biológica, el proceso de adsorción, la bioacumulación y la fitorremediación, sistemas que podrían adecuarse a las condiciones socioambientales y económicas de Suárez, con eficiencias de remoción que oscilan entre el 85% y 100%.

Palabras claves: Remoción biológica, Efluentes mineros, Metales pesados, Tecnologías, Minería aurífera.

1 Estudiante de ingeniería ambiental y sanitaria, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, heber.marin.a@uniautonomo.edu.co

Introducción

En Colombia, la actividad minera genera alrededor de 160.000 empleos directos y 750.000 empleos indirectos, contribuyendo al 3% del PIB nacional (Asociación Colombiana de Minería, 2023). La minería aurífera se concentra principalmente en tres departamentos que representan el 88% de la producción: Antioquia, Chocó y Bolívar, seguidos por Córdoba, Caldas, Nariño y Cauca (UNODC, 2022). En el departamento del Cauca, el municipio de Suárez destaca por su abundancia en recursos naturales, convirtiendo a la minería aurífera en la principal actividad económica de los habitantes (García *et al.*, 2021; Molina, 2016), estrechamente vinculada al desarrollo humano y el bienestar de la población (López *et al.*, 2021).

Sin embargo, el sector minero de Suárez enfrenta limitaciones que afectan su desarrollo económico, como la ilegalidad, condiciones laborales precarias, y altas tasas de accidentes mortales (OIT, 2015). La presencia de grupos armados en zonas mineras también ha dificultado las políticas ambientales, produciendo un estancamiento social y económico (EAFIT, 2021).

La minería ilegal, artesanal y a pequeña escala (MAPE) en Suárez se realiza cerca de diferentes fuentes de aguas, como ríos y quebradas, utiliza mercurio (Hg) en el proceso de amalgamación sin adecuado manejo de aguas residuales, causando contaminación por presencia de metales pesados como cadmio (Cd), plomo (Pb), cromo (Cr), cobre (Cu), arsénico (As), zinc (Zn) y otro tipo de contaminantes como sulfatos metálicos (SO_4^{2-}) y cianuro (CN^-) (García *et al.*, 2021, Londoño *et al.*, 2016). Esto afecta la salud pública y el entorno ambiental debido a que estos elementos o compuestos presentan elevada toxicidad a bajas concentraciones, generando distintas enfermedades como la hipertrofia de tiroides, taquicardia, daños renales y hepáticos, eretismo, pérdida de memoria, gingivitis, depresión severa, delirios, alucinaciones, entre otras (García *et al.*, 2021).

La comunidad de Suárez enfrenta problemas de salud y contaminación ambiental debido al uso de las aguas naturales para el consumo humano y tareas agrícolas debido a que se encuentran cerca de pozos profundos de las zonas mineras. Además, la contaminación afecta el aire, suelo, flora y fauna (Effen, 2009). Por lo que, se requiere buscar alternativas para abordar este

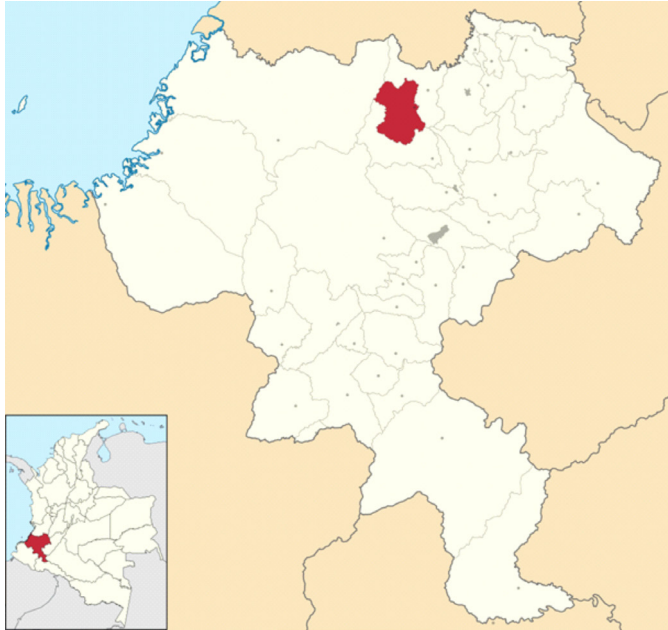
impacto que aqueja a la comunidad.

Una solución es el uso de tecnologías limpias para el manejo de contaminantes generados en la minería, reduciendo, principalmente, el impacto generado por sus vertimientos (García *et al.*, 2021). Es crucial involucrar a la comunidad en las investigaciones y proyectos sobre recursos hídricos, citotoxicidad, recuperación del ecosistema, y fomentar planes de acción a través de la academia, el gobierno y la comunidad para lograr un aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. En este contexto, el presente trabajo se centra en una revisión bibliográfica sobre las tecnologías innovadoras para tratar efluentes mineros auríferos en Suárez y abordar el impacto ambiental.

Caracterización del municipio de Suárez

Suárez es un municipio ubicado al noroccidente del departamento del Cauca (Figura 1), abarca una extensión de 389 km² y cuenta con una población de 32.526 habitantes (Plan de desarrollo, 2020 - 2023). A pesar de sus abundantes recursos naturales, ha sido afectada por la violencia y el conflicto armado desde 1954 (Molina, 2016; Bolaños, 2012). La economía del municipio se basa principalmente de la agricultura y minería, pero la economía ilegal, incluyendo la minería ilegal y el cultivo de sustancia ilícitas, también desempeñan un importante papel en su sostenibilidad económica. Esto ha llevado a la sustitución de cultivos tradicionales, como el café, con cultivos ilícitos debido a la demanda constante del mercado. Además, la actividad minería en el municipio, que se ha intensificado desde el siglo XX, se centra en la explotación del río Cauca (SGC, 2017).

Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Suárez en el departamento del Cauca



Fuente: Mapa de Wikipedia.

En la zona suroriental de Suarez, comunidades afrodescendientes se dedican a la extracción de oro aluvión y otros minerales como bauxita, carbón, níquel, caolín y material de arrastre (Plan de desarrollo, 2020 - 2023). A pesar del rico potencial geológico de la región, durante mucho tiempo, la MAPE y la minería tradicional se han basado del conocimiento intuitivo, careciendo de tecnificación, falta de seguridad y comprensión geológica de los yacimientos (Molina, 2016). Esta práctica ha dado lugar a una problemática socioambiental, especialmente debido al uso de métodos de extracción económicos pero perjudiciales, como la amalgamación con Hg, que afecta tanto el ecosistema como a la salud humana (García *et al.*, 2021).

A lo largo del tiempo, en el municipio se han intentado implementar tecnologías para la explotación minera, pero diversas circunstancias como la pobreza, la violencia, falta de educación y una deficiente gestión gubernamental han obstaculizado la transición de la minería ilegal a la legal (García *et al.*, 2021). No obstante, desde 2007 ha habido avances, como la formación de la cooperativa de mineros de Suarez, COOMULTIMINEROS (SGC, 2017).

Conflicto socio ambiental en la minería aurífera artesanal e ilegal en el municipio de Suárez - Cauca

En el norte del departamento del Cauca, en el flanco oriental de la cordillera occidental y específicamente en el municipio de Suárez, se ubica la zona minera, reconocida por su potencial para la minería aurífera. Este sector ha atraído la atención de empresas, inversionistas y grupos ilegales, convirtiéndose en un escenario minero, principalmente de oro, que ha sido el sustento económico del municipio. Sin embargo, esta actividad ha dado lugar a numerosos problemas, incluyendo la proliferación de explotaciones ilegales, daños irreversibles al medio ambiente, problemas de salud, violencia, desigualdad y exclusión social (MADS, 2022; Trujillo *et al*, 2017).

La minería artesanal de oro, la cual es predominantemente ilegal en el país, enfrenta desafíos significativos, como bajos márgenes de ganancia que impiden la inversión en tecnología y calidad de vida de los mineros. Además, esta actividad ha interrumpido la biodiversidad en la zona minera, causando deterioro del territorio, el agua y los ecosistemas, con prácticas inaceptables como el agotamiento de recursos minerales y el abondo temprano de yacimientos (UDEA, 2023).

En la zona, la minería aurífera se realiza a través del barequeo en ríos y quebradas, machaqueo en sitios de explotación con depósitos residuales, monitoreo de terrazas y aluviones, y explotación bajo tierra de yacimientos apenas descubiertos. La explotación ilegal, con el uso indiscriminado de maquinaria y sustancias tóxicas, provoca cambios irreparables en el ecosistema, como la alteración de cauces fluviales y la contaminación de los cuerpos de agua, además de la destrucción de entornos naturales como bosques y páramos (UNODC, 2020).

En Suárez, la minería ilegal llevado a cabo por parte de los grupos al margen de la ley, ha resultado en la contaminación del agua potable con Hg y la destrucción de entornos naturales, obligando al desplazamiento de comunidades enteras (Global Initiative, 2016). Además, los mineros artesanales vierten grandes cantidades de Hg en ríos y lagos cada año, afectando tanto a los propios mineros como a las personas que dependen de la pesca para su alimentación (UNODC, 2020; Global Initiative, 2016).

El proceso de extracción del oro implica la separación del material que lo contiene mediante la concentración por gravedad o procesos químicos, en este último se utiliza tanto el Hg como el CN^- , para posteriormente ser evaporados, sin embargo, la falta de tecnificación en el empleo de estos ha agravado más los problemas ambientales (Global Initiative, 2016). Asimismo, los entables mineros, construidos cerca a fuentes hídricas, contribuyen de forma directa o indirecta a la contaminación del agua por Hg o CN^- debido a las prácticas

inadecuadas durante el proceso de amalgamación (García *et al.*, 2021).

A pesar de estos desafíos, es importante seguir investigando para encontrar soluciones que reduzcan y corrijan los impactos negativos de estas prácticas. Se necesitan proyectos de investigación en temas como recursos hídricos, bioacumulación, citotoxicidad, evaluación de los usos potenciales de lodos contaminados con Hg y CN⁻ producidos durante el beneficio del oro (García *et al.*, 2021). Estos estudios pueden proporcionar alternativas sostenibles, aprovechando de manera responsable los recursos naturales del municipio y ofreciendo opciones económicas legales y con menor riesgo para la comunidad de Suárez.

Alternativas para el tratamiento de efluentes mineros auríferos

En el municipio de Suárez, es un desafío suprimir el uso del Hg, ya que la economía de la comunidad depende de la actividad minera. No obstante, las consecuencias por contaminación son evidentes, por lo que es necesario desarrollar estrategias para mitigar el daño al ecosistema y la salud humana. Esto implica la aplicación de tecnologías asequibles que se adapten a las condiciones socioeconómicas de la región (Pinzón, 2018).

Debido a la problemática minera que atraviesa tanto el municipio de Suárez como a todo el país, el gobierno ha promulgado la ley 1658/2013 para regular la comercialización y uso de Hg, especialmente en la minería aurífera, con el propósito de eliminar su uso (Min Ambiente, 2023).

En la técnica de amalgamación, el Hg, al absorber el oro, forma amalgama y se dispersan diferentes contaminantes como As, Pb, Cd y Cr, metales pesados altamente tóxicos a bajas concentraciones. Por lo tanto, se requieren tratamientos que ayuden con su remoción en el agua, entre ellos se han utilizado métodos basados en la precipitación, el intercambio iónico, separación por membrana y la adsorción (Ávila, 2019).

La adsorción, utilizando carbón activado, permite la remoción de metales pesados del agua, debido a sus propiedades físicas y químicas lo que permite dar cumplimiento con las concentraciones permitidas indicadas por la Resolución 0631 del 2015 (Ávila, 2019). Por otro lado, la destilación es un método que se basa en la vaporización del Hg, el cual es luego condensado mediante un sistema de enfriamiento, permitiendo alcanzar una recuperación y pureza del 99.99 % (Pinzón, 2018).

Otra técnica como la biorremediación, que hace uso de organismos vivos como las bacterias, hongos y plantas, es una posible solución de bajo

costo y fácil implementación en el municipio de Suárez, contribuyendo a la recuperación de las condiciones naturales del ecosistema al degradar o transformar los contaminantes en compuestos menos tóxicos (Pinzón, 2018). Además, métodos como la atenuación natural disminuyen las concentraciones del contaminante mediante procesos biológicos y químicos propios del ecosistema, como la transformación abiótica, intercambio iónico y procesos físicos como dilución, difusión, volatilización y advección (Pinzón, 2018).

Por tanto, se realizó un análisis exhaustivo de la literatura, de repositorios y bases de datos indexadas, sobre las alternativas de tratamiento en efluentes mineros auríferos entre el 2014 y 2022 para seleccionar un modelo tecnológico que ofrezca un alto rendimiento, eficiencia, baja costo, fácil de implementación y comprensión para los mineros en Suárez-Cauca.

Metodología

El propósito de esta investigación consistió en llevar a cabo una revisión sistemática de enfoque mixto sobre el desarrollo de tecnologías innovadoras para el tratamiento de efluentes mineros auríferos. Esta revisión abordó tanto aspectos cualitativos como cuantitativos, adoptando un enfoque interpretativo y naturalista para examinar elementos en su entorno natural con el fin de identificarlos e interpretarlos.

Metodológicamente, esta investigación combinó dos enfoques. La investigación cualitativa que implicó la utilización, estudio y recopilación de diversos tipos de materiales, como investigaciones, observaciones, experiencias personales, casos de estudio introspectivos, y datos históricos. Por otro lado, la investigación cuantitativa se centró en criterios de selección que requerían que los artículos analizados mostraran una eficiencia de remoción de al menos el 85%, para hacer del tratamiento de efluentes mineros una alternativa más eficiente, contribuyendo así positivamente la calidad del agua y mejorando la condición humana.

Procedimiento para el modelo sistemático

Para el desarrollo del modelo sistemático objeto de estudio en esta investigación, se tomó como referencia la investigación realizada por Petersen *et al.*, 2008. De forma resumida, se definió la pregunta de investigación, se identificó los artículos científicos desde las bases de datos de revistas indexadas, y se seleccionaron los estudios para su posible inclusión en el documento. Las revistas seleccionadas para la revisión sistemática fueron: Scopus,

ScienceDirect, Redalyc y Scielo. Los principales términos seleccionados para la revisión sistemática fueron remoción de metales, tecnologías de tratamiento, remoción de contaminantes mineros, contaminantes mineros, sistemas de tratamiento. Cada término fue soportado a través de sinónimos o términos claves similares que permitan aumentar el rango de búsqueda. La ecuación de búsqueda planteada mediante combinación de los términos en combinación con operadores booleanos (AND, OR, NOT) como ejemplo, remoción de metales AND tecnologías de tratamiento, remoción de contaminantes mineros OR sistemas de tratamiento.

En la Tabla 1 se detallan los criterios de búsqueda utilizados para la revisión sistemática de las tecnologías relacionadas con la remoción de metales en los efluentes mineros.

Tabla 1. Criterios de búsqueda para la revisión bibliográfica de las tecnologías sobre la remoción de metales en los efluentes auríferos.

Criterios de búsqueda	
Selección de documentos para la inclusión y exclusión de documentos relevantes	<p>Inclusión</p> <p>El artículo debía mencionar el enfoque de tratamiento de aguas residuales de minería, tecnologías de tratamiento, eficiencia de remoción (>60%) y contaminantes con metales pesados o cianuro.</p>
	<p>Exclusión</p> <p>Tesis de grado, reportes, guías técnicas, publicación no disponible en formato digital, artículos que no están en revistas indexadas y con año de publicación inferior al 2014.</p>
Extracción de datos y Mapeo Sistemático de los artículos	<p>Se usó el gestor bibliográfico Mendeley, y posteriormente se realizó el mapeo sistemático mediante el software VOSviewer versión 1.6.18, a través de la cual se creó y generó la visualización de redes bibliométricas. Para el caso del análisis bibliométrico se tuvo en cuenta indicadores como año de publicación, autores, cantidad de citas por artículo, país contribuyente.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Evaluación de viabilidad de las tecnologías

Se realizó una evaluación de viabilidad de las tecnologías con el propósito de determinar su aplicabilidad en el área de estudio. Esta evaluación consideró aspectos ambientales, económicos y sociales, tal como se detalla en la Tabla 2. Se evaluaron seis factores, en una escala de puntuación del 1 al 3, donde una puntuación más alta indicó una mayor aceptación.

Tabla 2. Criterios de evaluación y puntuación de las tecnologías para su implementación en el tratamiento de aguas mineras en Suárez

Criterio	Puntuación	Descripción
Calidad del agua	1	Tiene porcentajes de remoción entre 0 %- 85%
	2	Tiene porcentajes de remoción entre 85% - 100%
Materiales	1	Usa materiales químicos o que necesitan ser fabricados
	2	Usa materiales naturales
Disponibilidad de MP	1	Materiales de difícil adquisición en el mercado
	2	Materiales de fáciles adquisiciones en el mercado
Costos	1	Tecnología de inversión alta
	2	Tecnología de inversión media
	3	Tecnología de inversión baja
Proceso de implementación	1	Tecnología de difícil implementación
	2	Tecnología de fácil implementación
Capacidad	1	Implementación a gran escala
	2	implementación a poca escala

Fuente: Elaboración propia.

Resultados

A partir de la revisión sistemática, que aplicó los criterios de inclusión y exclusión (Tabla 1), se seleccionaron 85 artículos publicados en revistas internacionales que abordan tecnologías innovadoras para el tratamiento de efluentes mineros. En términos generales, del total de los artículos seleccionados, el 47% de las investigaciones se enfocan en tecnologías tipo biológicas, mientras que el restante (53%) son del tipo fisicoquímicas.

investigaciones y posibles soluciones, dando soporte a la elección de cada una de las tecnologías seleccionadas.

Tipos de contaminantes de los efluentes mineros

El agua, un recurso fundamental para la vida, se encuentra en el centro de la actividad minera en el municipio de Suárez, siendo esta una fuente primordial de ingresos para un gran porcentaje de la población. Sin embargo, el vertimiento generado por esta actividad contiene una alta concentración de metales pesados, incluyendo el Hg, así como otros contaminantes como el CN^- (López, 2021). Esta situación resalta la urgente necesidad de optimizar la gestión del agua, asegurando el acceso sostenible y preservando este valioso recurso. La contaminación generada por estos efluentes no solo impacta el recurso hídrico, sino también el aire, el suelo, la flora y la fauna circundante (Montes, 2020). Por consiguiente, es necesaria la implementación de tecnologías innovadoras para abordar estos desafíos. Entre las soluciones se incluyen enfoques tanto biológicos, como físicos y fisicoquímicos. Estas tecnologías avanzadas se presentan como alternativas para mitigar los efectos negativos de la actividad minera en el entorno local, preservando la integridad de los ecosistemas y garantizando un futuro sostenible para la comunidad de Suárez.

Contaminantes en los efluentes mineros auríferos

El suministro y calidad de agua están intrínsecamente ligadas a la salud y el equilibrio del medio ambiente. Esta relación se ve afectada por la actividad minera, la cual puede tener impacto significativo en la sostenibilidad de los recursos hídricos. La explotación minera conlleva a la liberación de diversos contaminantes, algunos de los cuales merecen especial atención debido a sus graves consecuencias.

Entre esos contaminantes, se encuentran CN^- y SO_4^{2-} , que tienen la capacidad de acidificar el agua, debilitan los ecosistemas acuáticos, y en última instancia, causar la muerte de organismo por intoxicación. Por otro lado, metales pesados como el Pb y Hg son una seria amenaza para la vida acuática y, en última instancia, para la salud humana. El consumo de agua o alimentos contaminados con estos metales tóxicos puede tener efectos perjudiciales en el organismo humano. Además, el As es un caso especial, ya que es un elemento presente en varias fuentes de agua, y la exposición prologada puede aumentar el riesgo de enfermedades graves, como el cáncer y neurotoxicidad (Martínez, 2021).

De los 85 artículos seleccionados para esta investigación, se realizó una clasificación basada en el tipo de contaminante (Tabla 3), y se observó que la búsqueda de metales pesados representaba un mayor porcentaje (77.7%). En la Tabla 3 se detallan los tipos de contaminantes que registraron la mayor cantidad de estudios sobre efluentes mineros en la revisión bibliográfica.

Tabla 3. Número y porcentaje de registros por tipo de contaminante en los estudios de efluentes mineros

Tipo de contaminante	# registros (%)
CN ⁻	13 (15.3%)
Metales pesados (Cd, Pb, Cr, Cu, Hg, As, Zn)	66 (77.7%)
Otros metales (Mn, Fe, SO ₄ ²⁻ metálicos)	6 (7.0%)
Total	85 (100%)

Fuente: Elaboración propia.

Como se mencionó previamente, el mayor porcentaje de reporte de investigaciones respecto a los contaminantes generados en el sector minero está enfocados a metales pesados (77.7%).

Dentro de esta categoría, el Hg destaca como uno de los elementos más recurrentes en los estudios, representando un 43.5% de los casos. En segundo lugar, por el CN⁻ con un 13%. Lo anterior se alinea con los procesos mineros que se realizan en el municipio de Suárez, particularmente la amalgamación, donde el Hg es el agente preferido debido a su eficacia en la extracción del oro, su facilidad de uso y velocidad, así como su costo relativamente bajo en comparación con otras alternativas.

Esta situación cobra relevancia debido a la actual importancia del Hg como uno de los principales contaminantes ambientales, derivado por su notable toxicidad, lo cual tiene consecuencias significativas para la salud pública (García, 2021).

Tipos de tecnologías más utilizadas en tratamiento de efluentes mineros

La minería es una actividad de considerable relevancia económica para una comunidad. Sin embargo, esta actividad conlleva impactos ambientales significativos que pueden afectar la calidad de vida de la población, principalmente debido a la falta de conciencia ambiental, la insuficiente

inversión en tecnologías de mitigación y el desconocimiento de métodos de tratamientos ambientalmente responsables. En este contexto, a continuación, se describirán las tecnologías halladas en la revisión para el tratamiento de efluentes mineros que pueden contribuir a minimizar estos impactos.

Tecnologías de tipo fisicoquímico: Actualmente, el proceso de tratamiento de efluentes mineros se basa en tecnologías de tipo fisicoquímico. Uno de los métodos más empleado es el proceso de adsorción, que se considera tanto un proceso de refinamiento como un fenómeno superficial. La adsorción implica la concentración de una sustancia (adsorbato) sobre la superficie de otra fase, que puede ser sólida o líquida (absorbente). Sin embargo, para aumentar su eficiencia del proceso, se combina con un tratamiento biológico previo (García *et al.*, 2012; Pinzón, 2018).

Entre los materiales absorbentes utilizados en esta técnica se encuentran los carbones activados, arcillas, biopolímeros, zeolitas, perlas de sílice y desechos lignocelulósicos modificados químicamente. Estos adsorbentes se emplean para la remoción de colorantes iónicos, metales pesados, materiales radioactivos, entre otros contaminantes (López, 2021). Aunque, una alternativa que promete una mayor eficiencia es la bioadsorción, que permite la captación activa o pasiva de iones metálicos utilizando materiales de bajo costo derivados de biomasa de origen microbiano, algas y residuos agroindustriales (Tovar *et al.*, 2015).

Otras tecnologías destacadas en el tratamiento de efluentes mineros es la nanofiltración, una técnica relativamente nueva que se sitúa entre la ósmosis inversa y la ultrafiltración en términos de tamaños de partículas retenidas (0.1 nm y 0,001µm). La nanofiltración es capaz de separar sustancias orgánicas, metales pesados, microorganismos, pesticidas, y presenta la ventaja de ablandar el agua potable (López, 2021). Este proceso opera a baja presión de agua y utiliza principalmente materiales poliméricos hidrofílicos como polietersulfonas, poliamidas y derivados de celulosa. Sin embargo, estos materiales tienden a perder rápidamente su estabilidad cuando se exponen a disolventes orgánicos, lo que ha llevado a un continuo desarrollo y mejora de esta tecnología (Addosio, 2005).

Tecnologías de tipo biológico. Uno de los métodos más utilizados, del tipo biológico, es el que involucra el uso de microorganismos, específicamente bacterias, que actúan como catalizadoras en la eliminación de amoníaco del agua. Este proceso se divide en dos etapas distintas: oxidación y nitrificación. Según diversas investigaciones, la eficiencia de esta tecnología supera el 90%.

Otra estrategia es ampliamente utilizada es la biorremediación, que aprovecha el metabolismo de microorganismos para eliminar contaminantes.

Este enfoque se ha convertido en una alternativa atractiva en comparación con los métodos convencionales, ya que es altamente eficiente, amigable con el medio ambiente y económico. En particular, es efectivo para la desintoxicación de los residuos de lixiviados de contaminantes, como el CN^- , sin requerir la aplicación de reactivos químicos.

La biorremediación emplea la biosorción y la bioacumulación, que involucran diversas interacciones y concentraciones de metales tóxicos en biomasa viva (bioacumulación) o no viva (bioadsorción) a partir de microorganismos (Yan *et al.*, 2021). Entre los agentes biológicos con mayor potencial para tratar el CN^- , destacan las bacterias de los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus* (Aquino *et al.*, 2021), lo que hace que esta alternativa sea económica y de fácil aplicación, considerando la limitada disponibilidad de recursos en la zona. Es importante señalar que los tipos de biorremediación varían según el uso de microorganismos, bacterias (biorremediación), de hongos (micorremediación) o plantas (fitorremediación) (Pinzón, 2018). Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta técnica puede ser lenta y complicada de aplicar en operaciones mineras a gran escala, lo que sugiere la necesidad de investigaciones adicionales para mejorar su eficiencia (Aquino *et al.*, 2021).

El biocarbón se forma por la descomposición de biomasa por medio de procesos termoquímicos. Sus propiedades son similares a las de la biomasa, y su utilidad radica en su capacidad para adsorber y eliminar metales pesados en el agua contaminada. Estas propiedades, como el área superficial y la formación de macro y microporos, lo convierten en un material alternativo y valioso para abordar la contaminación del agua (Clemente *et al.*, 2021).

Por otro lado, la fitorremediación se basa en procesos bioquímicos generados por plantas y microorganismos asociados a su sistema radicular. Estos procesos incluyen la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes en los efluentes mineros. Entre las tecnologías mencionadas, se destaca la fitorremediación por su atractivo económico, ya que es accesible y de bajos costos en comparación con otras alternativas (Azeez, 2021). Esta técnica implica el uso de plantas acuáticas, ya sean flotantes o sumergidas para el tratamiento de contaminantes. Diversos estudios han demostrado que plantas como helechos, mostaza india, girasol, y buchón de agua pueden remover una variedad de metales, como Cu, Zn, Cr, Hg, As, Cd, Se y CN^- . Este enfoque es considerado sostenible, eficiente y no requiere personal altamente capacitado para su implementación. Además, no consume energía y no genera contaminantes secundarios, lo que permite el reciclaje de recursos (Domínguez *et al.*, 2016).

Sin embargo, una de las desventajas de este proceso radica en su velocidad, ya que depende del ciclo natural de crecimiento de las plantas, lo que puede

hacer que el proceso sea lento. La eficacia de la fitorremediación se maximiza cuando los contaminantes se encuentran dentro del alcance de las raíces de las plantas.

Tipos de tecnologías

En la Tabla 4 se muestran las tecnologías empleadas en el proceso de remoción de la minería aurífera, las cuales fueron encontradas en la revisión sistemática.

Tabla 4. Tipos de tecnologías de uso frecuente para el tratamiento de efluentes mineros, cantidad encontrada por artículos.

Tipo	Tecnología	Investigaciones (%)	Eficiencia (%)	
			< 85	85 - 100
Biológico	Biocarbón	5.9	2.4	3.5
	Biorremediación	4.7	1.2	3.5
	Adición de carbono activado	5.9	3.5	2.4
	Bioacumulación y fitorremediación	8.2	1.2	7.0
	Remoción biológica	22.3	12.9	9.4
Físico-químico	Nanofiltración	16.4	7.0	9.4
	Proceso de adsorción	23.5	7.0	16.5
	Otras tecnologías	12.9	3.5	9.4

Fuente: Elaboración propia.

En la búsqueda de los 85 artículos seleccionados las tecnologías más frecuentes de tipo biológico son el biocarbón, biorremediación, adición de carbono activado, bioacumulación y fitorremediación, remoción biológica, representando un porcentaje del 47%. De estas investigaciones se encontraron tecnologías con eficiencias de remoción mayores al 85%, las cuales representan el 25.9% de estas tecnologías. Las tecnologías del tipo físicoquímicas como la nanofiltración, proceso de adsorción y otras, representan un porcentaje del 52.8%, de las cuales la mayor parte de estudios investigados (35.3%) presentan eficiencias superiores al 85%. Estas últimas tecnologías son las más convenientes para su implementación y utilización en la zona de estudio y disminución de los contaminantes generados por la

minería aurífera

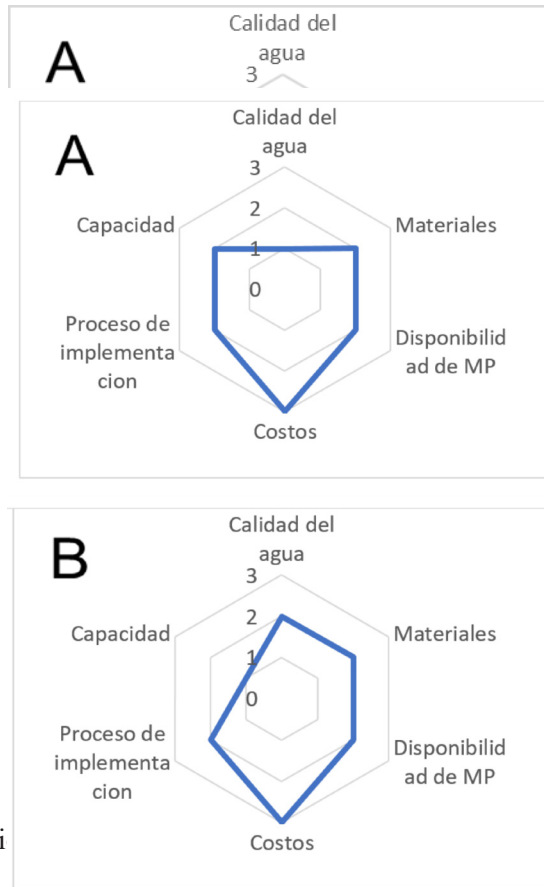
En cuanto a eficiencia del tipo tecnología utilizada para el tratamiento de efluentes mineros, se pudo apreciar en la Tabla 4, el 21.2% de las tecnologías biológicas obtienen un porcentaje de eficiencia entre 0% - 85%. No obstante, el 25.9% de estas mismas tecnologías obtienen un porcentaje mayor al 85%. Un caso de lo anterior es lo realizado en las diversas investigaciones de Aparicio, 2020. Pinzón 2018. García, 2020. Guamán, 2018. e Ighalo *et al*, 2018, donde utilizaron bioabsorbentes que permitieron una mayor remoción de los diferentes agentes contaminantes en los efluentes mineros. Un caso similar persigue la distribución del porcentaje de eficiencia de las tecnologías fisicoquímicas, entre las que se destacan los procesos de nanofiltración, procesos de adsorción y ósmosis inversa, con solo 17.6% de las investigaciones con una eficiencia de remoción menor al 85%, y con 35.3% de remoción mayor al 85%.

Evaluaciones de las tecnologías innovadoras

Tras analizar los resultados, se identificaron las tecnologías más eficientes en el tratamiento de efluentes mineros y con una mayor frecuencia de publicación. Estas incluyen el biocarbón, la biorremediación, la adición de carbón activado, la bioacumulación, la remoción biológica, la nanofiltración y la adsorción. Estas alternativas son viables para su implementación en el municipio de Suárez, dadas sus características de manejo, costos y eficiencias de remoción. Las Figuras 3 a 6 muestran la puntuación de la evaluación tecnológica de las tecnologías, basadas en los criterios de la Tabla 2. Para las figuras, entre más abierta estaba la red generada, mayor será la puntuación y, por ende, mayor el grado de cumplimiento de los criterios seleccionados.

En el caso de la tecnología de biocarbón con una puntuación de 12 (Figura 3A), es destacable su facilidad de implementación y la disponibilidad de materiales de bajo costo en el mercado. Sin embargo, se observa que sus resultados en la mejora de la calidad del agua son inferiores al 85%.

Figura 3. Evaluación tecnológica de A) biocarbón y B) biorremediación

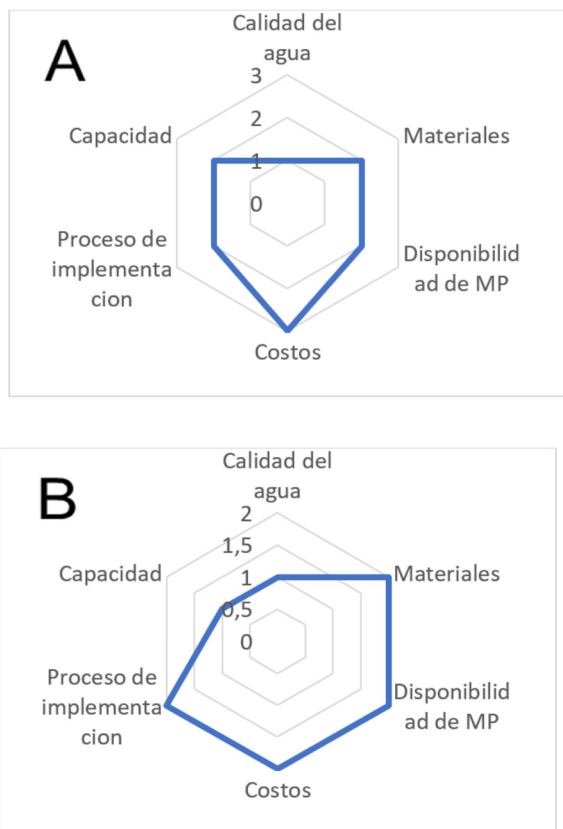


Fuente: Elaboraci

En caso de la biorremediación con una puntuación de 12 (Fig. 3B), también es de fácil implementación, debido a la disponibilidad de encontrar los materiales o materia prima para su implementación, que puede incluir la misma región. Además, es una alternativa de bajo costos y de fácil construcción. En cuanto a los resultados de eficiencia de remoción de diferentes investigaciones reportan un porcentaje superior al 85%.

Para el caso de la tecnología de adición de carbón activado, la evaluación obtenida fue de 12 (Fig. 4A), se destaca su fácil implementación, el acceso a los materiales en el mercado, aunque en los resultados de eficiencia en la calidad del agua son mayor al 85%.

Figura 4. Evaluación tecnológica de A) adición de carbón activado y B) bioacumulación



Fuente: Elaboración propia.

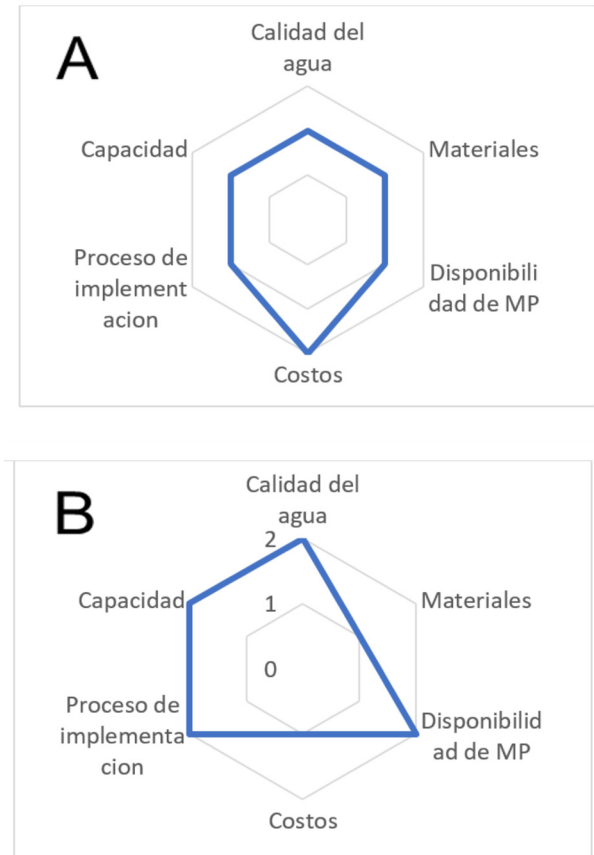
En la evaluación tecnológica de la bioacumulación su puntuación fue 10 (Fig. 3B), se destaca su fácil implementación, disponibilidad de encontrar los materiales en el mercado, no obstante, los resultados de eficiencia en la calidad del agua son mayor al 85% y la capacidad para la aplicación a gran escala es ineficiente.

En el caso de la tecnología de remoción biológica su puntuación fue 13 puntos (Fig. 5A), donde se resaltan los costos de implementación la disponibilidad y los procesos de implementación sin dejar a un lado la eficiencia sobre el agua que es mayor a 85%.

En cuanto a la evaluación tecnológica de la nanofiltración fue de 10 (Fig. 5B), se evidencia que los costos aumentan debido a los materiales que, aunque son de fácil disponibilidad no son tan asequibles como lo son otros, pero en la eficiencia sobre la calidad del agua obtiene un resultado superior al 85%.

Por último, para el proceso de adsorción el puntaje de la evaluación fue

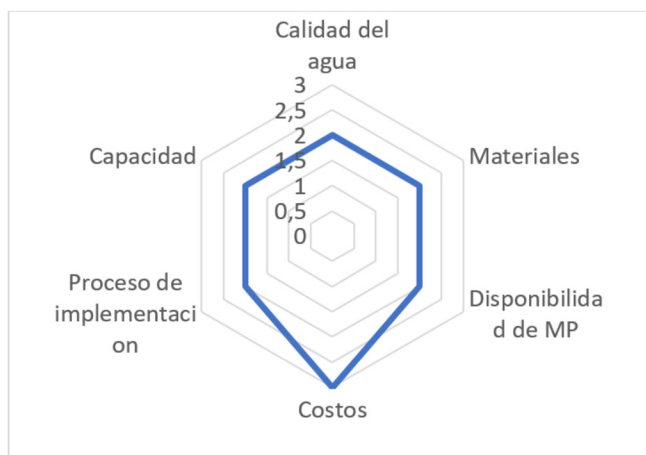
Figura 5. Evaluación tecnología de A) remoción biológica y B) nanofiltración



Fuente: Elaboración propia.

de 13 puntos (Fig. 6). Esta tecnología fue una de las puntuaciones más altas por su baja inversión de costos y alta eficiencia de remoción de contaminantes dando resultados positivos, presentando novedades para su implementación a gran escala debido a su baja capacidad.

Figura 6. Evaluación tecnológica del proceso de adsorción



Fuente: Elaboración propia.

Así pues, la técnica de remoción biológica y el proceso de absorción son las tecnologías con mayor rendimiento, pues obtuvieron en cuanto a los aspectos considerados remover mayor turbidez en efluentes mineros con porcentaje entre el 85% y el 100%; requiriendo una baja inversión, de fácil implementación ya sea de manera individual o gran escala.

Conclusiones

Tras el análisis realizado según la literatura los principales contaminantes presentes en efluentes mineros son los metales pesados con más del 88%, entre los más utilizados son Hg, CN⁻, Cu, Pb, Zn, As, Se, Cd, Bi, que generan grandes impactos en la calidad del agua, deterioro de la biota acuática, eutrofización, inclusive riesgos para la salud humana. Por lo anterior, los procesos mineros están llamados a la apropiación y adaptación de nuevas tecnologías que tengan una eficiencia de remoción de dichos contaminantes y que permitan disminuir y/o mitigar en gran parte los impactos generados sobre los sistemas hídricos por la minería artesanal y a pequeña escala - MAPE.

Según los datos expuestos las tecnologías de remoción de efluentes mineros a nivel mundial con mayor uso son el proceso de adsorción con remoción del 85 - 100%, la nanofiltración >85% y remoción biológica > 85%, de igual forma la adición de carbono y la biorremediación presentan porcentajes de remoción de un 85% siendo estas utilizadas en menor proporción. Por lo anterior, es importante mencionar que entre las tecnologías mencionadas en el presente documento y para el caso específico del municipio de Suarez – Cauca

la mejor opción a ser utilizada en el tratamiento de efluentes mineros puede ser las de tipo o uso biológico, las cuales están entre las más eficientes a nivel económico y ambiental.

Teniendo en cuenta las tecnologías investigadas y de acuerdo con la cultura, economía problemas socio- ambientales y ubicación geográfica que se presentan en el municipio de Suárez Cauca; las tecnologías que mejor se pueden adaptar a esta zona son las de Remoción biológica, Adición de Carbón Activado y el Proceso de Adsorción debido a que estas tecnologías presentan porcentajes de remoción entre el 85 y 100% lo que las hace más eficientes. De igual manera al realizar la evaluación tecnológica por desempeño a cada una de ellas, estas fueron las que mejores resultados tienen debido a que son de bajo costo, presentan una fácil implementación debido a que los materiales existen y son asequibles en la región, además son de rápida aceptación, apropiación, construcción y operación permitiendo su viabilidad en los diferentes entables mineros de pequeña o gran escala.

Referencias

- Addosio, RD. Paez, G., Marin, M., Marmol, Z., Ferrer, J. (2005). *Evaluation of efficiency of a tangential ultrafiltration/nanofiltration on series system to fractionation and concentration of whey*. https://www.researchgate.net/publication/282559491-Evaluation_of_efficiency_of_a_tangential_ultrafiltrationnanofiltration_on_series_system_to_fractionation_and_concentration_of_whey
- Agencia Nacional de Minería, (ANM) (2022). *Colombia- Minería*. <https://mineriaen-colombia.anm.gov.co/contenido/mineria-para-la-vida>
- Alcaldía Municipal de Suarez. (2020). *Plan de Desarrollo Municipal Por un Suárez Incluyente, Emprendedor, Sostenible y en Paz*. <https://www.suarez-cauca.gov.co/planes/plan-de-desarrollo-municipal-por-un-suarez-incluyente>
- Aquino, A., Rojas, M., Mamiam, E., Palli, C., Vianey, D. (2021). *Microorganismos empleados para la biorremediación de efluentes mineros con cianuro*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8460601>
- Asociación Colombiana de Minería. (2023) *Minería en Cifras*. <https://acmineria.com.co/sitio/wp-content/uploads/2023/06/ACM-MineriaEnCifras-2023.pdf>
- Ávila, Derly. (2019). *Aplicación de membranas en el tratamiento de aguas contaminadas por la minería*. <https://www.reverdeceringenierosconsultores.com/post/aplicaci%C3%B3n-de-membranas-en-el-tratamiento-de-aguas-contaminadas-por-la-miner%C3%ADa>
- Azeez, M. (2021). *Bioacumulación y fitorremediación de algunos metales pesados (Mn, Cu, Zn y Pb) por vejiga y lenteja de agua*. <https://www.doccity.com/es/fitorremediacion-de-metales-pesados-con-macrofitas-2/8650546/>
- Bolaños, José. (2012). *Conflicto armado en Colombia y su impacto en el Departamento del Cauca desde el 2002 al 2012*. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/9919/BolanosMayaJoseRodrigo2012.pdf?sequence=2&isAllowed=y#:~:text=A%20partir%20del%20a%C3%B1o%201954,Tierra-dentro%20hoy%20en%20d%C3%ADa%2C%20Inza>
- Clemente, A., Presiga, D., Perez, J. (2021). *Uso del biocarbón como material alternativo para el tratamiento de aguas residuales contaminadas*. <https://www.redalyc.org/journal/5537/553768365011/html/>
- Corporación Autónoma Regional del Cauca. (2016). *Mineras extraen oro usando plantas en vez de mercurio*. <https://cvc.gov.co/carousel/2368-mineras-mercurio>
- Domínguez, M.C., Gómez, S. & Ardila, A.N. (2016) *Fitorremediación de mercurio presente en aguas residuales provenientes de la industria minera*. UGCiencia, 22 227-237. Escuela de Administración, Finanzas e Instituto Tecnológico (EA-FIT). (2021). *Producción del sector minero colombiano*. <https://www.eafit.edu.co/escuelas/economiafinanzas/noticias-eventos/Paginas/produccion-del-sector-minero-colombiano.aspx>
- García, E., N. Roqueñí, and J. Loredó, (2020). *Mercury bioaccumulation by Juncus maritimus grown in a Hg contaminated salt marsh (northern Spain)*. Mar Chem, vol. 226,

- p. 103859, Oct. 2020, doi: 10.1016/J.MARCHEM.2020.103859.
- García, L., González, B. (2021). *Aportes integrales para la minería en el desarrollo sostenible*. México: Ediciones Eternos Malabares; Universidad Autónoma del Estado de Morelos; Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.
- García, N., Villanueva, P., Campos, E., Vásquez, A. (2012). *Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas residuales*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40123894007>
- Guamán, M., Nieto, D. (2018). *Evaluation of the rotational speed and carbon source on the biological removal of free cyanide present on gold mine wastewater, using a rotating biological contactor*. *Journal of Water Process Engineering*, vol. 23, pp. 84–90, Jun. 2018. Doi: 10.1016/J.JWPE.2018.03.008.
- K. Petersen, R. Feldt, M. Shahid, and M. Mattsson. (2008). *Systematic mapping studies in software engineering*. BCS Learning & Development Ltd., pp. 68–77.
- Londoño, L., Londoño, P & Muñoz, F. (2016). *Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal*. *Biología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 14(2), 145–153. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- López, M. (2021). *Selección de técnicas para el tratamiento de aguas residuales con contenido elevado de metales pesados, enfocado a la sostenibilidad en la industria minera colombiana*. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8407/1/893736-2021-I-GA.pdf>
- M. Aparicio. (2010). *Health risks caused by mining pollution and their impact on children*. T'inkazos. *Revista Boliviana de Ciencias Sociales*, vol. 27, no. 1. 2010.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente). (2023). *Ley 1658 de 2013*. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/ley-1658-de-2013/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (MADS). (2022) *Sinopsis Nacional de la Minería Aurífera Artesanal y de Pequeña Escala*. https://www.minambiente.gov.co/wd-content/uploads/2021/06/Sinopsis_Nacional_de_la_ASGM.pdf
- Molina, Elías. *Manejo y Planeación Territorial en el Consejo Comunitario Afrodescendiente de Mindalá – Suárez* (2016). *Desde el Enfoque de los Sistemas Socio-ecológicos*. Pontificia Universidad Javeriana. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/19542/HeloMolinaElias2016.pdf?sequence=1>
- Montes, J. (2020). *Tratamiento de efluentes de la industria minera mediante tecnología de membrana. Aplicación a Chile y Ecuador*. <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/71700/fichero/TFM-1700+MONTES+S%C3%81NCHEZ%2C+JES%C3%9AS.pdf>
- Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito (UNODC). Colombia (2019). *Explotación de oro de aluvión Evidencias a partir de percepción remota* https://www.unodc.org/documents/colombia/2020/Octubre/Informe_EVOA_2019_ESP_B.pdf

- Organización Internacional del Trabajo (OIT). (2015) *La minería: un trabajo peligroso*. https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/areasofwork/hazardous-work/WCMS_356574/lang-es/index.htm#:~:text=La%20miner%C3%ADa%20representa%20alrededor%20del,la%20miner%C3%ADa%20de%20peque%C3%B1a%20escala
- Pinzón, Claudia. (2018). *Impacto del mercurio en los ecosistemas colombianos y las técnicas aplicables para su biorremediación*. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/17784/53117404.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Servicio Geológico Colombiano. (2017). *Guía Metodológica para el mejoramiento productivo del beneficio de oro sin el uso de mercurio. Suárez, Buenos Aires y El Tambo (Cauca)*. http://srvags.sgc.gov.co/Archivos_Geoportal/Geologia/Guia-metodologica-Suarez-Buenos-Aires-El-Tambo.pdf
- The Global Initiative against Transnational Organized Crime. (2016). *El Crimen Organizado y la Minería Ilegal de Oro en América Latina*. <https://globalinitiative.net/wp-content/uploads/2016/03/El-Crimen-Organizado-y-la-Miner%C3%ADa-Ilegal-de-Oro-en-Am%C3%A9rica-Latina.pdf>
- Tovar, C., Villabona, A., Garcés, L. (2015). *Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de Origen biológico*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992015000100010
- Trujillo, Daniela., López, Natalia. (2017). *Desbordamiento del extractivismo minero en Colombia: el caso de Suárez, Cauca*. Doi: 10.18046/recs.i26.2512
- Universidad de Antioquia (UDEA). (2023). *Noticias*. <https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/udea-noticias/>
- Yan, C., Qu, Z., Wang, J., Cao, L., Han, L. (2022). *Microalgal bioremediation of heavy metal pollution in water: Recent advances, challenges, and prospects*. <https://www.studocu.com/cl/document/universidad-de-antofagasta/bioquimica/s0045653521023420-biorremediacion-de-agua/25464578>

CAPÍTULO 5.

Tratamiento Foto-Fenton para la remoción de dipirona en agua residual hospitalaria de San Antonio de Padua, la Plata - Huila

VALENTINA ESCOBAR TOVAR¹
KAROL DANIELA FERNÁNDEZ VARGAS²
ARNOL ARIAS HOYOS³
EDWIN FERNANDO SIERRA⁴
CESAR FERNÁNDEZ MORANTES⁵

Resumen

El presente estudio pretende evaluar la eficiencia de remoción del contaminante emergente dipirona mediante el proceso de oxidación avanzada a través del método Foto-fenton en aguas residuales hospitalarias de San Antonio de Padua, La Plata - Huila. Para tal fin, muestras colectadas fueron caracterizadas fisicoquímicamente tanto para condiciones iniciales como posteriores al proceso implementado. El análisis experimental planteó un diseño factorial de dos niveles, con el fin de optimizar las concentraciones de los reactivos utilizando cantidades mínimas para obtener mayor reducción y/o biodegradabilidad del agua residual; se evaluó la concentración de H_2O_2 al 50% (100 y 200 mg/L) y tiempo de reacción de 60 y 120 minutos, haciendo uso del sulfato ferroso como catalizador. Las concentraciones de

- 1 Ingeniera ambiental y sanitaria, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, valentina.escobar.t@uniautonomo.edu.co.
- 2 Ingeniera ambiental y sanitaria, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, karol.fernandez.v@uniautonomo.edu.co.
- 3 Magister en Ingeniería y gestión Ambiental (c), Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Docente Investigador, Categoría Junior arnol.arias.h@uniautonomo.edu.co
- 4 Magister en Ingeniería Ambiental (c), Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Docente Investigador, edwin.sierra.g@uniautonomo.edu.co.
- 5 Doctor en Ingeniería mención materiales, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Docente Investigador, Categoría Junior, cesar.fernandez.m@uniautonomo.edu.co.

dipirona en las muestras se determinaron por el método de Cromatógrafo Líquido de Ultra Alta Resolución (UHPLC/DAD). Se obtuvo para el caso de las muestras de agua residual hospitalaria enriquecidas con dipirona de solución inyectable mayor eficiencia con 100 mg/L a 120 min y 200 mg/L a 60 min de H_2O_2 , en ambos casos los porcentajes de remoción están por encima del 95%, por lo tanto, es importante analizar razones económicas y operativas para seleccionar la mejor concentración al implementar esta metodología a gran escala.

Palabras claves: Oxidación avanzada, Aguas residuales hospitalarias, Foto-Fenton, Dipirona, contaminantes emergentes.

Introducción

El tratamiento de las aguas residuales hospitalarias es fundamental para disminuir impactos ambientales, restar problemáticas que puedan afectar la salud pública ya que son considerados peligrosos debido al riesgo biológico y químico que los constituyen (COLORADO & CHISINO, 2018). La contaminación por contaminantes emergentes (C.E) es cada vez más grave por la cantidad, diversidad y toxicidad; entre estas sustancias se destacan los esteroides, filtros solares, hormonas, perfumes, antibióticos, sulfonatos, analgésicos, edulcorantes, herbicidas, antiinflamatorios, drogas de abuso, psiquiátricos, pesticidas, entre otros (Sánchez, 2018).

La contaminación por C.E en los sistemas hídricos naturales debido al vertimiento de aguas residuales hospitalarias es uno de los temas de mayor atención ambiental, desde los años 70 donde se realizaron los primeros estudios sobre esta problemática y hasta el momento, existe un conocimiento limitado sobre los efectos al ecosistema y la salud humana a largo plazo; al respecto algunos estudios han mostrado que dichas sustancias pueden ser altamente tóxicos, la mayoría bioacumulables generando trastornos ecológicos (Cuenca, 2019). Además, dichos contaminantes no son nuevos, pero tampoco se tiene un amplio conocimiento que permita determinarlos, eliminarlos o regularlos, dado que la mayoría no se encuentran contemplados dentro de un listado de contaminantes prioritarios a nivel nacional (Aguilar, 2018).

Los hospitales en el desarrollo de sus actividades diarias están actualmente generando altos volúmenes de vertimientos que finalmente retornan a las fuentes hídricas receptoras, aguas residuales que se caracteriza por tener una biodegradabilidad baja haciéndose necesario

utilizar tratamientos fisicoquímicos o biológicos; por lo anterior, desde hace varios años se ha venido trabajando en nuevas técnicas de cuantificación y metodologías de tratamientos con mejor eficiencia para la remoción de los C.E, los cuales se clasifican actualmente en fisicoquímicos, biológicos y avanzados. Algunos de estos métodos son la ultrafiltración, oxidación avanzada, adsorción, tratamientos biológicos, tratamiento con membranas, tratamientos combinados, nanofiltración con membranas y empleo de adsorbentes.

En consecuencia, los procesos de oxidación avanzada contribuyen una buena alternativa, puesto que son útiles para el tratamiento de aguas residuales industriales, domésticas o con contaminantes emergentes como: aditivos, cosméticos, fármacos, plastificantes entre otros (López Ramírez et al., 2021), los cuales no han podido ser removidos mediante tratamientos convencionales, además, estos procesos tienen como ventajas la mejora de las características organolépticas del agua tratada, la transformación química de los contaminantes, sin la generación de lodos y la posibilidad de tratar contaminantes que se encuentran en muy baja concentración; Entre la variedad de los tratamientos de Oxidación Avanzada se pueden incluir: la irradiación (UV/O₃), la oxidación electroquímica, la ozonización (O₃), los procesos Fenton (Fe²⁺/H₂O₂), la ozonización en combinación de (O₃/H₂O₂), la fotocatalisis, el foto-Fenton, la irradiación ultravioleta (UV), la irradiación (UV/O₃), etc (Vélez., 2020).

Por consiguiente, el proceso foto-Fenton que se da en presencia de luz ultravioleta (UV/ H₂O₂/Fe⁺²), ha demostrado ser una buena alternativa para degradar gran variedad de contaminantes, además este proceso combinado, tiene la característica de acelerar la formación de radicales OH⁻ los cuales son capaces de transformar los compuestos orgánicos presentes en el agua residual en productos más biodegradables (COLORADO & CHISINO, 2018); Actualmente, para esta tecnología se buscan nuevos estudios que se enfoquen en estudiar a detalle la cinética de la reacción, con respecto a la concentración de radicales hidroxilos, además de los valores óptimos para los diferentes parámetros que afectan el proceso de oxidación como: pH, temperatura, diseño del reactor, naturaleza y concentración del contaminante y agentes oxidantes que puedan mejorar la reacción (López Ramírez et al., 2021).

Por lo expresado anteriormente, la presente investigación pretende ampliar el conocimiento respecto al tratamiento de C.E, específicamente del analgésico dipirona; así mismo, tiene como objetivo evaluar la eficiencia de remoción del contaminante emergente dipirona mediante el tratamiento

de oxidación avanzada en aguas residuales hospitalarias de San Antonio de Padua, La Plata - Huila. Por esta razón, y teniendo en cuenta los referentes teóricos relacionados con los procesos avanzados de oxidación, se inició con el desarrollo de la caracterización del agua residual del vertimiento generados por el hospital; posteriormente se diseñó y construyó el prototipo para desarrollar la metodología propuesta para la experimentación y finalmente se analizaron los resultados obtenidos al implementar los procesos de oxidación a escala piloto.

Desarrollo

1. Diseño del sistema de tratamiento no convencional para la remoción de dipirona.

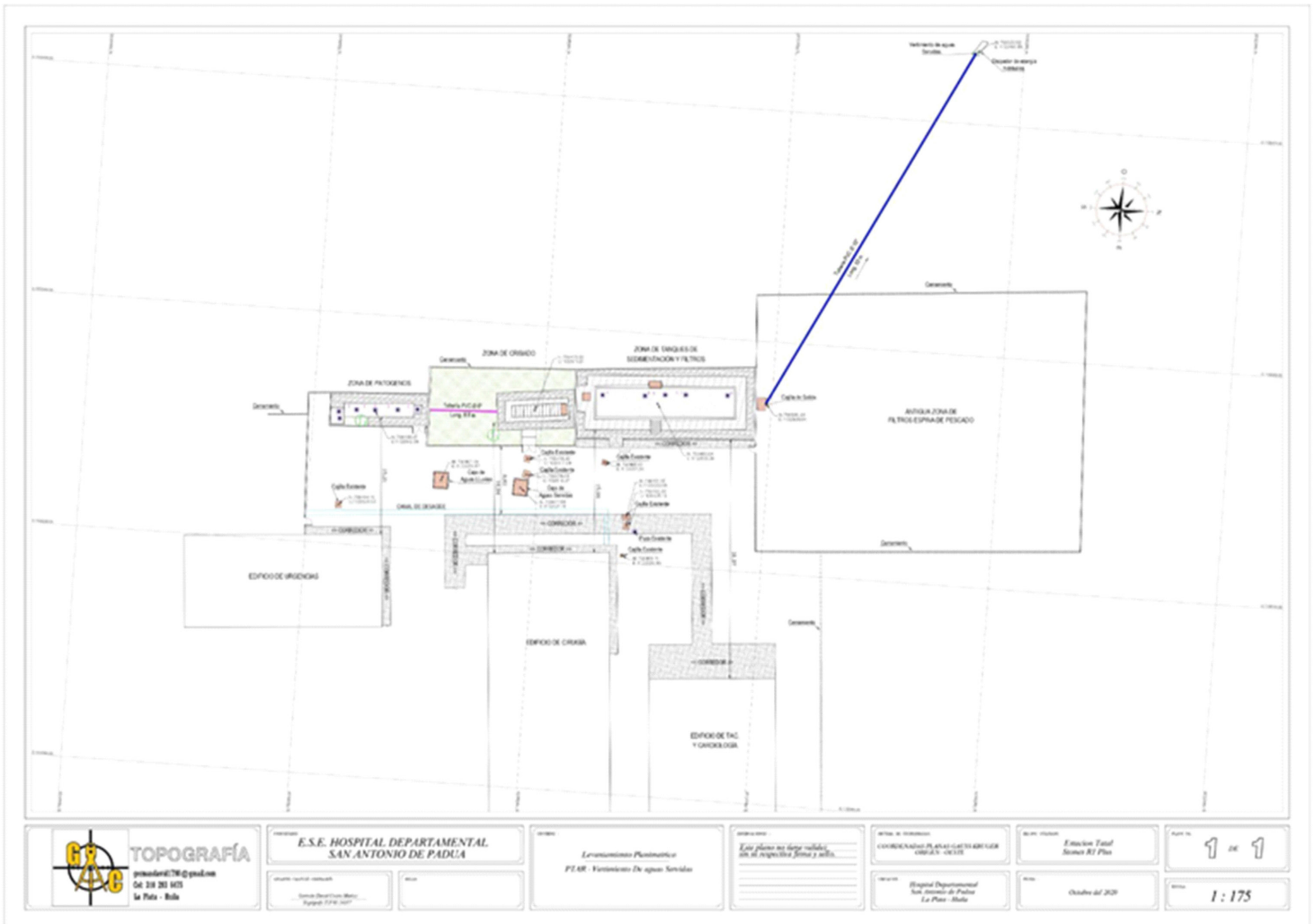
1.1 Recolección de información

Como fuente primaria de la información recolectada se encuentra lo reportado directamente por El Hospital San Antonio de Padua en La Plata - Huila, quienes dieron a conocer que respecto a los medicamentos de mayor consumo se encuentra la dipirona. Así mismo, este hospital cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), la cual consta de las siguientes unidades: cámara de patógenos, del área de urgencias; zona de cribado, cámaras de sedimentación de lodos y grasas; zona de tanques de sedimentación, cámara de filtración; y tubería de conducción al río, como se muestra en la figura 1.

1.2 Recolección de las muestras

Se realizaron 2 muestreos simples en momentos diferentes con el objetivo de replicar el procedimiento y corroborar los resultados obtenidos. Se colectaron muestras del agua residual en recipientes de 5 L tanto a la entrada como a la salida de la PTAR del hospital teniendo en cuenta el instructivo para la toma de muestras de aguas residuales del IDEAM (IDEAM, 2007), se refrigeraron a una temperatura de 4.0 ± 1.0 °C para su debida preservación y fueron transportadas al laboratorio de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca con el fin de realizar la caracterización de algunos parámetros fisicoquímicos (DQO, DBO, turbidez, pH, conductividad, oxígeno disuelto, TDS) y ejecutar el proceso de oxidación avanzada.

Figura 1. Plano de la planta de tratamiento de aguas residuales del Hospital San Antonio de Padua.



Fuente: Adaptado de Plano de la planta de tratamiento de aguas residuales del Hospital San Antonio de Padua, Hospital San Antonio de Padua, 2020, tomado de Informe de gestión 2020.

1.3 Caracterización del agua residual hospitalaria obtenida en la PTAR.

La caracterización de las aguas residuales hospitalarias se realizó con el fin de conocer la calidad de estas, así como determinar si la PTAR está cumpliendo con los parámetros establecidos en la resolución 0631 de 2015.

En la Tabla 1, se observan los datos obtenidos en la entrada de la PTAR para los parámetros de conductividad, TDS, O₂ y turbidez, los cuales presentan valores muy altos reflejando la presencia de partículas suspendidas y disueltas que están alterando la calidad del agua, además corresponden a aguas residuales con presencia de material orgánico y sales o sustancias químicas disueltas. Se evidencia respecto a las variables DBO, DQO y pH que estas aguas residuales no cumplen con los valores máximos permisibles que deben cumplir las actividades en puestos de salud, hospitales y similares con y sin internación, lo anterior puede deberse a las altas concentraciones tanto de sustancias orgánicas como inorgánicas que se encuentran en el afluente, convirtiéndose en una potencial fuente contaminante que finalmente altera la calidad del agua del cuerpo receptor y por ende la biota acuática que en este se pueda encontrar. Por tal razón, es necesario que las aguas de este vertimiento hospitalario sean tratadas en la PTAR y de ser necesario complementar con un sistema terciario que permitan dar cumplimiento en lo que a remoción de carga contaminante se refiere.

Tabla 1. Resultados de los parámetros fisicoquímicos en muestra de agua antes del ingreso a la PTAR del Hospital San Antonio de Padua, Hospital San Antonio de Padua.

Parámetro / unidad	Antes de la PTAR		Valores Permisibles	Cumplimiento
	I Muestreo	II Muestro		
DBO mg O ₂ /L	218	150	<150.0	NO CUMPLE
Conductividad μS/ cm	1165	876	-	-
TDS mg/L	582,5	438	-	-
DQO mg O ₂ /L	941	652	200.0	NO CUMPLE
OD	[%]	57,7	97,1	-
	mg/L	5,14	6,92	-
pH (unidades de pH)	9,59	8,65	6.0 - 9.0	NO CUMPLE
Turbidez	92,1	58,93	-	-

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 2, se muestran los valores obtenidos en la salida de la PTAR, Se evidencia una disminución considerable, en especial en los parámetros de DBO (50 mg O₂/L) y turbidez (53,3 - 33 NTU), así como el pH, encontrándose dentro del máximo permisible establecido por la resolución 0631/2015 y dando a entender que algunos de los componentes de la planta están funcionando efectivamente sobre todo en la remoción de materia orgánica y solidos suspendidos.

Tabla 2. Resultados de los parámetros fisicoquímicos después de la PTAR

Parámetro	Unidad	Después de la PTAR		Valores permisibles	Cumplimiento
		Resultados I	Resultados II		
DBO	mg O ₂ /L	98.3	50	<150.0	CUMPLE
Conductividad	μS/cm	1148	784	-	-
TDS	mg/L	574	392	-	-
DQO	mg O ₂ /L	747	383	<200.0	NO CUMPLE
OD	%	23,3	12,4	-	-
	mg/L	2,51	1,25	-	-
pH	unidades de pH	8,47	7,96	6.0 - 9.0	CUMPLE
Turbidez	NTU	38,8	25,93	-	-

Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, genera preocupación que aún con los tratamientos convencionales de la PTAR, la DQO no se encuentra dentro de los valores límites permisibles por la resolución 0631/15 y parámetros como conductividad y TDS presentan datos muy altos, indicando la presencia de ciertas sustancias suspendidas siendo estas posiblemente sales o sustancias químicas disueltas; lo anterior tiene como consecuencia la desoxigenación del agua (hasta de 1,25 mg/L), es decir con tendencia a un sistema anaerobio, además de la generación de olores indeseables; resultados que evidencian que la PTAR actualmente no es totalmente funcional y que requiere un mantenimiento y/o un sistema de tratamiento terciario o complementario que permita la remoción de algunas sustancias químicas específicas. Es importante tener en cuenta que la composición de las aguas residuales hospitalarias depende de factores como la cantidad de pacientes y las enfermedades tratadas, además, estos vertimientos pueden

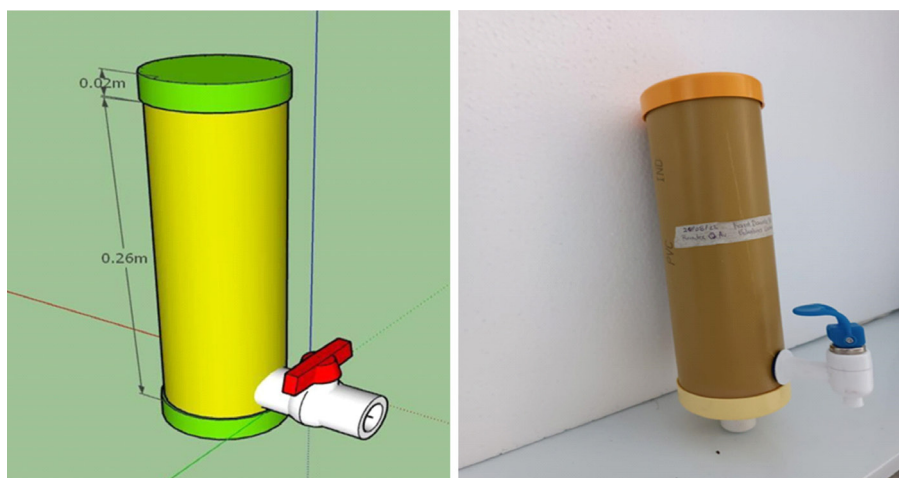
contener contaminantes emergentes, microorganismos patógenos, productos químicos tóxicos y elementos radiactivos, los cuales suelen tener una baja biodegradabilidad y por tanto son difícilmente removidos por tratamientos convencionales (Diana Marcela et al., 2020; Peñate et al., 2009).

1.4 Diseño y construcción del prototipo de oxidación avanzada

Teniendo en cuenta los resultados de la carga contaminante hallados en la caracterización físico química realizada al agua residual y tomando como base principal las dimensiones de la lámpara UV (altura de 24 cm y un volumen de 75,4 cm³) para ejecutar el proceso Foto fenton, se procede a realizar el diseño a escala piloto del reactor para tratar 1L neto del agua residual; la lampara posee una potencia de 13W y un voltaje que oscila entre los 110 y 120V, se le adapta un tubo de vidrio de cuarzo a prueba de explosiones para una alta transmisión de rayos ultravioleta y que garantice las mismas condiciones de irradiación.

El prototipo se construye en su parte externa con un tubo de PVC de diámetro de 3” y de altura de 24cm y en su parte interna se encuentra alojada la lampara UV descrita anteriormente y cuenta con una válvula de salida de 1 cm de diámetro; la dimensión de este prototipo permite el flujo y tratamiento de 1094,49 cm³ de la muestra problema. (figura 2).

Figura 2. Diseño del reactor a escala piloto para el proceso Fenton



Fuente: elaboración propia

Nota: La imagen de la izquierda muestra el plano del diseño del reactor con sus dimensiones y la imagen de la derecha muestra el prototipo construido a escala piloto en material PVC.

El funcionamiento de este reactor consta de un proceso de carga de forma manual, el fluido llena el espacio entre la lámpara de luz UV y las paredes del reactor, una vez se cumplen los tiempos de experimentación se realiza la descarga a través de la válvula de salida.

2. Determinación de los porcentajes de remoción del contaminante emergente dipirona en los sistemas de tratamiento de oxidación avanzada.

2.1 Determinación de Dipirona en muestra de agua por UH-PLC/DAD

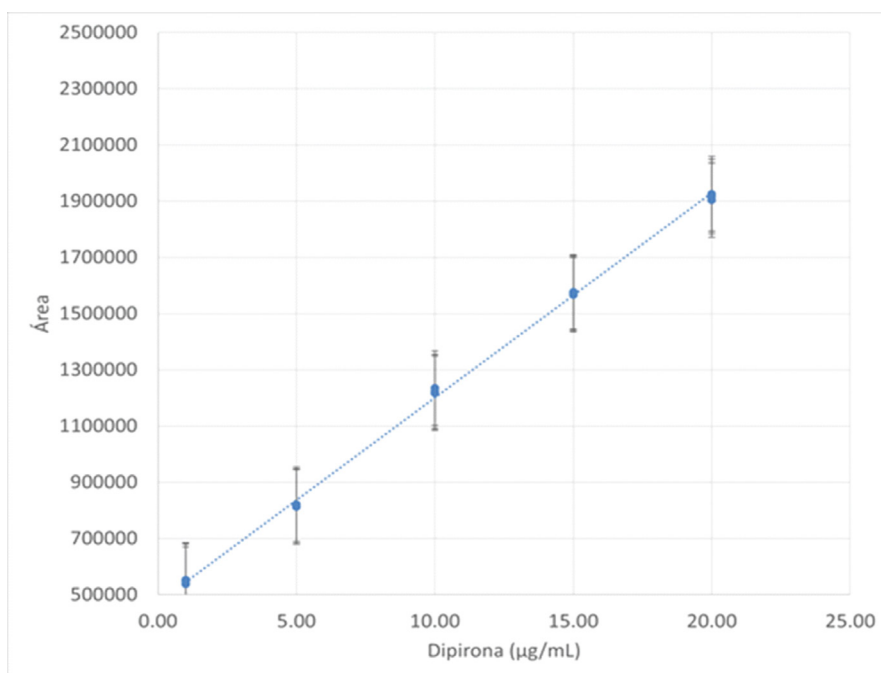
La técnica cromatográfica empleada para separar componentes utiliza una variedad de interacciones físicas y químicas entre el analito y la columna cromatográfica; de tal forma que el analito disuelto en la fase móvil requiere del uso de reactivos como acetonitrilo (ACN): Grado HPLC, metanol (MeOH): Grado HPLC; y posteriormente se continúa con una fase estacionaria a través de una columna apolar que interactúa con compuestos orgánicos, en este caso en fase reversa bombeando la fase móvil líquida con alta presión, lo que permite la separación de la muestra. La muestra se introduce a la corriente de la fase móvil para que se efectúan interacciones fisicoquímicas con la fase estacionaria mientras la atraviesa. El tiempo que tarda en efectuar interacciones se conoce como tiempo de retención (TR), único. El cual depende de la naturaleza del analito, de la fase estacionaria y de la composición de la fase móvil (Contreras et al., 2021).

La preparación de las muestras para su análisis consistió en el uso de una ampolla de solución inyectable de 500 mg de dipirona del laboratorio ECAR, almacenada en un vial ámbar con tapa de 10mL., de esta se preparó una solución madre de 500µg/mL del analito, aforado a 10 mL con agua desionizada, con el objetivo de evitar que el analito sature la columna.

Se prepararon cinco diluciones a concentraciones 1, 5, 10, 15 y 20µg/mL a partir de la solución madre, preparadas en balones de 10mL y aforando con agua desionizada. De cada solución preparada, se tomó 1mL llevados a viales de inyección de cromatografía con tapa y sello septum para ser analizados en el cromatógrafo Líquido de Ultra Alta Resolución (UHPLC/DAD) DIONEX Ultimate 3000 - Thermo Scientific, el cual está equipado con bomba binaria, desgasificador online, horno de columna y detector de arreglo de diodos (DAD 190-800 nm). Columna Hypersil GOLD C18 100 mm x 2.1 mm I.D., tamaño de partícula 1.9 µm - Thermo Scientific.

En la figura 3 se observan las características de desempeño evaluadas permitiendo comprobar que existe una adecuada selectividad, una linealidad entre 1 y 20 $\mu\text{g/mL}$, con una linealidad R^2 0.99882 expresada como RSD menor a 2%, un porcentaje de recuperación del 99,9% y unos límites de detección y cuantificación de 0,187 y 0,623 $\mu\text{g/mL}$, respectivamente, con el objetivo implementar un método preciso, exacto, proporcional, lineal y sensible, por cuanto satisface los requerimientos del procedimiento de validación de métodos analíticos (Salmerón-García et al., 2009).

Figura 3. Curva de calibración dipirona

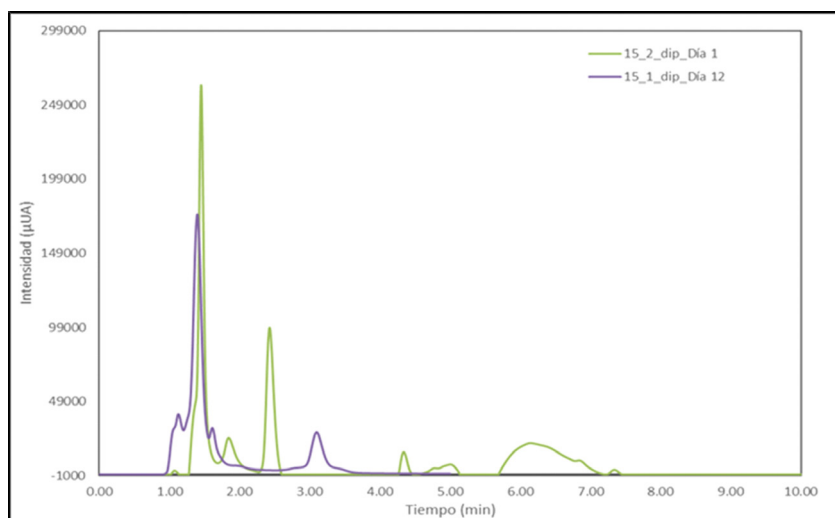


Fuente: elaboración propia.

En la figura 4 se muestra que el analito dipirona presenta un tiempo de retención aproximado de 1.7 minutos, se evidencian otros picos cromatográficos posibles a excipientes propios del Metamizol, medicamento comercial dipirona. Entre el día 1 y 12 de conservación de la dipirona se observa como su área disminuye de manera considerable al igual que el resto de los picos cromatográficos, lo cual es propio de fenómenos de estabilidad de los fármacos, puesto que, una vez es destapado o puncionado, va a depender de físicos como fotólisis y aglomeración, factores químicos como lo son las reacciones de oxidación, reducción, hidrólisis, racemización,

descarboxilación y polimerización y microbiológicos como la alteración de la esterilidad. Además, es necesario tener en cuenta que algunas presentaciones de los medicamentos no permiten sellarlo de forma adecuada, la interacción con el medio facilita la degradación y contaminación de este (Rendón et al., 2018).

Figura 4. Degradación de la dipirona en el ambiente. Verde: Día 1-Morado; Día 12-Verde



Fuente: elaboración propia.

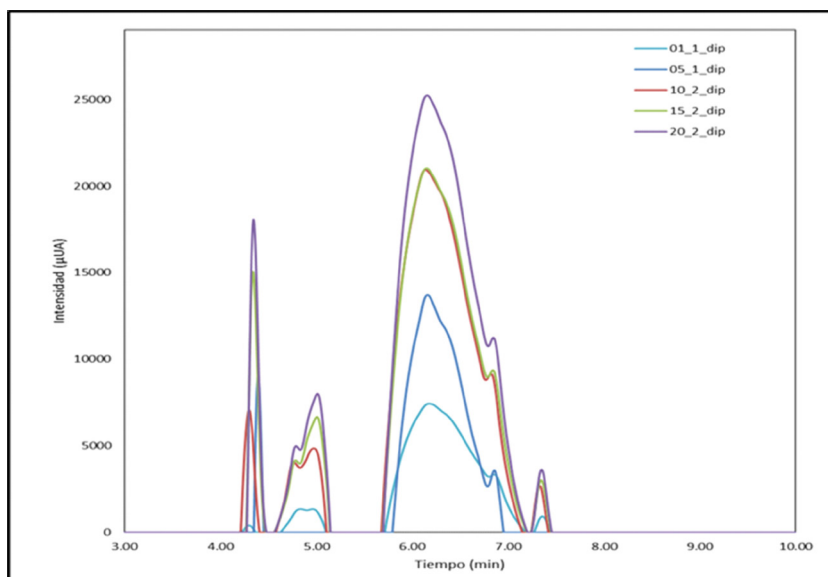
Se empleó 1.0mL de agua desionizada como blanco de curva sustraído automáticamente sobre los cromatogramas. Cada estándar fue inyectado por triplicado y debido a la turbiedad parcial observada en las muestras de agua, las muestras requirieron de doble filtración por membrana 0,22µm de Nylon.

Las muestras se corrieron para su observación durante 30 min. Se determina que el tiempo óptimo de corrida era de 5 min, ya que en este periodo se evidencia el pico más alto en el cromatograma, además, se requiere de un tiempo adicional de 5 min para equilibrar la curva cromatográfica.

Para las muestras de agua residual de hospital San Antonio de Padua, en la figura 5, se analizó la presencia de picos cromatográficos en tiempos de retención diferentes a los observados en el estándar, esto puede deberse a la presencia de diferentes excipientes en el medicamento, dentro de la composición de esta presentación de dipirona se pueden evidenciar algunos aditivos como lo son el metabisulfito de sodio y agua para inyectables, la cual es agua de calidad extra alta, sin contaminación significativa,

obtenida por: destilación, ósmosis inversa o ultrafiltración Sin conservantes antimicrobianos, a pirógena, transparente, incolora e insípida (Barbado, 2012).

Figura 5. Excipientes del medicamento dipirona.



Fuente: elaboración propia.

Nota: Concentraciones de calibración 1, 5, 10, 15 y 20 µg/mL de dipirona respectivamente, preparadas en balones de 10mL y aforando con agua desionizada.

2.2 Diseño experimental del tratamiento oxidación avanzada tipo Foto-Fenton

Es importante tener en cuenta que aún no se ha encontrado una relación de concentraciones universal que determine un proceso Fenton ideal, por lo tanto, ningún proceso es igual y depende de su naturaleza, composición del agua contaminada y grado de degradación que se quiere alcanzar (Colorado & Chisino, 2018).

Se determinó las dosis óptimas para la degradación de contaminantes emergentes teniendo en cuenta la revisión bibliográfica, las concentraciones de la dipirona (0.5 g/L), el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) a (100 - 200 mg/L) como variables principales, el tiempo como variable secundaria de (60 - 120 min) y el sulfato de hierro ($FeSO_4$) a (5 mg/L).

Debido a la baja concentración del analito en estudio dentro de la muestra, fue necesario enriquecer las aguas con dipirona inyectable, con el fin identificar y cuantificar el compuesto y así analizar la eficiencia

del proceso foto-fenton. Mediante la ecuación de diluciones químicas $C1 \cdot V1 = C2 \cdot V2$, se fija el volumen de dipirona para todos los ensayos en 0,2 mL con una concentración comercial de 0,5 g/mL, siendo coherente con el límite de detección del equipo de medición (Rendón et al., 2018).

Los ensayos se realizaron a temperatura ambiente, tanto para las muestras de agua destilada como para las muestras de aguas residuales hospitalarias, la eficiencia del método Foto-fenton se analizó por triplicado para verificar la validez de los resultados obtenidos. Los ensayos preliminares se realizaron con agua destilada para estandarizar la metodología y comprobar la eficiencia del tratamiento oxidativo, obteniendo un rango de remoción entre el 93.97% al 99.78% en las condiciones propuestas para H_2O_2 y tiempo de exposición.

En los ensayos realizados para el agua residual hospitalaria se utilizaron las mismas concentraciones de los ensayos preliminares, esto con el fin de comprobar el efecto de las diferentes variables en la degradación de contaminantes, obteniendo rangos de remoción entre el 93.97% y 96.75%.

Para realizar la fase experimental, para cada ensayo se desarrollaron las siguientes etapas:

- **Etapa 1:** Añadir un litro de agua destilada a un beaker, agregar 2 mL del contaminante dipirona con la pipeta y homogeneizar.
- **Etapa 2:** Ajustar el pH a un valor entre 2,00 y 3,00 unidades en cada muestra (agua destilada y agua residual hospitalaria) con ácido sulfúrico al 95-97%, se recomienda agitar durante 2 minutos, registrando el pH antes y después del procedimiento.
- **Etapa 3:** Una vez ajustado el pH agregar a cada una de las muestras sulfato de hierro de acuerdo con lo establecido anteriormente en la metodología y homogeneizar durante 2 minutos.
- **Etapa 4:** Anadir a cada disolución la cantidad y concentración del peróxido de hidrógeno de acuerdo con lo establecido en la metodología.
- **Etapa 5:** Se agrega la disolución al prototipo, se enciende la lámpara y se tapa, para iniciar el proceso durante una hora.

2.3 Análisis de resultados

En la Tabla 3, se observa los datos obtenidos en la implementación del proceso Foto-fenton para agua destilada y agua residual hospitalaria, se evidencia una remoción de la dipirona con mayor eficiencia en el agua destilada en periodos de 1 hora, con concentraciones de 5 mg/L de $FeSO_4$ y

100 mg/L de H₂O₂, mostrando una remoción del 97,11% para el tratamiento 1, esto puede deberse a que las muestras de agua destilada poseen una baja presencia de otros contaminantes o compuestos orgánicos que puedan disminuir la eficiencia de oxidación de la dipirona, es posible deducir que existe una menor presencia de procesos inhibidores o reacciones que compiten con el proceso de oxidación avanzada.

Tabla 3. Resultado del diseño experimental del tratamiento oxidación avanzada tipo Foto-Fenton

Blanco	Dipirona Inicial	5 mg/L			
	Dipirona Final	0,041139 mg/L	% Remoción	91,77	
Tratamiento		H ₂ O ₂ (100 mg/L) con FeSO ₄ (5 mg/L)	H ₂ O ₂ (200 mg/L) con FeSO ₄ (5 mg/L)		
Muestra / Tiempo		Dipirona final (mg/L)	% Remoción	Dipirona final (mg/L)	% Remoción
Agua destilada	60 min	0,001191	99,76	0,005596	98,88
	120 min	0,029395	94,12	0,006488	98,7
Agua residual Hospitalaria	60 min	0,030335	93,93	0,02056	96,63
	120 min	0,016871	95,89	0,028144	94,37

Fuente: elaboración propia.

En el caso del proceso foto-fenton en las aguas residuales hospitalarias de San Antonio de Padua inyectadas con dipirona se evidencia menor porcentaje de remoción en comparación con los datos observados en el agua destilada, con una mayor eficiencia en el tratamiento para 60 minutos y con concentraciones de 5 mg/L de FeSO₄ y 200 mg/L de H₂O₂, removiendo alrededor de 96.63%. Lo anterior puede deberse a la presencia de diferentes compuestos presentes en las aguas residuales que pueden estar afectando la remoción efectiva de la dipirona, ya que estas tienen una alta carga de microorganismos patógenos, farmacéuticos parcialmente elementos metabólicos, radiactivos y otras sustancias tóxicas y químicas (Mecánica et al., 2015).

2.4 Análisis de varianza

Para determinar si existe o no una diferencia significativa en cuanto a la remoción de la dipirona en los procesos realizados respecto al tiempo de exposición a luz UV y la concentración de H₂O₂, se aplicó la prueba ANOVA, con el fin de comprobar o rechazar la hipótesis mediante una prueba de significancia estadística que cuantifica en qué medida la variabilidad de

la muestra llega a afectar los resultados del estudio (Silvente, 2012). Las hipótesis planteadas fueron:

- H_0 : No hay diferencia significativa en la eficiencia de remoción de dipirona con los tratamientos evaluados.
- H_1 : Al menos uno de los tratamientos evaluados presenta diferencias significativas en la eficiencia de remoción de dipirona.

Se observa tanto en agua destilada como en aguas residuales hospitalarias, que la interacción entre las variables empleadas para la degradación del analito dipirona con relación al peróxido de hidrógeno, no representan una variación significativa desde el punto de vista estadístico sobre la variable respuesta (porcentaje de remoción), puesto que el valor de p es inferior al 5%, por tal razón se acepta la hipótesis H_0 , puesto que no se evidencia una diferencia significativa en la remoción de dipirona.

Tabla 4. Análisis de varianza del diseño experimental.

	Comparación		significancia
	60	120	
Tiempo(min)	60	120	0.83
Soluciones (mg/L)	100+5	200+5	0.42

Fuente: elaboración propia.

La tabla 4, presenta la significancia estadística, la cual refleja mejores resultados al emplear 200mg/L, pero es necesario tener en cuenta la significancia práctica, donde por razones económicas y operativas a gran escala resulta con mayor viabilidad el uso de 100mg/L, teniendo en cuenta, además, que los porcentajes de remoción en ambos casos son similares, superiores al 95%.

3. Estimar la viabilidad del proceso de tratamiento de remoción de contaminantes emergentes desde un punto de vista ambiental y económico.

3.1 Factibilidad

En la Tabla 5, Se evaluó los tratamientos de procesos de oxidación avanzada, mediante un esquema de ventajas y desventajas teniendo en cuenta las condiciones económicas y ambientales para cada sistema, además de

un seguimiento bibliográfico estudiando la naturaleza del contaminante, su porcentaje de degradación y la técnica utilizada.

Tabla 5. Principales técnicas y estudios para remoción de medicamentos

Técnica	Referentes bibliográficos	
Oxidación Foto-Fenton	Fármaco: paracetamol. Tiempo de exposición 90 min a una temperatura de: 50°C concentración de H ₂ O ₂ =189 ppm remoción del 97.5%. (Giménez, 2018).	
	Ventajas	Desventajas
	Los reactivos utilizados son abundantes, comercialmente asequibles y de fácil manejo	Requiere de un ajuste de pH antes y después del tratamiento, así como de un tratamiento posterior para eliminar el hierro residual en el efluente
	Gran aplicabilidad. Se ha empleado con éxito en la degradación de contaminantes presentes en efluentes petroquímicos	El hierro y H ₂ O ₂ residual pueden contaminar el medio receptor.
Referentes bibliográficos		
Biorreactor de Membrana.	Fármaco: cloroquina. Biorreactor de membrana de flujo continuo que contenía células de E. Coli melanizadas con una remoción del 98.2%, (Zamora-Vélez & Lenin Steven Vera-Sal Vera-Saltos, 2021).	
	Ventajas	Desventajas
	Elevada calidad y altos niveles de desinfección del agua tratada La filtración por membrana garantiza una calidad de agua tratada independientemente de la decantabilidad del fango. Las membranas retienen los sólidos en suspensión y sustancias coloidales, lo que permite su reutilización para diversos usos	Elevado costo de implantación y explotación Las altas concentraciones de fango pueden influir de forma negativa en el rendimiento de la membrana

Referentes bibliográficos	
Filtro de Carbón Activado Biológico Avanzado	Fármaco: azitromicina. Combinación de un filtro de carbón activado biológico y la unidad de ultrafiltración.
	La remoción promedio calculada a lo largo del período experimental fue de 51% (Zamora-Vélez & Lenin Steven Vera-Sal Vera-Saltos, 2021).
	Ventajas
	Desventajas
	Son lavados con menor frecuencia y se puede tener mejor estratificación
	Requiere más área para instalación
	Puede proveer una barrera adicional previniendo la penetración microbial
	Requiere un costo de inversión inicial más alto
Referentes bibliográficos	
Sistema Biológico Con Un Proceso Sonoquímico	Fármaco: Azitromicina. A un tratamiento biológico convencional se le introducen ondas de sonido de 16 kHz en un medio acuoso. Luego el agua biotratada resultante se sometió al proceso Sonoquímico indujo una degradación considerable de 74,92%. Posteriormente, se le agrega Fe ^{+2/} (5 ppm) y luz UVC (4 W) lo que aumentó hasta un 87,36 % la eliminación de Azitromicina en las aguas residuales hospitalarias, (Zamora-Vélez & Lenin Steven Vera-Sal Vera-Saltos, 2021).
	Ventajas
	Desventajas
	Mayor tasa de absorción
	Alto costo de instalación y complejidad de operación
	La irradiación ultrasónica genera especies químicas activas, que no requieren productos químicos adicionales, sin la producción de productos nocivos.
	Un solo transductor ultrasónico no es efectivo para operaciones a gran escala

Referentes bibliográficos							
Ozonización Continua.	<p>Fármacos: mezcla de ocho antibióticos (Ampicilina, Azitromicina, Eritromicina, Claritromicina, Ofloxacina, Sulfametoxazol, Trimetoprima y Tetraciclina).</p> <p>Técnica de ozonización operada en modo continuo a diferentes tiempos de retención hidráulica y una dosis de ozono específica de 0,125 gO₃/gDOC.</p> <p>Ampicilina, Azitromicina, Claritromicina, Eritromicina y Trimetoprima se degradaron hasta 84, 73, 98, 70 y 96%, respectivamente. (Zamora-Vélez & Lenin Steven Vera-Sal Vera-Saltos, 2021).</p>						
	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Ventajas</th> <th style="width: 50%;">Desventajas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>El proceso de ozonización eleva la concentración de oxígeno disuelto (OD) del efluente</td> <td>El proceso de ozonización no es económico para las aguas residuales con altas concentraciones de (SS), (DBO), o carbono orgánico total. Alto costo de instalación y complejidad de operación</td> </tr> <tr> <td>Después del proceso de ozonización, los microorganismos no crecen nuevamente, a excepción de aquellos que están protegidos por las partículas en la corriente de agua residual.</td> <td>El ozono es irritante y posiblemente tóxico, así que los gases deben ser destruidos.</td> </tr> </tbody> </table>	Ventajas	Desventajas	El proceso de ozonización eleva la concentración de oxígeno disuelto (OD) del efluente	El proceso de ozonización no es económico para las aguas residuales con altas concentraciones de (SS), (DBO), o carbono orgánico total. Alto costo de instalación y complejidad de operación	Después del proceso de ozonización, los microorganismos no crecen nuevamente, a excepción de aquellos que están protegidos por las partículas en la corriente de agua residual.	El ozono es irritante y posiblemente tóxico, así que los gases deben ser destruidos.
	Ventajas	Desventajas					
	El proceso de ozonización eleva la concentración de oxígeno disuelto (OD) del efluente	El proceso de ozonización no es económico para las aguas residuales con altas concentraciones de (SS), (DBO), o carbono orgánico total. Alto costo de instalación y complejidad de operación					
Después del proceso de ozonización, los microorganismos no crecen nuevamente, a excepción de aquellos que están protegidos por las partículas en la corriente de agua residual.	El ozono es irritante y posiblemente tóxico, así que los gases deben ser destruidos.						
Referentes bibliográficos							
Lodos Activados	<p>En un agua residual de una planta tratadora en Suiza se encontraron compuestos como diclofenaco, naproxeno y Carbamazepina, con una eficiencia de remoción de un 69, 45 y 7% respectivamente (Zamora-Vélez & Lenin Steven Vera-Sal Vera-Saltos, 2021).</p>						
	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Ventajas</th> <th style="width: 50%;">Desventajas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Alto grado de flexibilidad para tratamiento de diversos tipos de aguas residuales</td> <td>Altos costos de diseño, construcción, operación y mantenimiento</td> </tr> <tr> <td>Puede tolerar cargas orgánicas altas, comparados con otros procesos de tratamiento biológico</td> <td>Los lodos de exceso contienen metales y compuestos orgánicos recalcitrantes</td> </tr> </tbody> </table>	Ventajas	Desventajas	Alto grado de flexibilidad para tratamiento de diversos tipos de aguas residuales	Altos costos de diseño, construcción, operación y mantenimiento	Puede tolerar cargas orgánicas altas, comparados con otros procesos de tratamiento biológico	Los lodos de exceso contienen metales y compuestos orgánicos recalcitrantes
	Ventajas	Desventajas					
Alto grado de flexibilidad para tratamiento de diversos tipos de aguas residuales	Altos costos de diseño, construcción, operación y mantenimiento						
Puede tolerar cargas orgánicas altas, comparados con otros procesos de tratamiento biológico	Los lodos de exceso contienen metales y compuestos orgánicos recalcitrantes						

Referentes bibliográficos							
	Se obtuvo una alta eficiencia de eliminación del fármaco interferón del 96.4% se utilizó FeCl ₃ convencional (4 mg Fe (III)/L) y un coagulante natural aislado de semilla de frijol (37,5 µL/L) en las plantas de tratamientos de aguas residuales. (Zamora & Vera-Sal Vera-Saltos, 2021).						
	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">Ventajas</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">Desventajas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Simplicidad y rentabilidad</td> <td>Requiere uso de productos químicos</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Separa muchos tipos de partículas del agua.</td> <td>Se requiere personal calificado para el diseño, construcción de cámaras y dosificación de productos químicos</td> </tr> </tbody> </table>	Ventajas	Desventajas	Simplicidad y rentabilidad	Requiere uso de productos químicos	Separa muchos tipos de partículas del agua.	Se requiere personal calificado para el diseño, construcción de cámaras y dosificación de productos químicos
Ventajas	Desventajas						
Simplicidad y rentabilidad	Requiere uso de productos químicos						
Separa muchos tipos de partículas del agua.	Se requiere personal calificado para el diseño, construcción de cámaras y dosificación de productos químicos						
Coagulación							

Entre los tratamientos más viables desde el punto de vista económico se encuentran los humedales artificiales, a pesar de esto la eficiencia a la hora de reducir contaminantes emergentes es bastante baja y los tiempos de exposición al tratamiento son más largos en comparación con los procesos de oxidación avanzada, los cuales son de mayor costo económico. Sin embargo, dentro de estos, el proceso foto-fenton es el más rentable a gran escala, se recomienda para reducción de costos el uso de luz solar, además, los residuos que se pueden generar durante el proceso tienen un impacto ambiental mínimo (Madera López & Viloría Soto, 2020).

Conclusiones

El diagnóstico del analito dipirona realizado al agua residual procedente del Hospital San Antonio de Padua, determinó que no se aprecia el pico cromatográfico para un tiempo de 1,5 min, concluyendo que no se encuentra o está por debajo de los límites de detección de la técnica cromatográfica utilizada.

En cuanto a la caracterización del agua residual después de la PTAR, se determinó una disminución considerable respecto a la concentración de entrada, en especial en los parámetros de DBO (150 mg O₂/L- 50 mg O₂/L) y turbidez (58,93NTU-25,93 NTU), además se encuentra cumplimiento para el pH (8,65 - 7,96). Sin embargo, la DQO (941 mg O₂/L- 747 mg O₂/L) no se encuentra dentro de los valores máximos permisibles.

Se especifican que los requerimientos técnicos para llevar a cabo la implementación efectiva y eficiente para el proceso de oxidación avanzada foto-fenton para el analito dipirona en 1 L de muestra son una relación de $\text{FeSO}_4:\text{H}_2\text{O}_2$ de 1:20 y 1:40, irradiados durante 60 min a 13W y un pH: 2-3.

En el desarrollo del método de oxidación avanzada se evidenció una alta efectividad de degradación para las dos muestras analizadas, el 99,76% para el agua destilada con 100 mg/L de H_2O_2 , expuesto durante 60 minutos con luz UV. A su vez para el caso del agua residual hospitalaria el porcentaje de remoción es de 96,63% de efectividad haciendo uso de 200mg/L de H_2O_2 , expuestos durante 60 minutos. Es necesario tener en cuenta la significancia práctica, donde resulta más viable el uso de 100mg/L de H_2O_2 .

Este tipo de tratamientos a pesar de tener un costo elevado en comparación con otros propuestos en anteriores trabajos presenta mejor eficiencia de remoción, tanto para diferentes tipos de contaminantes emergentes, incluyendo la dipirona como para reducción de DQO. Además, los resultados obtenidos en el presente estudio generan información respecto a la calidad y las condiciones de las aguas residuales del hospital San Antonio de Padua, así como, el uso de un tratamiento alternativo que permite la degradación de contaminantes emergentes de origen farmacéutico, como lo es la dipirona, con el objetivo de reducir el impacto ambiental de estos en el medio.

Referencias

- Colorado, V. D. B., & Chisino, D. L. T. (2018). Evaluación de los procesos de oxidación avanzada: Fenton, uv/h₂O₂. Y foto-fenton para la degradación de clorpirifos en aguas residuales a nivel laboratorio en la Universidad de Cartagena. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Sanchez Ramirez, J. E. (2018). Contaminantes emergentes en nuestros ecosistemas acuáticos: enemigos invisibles. *Ingeniería y Región*, 19, 18–21. <https://doi.org/10.25054/22161325.1750>
- Cuenca, M. (2019). Contaminantes Emergentes: Origen Y Destino. *Universidad Rey Juan Carlos*.
- Aguilar, S. (2018). Caracterización de aguas residuales hospitalarias. *Dinámica Ambiental*, 2(2), 37-42. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/ambiental/article/view/5793>
- López Ramírez, M. A., Castellanos Onorio, O. P., Lango Reynoso, F., Castañeda Chávez, M. del R., Montoya Mendoza, J., Sosa Villalobos, C. A., & Ortiz Muñoz, B. (2021). Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revisión. *Enfoque UTE*, 12(4), 76–87. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.769>
- IDEAM. (2007). Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia (Vol. 3, p. 17). http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428
- Zamora-Vélez, J. M., & Lenin Steven Vera-Sal Vera-Saltos, L. S. (2021). Técnicas aplicadas a la remoción de fármacos, usados en el tratamiento del covid- 19. *Polo del conocimiento*, 6(8), 15–36. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i8.2923>.
- Giménez, B. (2018). Estudio de la degradación foto-Fenton del analgésico Paracetamol en agua para condiciones de pH natural. *Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina Mendoza, Argentina*, 47(4), 124–134. <https://doi.org/10.31857/s013116462104007x>
- Vélez., V. P. (2020). *Cápsula | Procesos de Oxidación Avanzada*. Universidad de Cuenca. <https://www2.ucuenca.edu.ec/260-espanol/investigacion/blog-de-ciencia/ano-2020/enero-2020/1509-oxidacion>
- Diana Marcela, C. P., Juan Pablo, R. M., & Mauricio Andrés, R. O. (2020). Planificación climática del recurso hídrico de la cuenca del río Cauca mediante inteligencia artificial. *Planificación Climática del Recurso Hídrico de La Cuenca Del Río Cauca Mediante Inteligencia Artificial, January*. <https://doi.org/10.15332/dt.inv.2020.01674>
- Peñate, I. Q., Javier, U., Haza, J., Wilhelm, A., & Delmas, H. (2009). *Contaminación de las aguas con productos farmacéuticos. Estrategias para enfrentar la problemática*. 40(3), 173–180.

- Contreras Rouraa, J., Guach Wilsona, S., Pérez Martiatua, S., Lafferte García, T., & Hernández Fernández, Y. (2021). Validación de un método cromatográfico para la valoración del Metamizol sódico en la Dipirona-600 y el Espasmo-forte Validation of a chromatographic method for the assessment of sodium metamizole in La COVID - 19 es una enfermedad reciente debido al surgim. *Centro Nacional de Investigaciones Científicas*, 52(2), 187–204.
- Salmerón-Gacía, A., Navas, N., Martín, A., Roman, E., Cabeza, J., & Capitán-Vallvey, L. F. (2009). Determination of tramadol, metamizole, ropivacaine, and bupivacaine in analgesic mixture samples by HPLC with DAD detection. *Journal of Chromatographic Science*, 47(3), 231–237. <https://doi.org/10.1093/chromsci/47.3.231>
- Rendón, L. M., Lopera, S., & Valencia, N. Y. (2018). Estabilidad de los medicamentos después del primer uso. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 6(5), 412–423.
- Barbado, D. D. M. C. (2012). *Formulario Nacional de Medicamentos*. DIPIRONA (Metamizol Sódico). <http://fnmedicamentos.sld.cu/index.php?P=Full Record ID=301>
- Silvente, M. J. R. H. y V. B. (2012). *Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas de Student y ANOVA en SPSS. Caso práctico*. 5, 83–100. <https://doi.org/10.1344/reire2012.5.2527>
- Bellés, R. (2018). Estudio del proceso foto-Fenton con dosificación de H₂O₂ para el tratamiento de aguas residuales con Paracetamol. *Universidad Politécnica de Cataluña*, 3–71. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/120734/TFG_Ricard_Bellés_I_Canals.pdf
- Mecánica, F. DE, Por, P., & Diego Cruz Freire Darwin Vinicio Chimbo Chimbo, J. (2015). “Evaluación de patógenos de aguas residuales de 2 unidades hospitalarias de la coordinación zonal 3 - salud.” trabajo. *Escuela superior politécnica de chimborazo facultad de ciencias escuela de ciencias químicas*.
- Madera López, D., & Viloria Soto, M. F. (2020). *Contaminantes emergentes en diferentes matrices de aguas y tratamientos alternativos para su eliminación*.

CAPÍTULO 6.

Caracterización energética en una estación piscícola del departamento del Cauca

YILMAR ALIRIO SÁNCHEZ YOCUÉ¹
CRISTIAN GIOVANNY ROSERO ROSERO²
CARLOS FELIPE LÓPEZ CÓRDOBA³

Resumen

Las comunidades energéticas, son un concepto nuevo que surge de la necesidad de disminuir el impacto de la quema de combustibles fósiles, consiste en que comunidades rurales y urbanas gestionen sus propios recursos para satisfacer sus propias necesidades energéticas. Es por ello por lo que en la asociación de piscicultores Apopesca, se lleva a cabo un proyecto para analizar el potencial de generación energética a partir de las características de una piscícola, teniendo en cuenta que su proceso de producción es similar a una pequeña central hidroeléctrica. Para desarrollar dicho objetivo, se plantean 3 fases: fase 1. Analizar las bases teóricas necesarias para la autogeneración de energía en una piscícola; fase 2. Se desarrolla la recolección de datos y los cálculos teóricos obteniendo un potencial energético disponible de 3.9 KW en la piscícola La Playa; fase 3. Donde se realiza una búsqueda de tecnologías a partir de los valores obtenidos que permitan desarrollar una planta piloto de autogeneración de energía para posteriormente analizar el modelo de comunidades energéticas

-
- 1 Estudiante de Décimo Semestre de Ingeniería Electrónica, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. Correo: yilmar.sanchez.y@uniautonoma.edu.co
 - 2 Estudiante de Décimo Semestre de Ingeniería Electrónica, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. Correo: Cristian.rosoero.r@uniautonoma.edu.co
 - 3 Ingeniero Electrónico, Magister en Sistemas Energéticos, Docente Investigador de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. Correo: carlos.lopez.c@uniautonoma.edu.co

con el fin de obtener beneficios económicos, ambientales y sociales en la asociación.

Palabras Clave: Comunidades energéticas, PCHs, Autogeneración, Piscicultura.

Introducción

El grupo intergubernamental del cambio climático (IPCC) (Matthews J.B.R., 2018) define el cambio climático como la variación identificable de las propiedades climáticas durante periodos prolongados identificable mediante pruebas estadísticas, estos son generados naturalmente por erupciones volcánicas y movimientos geotérmicos (Fawzy *et al.*, 2020) pero antropológicamente por la quema de combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas natural, los cuales representan un mayor impacto mundial (Corredor, 2018). Esto ha obligado al mundo a realizar un cambio en la forma en la que dependemos de los combustibles fósiles por medio de la transición energética. Colombia, ha iniciado su proceso de disminución de gases efecto invernadero por medio de la ley 1715 de 2014 (El congreso de Colombia, 2014) y actualmente el plan energético 2020-2050 (UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética), 2020) pero actualmente se han evidenciado diferentes inconvenientes económicos, técnicos, ambientales y sociales que limitan el desarrollo energético del país (Romero-Rubio, 2015). Según el instituto de planeación y promoción de soluciones energéticas (IPSE) los departamentos del Cauca, Nariño, Valle del Cauca, Meta, hacen parte de las zonas no interconectadas (ZNI) de Colombia, lo que implica que en dichos departamentos actualmente hay zonas que no hacen parte del sistema centralizado energético afectando directamente el desarrollo de dichas zonas (Florez Espinosa, 2020).

En Colombia, los principales departamentos de producción piscícola son: Antioquia, Boyacá, Nariño, Casanare, Cauca, Córdoba, Cundinamarca, Huila, Meta, Santander, Tolima y Valle del Cauca, donde se evidencian grandes dificultades dentro de las cadenas de producción, ya que los procesos llevados a cabo se han desarrollado de forma desordenada y sin planificación, por lo cual los piscicultores han encontrado innumerables problemas de orden económico, técnico, social y ambiental (Merino *et al.*, 2013) y esto a su vez afecta directamente el desarrollo piscícola.

El departamento del Cauca no es ajeno a dichos inconvenientes, la mayoría de las piscícolas de la región son empresas de recursos limitados

donde todos sus procesos de producción se realizan artesanalmente, además algunas de ellas se encuentran en zonas alejadas y no cuentan con acceso a la energía, lo que afecta directamente los procesos productivos. En el municipio de Silvia, se encuentra la asociación Apropesca representada por más de 47 estaciones piscícolas de trucha arcoiris que beneficia a indígenas y campesinos representados en aproximadamente 300 familias (Ruiz, 2017). Actualmente, la asociación realiza su proceso de almacenamiento y comercialización en el casco urbano del municipio, teniendo un espacio acondicionado para las necesidades de este proceso. Actualmente cuenta con cuartos fríos para mantener los productos en buen estado antes de ser transportados a los diferentes puntos de distribución. Dichos cuartos fríos tienen un alto consumo energético que afecta directamente a todos los miembros de la asociación, debido a que pagan entre 5 y 8 millones de pesos mensuales en energía eléctrica. Generando baja rentabilidad, lo que limita el desarrollo productivo y el crecimiento de las piscícolas. Es por esto por lo que se ha planteado un proyecto macro titulado “Modelo de Comunidad Energética a partir de la implementación de una Planta Piloto con base en tecnologías limpias para una zona piscícola del Departamento del Cauca.” El cual permite analizar un modelo en el cual las piscícolas de la asociación puedan autogenerar su propia energía a través de la implementación de una planta piloto y a su vez, poder conformar una comunidad energética que brinde beneficios económicos, sociales y ambientales.

Dentro del desarrollo de este proyecto macro, se plantean 3 objetivos específicos, de los cuales, el primero es “Dimensionar la capacidad de generación de energía a partir de las condiciones específicas de la zona piscícola.” Que es el objetivo general del trabajo a desarrollar en este proyecto y cuenta con 3 objetivos específicos: 1. Definir las bases teóricas para la generación de energía a partir de pequeñas centrales hidroeléctricas. 2. Determinar la capacidad de generación de energía en una zona piscícola. 3. Definir las tecnologías disponibles para generación por medio de PCHs a partir de la potencia disponible en la piscícola. Es importante aclarar que este proyecto busca beneficiar a toda una asociación pero que este estudio específico se realizara en la estación piscícola la playa (piscícola que hace parte de la asociación Apropesca), debido a su localización geográfica, teniendo en cuenta que se encuentra a 2 km de la cabecera municipal del municipio de Silvia además que es una de las estaciones piscícolas de mayor dimensión y mayor flujo hídrico.

Para el cumplimiento de estos objetivos se ha planteado una metodología de marco lógico (Ortegón *et al.*, 2005) por medio de 3 fases: 1. Fase de

definición, donde se realiza la definición de los conceptos claves para el desarrollo y comprensión del proyecto, así como también un análisis del estado actual del conocimiento analizándolo desde 3 puntos claves, las comunidades energéticas, las pequeñas centrales hidroeléctricas y los proyectos dentro de las piscícolas relacionados con el tema. 2. Fase de desarrollo, donde se realiza un análisis de la estación piscícola para determinar cuál es el mejor punto de operación, además la toma de datos y variables necesarias para realizar los cálculos del proyecto, y finalmente; 3. Fase de Búsqueda, donde se realiza un análisis de las tecnologías actuales para el aprovechamiento energético, así como también la búsqueda de proveedores para la compra de dicha tecnología.

Es importante resaltar, que el desarrollo de este proyecto podría generar grandes beneficios para la asociación, entre ellos resaltan los asociados a las comunidades energéticas, los cuales pueden lograr independencia energética, contribuir con la reducción de emisiones de carbono, combatir la pobreza energética, además, los miembros tienen el control de los recursos financieros y por ende participación colectiva de los beneficios, generan empleo a la misma comunidad y mejoran el estilo de vida en la región (Caramizaru & Uihlein, 2019). Además, dada la geografía nacional, en varios departamentos de Colombia se cuenta con potencial hídrico para pequeños aprovechamientos que sean sostenibles con las comunidades y con la diversidad natural (Barion, 2020). Según la historia, la implementación de pequeñas centrales hidroeléctricas inició en las grandes fincas colombianas, con el fin de generar energía para cubrir con sus necesidades, y actualmente debido al cambio climático, el Gobierno y las organizaciones energéticas han llevado a cabo la implementación de leyes para promover el desarrollo y utilización de energías alternativas siendo ahora un momento clave para el desarrollo de dichos proyectos energéticos (Patarroyo *et al.*, 2020).

Desarrollo

Para el desarrollo, se plantea la aplicación de la metodología de marco lógico (Ortegón *et al.*, 2005), donde se desarrollan las 3 fases planteadas para cumplir con el desarrollo del proyecto iniciando con la fase 1 de definición, seguida la fase de desarrollo y finalizando con la fase de análisis, cada una de estas fases está relacionada con cada uno de los objetivos planteados anteriormente y se desarrollan a continuación.

Fase 1: definición: Inicialmente es importante mencionar las definiciones importantes para comprender de manera adecuada el proyecto, englobando también las bases teóricas y matemáticas para su respectiva aplicación, posteriormente se realiza una evaluación de los estudios actuales relacionados con 3 temas centrales; comunidades energéticas, seguido de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCHs) y proyectos relacionados con mejoras dentro de los procesos productivos piscícolas.

Comunidades energéticas

Existen varias definiciones sobre comunidades energéticas, según (Rubio & Diaz, 2013) comunidades energéticas sostenibles se define como: “organizaciones que implementan un conjunto de medidas dirigidas a la implantación de energías renovables y el uso racional de la energía, con una fuerte implicación de los miembros de la comunidad en la planificación e implementación de estas medidas”.

Desde hace más de una década, los Gobiernos y organizaciones internacionales fomentan la creación de comunidades energéticas sostenibles, con el fin de desarrollar la generación distribuida y mejorar la aceptación de las energías renovables, esto con el fin de cumplir con los objetivos de la ONU en cuanto a aumentar el porcentaje de energías renovables, disminuir el consumo, promover la eficiencia energética y apoyar la reducción de emisiones de gases efecto invernadero (Romero-Rubio, 2015). Este concepto también va dirigido a comunidades rurales y zonas no interconectadas buscando que se promueva un desarrollo sostenible, pues actualmente las prácticas agrícolas y ganaderas son altamente contaminantes (López Cabarcos *et al.*, 2020).

Hidroenergía

Según la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) (Ingfocol, 2015) se define hidroenergía a “la energía que tiene el agua cuando se mueve a través de un cauce o cuando se encuentra embalsada a cierta altura y se deja caer para producir energía eléctrica”.

Esta es aprovechada para la generación energética en diferentes centrales hidroeléctricas las cuales pueden ser:

Tabla 1. Clasificación de las hidroeléctricas.

Nombre	Capacidad De Generación
Picocentrales	0,5 y 5 kW
Microcentrales	5 y 50 kW
Minicentrales	50 y 500 kW
Hidroeléctricas	500 y 20 MW
Centrales Hidroeléctricas	Mayoar a 20w

Fuente: (Mora Navarro & Hurtado Liévano, 2004)

Autogeneración

la Ley 142 de 1994, estipula que la Comisión de regulación de Energía y Gas (CREG) es la encargada de regular la autogeneración y cogeneración de electricidad, por ende, la entidad resuelve con la Resolución 084 de 1996 la cual define:

Aquella persona natural o jurídica que produce energía eléctrica exclusivamente para atender sus propias necesidades. Por lo tanto, no usa la red pública para fines distintos al de obtener respaldo del SIN, y puede o no, ser el propietario del sistema de generación (Congreso de Colombia, 1994)

Acuicultura

El plan nacional para el desarrollo sostenible de la acuicultura en Colombia define como “el cultivo de organismos hidrobiológicos con técnicas apropiadas, en ambientes naturales o artificiales y generalmente bajo control” (Merino *et al.*, 2013). Estos organismos hidrobiológicos representan a todas las especies que crecen en el agua, ya sea en agua dulce o salada como los peces, los crustáceos, moluscos y plantas acuáticas.

Piscicultura

La piscicultura es una de las ramas de la acuicultura, en encuentra concentrada solamente en el sector de peces como la trucha arco iris, la cachama blanca y negra, entre otras especies (Woinarovich, n.d.).

Apropesca

Apropesca es una asociación de piscicultores ubicada en el departamento del Cauca, específicamente en el municipio de Silvia. Esta asociación se dedica a la producción y comercialización de productos acuícolas y agrícolas de forma artesanal sin ánimo de lucro, su principal producto es la trucha arco iris en diferentes presentaciones: trucha entera, deshuesada, filete y ahumada. La asociación cuenta con más de 50 estaciones piscícolas asociadas que benefician a más de 300 familias entre indígenas y campesinos del municipio (Ruiz, 2017).

Potencia disponible

Para el proceso de autogeneración de energía eléctrica a partir de flujos de agua, es fundamental tener en cuenta un concepto conocido como potencia disponible o potencia útil (Ibañez Solis, 2019). la cual nos permite determinar la cantidad de energía que puede ser extraída de una fuente de agua considerando los datos de altura y caudal disponibles en la ubicación. El cálculo de esta potencia se realiza utilizando la fórmula 1 (Bastidas Santacruz, 2016; Coz *et al.*, 1995).

$$Pd = \rho * H * Q * g \quad (1)$$

Pd es la potencia disponible, ρ es la densidad del agua, H es la altura, Q es el caudal g es la gravedad.

Caudal

Según la Real academia española, caudal se denomina a la cantidad de fluido (en este caso agua) que circula por un determinado lugar por unidad de tiempo. existen algunos métodos como la medición volumétrica, el medidor parshall, el método de mertederos y orificios, y el aplicado para este proyecto, el método sección velocidad, que se describe a continuación:

Método de sección velocidad

se pueda determinar la sección perpendicular del cauce y la velocidad del agua. Para obtener la sección transversal, se mide el ancho y el alto del fluido y se llevan a cabo sondeos, mientras que la velocidad se calcula

utilizando el método del molinete o el flotador. Es fundamental contar con estos datos para poder realizar un análisis preciso (Alvarado E., 2017):

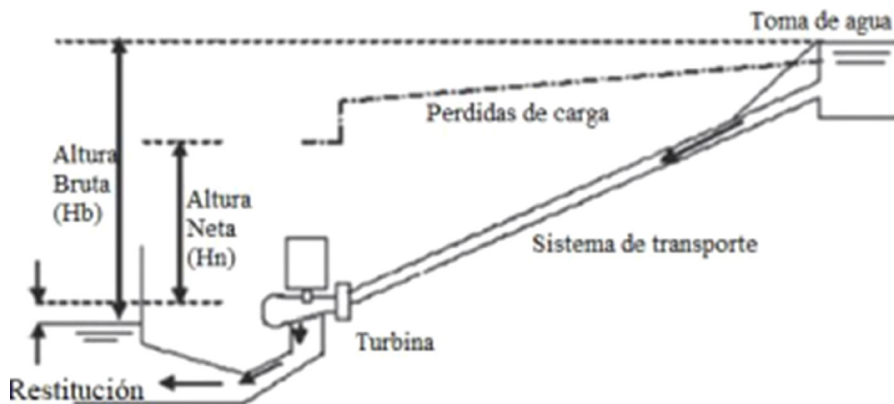
$$Q=A*V \quad (2)$$

Donde Q es el caudal, A es el área transversal, V es la velocidad del agua.

Cabeza o Altura

La cabeza o altura, es la diferencia de distancia vertical existente entre el punto de almacenamiento del agua y el desfogue de esta. Esta se puede observar en la figura 1 (Hb).

Figura 1. Partes de una pch



Fuente: (Villanueva Riquelme, 2019)

Potencia Total

La potencia total, es la energía máxima que se puede generar considerando las pérdidas mecánicas de generación, estas están relacionadas con la eficiencia de los componentes mecánicos de generación. Para poder calcular la potencia total se utiliza la fórmula 3, que se expresa de la siguiente manera (Pereira, 2021).

$$Pt = Pd * nt * ng \quad (3)$$

Donde: Pt es la potencia total, nt es la eficiencia de la turbina, ng es la eficiencia del generador y Pd es la potencia disponible

Estado del arte

Esta sección está dividida en 3 partes, inicialmente se tratan proyectos relacionados con los beneficios y aplicación de las comunidades energéticas en Colombia, como también proyectos de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. Segundo se tratan proyectos donde se habla acerca de proyectos de autogeneración en PCHs. Y tercero, proyectos desarrollados para mejoras en la producción piscícola.

Los autores (Caramizaru & Uihlein, 2019), realizaron una revisión clara y concreta sobre las comunidades energéticas en la Unión Europea, analizando las actividades e implicaciones de las comunidades energéticas en el sistema energético. Realizan una revisión legal, formas organizativas, impulsores, beneficios sociales y contribuciones a energías renovables. Este se realiza por medio de 24 casos de estudio de proyectos energéticos comunitarios.

En el proyecto (Ostos Jurado, 2022) ha llevado a cabo un modelo de comunidad energética en Mancha Real, provincia de Jaén, que utiliza fuentes de energía renovables, como biomasa y energía solar, para alimentar un conjunto de viviendas unifamiliares y edificios públicos en el pueblo, como resultado del análisis se obtiene información sobre el consumo de las viviendas de la península, en todas ellas se descubre que es posible suministrar energía limpia a una comunidad ya que debido eso, existe una energía de excedente, por lo tanto resultó ser más eficiente y rentable.

El proyecto SolaX los autores (Pineda Rodríguez-Pina, 2021) proponen una solución a la pobreza energética en las zonas rurales de España a través de la implementación de Comunidades Energéticas. Esta propuesta se basa en la producción de energía renovable mediante placas fotovoltaicas y la cooperación de actores locales. Su objetivo es reducir las facturas eléctricas, fomentar el ahorro energético, promover la sostenibilidad y generar ingresos a través de actividades locales. SolaX se plantea como un modelo de economía circular que contribuye al desarrollo económico y social de las regiones involucradas, centrándose en la justicia social en las zonas rurales. Aunque el proyecto se presenta en el contexto de Extremadura, su versatilidad lo hace extrapolable a toda España, y las Comunidades Energéticas se erigen como una posible solución a la pobreza energética y al cambio climático, impulsando un sistema justo, equilibrado, eficiente, colaborativo y descentralizado.

Los autores (Pierre & Mazaud, 2021) en el artículo proporciona información relevante sobre la aceptación comunitaria de la energía eólica

en un contexto rural y cómo la percepción de la energía renovable puede estar influenciada por factores como el sentido de lugar y la equidad en el proceso. Aunque el artículo no se centra específicamente en el concepto de “comunidades energéticas” en sí, ofrece algunas ideas y hallazgos que podrían ser relevantes para proyectos de energía comunitaria. Algunos puntos destacados del artículo incluyen la importancia del sentido de lugar y cómo la aceptación de la energía eólica en este caso se basa en parte en la percepción de que la zona rural es adecuada para tecnologías verdes y que la energía renovable se integra bien en el paisaje local. Además, el artículo menciona que la participación temprana de los habitantes y la comunicación con la comunidad son factores importantes para generar confianza en los proyectos de energía dentro de la comunidad. También se resalta que diferentes miembros de la comunidad pueden tener diferentes creencias y motivaciones para apoyar proyectos de energía renovable, desde preocupaciones ambientales hasta objetivos económicos.

De igual forma, se realiza una revisión sobre pequeñas centrales hidroeléctricas y su desarrollo en la piscicultura para analizar los estudios realizados acerca de la temática a tratar en el proyecto y estos se describen a continuación:

Los autores (Castelo & Leon, 2008) realizan un diseño, construcción e instalación de una central hidroeléctrica en la finca dedicada a la piscicultura llamada Manuelita, en Riobamba, Ecuador. Se realiza todo el proceso de diseño y construcción del generador y se reportan pruebas de generación de 1.5 KW/h y una eficiencia máxima del generador del 84,34%, además de la rentabilidad debido a que se utilizó obra civil que ya estaba construida para el proyecto piscícola y esto mejoró la relación costo beneficio del proyecto.

En el artículo el autor (Marín, 2016) se realiza un estudio de prefactibilidad para la generación de energía eléctrica a partir del río Consoá por medio de una pequeña central hidroeléctrica y generación con energía Solar en la zona del parque lo que permite un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles, concluyendo en el sistema híbrido permite mantener una eficiencia óptima al momento de abastecer la demanda de energía además de generar ahorros económicos.

(Silva, 2018) realiza un estudio en Brasil sobre implementación de acuicultura en pequeñas centrales hidroeléctricas, donde se aplican técnicas de cultivos de peces para aprovechar los pequeños embalses para producción, dicho estudio analiza las condiciones del agua y concluye que no es una buena práctica realizar la piscicultura en este lugar ya que puede afectar considerablemente la calidad del agua.

Los autores (Bonilla & González, 2017) realizan una estructuración, financiación y valoración de pequeñas centrales hidroeléctricas en Colombia a través de opciones reales. La metodología planteada permite disminuir la incertidumbre ante cambios en el precio, demanda y condiciones climáticas, además de ajustarse de mejor manera a los proyectos de inversión.

En el artículo, (Osorio & Cifuentes, 2020) se exploran las PCH y sus impactos ambientales. Estas centrales se utilizan para producir energía eléctrica de manera sostenible, aprovechando la energía cinética del agua en movimiento. Aunque son menos impactantes que las grandes represas, también pueden tener efectos ambientales, y el artículo analiza esos impactos específicos en la región de Caldas.

Además, es importante hacer un estudio sobre desarrollos de proyectos piscícola, a continuación, aquí están algunos de ellos:

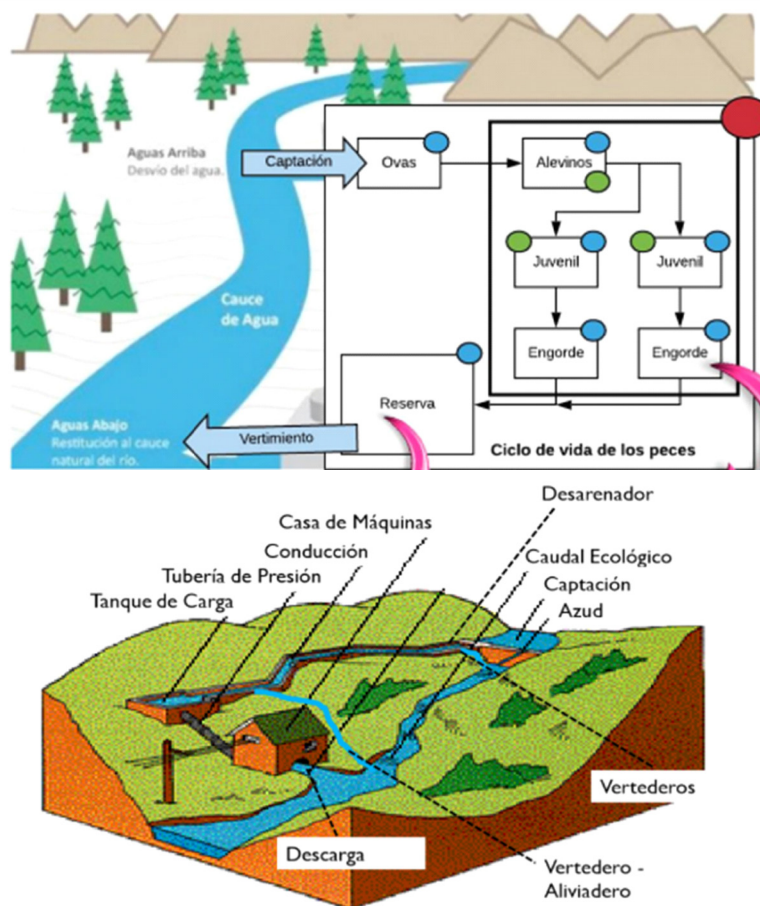
En el artículo de (Santiago *et al.*, 2015) el proyecto PITBER representa una solución innovadora para abordar los desafíos de la piscicultura en un contexto de cambio climático y escasez hídrica. Busca utilizar tecnologías sostenibles, energías renovables y la cosecha de agua lluvia para promover una producción piscícola amigable con el medio ambiente y económicamente viable en la región del Huila. Este enfoque puede tener un impacto significativo en la economía local y en la adaptación a los efectos del cambio climático en la producción de tilapia roja.

Los autores (Aparicio Castellanos *et al.*, 2021) en el proyecto buscan aumentar la producción piscícola en la región del Magdalena Medio y proponer nuevos modelos de mercadeo y comunicación para impulsar el desarrollo del sector piscícola. Además, se pretende fomentar la inclusión social local mediante la contratación de mujeres de la Asociación de Mujeres “Mi Llanito Pesquerito” para el procesamiento y comercialización del pescado. Se llevarán a cabo capacitaciones para mejorar las habilidades de la comunidad en la producción de tilapia roja y se implementará una estrategia de mercadeo dirigida a diferentes segmentos de clientes.

Fase 2. Desarrollo: Para el desarrollo de esta fase, inicialmente se selecciona el lugar donde va a operar el sistema de autogeneración de energía, como se mencionó anteriormente, en la piscícola la playa, la cual se encuentra ubicada 2 km de la cabecera municipal del municipio de Silvia, Departamento del Cauca. Dicha piscícola cuenta con aproximadamente 30 estanques, donde su proceso de producción consiste en desviar cierta cantidad del agua del río y conducirla por medio de canales haciendo uso de la gravedad a lo largo de todos los estanques de producción, como se puede observar en la figura 2, existe cierta similitud entre las piscícolas de la zona,

con las pequeñas centrales hidroeléctricas. lo cual permite determinar que existe un potencial energético disponible para la implementación de sistemas de autogeneración de energía.

Figura 2. Comparativa entre pchs y piscícolas



Fuente: Propia y (Bastidas Santacruz, 2016).

Para poder determinar el potencial energético disponible en la piscícola, se realizó una serie de pruebas para determinar la altura y el caudal disponible en la piscícola, para posteriormente realizar el cálculo de la fórmula 1 que nos dará un valor estimado de la energía que se puede generar en la piscícola.

Por lo tanto, se realizó la medición de altura en la salida de la piscícola, utilizando el método de medición de manguera de nivelación (Coz *et*

al., 1995) el cual consiste en colocar un palo con una medida conocida, perpendicular al suelo, posteriormente trasladarla a un eje horizontal, e ir sumando así, la cantidad de veces que esto se realice hasta llegar a la parte superior deseada. Dichas medidas se pueden observar en la figura 3 donde se obtuvo una altura de 1.85 metros desde la cabeza de agua hasta el lugar donde termina la caída.

Figura 3. Medición de altura en la piscícola.



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se pasó a la medición del caudal por medio del método de sección velocidad (Alvarado E., 2017; Coz *et al.*, 1995), para el cual es importante conocer la velocidad y la sección transversal del cauce de agua como se observa en la figura 4, para ello se realizó el cálculo de la velocidad por medio de la fórmula distancia / tiempo, conociendo la distancia que recorre un cuerpo que flota en el agua (5 metros), y calculando el tiempo que demora en recorrer dicha distancia (2,5 segundos); se obtuvo una velocidad de flujo de 2 m/s.

Figura 4. Toma de datos de velocidad y tiempo



Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se realiza el cálculo del área transversal, como se observa en la figura 5, donde se midió el ancho del cauce (0,40 m), y el alto (0,28 m) obteniendo como resultado el área transversal (0,112 m²).

Figura 5. Medición del área



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente aplicando la fórmula de caudal, se obtuvo 0,22 m³/s. es importante resaltar, que el flujo de agua por la piscícola no varía, debido a que los peces necesitan un flujo de agua constante, por lo cual el flujo de agua a la salida de la piscícola siempre será la misma, sin importar la variación climática, ya que el sistema está diseñado para mantener la entrada de agua constante.

Ahora, por medio de la fórmula 1 se calcula la potencia disponible en la salida de la piscícola.

$$P_d = 997 * 1,85 * 0,22 * 9,8$$

$$P_d = 3976 \text{ w}$$

Equivalentes a 3.9 KW; Esto nos dice que, de acuerdo con las características a la salida de la piscícola, se puede generar esta cantidad sin tener en cuenta las pérdidas por fricción; este es un valor importante y depende de la eficiencia de la turbina que se vaya a implementar. De acuerdo con el estudio (Castelo Nevada & Leon Torres, 2008) la eficiencia de las pequeñas centrales hidroeléctricas puede variar entre 75% y 85% dependiendo de la tecnología utilizada, para realizar un estimado, se toma un

valor promedio de 80%, por lo cual tendríamos una potencia total aplicando la fórmula 3 de 3181 KW.

Es importante expresar dichos valores en KWh para poder determinar cuánta energía se podrá generar al mes, para ello se deben multiplicar por las 24 horas y por los 25 días del mes, teniendo en cuenta que los 5 días restantes serán para el mantenimiento de la turbina y del sistema de autogeneración de energía. Siendo así, se obtendría 74,4 KWh por día, que equivaldrían a 1860 KWh al mes.

Actualmente, la piscícola la playa tiene un consumo promedio mensual de 856 KWh, de los cuales, 1 KWh equivale a \$975.71 por lo cual el costo total mensual es de \$907.413, de los cuales \$86.000 son de subsidio del gobierno, por lo cual el valor a pagar es de \$820.000 pesos mensuales al cual se debe sumar el costo de alumbrado público que como se observa en la figura 6 es de \$108.889, dejando un total de \$929.500. es importante mencionar, que como la planta piloto se instalará en la estación piscícola la playa, la energía generada se descontará a la factura de dicho lugar, pero se generarán acuerdos entre la asociación para que los beneficiarios sean para todos, además que los excedentes de energía serán un beneficio económico para toda la asociación.

Figura 6. Factura piscícola la playa

CEO Compañía Eléctrica de Occidente

Nombre: **WILDER ANDRÉS BERRA CUARTA** FACILIDAD NO: **9140000**
 Cédula: **1000000000** Dirección: **VIA LAS OLIVAS - 00011042** FECHA EXP: **31/08/2019**
 Municipio: **GUÍA** BIF. PAIS ELEC: **0001010**

CONTRATO: 954262

DETALLES DE LA MEDICIÓN

INDICACION	Marca	Clase	Factor	Clase
INDICACION	Observación	Observación	Observación	Observación
INDICACION	Observación	Observación	Observación	Observación

INFORMACIÓN TÉCNICA

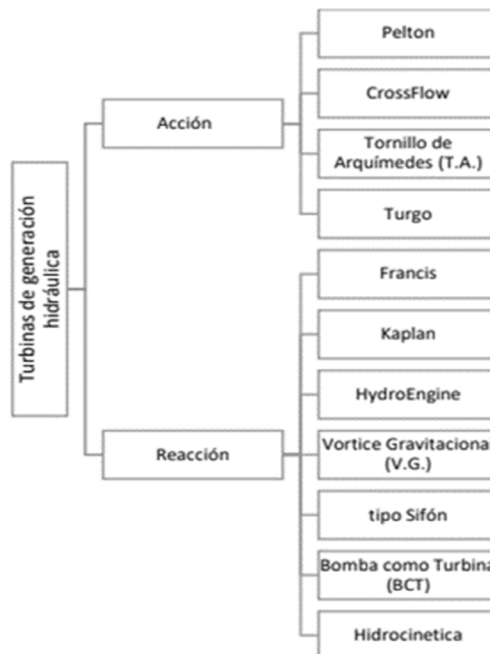
Red: **1000000000 - 0000000000** Componentes de prestación del servicio
 Cat: **1000000000 - 0000000000**
 Carga total: **0000** Estado: **1** C1a = 0a + 1a + 2a + 3a + 4a + 5a + 6a + 7a + 8a + 9a + 10a + 11a + 12a + 13a + 14a + 15a + 16a + 17a + 18a + 19a + 20a + 21a + 22a + 23a + 24a + 25a + 26a + 27a + 28a + 29a + 30a + 31a + 32a + 33a + 34a + 35a + 36a + 37a + 38a + 39a + 40a + 41a + 42a + 43a + 44a + 45a + 46a + 47a + 48a + 49a + 50a + 51a + 52a + 53a + 54a + 55a + 56a + 57a + 58a + 59a + 60a + 61a + 62a + 63a + 64a + 65a + 66a + 67a + 68a + 69a + 70a + 71a + 72a + 73a + 74a + 75a + 76a + 77a + 78a + 79a + 80a + 81a + 82a + 83a + 84a + 85a + 86a + 87a + 88a + 89a + 90a + 91a + 92a + 93a + 94a + 95a + 96a + 97a + 98a + 99a + 100a + 101a + 102a + 103a + 104a + 105a + 106a + 107a + 108a + 109a + 110a + 111a + 112a + 113a + 114a + 115a + 116a + 117a + 118a + 119a + 120a + 121a + 122a + 123a + 124a + 125a + 126a + 127a + 128a + 129a + 130a + 131a + 132a + 133a + 134a + 135a + 136a + 137a + 138a + 139a + 140a + 141a + 142a + 143a + 144a + 145a + 146a + 147a + 148a + 149a + 150a + 151a + 152a + 153a + 154a + 155a + 156a + 157a + 158a + 159a + 160a + 161a + 162a + 163a + 164a + 165a + 166a + 167a + 168a + 169a + 170a + 171a + 172a + 173a + 174a + 175a + 176a + 177a + 178a + 179a + 180a + 181a + 182a + 183a + 184a + 185a + 186a + 187a + 188a + 189a + 190a + 191a + 192a + 193a + 194a + 195a + 196a + 197a + 198a + 199a + 200a + 201a + 202a + 203a + 204a + 205a + 206a + 207a + 208a + 209a + 210a + 211a + 212a + 213a + 214a + 215a + 216a + 217a + 218a + 219a + 220a + 221a + 222a + 223a + 224a + 225a + 226a + 227a + 228a + 229a + 230a + 231a + 232a + 233a + 234a + 235a + 236a + 237a + 238a + 239a + 240a + 241a + 242a + 243a + 244a + 245a + 246a + 247a + 248a + 249a + 250a + 251a + 252a + 253a + 254a + 255a + 256a + 257a + 258a + 259a + 260a + 261a + 262a + 263a + 264a + 265a + 266a + 267a + 268a + 269a + 270a + 271a + 272a + 273a + 274a + 275a + 276a + 277a + 278a + 279a + 280a + 281a + 282a + 283a + 284a + 285a + 286a + 287a + 288a + 289a + 290a + 291a + 292a + 293a + 294a + 295a + 296a + 297a + 298a + 299a + 300a + 301a + 302a + 303a + 304a + 305a + 306a + 307a + 308a + 309a + 310a + 311a + 312a + 313a + 314a + 315a + 316a + 317a + 318a + 319a + 320a + 321a + 322a + 323a + 324a + 325a + 326a + 327a + 328a + 329a + 330a + 331a + 332a + 333a + 334a + 335a + 336a + 337a + 338a + 339a + 340a + 341a + 342a + 343a + 344a + 345a + 346a + 347a + 348a + 349a + 350a + 351a + 352a + 353a + 354a + 355a + 356a + 357a + 358a + 359a + 360a + 361a + 362a + 363a + 364a + 365a + 366a + 367a + 368a + 369a + 370a + 371a + 372a + 373a + 374a + 375a + 376a + 377a + 378a + 379a + 380a + 381a + 382a + 383a + 384a + 385a + 386a + 387a + 388a + 389a + 390a + 391a + 392a + 393a + 394a + 395a + 396a + 397a + 398a + 399a + 400a + 401a + 402a + 403a + 404a + 405a + 406a + 407a + 408a + 409a + 410a + 411a + 412a + 413a + 414a + 415a + 416a + 417a + 418a + 419a + 420a + 421a + 422a + 423a + 424a + 425a + 426a + 427a + 428a + 429a + 430a + 431a + 432a + 433a + 434a + 435a + 436a + 437a + 438a + 439a + 440a + 441a + 442a + 443a + 444a + 445a + 446a + 447a + 448a + 449a + 450a + 451a + 452a + 453a + 454a + 455a + 456a + 457a + 458a + 459a + 460a + 461a + 462a + 463a + 464a + 465a + 466a + 467a + 468a + 469a + 470a + 471a + 472a + 473a + 474a + 475a + 476a + 477a + 478a + 479a + 480a + 481a + 482a + 483a + 484a + 485a + 486a + 487a + 488a + 489a + 490a + 491a + 492a + 493a + 494a + 495a + 496a + 497a + 498a + 499a + 500a + 501a + 502a + 503a + 504a + 505a + 506a + 507a + 508a + 509a + 510a + 511a + 512a + 513a + 514a + 515a + 516a + 517a + 518a + 519a + 520a + 521a + 522a + 523a + 524a + 525a + 526a + 527a + 528a + 529a + 530a + 531a + 532a + 533a + 534a + 535a + 536a + 537a + 538a + 539a + 540a + 541a + 542a + 543a + 544a + 545a + 546a + 547a + 548a + 549a + 550a + 551a + 552a + 553a + 554a + 555a + 556a + 557a + 558a + 559a + 560a + 561a + 562a + 563a + 564a + 565a + 566a + 567a + 568a + 569a + 570a + 571a + 572a + 573a + 574a + 575a + 576a + 577a + 578a + 579a + 580a + 581a + 582a + 583a + 584a + 585a + 586a + 587a + 588a + 589a + 590a + 591a + 592a + 593a + 594a + 595a + 596a + 597a + 598a + 599a + 600a + 601a + 602a + 603a + 604a + 605a + 606a + 607a + 608a + 609a + 610a + 611a + 612a + 613a + 614a + 615a + 616a + 617a + 618a + 619a + 620a + 621a + 622a + 623a + 624a + 625a + 626a + 627a + 628a + 629a + 630a + 631a + 632a + 633a + 634a + 635a + 636a + 637a + 638a + 639a + 640a + 641a + 642a + 643a + 644a + 645a + 646a + 647a + 648a + 649a + 650a + 651a + 652a + 653a + 654a + 655a + 656a + 657a + 658a + 659a + 660a + 661a + 662a + 663a + 664a + 665a + 666a + 667a + 668a + 669a + 670a + 671a + 672a + 673a + 674a + 675a + 676a + 677a + 678a + 679a + 680a + 681a + 682a + 683a + 684a + 685a + 686a + 687a + 688a + 689a + 690a + 691a + 692a + 693a + 694a + 695a + 696a + 697a + 698a + 699a + 700a + 701a + 702a + 703a + 704a + 705a + 706a + 707a + 708a + 709a + 710a + 711a + 712a + 713a + 714a + 715a + 716a + 717a + 718a + 719a + 720a + 721a + 722a + 723a + 724a + 725a + 726a + 727a + 728a + 729a + 730a + 731a + 732a + 733a + 734a + 735a + 736a + 737a + 738a + 739a + 740a + 741a + 742a + 743a + 744a + 745a + 746a + 747a + 748a + 749a + 750a + 751a + 752a + 753a + 754a + 755a + 756a + 757a + 758a + 759a + 760a + 761a + 762a + 763a + 764a + 765a + 766a + 767a + 768a + 769a + 770a + 771a + 772a + 773a + 774a + 775a + 776a + 777a + 778a + 779a + 780a + 781a + 782a + 783a + 784a + 785a + 786a + 787a + 788a + 789a + 790a + 791a + 792a + 793a + 794a + 795a + 796a + 797a + 798a + 799a + 800a + 801a + 802a + 803a + 804a + 805a + 806a + 807a + 808a + 809a + 810a + 811a + 812a + 813a + 814a + 815a + 816a + 817a + 818a + 819a + 820a + 821a + 822a + 823a + 824a + 825a + 826a + 827a + 828a + 829a + 830a + 831a + 832a + 833a + 834a + 835a + 836a + 837a + 838a + 839a + 840a + 841a + 842a + 843a + 844a + 845a + 846a + 847a + 848a + 849a + 850a + 851a + 852a + 853a + 854a + 855a + 856a + 857a + 858a + 859a + 860a + 861a + 862a + 863a + 864a + 865a + 866a + 867a + 868a + 869a + 870a + 871a + 872a + 873a + 874a + 875a + 876a + 877a + 878a + 879a + 880a + 881a + 882a + 883a + 884a + 885a + 886a + 887a + 888a + 889a + 890a + 891a + 892a + 893a + 894a + 895a + 896a + 897a + 898a + 899a + 900a + 901a + 902a + 903a + 904a + 905a + 906a + 907a + 908a + 909a + 910a + 911a + 912a + 913a + 914a + 915a + 916a + 917a + 918a + 919a + 920a + 921a + 922a + 923a + 924a + 925a + 926a + 927a + 928a + 929a + 930a + 931a + 932a + 933a + 934a + 935a + 936a + 937a + 938a + 939a + 940a + 941a + 942a + 943a + 944a + 945a + 946a + 947a + 948a + 949a + 950a + 951a + 952a + 953a + 954a + 955a + 956a + 957a + 958a + 959a + 960a + 961a + 962a + 963a + 964a + 965a + 966a + 967a + 968a + 969a + 970a + 971a + 972a + 973a + 974a + 975a + 976a + 977a + 978a + 979a + 980a + 981a + 982a + 983a + 984a + 985a + 986a + 987a + 988a + 989a + 990a + 991a + 992a + 993a + 994a + 995a + 996a + 997a + 998a + 999a + 1000a + 1001a + 1002a + 1003a + 1004a + 1005a + 1006a + 1007a + 1008a + 1009a + 1010a + 1011a + 1012a + 1013a + 1014a + 1015a + 1016a + 1017a + 1018a + 1019a + 1020a + 1021a + 1022a + 1023a + 1024a + 1025a + 1026a + 1027a + 1028a + 1029a + 1030a + 1031a + 1032a + 1033a + 1034a + 1035a + 1036a + 1037a + 1038a + 1039a + 1040a + 1041a + 1042a + 1043a + 1044a + 1045a + 1046a + 1047a + 1048a + 1049a + 1050a + 1051a + 1052a + 1053a + 1054a + 1055a + 1056a + 1057a + 1058a + 1059a + 1060a + 1061a + 1062a + 1063a + 1064a + 1065a + 1066a + 1067a + 1068a + 1069a + 1070a + 1071a + 1072a + 1073a + 1074a + 1075a + 1076a + 1077a + 1078a + 1079a + 1080a + 1081a + 1082a + 1083a + 1084a + 1085a + 1086a + 1087a + 1088a + 1089a + 1090a + 1091a + 1092a + 1093a + 1094a + 1095a + 1096a + 1097a + 1098a + 1099a + 1100a + 1101a + 1102a + 1103a + 1104a + 1105a + 1106a + 1107a + 1108a + 1109a + 1110a + 1111a + 1112a + 1113a + 1114a + 1115a + 1116a + 1117a + 1118a + 1119a + 1120a + 1121a + 1122a + 1123a + 1124a + 1125a + 1126a + 1127a + 1128a + 1129a + 1130a + 1131a + 1132a + 1133a + 1134a + 1135a + 1136a + 1137a + 1138a + 1139a + 1140a + 1141a + 1142a + 1143a + 1144a + 1145a + 1146a + 1147a + 1148a + 1149a + 1150a + 1151a + 1152a + 1153a + 1154a + 1155a + 1156a + 1157a + 1158a + 1159a + 1160a + 1161a + 1162a + 1163a + 1164a + 1165a + 1166a + 1167a + 1168a + 1169a + 1170a + 1171a + 1172a + 1173a + 1174a + 1175a + 1176a + 1177a + 1178a + 1179a + 1180a + 1181a + 1182a + 1183a + 1184a + 1185a + 1186a + 1187a + 1188a + 1189a + 1190a + 1191a + 1192a + 1193a + 1194a + 1195a + 1196a + 1197a + 1198a + 1199a + 1200a + 1201a + 1202a + 1203a + 1204a + 1205a + 1206a + 1207a + 1208a + 1209a + 1210a + 1211a + 1212a + 1213a + 1214a + 1215a + 1216a + 1217a + 1218a + 1219a + 1220a + 1221a + 1222a + 1223a + 1224a + 1225a + 1226a + 1227a + 1228a + 1229a + 1230a + 1231a + 1232a + 1233a + 1234a + 1235a + 1236a + 1237a + 1238a + 1239a + 1240a + 1241a + 1242a + 1243a + 1244a + 1245a + 1246a + 1247a + 1248a + 1249a + 1250a + 1251a + 1252a + 1253a + 1254a + 1255a + 1256a + 1257a + 1258a + 1259a + 1260a + 1261a + 1262a + 1263a + 1264a + 1265a + 1266a + 1267a + 1268a + 1269a + 1270a + 1271a + 1272a + 1273a + 1274a + 1275a + 1276a + 1277a + 1278a + 1279a + 1280a + 1281a + 1282a + 1283a + 1284a + 1285a + 1286a + 1287a + 1288a + 1289a + 1290a + 1291a + 1292a + 1293a + 1294a + 1295a + 1296a + 1297a + 1298a + 1299a + 1300a + 1301a + 1302a + 1303a + 1304a + 1305a + 1306a + 1307a + 1308a + 1309a + 1310a + 1311a + 1312a + 1313a + 1314a + 1315a + 1316a + 1317a + 1318a + 1319a + 1320a + 1321a + 1322a + 1323a + 1324a + 1325a + 1326a + 1327a + 1328a + 1329a + 1330a + 1331a + 1332a + 1333a + 1334a + 1335a + 1336a + 1337a + 1338a + 1339a + 1340a + 1341a + 1342a + 1343a + 1344a + 1345a + 1346a + 1347a + 1348a + 1349a + 1350a + 1351a + 1352a + 1353a + 1354a + 1355a + 1356a + 1357a + 1358a + 1359a + 1360a + 1361a + 1362a + 1363a + 1364a + 1365a + 1366a + 1367a + 1368a + 1369a + 1370a + 1371a + 1372a + 1373a + 1374a + 1375a + 1376a + 1377a + 1378a + 1379a + 1380a + 1381a + 1382a + 1383a + 1384a + 1385a + 1386a + 1387a + 1388a + 1389a + 1390a + 1391a + 1392a + 1393a + 1394a + 1395a + 1396a + 1397a + 1398a + 1399a + 1400a + 1401a + 1402a + 1403a + 1404a + 1405a + 1406a + 1407a + 1408a + 1409a + 1410a + 1411a + 1412a + 1413a + 1414a + 1415a + 1416a + 1417a + 1418a + 1419a + 1420a + 1421a + 1422a + 1423a + 1424a + 1425a + 1426a + 1427a + 1428a + 1429a + 1430a + 1431a + 1432a + 1433a + 1434a + 1435a + 1436a + 1437a + 1438a + 1439a + 1440a + 1441a + 1442a + 1443a + 1444a + 1445a + 1446a + 1447a + 1448a + 1449a + 1450a + 1451a + 1452a + 1453a + 1454a + 1455a + 1456a + 1457a + 1458a + 1459a + 1460a + 1461a + 1462a + 1463a + 1464a + 1465a + 1466a + 1467a + 1468a + 1469a + 1470a + 1471a + 1472a + 1473a + 1474a + 1475a + 1476a + 1477a + 1478a + 1479a + 1480a + 1481a + 1482a + 1483a + 1484a + 1485a + 1486a + 1487a + 1488a + 1489a + 1490a + 1491a + 1492a + 1493a + 1494a + 1495a + 1496a + 1497a + 1498a + 1499a + 1500a + 1501a + 1502a + 1503a + 1504a + 1505a + 1506a + 1507a + 1508a + 1509a + 1510a + 1511a + 1512a + 1513a + 1514a + 1515a + 1516a + 1517a + 1518a + 1519a + 1520a + 1521a + 1522a + 1523a + 1524a + 1525a + 1526a + 1527a + 1528a + 1529a + 1530a + 1531a + 1532a + 1533a + 1534a + 1535a + 1536a + 1537a + 1538a + 1539a + 1540a + 1541a + 1542a + 1543a + 1544a + 1545a + 1546a + 1547a + 1548a + 1549a + 1550a + 1551a + 1552a + 1553a + 1554a + 1555a + 1556a + 1557a + 1558a + 1559a + 1560a + 1561a + 1562a + 1563a + 1564a + 1565a + 1566a + 1567a + 1568a + 1569a + 1570a + 1571a + 1572a + 1573a + 1574a + 1575a + 1576a + 1577a + 1578a + 1579a + 1580a + 1581a + 1582a + 1583a + 1584a + 1585a + 1586a + 1587a + 1588a + 1589a + 1590a + 1591a + 1592a + 1593a + 1594a + 1595a + 1596a + 1597a + 1598a + 1599a + 1600a + 1601a + 1602a + 1603a + 1604a + 1605a + 1606a + 1607a + 1608a + 1609a + 1610a + 1611a + 1612a + 1613a + 1614a + 1615a + 1616a + 1617a + 1618a + 1619a + 1620a + 1621a + 1622a + 1623a + 1624a + 1625a + 1626a + 1627a + 1628a + 1629a + 1630a + 1631a + 1632a + 1633a + 1634a + 1635a + 1636a + 1637a + 1638a + 1639a + 1640a + 1641a + 1642a + 1643a + 1644a + 1645a + 1646a + 1647a + 1648a + 1649a + 1650a + 1651a + 1652a + 1653a + 1654a + 1655a + 1656a + 1657a + 1658a + 1659a + 1660a + 1661a + 1662a + 1663a + 1664a + 1665a + 1666a + 1667a + 1668a + 1669a + 1670a + 1671a + 1672a + 1673a + 1674a + 1675a + 1676a + 1677a + 1678a + 1679a + 1680a + 1681a + 1682a + 1683a + 1684a + 1685a + 1686a + 1687a + 1688a + 1689a + 1690a + 1691a + 1692a + 1693a + 1694a + 1695a + 1696a + 1697a + 1698a + 1699a + 1700a + 1701a + 1702a + 1703a + 1704a + 1705a + 1706a + 1707a + 1708a + 1709a + 1710a + 1711a + 1712a + 1713a + 1714a + 1715a + 1716a + 1717a + 1718a + 1719a + 1720a + 1721a + 1722a + 1723a + 1724a + 1725a + 1726a + 1727a + 1728a + 1729a + 1730a + 1731a + 1732a + 1733a + 1734a + 1735a + 1736a + 1737a + 1738a + 1739a + 1740a + 1741a + 1742a + 1743a + 1744a + 1745a + 1746a + 1747a + 1748a + 1749a + 1750a + 1751a + 1752a + 1753a + 1754a + 1755a + 1756a + 1757a + 1758a + 175

Fase 3: búsqueda: En la fase anterior, la capacidad de energía máxima de generación fue de 3,9 KW, por lo cual, la búsqueda puede limitarse a tecnologías con un rango de capacidad de generación entre 2 a 5 KW. Esto permite tener una búsqueda de tecnologías enfocada en pico-centrales hidroeléctricas, las cuales se definen de acuerdo con la tabla 1.

Generalmente, para el proceso de selección de turbinas, se tiende a escoger entre las más utilizadas nivel mundial; turbinas Pelton, Francis y Kaplan (Sierra Vargas *et al.*, 2011), pero en este caso, cuando se trata de micro y pico centrales las tecnologías aumentan por lo cual, para su selección se debe tener en cuenta factores como rendimiento, costos y mantenimiento, así como también las características actuales de la piscícola donde se desarrollará su implementación.

A continuación, se mencionan algunas tecnologías existentes, donde se dividen en dos secciones, turbinas de acción y reacción, en la figura 7 se puede observar las tecnologías más utilizadas para este tipo de proyectos y en la tabla 2 se pueden observar las principales características de cada una de ellas.

Figura 7. Tipos de turbinas.



Fuente: (Villanueva Riquelme, 2019)

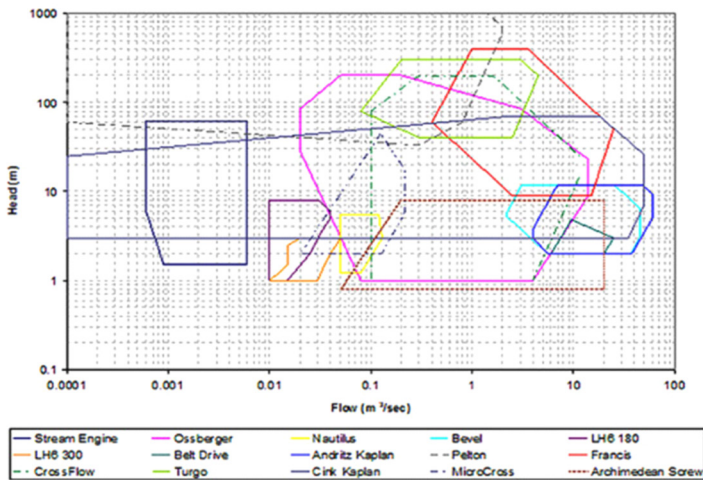
Tabla 2. Características de las turbinas.

	Turbina	Q m ³ /s	H m	P Kw	nMax %
Acción	Pelton	0,05 - 60	30 - 1800	2 - 300000	91
	CrossFlow	3 - 100	3 - 200	10 - 8000	87
	Tornillo de Arquimides	1 - 5	1 - 5	1 - 100	90
	Turgo	0,025 - 10	15 - 300	5 - 8000	85
Reacción	Francis	1 - 500	2 - 750	2 - 750000	92
	Kaplan	1000	5 - 80	2 - 200000	93
	HydroEngine	3 - 200	3 - 20		78
	Vortice Gravitacional	1,2 - 3	1,5 - 4	1 - 55	84
	Tipo Sifón	0,15 - 5	1,5 - 6		75
	Bomba como Turbina	0,2 - 0,6	2 - 80	5 - 500	90
	Hidrocínética	1 - 3,1	1,1 - 2	2 - 50	85

Fuente: (Lopez-Córdoba, 2022)

De acuerdo con las características de la piscícola, donde la altura y el caudal son bajos, se realizó un análisis de acuerdo con la figura 8, donde se puede observar el lugar de aplicación de las turbinas de acuerdo con estas variables, de las cuales se seleccionaron las siguientes turbinas: Kaplan para PCHs, vórtice gravitacional, tipo sifón, tornillo de Arquímedes, cross-flow, debido a que cuentan con las especificaciones apropiadas para el desarrollo en la piscícola.

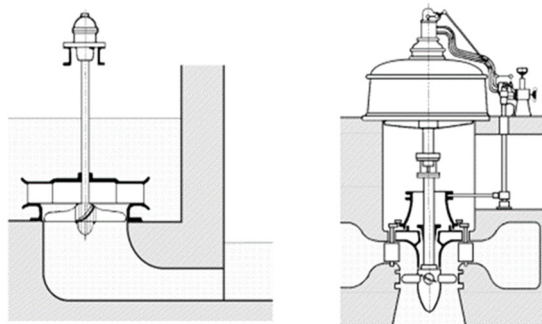
Figura 8.



Fuente: (Židonis & Aggidis, 2015)

Las turbinas Kaplan, son tecnologías axiales donde el agua entra paralelamente al eje, estas se emplean en saltos de pequeña altura obteniendo excelentes rendimientos, su diseño se puede observar en la figura 9. fuente (Caballo, 2019).

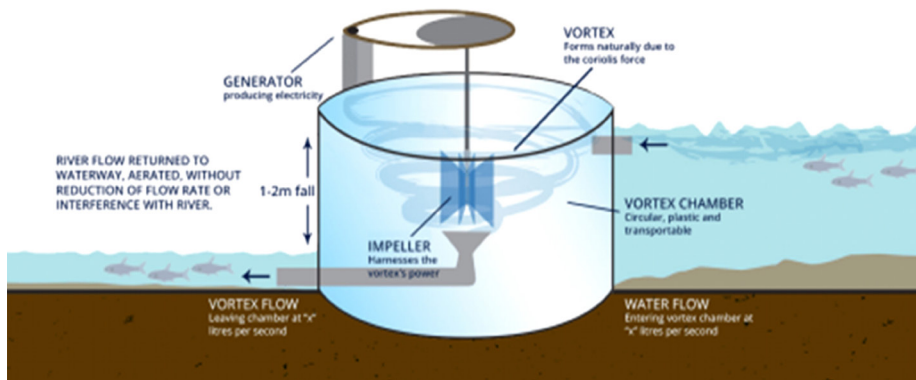
Figura 9. Funcionamiento turbina Kaplan



Fuente: (Caballo, 2019)

Las turbinas de vórtice gravitacional (figura 10), también se aplican a bajas alturas de hasta 0.8 metros, llegando a tener una eficiencia del 80%. (Yaakob *et al.*, 2014) su funcionamiento se basa en dejar pasar el agua a través de una entrada recta y se dirige en forma de caracol hacia la turbina, generando en el drenaje por la parte de abajo un vórtice que a su vez produce el movimiento en la turbina la cual, convierte esta energía cinética en eléctrica.

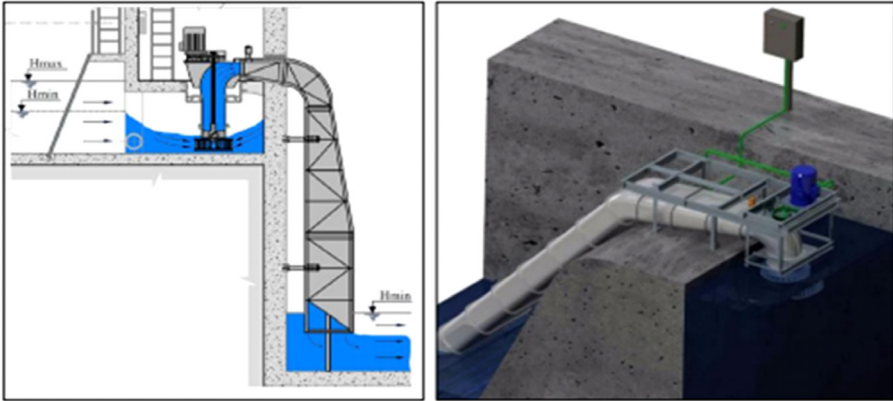
Figura 10. Funcionamiento turbina vórtice Gravitacional.



Fuente: (Villanueva, 2019).

Turbinas tipo sifón, su nombre se le debe a la semejanza con un sifón o vaso comunicante, el cual permite el flujo de agua por medio de la diferencia de presión, utilizada para bajas cantidades de altura. Su funcionamiento se puede observar en la figura 11.

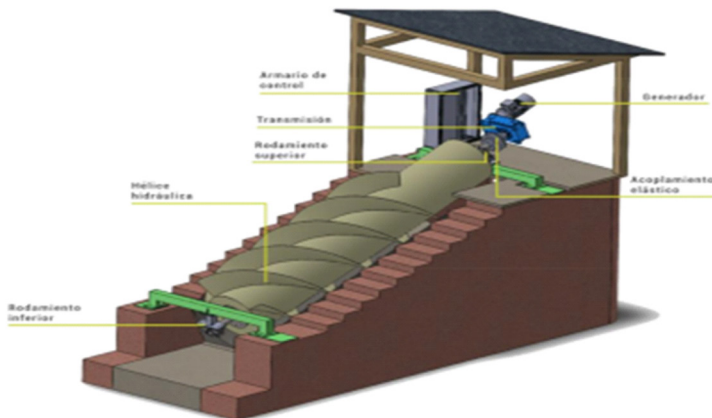
Figura 11. Funcionamiento turbina tipo Sifón



Fuente: (Villanueva, 2019)

Turbina tipo tornillo de Arquímedes es un cilindro que contiene adentro hélices helicoidales, está generalmente se mantiene en posición inclinada como se observa en la figura 12 (Lucio, 2019) generalmente se utiliza para caídas pequeñas y gran cantidad de caudal.

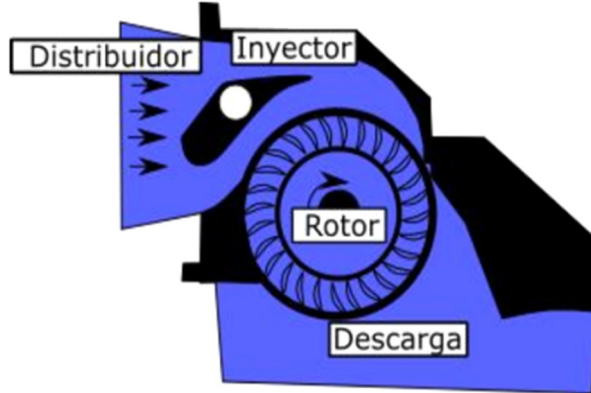
Figura 12. Turbina mini tornillo de Arquímedes



Fuente: (Lucio, 2019)

Las turbinas cross-flow son rotores donde el flujo de la corriente de agua atraviesa los álabes de manera diagonal, esta se puede observar en la figura 13. Se utilizan para corrientes de baja velocidad y altura, pero con elevados caudales.(Fernández-Jiménez *et al.*, 2019; Nasir, 2013)

Figura 13. Funcionamiento de turbina cross-flow



Fuente: (Fernández-Jiménez *et al.*, 2019; Nasir, 2013)

Posteriormente se realizó la búsqueda de las tecnologías en la web para poder encontrar proveedores, en Colombia se encontró la empresa TAVI Technology que ofrece kits de generación hidráulica, pero las características de las turbinas necesitan alturas mayores a las que se tienen en la piscícola por lo cual se descarta como proveedor. Otra empresa que se encontró es CINK Hydro-Energy, ubicada en República checa, donde ofrece diferentes tecnologías pero que tampoco se ajustaban a las características actuales. Así mismo, se encontró las diferentes tecnologías en sitios como Alibaba, SoloStocks, Forster y Ebay donde actualmente se está manejando una comunicación por correo electrónico para cotizar las tecnologías.

Tabla 3. Búsqueda de proveedores

Empresa	Enlace
Tavi technology	https://tavitechnology.com.co/
CINK Hydro-Energy	https://www.cink-hydro-energy.com/es
alibaba	https://www.alibaba.com/product-detail/China-Long-Service-Life-High-Water_60198685154.html?spm=a2700.7724857.0.0.36872933lRNCcD

Empresa	Enlace
SoloStocks	https://www.solostocks.com.co/venta-productos/generadores/generadores-turbinas/5-50kw-kaplan-turbina-micro-generador-hidraulico-9543265
Forster	https://www.fstgenerator.com/es/small-kaplan-turbine-1kw-2kw-5kw-for-micro-hydropower-product/
Ebay	https://www.ebay.com/itm/235016520969

Fuente: Elaboración propia.

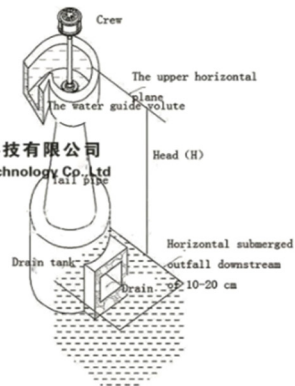
De acuerdo con el contacto que se ha tenido con algunas de las empresas, su sugerencia en cuanto a las características actuales de la piscícola es montar una turbina Kaplan de 3 KW la cual tiene un costo estimado que oscila entre los 1000 y 2000 dólares. la turbina y su implementación se puede observar en la figura 14.

Figura 14. fuente: factura de compra de la empresa Forster

Product Picture and Installation:



成都市福司特科技有限公司
Chengdu Forster Technology Co., Ltd



Customer Site Installation Drawing



Conclusiones

Debido a las condiciones y características de las piscícolas, existe una similitud entre estas y las pequeñas centrales hidroeléctricas, por lo cual es evidente un potencial energético dentro de las estaciones piscícolas, el cual es importante analizar para poder implementar proyectos de autogeneración de energía dentro de las mismas.

El análisis de la estación piscícola es fundamental para determinar el mejor lugar para la implementación de la turbina, es importante tener en cuenta que entre mayor altura y caudal se tenga, mayor será la potencia disponible para autogeneración de energía.

La piscícola la playa cuenta actualmente con un caudal de 0,224 m³/s y una altura de 1.8 m que permiten una potencia disponible de 3.1KW que equivalen a 1890 KWh al mes, donde actualmente se tiene un consumo promedio de 866 KWh mes, esto nos lleva a tener energía sobrante que puede ser vendida o intercambiada a la red generando beneficios económicos a la piscícola, así como también a la asociación. Existen diferentes tecnologías que permiten la implementación de PCHs en las estaciones piscícolas, turbinas Kaplan, vórtice gravitacional, cross-flow, entre otras que están diseñadas para generar energía a partir de pequeñas fuentes de agua.

Uno de los principales inconvenientes que se encuentra para el desarrollo del proyecto macro es la compra y obtención de las turbinas, debido a que en Colombia no se cuenta con empresas que ofrecen dichas tecnologías, actualmente se deben solicitar desde china y el tiempo de envío y los costos dificultan el desarrollo del proyecto.

Las comunidades energéticas como modelo de desarrollo permiten realizar acuerdos entre los participantes para poder obtener beneficios comunes; así el beneficiario sea solo una persona. Esto abre un mundo de posibilidades para el desarrollo de proyectos en la zona, así como beneficios para la comunidad.

Referencias

- Alvarado E. (2017). Manual de Medición de Caudales. Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático, 24. <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medición-de-caudales-ICC.pdf>
- Aparicio Castellanos, L. A., Alvarado Reyes, L. A., & Avellana Pachon, S. A. (2021). Proyecto de producción piscícola y comercialización sostenible en el. EAN universidad.
- Barion, S. de I. (2020). ESTADO DE LA COBERTURA ELÉCTRICA Y LAS ZONAS NO INTERCONECTADAS EN LA REGIÓN CENTRAL.
- Bastidas Santacruz, R. F. (2016). Especificación y diseño de PCH para acueducto de Cumaral. In Universidad de los Andes.
- Bonilla, C., & González, L. (2017). Estructuración, financiación y valoración de Pequeñas centrales eléctricas en Colombia a través de opciones reales.
- Caballo Reyes, M. (2019). Diseño, fabricación y ensayo de una rodete de turbina Kaplan lenta.
- Caramizaru, A., & Uihlein, A. (2019). Energy communities : an overview of energy and social innovation. <https://doi.org/10.2760/180576>
- Castelo Nevada, M. del carmen, & Leon Torres, R. A. (2008). Diseño, construcción e instalación de una pico central hidroeléctrica en la finca sector pindochoico.
- Congreso de Colombia. (1994). Ley 142 de 1994. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=2752>
- Corredor, G. (2018). Colombia y la transición energética. *Ciencia Política*, 13(25), 107–125. <https://doi.org/10.15446/cp.v12n25.70257>
- Coz, F., Sanchez, T., Viani, B., Segura, J., Quiroz, L., Gaitán, J., & Muñoz, I. (1995). *Manual De Mini Y Microcentrales Hidráulicas* (p. 191).
- El congreso de Colombia. (2014). Ley 1715 Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema Energético Nacional (Issue May).
- Fawzy, S., Osman, A. I., Doran, J., & Rooney, D. W. (2020). Strategies for mitigation of climate change: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(6), 2069–2094. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01059-w>
- Fernández-Jiménez, A., Álvarez-Álvarez, E., Espina-Valdés, R., Rico-Secades, M., & Calleja-Rodríguez, A. J. (2019). Propuesta de turbina cross-flow para el aprovechamiento energético en un canal hidráulico de baja velocidad de corriente. *Jornadas de Ingeniería Del Agua*, 23–25. <https://www.hidralab.com:4430/jia2019/wp-content/uploads/2019/10/R082.pdf>
- Florez Espinosa, F. (2020). Estado de la cobertura eléctrica y las zonas no interconectadas en la región central. *Matriz Energetica En La Región Central*, 117. <https://regioncentralrape.gov.co/matriz-energetica/>
- García-Mondragón, D., Gallego-Alarcón, I., Espinoza-Ortega, A., García-Martínez,

- A., & Arriaga-Jordán, C. M. (2013). Desarrollo de la producción de trucha arcoíris en el centro de México. *AquaTIC*. <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=p&c=264>
- Ibañez Solís, L. E. (2019). Diseño y construcción de una mini-turbina hidráulica tipo MICHELL – BANKI para ser instalada en canales primarios abiertos y generar energía mecánica. *Universidad Tecnica de Ambato*, 8(5), 55.
- Ingfocol. (2015). Hidroenergía. Atlas de Potencial Hidroenergético de Colombia, 25–36. http://www1.upme.gov.co/Documents/Atlas/Atlas_p25-36.pdf
- López Cabarcos, M. Á., Romero Castro, N., & Miramontes Viña, V. (2020). Autonomía energética local y desarrollo rural sostenible. Análisis de la predisposición a participar en comunidades energéticas renovables. *Revista Galega de Economía*, 29(2), 1–25. <https://doi.org/10.15304/rge.29.2.6914>
- Lopez-Cordoba, C. F. (2022). Propuesta de comunidad energética en la asociación de piscicultores Apropesca del Municipio de Silvia en el Departamento del Cauca. Universidad Autónoma de Occidente.
- Lucio, D. (2019). Diseño y construcción de una mini turbina tipo tornillo. [https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/29768/1/Tesis I. M. 518 - Lucio Yugsi Daniel Mesías.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/29768/1/Tesis%20I.%20M.%20518%20-%20Lucio%20Yugsi%20Daniel%20Mesías.pdf)
- Marín, D. E. (2016). Estudio de Pre factibilidad para la Generación de Energía Eléctrica a Partir del Río Consotá y Capacidad de Generación con Energía Solar en la Zona del Parque Consotá Pereira.
- Matthews J.B.R. (2018). Anexo I: Glosario . En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 oC. In IPCC (Vol. 4, Issue 3). https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf
- Merino, M. C., Bonilla, S. P., Bages, F., Alejandro Flores Nava, D., Latina El Caribe, A., & de, M. (2013). . Plan Nacional de Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia (AUNAP-FAO).
- Mora Navarro, D. C., & Hurtado Liévano, J. M. (2004). Guia para estudios de pre-factibilidad de pequeñas centrales hidroelectricas como parte de sistemas Híbridos. <http://eprints.uanl.mx/5481/1/1020149995.PDF>
- Nasir, B. A. (2013). Design of High Efficiency Cross-Flow Turbine for Hydro-Power Plant. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 23, 2249–8958.
- Ortegón, Edgar., Pacheco, J. Francisco., Prieto, Adriana., & Latin American and Caribbean Institute for Economic and Social Planning. Projects and Investment Programming Division. (2005). Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas. Naciones Unidas, CEPAL, ILPES, Área de proyectos y programación de inversiones.
- Osorio, A. M., & Cifuentes, L. (2020). Small hydropower plants (SHP) in the East of the Department of Caldas. “Environmental impacts and social resistances in the post-conflict.” *Juridicas*, 17(2), 180–198. <https://doi.org/10.15446/juridicas.17.2.180-198>

org/10.17151/jurid.2020.17.2.10

- Ostos Jurado, L. (2022). Modelo de comunidad energética en la provincia de Jaén. Comillas Universidad Pontificia.
- Patarroyo, A., Triana, C. A. R., Beltrán, A. H., Ocaciones, M. A., Matéus, J., Guerrero, O. D., Ovalle, J., & Goyeneche, H. (2020). Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH ' S). 1–98. <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista-12/ar9.pdf>
- Pereira, G. M. (2021). Power output. Design of Hydroelectric Power Plants – Step by Step, 81–89. <https://doi.org/10.1201/9781003161325-5>
- Pierre, G., & Mazaud, C. (2021). Community Acceptance of Wind Energy: Lessons from a Case Study on a Local Participatory Project in Pays des Mauges (West France). *European Countryside*, 13(4), 715–733. <https://doi.org/10.2478/euco-2021-0038>
- Pineda Rodríguez-Pina, G. (2021). Comunidades energéticas como posible solución a la pobreza energética de la España rural.
- Romero-Rubio, M. del C. (2015). Barreras Y Oportunidades Para El Desarrollo De Comunidades Energéticas Sostenibles En España . Estudio Comparativo Con Estados Unidos. repositorio.https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/13331/TD_ROMERO_RUBIO_Maria_del_Carmen.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rubio, R., & Diaz, A. (2013). ENERGY SUSTAINABLE COMMUNITIES : ENCOURAGEMENT INITIATIVES IN THE EU AND DEVELOPMENT OPPORTUNITIES IN SPAIN. July, 17–19.
- Ruiz, M. C. S. (2017). Formulación del Plan Estratégico para el Mejoramiento Organizativo de APROPESCA 2017-2020 (Silvia- Cauca). 2020. [http://repository.unimus.ac.id/392/3/10.BAB II.pdf](http://repository.unimus.ac.id/392/3/10.BAB%20II.pdf)
- Santiago, D., Chaux, L., Hernan, J., & Esquivel, S. (2015). Montaje y puesta en marcha proyecto producción intensiva de tilapia roja con uso de biotecnologías y energías renovables pitber en la finca Monte de Heliconias cuenca del Rio las ceibas Municipio de Neiva Huila.
- Sierra Vargas, F. E., Sierra Alarcón, A. F., & Guerrero Fajardo, C. A. (2011). Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas: alternativa real de generación eléctrica. *Informador Técnico*, 75, 8–11. <https://doi.org/10.23850/22565035.22>
- Silva Figueredo, A. (2018). Estudo da viabilidade de implantacao de tanques-rede no reservatorio da pequena central hidrelectrica boa sorte. instituto federal de educacao, ciencia e tecnologia do tacantins.
- UPME (Unidad de Planeación Minero Energética). (2020). Plan Energético Nacional 2020-2050. 2015. https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_2020_2050/Plan_Energetico_Nacional_2020_2050.pdf
- Villanueva Riquelme, D. G. (2019). Criterios hidráulicos para proyectos de tecnologías de microgeneración en infraestructuración de riego. Universidad de Chile, 114. http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/gautier_v/sources/gautier_v.pdf

- Woinarovich, E. (n.d.). Cartilla del piscicultor. Retrieved April 6, 2021, from <http://www.fao.org/3/ag196s/AG196S01.htm#ch1>
- Yaakob, O. B., Ahmed, Y. M., Elbatran, A. H., & Shabara, H. M. (2014). A review on micro hydro gravitational vortex power and turbine systems. *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)*, 69(7), 1–7. <https://doi.org/10.11113/jt.v69.3259>
- Židonis, A., & Aggidis, G. A. (2015). State of the art in numerical modelling of Pelton turbines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.037>

CAPÍTULO 7.

Identificación de talentos deportivos en fútbol sala en la Fundación Atlético Cauca del municipio de Popayán

LUZ MARINA CHALAPUD-NARVÁEZ¹
LADY YOLIMA GÓMEZ CHÁVEZ²
NANCY-JANETH MOLANO-TOBAR³
ANGIE NATALIA TOBAR MOSQUERA⁴
JUAN ESTEBAN ANDRADE PAZOS⁵

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue identificar el talento deportivo en las escuelas de formación de Fútbol Sala en el municipio de Popayán. Este estudio se llevó a cabo con un enfoque descriptivo, diseño transversal y un enfoque cuantitativo. Los participantes fueron 20 niños de edades entre 8 y 14 años. Para recopilar información, se empleó un cuestionario que incluía preguntas abiertas y cerradas sobre variables sociodemográficas. Además, se utilizó la prueba rápido Krece Plus para evaluar el estado nutricional y el estilo de vida de los niños. En cuanto a la condición física, aplicó la prueba de Ruffier

1 Dra. (c) Actividad Física y Deporte, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Líder del Grupo de Investigación GIDEMO del Programa Entrenamiento Deportivo, luz.chalapud.n@uniautonom.edu.co.

2 Mag. en Educación, Estudios del Cuerpo y la Motricidad, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Investigadore Programa Entrenamiento Deportivo, yolima.gomez.c@uniautonom.edu.co.

3 Dra. en Ciencias Biomédicas, Dra. en Nutrición, Universidad del Cauca, Líder Grupo de investigación Salud y Motricidad Humana, Departamento de Educación Física, Recreación y Deporte, najamoto@unicauca.edu.co

4 Egresada Programa Entrenamiento Deportivo, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Semillerista de AUKINE, angie.tobar.m@uniautonom.edu.co.

5 Egresado Programa Entrenamiento Deportivo, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Semillerista de AUKINE, juan.andrade.p@uniautonom.edu.co.

Dickson, también se calcularon índices de maduración, proyección de estatura adulta y clasificación de maduración de los deportistas. En conclusión, los resultados revelaron que aproximadamente el 50% de la población estudiada se clasificó como maduradores promedio y maduradores tardíos en función de la proyección del índice de maduración y crecimiento. Esto sugiere una distribución equitativa en términos de desarrollo físico y madurez biológica en la muestra. Estos hallazgos proporcionan información valiosa sobre la maduración y el crecimiento de los deportistas, lo que puede ser útil para personalizar programas de entrenamiento y seguimiento individualizado.

Palabras clave: talento deportivo, biotipo, fútbol sala, rendimiento deportivo.

Introducción:

La detección de talentos implica una serie de análisis de los parámetros que determinan un perfil deportivo, entre los que se encuentran variables relacionadas a las habilidades, las destrezas motoras, las demandas de condición física, como también variables fisiológicas, biomecánicas y no menos importantes las variables psicosociales, las cuales se convierten concluyentes en la detección (Hernández & Cumbreira, 2022). En este sentido cada modalidad deportiva sea individual o de conjunto implica unas demandas propias del deportistas, como es el caso de los deportistas del fútbol sala (Medina, 2020).

El fútbol sala, si bien se conoce como un deporte colectivo, demanda mucho la colaboración y oposición donde su vía energética es tanto aeróbica como anaeróbica debido a una sucesión de movimiento donde la velocidad es de máxima expresión la cual se desarrollan en espacios cortos y reducidos (Bucheli *et al.*, 2017). Un jugador de fútbol sala debe gozar de una excelente resistencia en la potencia anaeróbica aláctica para ejecutar esfuerzos muy intensos, es necesario contar con suficiente resistencia y capacidad anaeróbica para así satisfacer la demanda de mantener esfuerzos prolongados, lo que a su vez permite la realización de esfuerzos cortos pero intensos de manera repetitiva. Sumado a ello, refieren como tener una potencia aeróbica máxima le ayuda a mantener los esfuerzos más largos de duración y una capacidad aeróbica para que le respalde la capacidad de recuperación frente a la acumulación de los esfuerzos previstos (Olimpo *et al.*, 2021).

Por otra parte, el fútbol sala implica que los jugadores recorren un 15% de la distancia total a velocidades muy altas, es decir, superiores a 18,3 km/h (De Freitas *et al.*, 2021). Además, es común que durante un partido

experimenten niveles de frecuencia cardíaca que oscilan entre el 86% y el 90% de su frecuencia cardíaca máxima. De esta manera, la capacidad de las vías energéticas es determinada por los factores de la capacidad de suministro de oxígeno de la musculatura, como también es el aumento de la actividad enzimática mitocondrial, lo que conlleva oxigenar los sustratos y producir energía en el ciclo de Krebs, indicando que entre más mitocondrias optimiza la producción de energía (Nogueira *et al.*, 2018).

Se asume el criterio que, en la selección de talentos del deporte de fútbol sala, deberán ser considerados los parámetros como las cualidades físicas básicas, condiciones motrices, capacidades fisiológicas, estudio biomecánico, por los cuales se determinan el nivel la velocidad de reacción, potencia, resistencia que demanda del deporte (Toala Pilay *et al.*, 2018). Sumado a lo anterior, la detección de talentos es un proceso en el que influye de forma determinante las características naturales, el tipo de deporte, la edad, la estructura o composición física, habilidades motoras, cognitivas y emocionales favorables, así como el entorno social y las condiciones ambientales adecuadas, desempeñan un papel esencial y decisivo (Sánchez *et al.*, 2021; Villamarin *et al.*, 2021)

A partir de ello, la óptima selección de deportistas ha evolucionado al pasar el tiempo, que por medio de la observación han obtenido altos índices de respuestas y resultados, donde la población sujeta a estudio se ha direccionada al campo de competición de élite o alto rendimiento (Agudelo Velásquez, 2018; Castro González, 2019). Sin embargo, se encuentra que son pocos los que hacen referencia de cómo eran dichos deportistas cuando tenían 9 o 12 años.

En ese sentido se identifica gran falencia de unos procesos metódicos de evaluación de parámetros físicos, fisiológicos, biomecánicos que pueden determinar la potencialidad de los niños en la modalidad deportiva (Agudelo & Ortiz, 2020). No se han encontrado estudios pertinentes que hayan investigado las demandas fisiológicas específicas de los jugadores de fútbol sala. De igual manera hay la ausencia de investigaciones que determinen las características de rendimiento de los jugadores de fútbol sala (Delgado & Bravo, 2021). Es por ello, por lo que la investigación no solo aporta conocimiento, a su vez determina esas necesidades que demanda la modalidad deportiva para lograr un desarrollo adecuado a la competencia y que debemos tener presentes para la orientación oportuna del deportista.

Por lo anterior el objetivo del estudio fue identificar los talentos deportivos que existen en las escuelas de formación deportiva de fútbol sala del municipio de Popayán, para lo cual se tuvieron en cuenta la medición de variables sociodemográficas, de condición física, de calidad de dieta, antropométricas y de rendimiento deportivo.

Desarrollo:

Diseño metodológico

El estudio se basó en un enfoque cuantitativo, de diseño no experimental con alcance descriptivo de corte transversal. Se ejecutó durante los meses de marzo y agosto de 2023.

Participantes

La población de estudio estuvo conformada por niños de 8 a 12 años que forman parte de las escuelas de formación deportiva de fútbol sala de la Fundación Atlético Cauca; la muestra fue no probabilística a conveniencia y estuvo constituida por 20 deportistas quienes cumplieron los criterios de inclusión. Los participantes debieron cumplir con los siguientes criterios de inclusión: participación voluntaria, tener edad comprendida entre los 8 a 12 años, estar activo en el sistema educativo, firmar asentimiento y consentimiento informados por los padres o tutores.

Procedimientos

Para la recolección de la información sociodemográfica como: edad, sexo, estrato socioeconómico, experiencia deportiva, grado escolar, entre otros, se utilizó un cuestionario con preguntas abiertas y cerradas.

Para la evaluación de la calidad de dieta se aplicó la prueba rápido Krece Plus, que forma parte del estudio EnKid validado para población infanto-adolescente por el estudio de Correa et al. (2013). Se conforma por 15 preguntas sobre aspectos nutricionales que se responden Si o No, cada una con un puntaje; para una puntuación máxima 11 y mínima de -5, que permite clasificar el nivel nutricional en Alto (puntaje >8), medio (puntaje de 6 a 8), y riesgo nutricional alto (puntaje de 5 o <). Además, se realiza una pregunta sobre nivel de actividad física y tiempo dedicado a ver televisión. Con relación a las horas de ver televisión o jugar videojuegos se genera un puntaje según las horas de la siguiente manera: 0 horas = 5 puntos; 1 hora = 1 punto; 2 horas = 3 puntos; 3 horas = 3 puntos; 4 horas o más = 4 puntos; y con relación a las horas de dedicación a actividad deportiva extraescolare a la semana se asigna un puntaje como se muestra a continuación: 0 horas = 0 puntos; 1 hora = 1 punto; 2 horas = 2 puntos; 3 horas = 3 puntos; 4 o más horas = 4 puntos. Según estas dos preguntas se puede obtener la clasificación de Mala de 0 a 3 puntos, Regular de 4 a 6 puntos, y Buena 7 puntos.

En la siguiente tabla se muestran los ítems evaluación y su puntuación con relación a las preguntas de calidad de dieta:

Tabla 1. Items Test Krece Plus

No desayuna	-1
Desayuna lácteo	+1
Desayuna cereal o derivado	+1
Desayuna bollería industrial	-1
Toma una fruta o un zumo de fruta a diario	+1
Toma una segunda fruta a diario	+1
Toma un segundo lácteo a diario	+1
Toma verdura fresca o cocida una vez al día	+1
Toma verdura fresca o cocida más de una vez al día	+1
Acude más de una vez a la semana a un fast-food	-1
Toma bebidas alcohólicas el menos una vez a la semana	-1
Le gustan las legumbres	+1
Toma varias veces al día dulces y gominolas	-1
Toma pasta o arroz casi a diario	+1
Utilizan aceite de oliva en casa	+1

Fuente: (Correa *et al.*, 2013).

Desde la evaluación antropométrica se midieron peso corporal, talla, talla sentado, índice de masa corporal, envergadura, índice de maduración, y proyección de la estatura adulta. Para la medición del peso corporal se utilizó una balanza marca Omron con 1 mgr de precisión, se ubicó al sujeto encima de la balanza con los pies juntos, brazos a los lados y cabeza en posición de plano de Frankfort, posterior se hizo lectura de la medición (Medina, 2020).

La talla se midió con un estadiómetro con 1mm de precisión, el deportista debía estar parado con los pies juntos, brazos pegados al lado del cuerpo y la cabeza ubicada en el plano de Frankfort; se le pidió al sujeto una inspiración y se generó una tracción desde las apófisis mastoideas para generar la lectura y registro de la medición la cual se hizo dos veces (Ander *et al.*, 2020). También se tomó la talla sentado, donde es el mismo procedimiento solo que el sujeto se sienta en el banco antropométrico en el cual está el estadiómetro.

Para la medición de la envergadura, se pidió a los deportistas estar con los pies juntos, talones pegados a la pared brazos extendidos y abducidos a lado del tronco a la altura de los hombros. En la parte posterior del sujeto se ubicó un flexómetro para hacer la medición, este se ubica en el dacthylion de la mano derecha, y se pide que genere una inspiración profunda y desplazar los dedos por el flexómetro, donde se toma la medida en cm (Corredor-Serrano *et al.*, 2022). Con las anteriores mediciones se genera la proyección de la longitud de piernas, resultado de la diferencia entre la estatura (talla) y talla sentado; se calculó el índice de maduración (PHV) aplicando la siguiente formula:

$$= -9,236 + (0,0002708 * longitud\ de\ piernas * talla\ sentado) + (0,001663 * edad\ decimal * longitud\ de\ piernas) + (0,007216 * edad\ decimal * talla\ sentado) + (0,02292 * (peso / estatura) * 100)$$

Para el cálculo de la edad PHV, que es la edad en la que se predice que el individuo realizara el pico de crecimiento, se aplicó la formula:

$$Edad\ PHV = edad - índice\ de\ maduración\ (PHV)$$

Posterior a ello se generó la clasificación de maduración teniendo en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 1. Clasificación de maduración

Clasificación de maduración años y meses cumplidos	Edad PHV (años)	
	Masculino	Femenino
Madurador Temprano	< 13 años	< 11 años
Madurador Promedio	13 - 15 años	11 - 13 años
Madurador Tardío	> 15 años	> 13 años

Fuente: Global Isak (2019).

Con el índice de maduración (PHV) y la clasificación de la maduración se observa los centímetros por crecer para alcanzar la estatura adulta, para ello se tiene en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 2. Centímetros por crecer para alcanzar la estatura adulta según el PHV y su clasificación

Años PHV Pico de Velocidad de Crecimiento	Centímetros predictivos por crecer y alcanzar la estatura adulta					
	Masculino			Femenino		
	M. Temprano	M. Promedio	M. Tardío	M. Temprano	M. Promedio	M. Tardío
-4	45,29	40,9	34,73	42,61	38,81	34,35
-3,9	44,75	40,35	34,28	42,05	38,24	33,81
-3,8	44,21	39,8	33,83	41,49	37,67	33,27

Años PHV Pico de Velocidad de Crecimiento	Centímetros predictivos por crecer y alcanzar la estatura adulta					
	Masculino			Femenino		
	M. Temprano	M. Promedio	M. Tardío	M. Temprano	M. Promedio	M. Tardío
-3,7	43,66	38,935	33,385	40,94	37,11	32,735
-3,6	43,11	38,07	32,94	40,39	36,55	32,2
-3,5	42,55	37,565	32,495	39,845	35,995	31,67
-3,4	41,99	37,06	32,05	39,3	35,44	31,14
-3,3	41,42	36,555	31,605	38,755	34,89	30,615
-3,2	40,85	36,05	31,16	38,21	34,34	30,09
-3,1	40,27	35,545	30,715	37,67	33,795	29,565
-3	39,69	35,04	30,27	37,13	33,25	29,04
-2,9	39,11	34,54	29,83	36,59	32,71	28,52
-2,8	38,52	34,04	29,38	36,04	32,16	27,99
-2,7	37,93	33,55	28,94	35,49	31,60	27,46
-2,6	37,33	33,05	28,49	34,94	31,04	26,93
-2,5	36,74	32,56	28,05	34,38	30,48	26,40
-2,4	36,15	32,06	27,6	33,82	29,91	25,87
-2,3	35,56	31,57	27,15	33,25	29,34	25,33
-2,2	34,97	31,07	26,7	32,68	28,76	24,79
-2,1	34,39	30,57	26,24	32,11	28,17	24,25
-2	33,8	30,06	25,77	31,53	27,58	23,71
-1,9	33,21	29,55	25,28	30,99	26,99	23,17
-1,8	32,62	29,03	24,79	30,44	26,39	22,63
-1,7	32,03	28,49	24,27	29,90	25,80	22,09
-1,6	31,44	27,95	23,74	29,36	25,21	21,55
-1,5	30,84	27,39	23,19	28,80	24,62	21,01
-1,4	30,23	26,83	22,63	28,24	24,03	20,47
-1,3	29,61	26,23	22,04	27,67	23,44	19,92
-1,2	28,98	25,63	21,45	27,09	22,85	19,37
-1,1	28,32	25,00	20,84	26,48	22,26	18,81
-1	27,66	24,36	20,22	25,87	21,66	18,25
-0,9	26,95	23,68	19,59	25,21	21,05	17,66
-0,8	26,24	22,99	18,96	24,54	20,44	17,07
-0,7	25,46	22,25	18,28	23,82	19,80	16,44
-0,6	24,68	21,51	17,6	23,09	19,16	15,81
-0,5	23,82	20,695	16,955	22,295	18,48	15,125

Años PHV Pico de Velocidad de Crecimiento	Centímetros predictivos por crecer y alcanzar la estatura adulta					
	Masculino			Femenino		
	M. Temprano	M. Promedio	M. Tardío	M. Temprano	M. Promedio	M. Tardío
-0,4	22,96	19,88	16,31	21,5	17,8	14,44
-0,3	22,02	18,99	15,54	20,64	17,07	13,69
-0,2	21,07	18,09	14,76	19,77	16,33	12,94
-0,1	20,06	17,13	13,91	18,86	15,54	12,15
0	19,04	16,16	13,05	17,94	14,75	11,36
0,1	18,00	15,19	12,19	17,02	13,94	10,59
0,2	16,96	14,21	11,32	16,09	13,13	9,81
0,3	15,94	13,28	10,52	15,20	12,35	9,12
0,4	14,92	12,35	9,71	14,3	11,56	8,42
0,5	13,97	11,50	8,99	13,47	10,84	7,81
0,6	13,01	10,65	8,27	12,64	10,11	7,2
0,7	12,14	9,89	7,61	11,88	9,44	6,66
0,8	11,26	9,12	6,94	11,11	8,77	6,12
0,9	10,48	8,45	6,32	10,40	8,15	5,63
1	9,7	7,78	5,7	9,69	7,52	5,13
1,1	9,02	7,19	5,12	9,04	6,95	4,69
1,2	8,33	6,59	4,54	8,39	6,37	4,24
1,3	7,72	6,07	4,03	7,80	5,85	3,85
1,4	7,11	5,54	3,51	7,2	5,33	3,46
1,5	6,58	5,08	3,08	6,67	4,88	3,13
1,6	6,04	4,62	2,64	6,14	4,42	2,8
1,7	5,57	4,21	2,28	5,67	4,03	2,53
1,8	5,1	3,8	1,92	5,19	3,64	2,25
1,9	4,68	3,45	1,64	4,78	3,32	2,04
2	4,26	3,09	1,35	4,36	2,99	1,82
2,1	3,89	2,79	1,13	4,00	2,72	1,64
2,2	3,52	2,48	0,91	3,63	2,45	1,46
2,3	3,19	2,22	0,75	3,31	2,22	1,32
2,4	2,86	1,96	0,58	2,99	1,99	1,18
2,5	2,58	1,74	0,45	2,71	1,80	1,06
2,6	2,29	1,52	0,32	2,42	1,6	0,94
2,7	2,04	1,34	0,23	2,17	1,43	0,84
2,8	1,78	1,16	0,13	1,92	1,26	0,74

Años PHV Pico de Velocidad de Crecimiento	Centímetros predictivos por crecer y alcanzar la estatura adulta					
	Masculino			Femenino		
	M. Temprano	M. Promedio	M. Tardío	M. Temprano	M. Promedio	M. Tardío
2,9	1,56	1,02	0,07	1,67	1,11	0,66
3	1,34	0,87	0	1,42	0,96	0,57
3,1	1,15	0,75	0,00	1,25	0,83	0,49
3,2	0,96	0,63	0	1,07	0,69	0,41
3,3	0,80	0,53	0,00	0,90	0,58	0,35
3,4	0,64	0,43	0	0,72	0,46	0,28
3,5	0,51	0,35	0,00	0,58	0,36	0,23
3,6	0,37	0,27	0	0,43	0,26	0,17
3,7	0,27	0,20	0,00	0,31	0,19	0,13
3,8	0,16	0,12	0	0,19	0,11	0,08
3,9	0,08	0,06	0,00	0,10	0,06	0,04
4	0	0	0	0	0	0

Fuente: Global Isak (2019).

Con la anterior información se generó la proyección de estatura adulta que es el resultado de la suma de la estatura con los centímetros predictivos por crecer. Todas estas evaluaciones permiten obtener variables que pueden identificar posibles talentos deportivos, esto sobre los requerimientos de cada deporte.

Por otro lado, para la evaluación de la capacidad cardiorrespiratoria se aplicó el test de Ruffier Dickson, validado para la población por el estudio de Chalapud-Narváez *et al.* (2023) que consiste en la ejecución de 30 sentadillas en un tiempo de 30 a 45 segundos, antes de esta ejecución se tomó la frecuencia cardíaca en reposo (P0) durante 15 segundos, al finalizar las sentadillas se volvió a tomar la frecuencia cardíaca (P1) en el mismo tiempo, y al pasar un minuto de terminar la prueba se tomó nuevamente la frecuencia cardíaca (P2). Una vez con estos registros se aplicó la fórmula $(4 \times (P0 + P1 + P2) - 200) / 10$, para así poder generar la clasificación en 0: excelente, 1 a 5: muy bueno, 6 a 10: bueno, 11 a 15: suficiente, y >15: insuficiente.

Plan de análisis de datos

El plan de análisis de datos se realizó por medio del Software estadístico SPSS v.23.0. Se aplicó estadística descriptiva por medio de medidas de tendencia central, de dispersión y de distribución. También, se aplicó pruebas

de normalidad a las variables numéricas por medio de la prueba Shapiro-Wilks y se tuvo en cuenta una significación de $p > 0.05$.

Consideraciones éticas

El estudio cumple con los requerimientos para investigaciones con seres humanos estipulados en la Resolución 8430 (Resolución 8430 de 1993, 1993) relacionadas a la firma del consentimiento y/o asentimiento información, participación voluntaria y uso de la información con fines académicos e investigativos. Por otro lado, desde la declaración de Helsinki (Manzini, 2000), se declara que es una investigación de riesgo mínimo. La investigación está avalada por el Consejo de Investigación de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca bajo la ID:04_2030 mediante la Resolución 120 del 2022.

Resultados parciales

Teniendo en cuenta los resultados parciales del trabajo de campo, a continuación, se presentan la interpretación de estos; de la población objeto de estudio el 10% es de sexo femenino; el 20% es de etnia indígena y el 5% afrocolombiana; el 90% practica el deporte de manera recreativa. El 90% de la población pertenece al estrato socioeconómico bajo-bajo (1) y bajo (2); con relación al grado escolar el 50% cursa el grado sexto; la posición de juego de los deportistas en un 45% está sin definir. Finalmente, el 65% de los deportistas tiene un bajo peso (tabla 3).

Tabla 3. Resultados de las variables categóricas de la caracterización sociodemográfica de la población.

Variable	Valores	Frecuencia (n=20)	Porcentaje (100%)
Sexo	Femenino	2	10%
	Masculino	18	90%
Etnia	Mestizo	15	75%
	Indígena	4	20%
	Afrocolombiano	1	5%
Categoría deportiva	Recreativo	18	90%
	Competitivo	2	10%

Variable	Valores	Frecuencia (n=20)	Porcentaje (100%)
Grado escolar	Cuarto	1	5%
	Quinto	6	30%
	Sexto	10	50%
	Séptimo	2	10%
	Octavo	1	5%
Estrato socioeconómico	Bajo-bajo	7	35%
	Bajo	11	55%
	Medio bajo	2	10%
Posición de juego	Arquero	3	15%
	Cierre	2	10%
	Ala	3	15%
	Pivot	3	15%
	Sin definir	9	45%
Clasificación IMC	Bajo peso	13	65%
	Adecuado	6	30%
	Sobrepeso	1	5%

Fuente: elaboración propia.

Desde la caracterización también se hizo indagación sobre la experiencia deportiva encontrando que los deportistas practican fútbol sala un promedio de 2,8 días a la semana con un mínimo de días de 2 y máximo de 6. Con relación al tiempo de cada sesión de entrenamiento se encontró un promedio de 106,3 minutos con una desviación estándar de 15,12 minutos, con un valor mínimo de 90 y máximo de 120 minutos. El tiempo que se dedica al calentamiento durante el entreno tuvo un promedio de 21,3 minutos con una desviación estándar de 6,86 minutos, con un valor mínimo de 15 y máximo de 30 minutos. Y finalmente, con relación al tiempo dedicado al estiramiento este tuvo un promedio de 14,3 minutos con una desviación estándar de 4,38 minutos, con un valor mínimo de 10 y máximo de 20 minutos, como se evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 4. Caracterización de experiencia deportiva

Variable	Media	Mediana	Moda	DS	MIN	MAX
Días de entreno semanal	2,8	3	3	0,91	2	6
Tiempo de duración de entreno (min)	106,3	117,5	120	15,12	90	120
Tiempo dedicado al calentamiento (min)	21,3	20	15	6,86	15	30
Tiempo dedicado al estiramiento (min)	14,3	15	10	4,38	10	20

Fuente: elaboración propia.

Con respecto a la clasificación de la capacidad cardiorrespiratoria se encontró que el 65% de los deportistas tuvieron una clasificación de Bueno, un 15% de Muy Bueno, y un 20% se clasificó en insuficiente.

Desde las mediciones antropométricas la población presenta un promedio de 10,8 con una desviación estándar de 1,06 años, con una edad mínima de 9 años y máxima de 12 años. Con relación al peso tuvo un promedio de 37,2 con una desviación estándar de 8,28 Kg con un peso mínimo de 22,9 y máximo de 55,5 Kg. Con relación a la talla tuvo un promedio de 1,42 con una desviación estándar de 0,06 metros con una talla mínima de 1,25 y máxima de 1,49 metros. Con relación a la talla sentado, presentó un promedio de 60,8 con una desviación estándar de 10,88 centímetros, con un valor mínimo de 42 y máximo de 79 centímetros. Finalmente, la envergadura tuvo un promedio 142,4 con una desviación estándar de 6,93 metros con una envergadura mínima de 126 y máxima de 157 metros.

Tabla 5. Medidas antropométricas de la población

Variable	Media	Mediana	Moda	DS	MÍN	MÁX
Edad (años)	10,8	11	11	1,06	9	12
Peso (kg)	37,2	35,6	29,5	8,28	22,9	55,5
Talla (M)	1,42	1,43	1,46	0,06	1,25	1,49
Talla sentado	60,8	61	73	10,88	42	79
Envergadura (cm)	142,4	142	142	6,93	126	157

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos con la proyección realizada del índice de maduración y crecimiento de los deportistas, se encontró que el 50% se encuentra con una clasificación de madurador promedio y madurador tardío, respectivamente; por otro lado, el promedio de los centímetros por crecer de la población objeto es de 34,29 cm con una desviación estándar de 6,41 cm por crecer, con un valor mínimo de 19,8 y valor máximo de 43,73 cm; en adición a ello, se encuentran los resultados sobre la proyección de talla adulta en donde el promedio es de 176,69 con una desviación estándar de 7,14 cm con un valor mínimo de 158,52 y valor máximo de 186,9 (tabla 5).

Tabla 5. Proyección del índice de maduración y crecimiento de cada deportista. M: masculino; F: femenino

Suje-to	Sexo	Longitud de pierna	Índice de maduración (PHV)	Edad PHV	Clasificación PHV	Cms por crecer	Proyección de talla adulta
1	M	76	-3,0	14,6	Madurador promedio	30,06	174,06
2	M	85	-4,4	14	Madurador promedio	40,9	186,9
3	M	84	-4,9	15,1	Madurador tardío	34,73	178,9
4	M	84	-3,4	14,8	Madurador promedio	37,06	185,06
5	M	82	-4,1	15	Madurador promedio	40,9	181,9
6	M	83	-3,6	15,7	Madurador tardío	32,94	175,94
7	M	77	-3,9	14,6	Madurador promedio	40,35	180,35
8	M	73	-1,7	15,5	Madurador tardío	24,27	169,27
9	M	72	-2,9	14,9	Madurador promedio	34,54	174,54
10	M	72	-2,5	14,1	Madurador promedio	32,56	177,56

Suje- to	Sexo	Longitud de pierna	Índice de madura- ción (PHV)	Edad PHV	Clasificación PHV	Cms por crecer	Proye- cción de talla adulta
11	M	70	-1,7	13,1	Madurador promedio	28,49	177,49
12	M	80	-2,6	15,7	Madurador tardío	28,49	174,49
13	M	74	-2,1	14,2	Madurador promedio	30,57	179,57
14	F	70	-0,7	12,6	Madurador promedio	19,80	162,8
15	M	91	-4,9	17,1	Madurador tardío	38,73	180,73
16	M	83	-6,3	15,6	Madurador tardío	43,73	168,73
17	F	81	-2,9	13,2	Madurador tardío	28,52	158,52
18	M	88	-4,9	17,2	Madurador tardío	38,73	174,73
19	M	93	-5,0	15,1	Madurador tardío	38,73	184,73
20	M	92	-5,7	17,1	Madurador tardío	41,63	179,63

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la evaluación de la conducta alimentaria, la población objeto de estudio en el puntaje total de la calidad de dieta presentó un promedio de 4,9 con una desviación estándar de 1,68 con un valor mínimo de 3 y máximo de 8, en cuanto al puntaje de horas de ver televisión y uso de videojuegos presentó un promedio de 2,55 con una desviación estándar de 1,19 con un valor mínimo de 1 y máximo de 4, finalmente en cuanto al puntaje de horas de actividad deportiva extraescolar, presentó un promedio de 2,7 con una desviación estándar de 0,73 con un valor mínimo de 2 y máximo de 4.

Para finalizar la presentación de resultados parciales, desde la clasificación de la calidad de dieta, se evidenció que el 25% de los deportistas evaluados se clasificó con un nivel nutricional muy bajo, el 70% con un

nivel nutricional medio y el 5% con un nivel nutricional alto; sumado a ello se encuentra la clasificación con relación al tiempo de ver televisión o jugar videojuegos y la actividad deportiva extraescolar, encontrando que el 15% de los deportistas se encuentra en categoría mala, el 55% en categoría regular, y el 30% en categoría buena (tabla 6).

Tabla 6. Resultados del Test Krece Plus

Variable	Valores	Frecuencia (n=20)	Porcentaje (100%)
Clasificación calidad de dieta	Nivel nutricional muy bajo	5	25%
		14	70%
	Nivel nutricional medio	1	5%
	Nivel nutricional alto		
Clasificación test de horas	Mala	3	15%
	Regular	11	55%
	Buena	6	30%

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Basados en los resultados parciales y la caracterización de la población objeto de estudio, se puede obtener tres conclusiones parciales:

Los datos revelan una diversidad significativa en la población estudiada. Un hallazgo importante es que solo el 10% de los deportistas son mujeres, lo que sugiere una brecha de género en la participación en el Fútbol Sala en esta comunidad. Además, se observa que un 20% pertenece a la etnia indígena y un 5% a la afrocolombiana, lo que resalta la diversidad étnica en la población deportiva. La mayoría de los participantes (90%) practican el deporte de manera recreativa, lo que puede indicar que el enfoque competitivo es menos común en este grupo.

Los deportistas practican Fútbol Sala en promedio 2,8 días a la semana, lo que indica un compromiso regular con el deporte. Sin embargo, el tiempo promedio de entrenamiento (106,3 minutos) es relativamente corto, lo que podría influir en el desarrollo de habilidades. Además, se observa que el tiempo dedicado al calentamiento y estiramiento es adecuado en la mayoría de los casos, lo que sugiere una atención a la prevención de lesiones.

Los resultados de la capacidad cardiorrespiratoria indican que la

mayoría de los deportistas (65%) tienen una clasificación de “Bueno”. En términos de alimentación, la mayoría de los deportistas (70%) tienen una calidad de dieta clasificada como “medio”. Sin embargo, el 25% de los deportistas muestra una calidad de dieta “muy baja”, lo que puede indicar la necesidad de intervenciones nutricionales. En cuanto a las horas dedicadas a ver televisión o jugar videojuegos y la actividad deportiva extraescolar, la mayoría (55%) se encuentra en la categoría “regular”, lo que sugiere espacio para mejorar los hábitos relacionados con la actividad física y el tiempo de pantalla.

Finalmente, se puede concluir que la mitad de los deportistas son maduradores tempranos lo que se relaciona a una proyección temprana de posibles talentos deportivos, ya que el 25% tiene una proyección de estatura adulta por encima de la estatura de 1,80 m, pero que no es definitiva para el fútbol sala, ya que para esto se deben generar las evaluaciones de otras capacidades y variables situacionales deportivas.

Referencias

- Agudelo Velásquez, C. (2018). Herramienta de Excel para la detección y seguimiento del talento deportivo. In *Educación a través del Deporte* (Vol. 1, pp. 455–460). Asociación Didáctica Andalucía.
- Agudelo-Velásquez, C. A., & Ortiz-Uribe, M. (2020). Aproximación al concepto de talento deportivo (TD). *Revista Digital: Actividad Física y Deporte*, 6(2), 158–171. <https://doi.org/10.31910/rdafd.v6.n2.2020.1574>
- Ander, C., Aitor, I., & Yanci, J. (2020). Asociación entre las características antropométricas y la condición física en jugadores de baloncesto en silla de ruedas. *Sport TK: Revista Euroamericana de Ciencias Del Deporte*, 9(2), 17–26. <http://revistas.um.es/sportk>
- Bucheli J, Vera J, & Jaimes M. (2017). REVISTA ACTIVIDAD FISICA Y DESARROLLO HUMANO MODELO PARA LA ORIENTACION DE TALENTOS EN FUTBOL SALA FEMENINO.
- Castro González, D. (2019). Detección de talentos: propuesta de un instrumento para la evaluación del aspecto psicológico (CST- 40). *Revista Ciencias de La Actividad Física*, 20(2), 1–13. <https://doi.org/10.29035/rcaf.20.2.1>
- Chalapud-Narvaéz, L., Molano-Tobar, N., Imbachi-Sánchez, J., & Riascos-Cortes, E. (2023). Relación del nivel de sedentarismo con la capacidad cardiorrespiratoria de estudiantes de secundaria, Popayán- Colombia. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas* , 42(e1643), 1–13. <https://orcid.org/0000-0003-4047-7105>
- Correa, M., Gutiérrez, J., & Martínez, J. (2013). Hábitos alimentarios y de actividad física en escolares de la provincia de Granada. *Nure Investigación*, 67, 1–8.
- De Freitas, V. H., Guarnier, F. A., Alves, T., Soares-Caldeira, L. F., Zagatto, A. M., & De Paula Ramos, S. (2021). Effects of light-emitting Diode therapy on recovery of adult male Futsal players. *Apunts. Educacion Fisica y Deportes*, 146, 52–60. <https://doi.org/10.5672/APUNTS.2014-0983>. ES.(2021/4).146.06
- Delgado-Navas, J. D., & Bravo-Navarro, W. H. (2021). Propuesta de criterios de selección de talentos en la escalada deportiva. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 6(2), 156. <https://doi.org/10.35381/r.k.v6i2.1233>
- Fernanda Corredor-Serrano, L., Camilo García-Chaves, D., & Adolfo Arboleda-Franco, S. (n.d.). Composición corporal y somatotipo en jugadores de baloncesto universitario colombianos por posición de juego Body composition and somatotype in Colombian college basketball players by playing position. In *Retos* (Vol. 45). <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/index>
- Hernández, M., & Cumbreira, D. (2022). Selección e iniciación de talentos; su eficacia para el alto rendimiento. *Ciencia y Educación*, 3(7), 15–27.

<https://orcid.org/0000-0001-7307-7840>

- Manzini, J. L. (2000). Declaración de Helsinki: principios éticos para la investigación médica sobre sujetos humanos. *Acta Bioethica*, 6(2), 321–334. <https://doi.org/10.4067/S1726-569X2000000200010>
- Toala Pilay, M., Romero Castro, V., Romero Castro, R., Paladines Morán, J., Romero Castro, M., Murillo Quimiz, I, & Figueroa Morán, G. (2018). Estudio estadístico, antropométrico y multidimensional para determinar la selección de talentos en la iniciación deportiva. *Revista Ciencia y Tecnología*, 18(16), 218–235. <http://cienciaytecnologia.uteg.edu.ec>
- Medina Gómez, D. (2020). Propuesta de selección de talentos, basada en indicadores físicos y antropométricos de gimnasia artística. *Revista Actividad Física y Desarrollo Humano*, 11, 1–7.
- Resolución 8430 de 1993, 1 (1993).
- Nogueira, F. C. de A., de Freitas, V. H., Nogueira, R. A., Miloski, B., Werneck, F. Z., & Bara-Filho, M. G. (2018). Mejora del rendimiento físico, perfil hormonal, balance estrés-recuperación y aumento del daño muscular basado en la planificación específica de pretemporada en el fútbol sala. *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte*, 11(2), 63–68. <https://doi.org/10.1016/j.ramd.2015.11.008>
- Olimpo, E., Tapia, V., Guillermo, H., & Arcos, A. (2021). Structuring a selection test for talents in sport A estruturação de um teste de seleção para talentos no esporte. *Revista PODIUM*, Septiembre-Diciembre, 16(3), 685–699. <http://podium.upr.edu.cu/index.php/podium/article/view/948>
- Paucar Tipán, M., & Calero Morales, S. (2018). Baremos físicos para detección y selección general de talentos deportivos del cantón Rumiñahui. <http://www.efdeportes.com/index.php/EFDeportes/article/view/764>
- Sánchez Espinoza, O. F., Gustavo Díaz, L., & Tocto Lobato, J. G. (2021). La capacidad condicional de resistencia: Su relación con la selección de talentos deportivos en la ESPOCH. *AlfaPublicaciones*, 3(3.1), 290–310. <https://doi.org/10.33262/ap.v3i3.1.98>
- Villamarin-Menza, S., Zaldívar-Pérez, B., & Siret-Alfonso, J. R. (2021). La edad morfológica como instrumento para la selección de talentos en escolares colombianos de 11 a 14 años. *Revista Digital: Actividad Física y Deporte*, 7(1), 1–14. <https://doi.org/10.31910/rdafd.v7.n1.2021.1763>

CAPÍTULO 8.

Implementación del modelo de periodización contemporánea ATR en deportistas de clase T1 - T2 de la comisión departamental de Paracycling del Cauca

CRISTIAN ALEXIS LASSO QUILINDO¹
LUZ MARINA CHALAPUD NARVÁEZ²
LADY YOLIMA GÓMEZ CHÁVEZ³

Resumen

El objetivo del estudio es realizar un análisis de la implementación del modelo de periodización contemporánea ATR en deportistas de clase T1 - T2 de la Comisión Departamental de Paracycling del Cauca. Metodológicamente se planificó 6 semanas de entrenamiento con el modelo ATR de Issurin y Kaverin y el método HIIT utilizado 2 veces por semana. Se evaluó la composición corporal con el método de impedancia eléctrica y uso del perfil restringido de cineantropometría de la ISAK. La condición física se valoró adaptando protocolos a las características de la discapacidad de los deportistas y las demandas fisiológicas de la competición. La potencia de los miembros inferiores se midió en Watts en el cicloergómetro Cyclus 2, con la prueba anaeróbico Wingate y la prueba incremental de Astrand-rhyming para determinar la capacidad aeróbica, registrando la FC y la RPE. Las pruebas de rendimiento se hicieron en un circuito cerrado y controlado a través de una contrarreloj de 14 y 20 kilómetros para los deportistas de clase

1 Profesional en Entrenamiento Deportivo, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Joven Investigador, cristian.lasso.q@uniautonom.edu.co

2 Magister en Intervención Integral en el Deportista, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Docente Investigadora del programa Entrenamiento Deportivo, luz.chalapud.n@uniautonom.edu.co

3 Magister en Educación, Estudios del Cuerpo y la Motricidad, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Docente Investigadora del programa Entrenamiento Deportivo, lady.gomez.c@uniautonom.edu.co

T1 y T2 respectivamente. Se concluye que el modelo de periodización ATR y el método de entrenamiento HIIT aplicados a deportistas de paracycling contribuye con el control de carga de entrenamiento, la preparación física y rendimiento atlético.

Palabras clave: Paracycling, Periodización Contemporánea, ATR, Planificación deportiva, Carga del Entrenamiento.

Introducción.

La discapacidad es una interpretación social que aparece como una forma de exclusión que vulnera derechos fundamentales y la participación ciudadana de los sujetos que tienen deficiencias físicas, sensoriales o cognitivas, porque el contexto social no cuenta con las herramientas necesarias para facilitar la participación integral de las personas con discapacidad en los diferentes escenarios (Muñoz-Galíndez *et al.*, 2020). Ante la vulnerabilidad social en que está inmersa las personas con discapacidad, el deporte adaptado y las diferentes redes de apoyo son la llave para aumentar las posibilidades de inclusión desde el componente social y desde el ámbito deportivo permite para mejorar la composición corporal, la condición física y el rendimiento deportivo (Muñoz *et al.*, 2022).

El campo del deporte adaptado tiene un propósito deportivo desde lo recreativo o competitivo, y se ha convertido en un mecanismo de inclusión social que mejora la calidad de vida para esta población de deportistas (Cardoso *et al.*, 2020). El deporte adaptado surge de la mano de el medico Ludwig Guttmann, quien utilizó esta alternativa de rehabilitación con soldados que sufrieron mutilaciones y quedaron con secuelas físicas después de la segunda guerra mundial (Reina *et al.*, 2021). Actualmente, se ha formalizado la práctica de deportes no convencionales colectivos e individuales con la constitución y acogida de federaciones nacionales e internacionales que tienen el objetivo de reglamentar y clasificar a los deportistas siguiendo los parámetros del Comité Paralímpico Internacional (International Paralympic Committee, 2015).

En este sentido, está el paracycling que es un deporte que hace parte del sistema paralímpico y es el tercer para-deporte más importante de los Juegos Paralímpicos (Liljedahl *et al.*, 2021). La Unión Ciclista Internacional [UCI por sus siglas en inglés] dirige y rige las competiciones en cada modalidad deportiva del paracycling y es la encargada de las clasificaciones funcionales junto con el Comité Paralímpico Internacional para establecer la elegibilidad

de una persona con discapacidad y asignarle una clase deportiva en la que competirá en igualdad de condiciones que sus similares (International Paralympic Committee, 2015). Este deporte se caracteriza porque los deportistas con discapacidad física, parálisis cerebral, discapacidad visual y deportistas con lesiones en la medula espinal durante los entrenamientos y competiciones utilizan una bicicleta de carreras convencional, un triciclo, un tándem o una bicicleta a mano respectivamente (Union Cycliste Internationale [UCI], 2023).

Este documento se centra en los deportistas clasificados en la clase deportiva T1 – T2 que compiten en un triciclo (bicicleta de 3 ruedas). En la clase deportiva T1 son elegibles aquellos sujetos que presentan más dificultad para usar el triciclo y tienen mayor severidad a causa de la parálisis cerebral, como hipertonía (espasticidad, poca funcionalidad del tronco y rigidez miembros superiores e inferiores), ataxia (dificultad para hablar, movilizarse y coordinar), o atetosis/distonía (contracciones musculares involuntarias). Por otra parte, en la clase deportiva T2 compiten aquellos atletas con menor afectación de parálisis cerebral porque presentan mayor control del triciclo y los movimientos son más dinámicos respecto a los deportistas de clase T1.

Desde la clasificación funcional de los deportistas y la asignación de una clase deportiva, el entrenador cualifica y dosifica las cargas de entrenamiento externa e interna teniendo en cuenta las características de la discapacidad desde el punto de vista de cuanto esta afecta los rangos y patrones básicos de movimiento (biomecánica), el estrés neuromuscular, cardiovascular, bioquímico y psicológico producido por las demandas fisiológicas de la competencia y los entrenamientos (Morriën *et al.*, 2017; Mujika, 2017). Por consiguiente, sistemáticamente se programan las cargas de entrenamiento en paracycling en un modelo de periodización tradicional o contemporáneo y también se monitorizan las respuestas o adaptaciones fisiológicas inducidas por el programa de entrenamiento en cuanto a variables del volumen, intensidad y la recuperación dosificada individualmente a través de métodos y medios de entrenamiento que generan un estímulo fisiológico sobre los sistemas energético, neuromuscular, cardiovascular y cardiorrespiratorio (Iturricastillo *et al.*, 2018; Picabea *et al.*, 2017; Yanci *et al.*, 2015).

Junto a lo anterior, las pruebas en las que compiten los deportistas de paracycling en la clase deportiva T1 están compuestas por una contrarreloj de 15 kilómetros y una carrera de ruta de 30 kilómetros. Similar a esto, los deportistas de paracycling de la clase deportiva T2 compiten en una carrera de contrarreloj de 20 kilómetros y una carrera de ruta de 40 kilómetros. En este sentido, las variables o características individuales desde el tipo de

limitación motriz, la condición física y del rendimiento deportivo deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar y programar preparación física en el paracycling (Kim *et al.*, 2017). Adicional a esto, existen otros factores que condicionan el modelo de periodización, como lo son el tiempo invertido en el inicio de la temporada; el número de participaciones en competiciones locales, nacionales e internacionales; los horarios de entrenamiento y competición; los factores ambientales, sociales y personales, los medios e implementos deportivos, la correcta adaptación mecánica de la tricicleta; y sobre todo la autoconfianza de los deportistas que tienen discapacidades adquiridas a la hora de afrontar las cargas de entrenamiento y competiciones (Prieto & Larumbe, 2021).

En este contexto, la periodización del entrenamiento debe responder a las necesidades y características propias de los deportistas de paracycling, permitiendo estructurar una temporada deportiva desde los principios pedagógicos y del entrenamiento a partir de aspectos generales a específicos de la preparación física, técnica, táctica, psicológica y de rendimiento (Pastor Chirino *et al.*, 2019). Teniendo en cuenta lo anterior, la evidencia científica sigue siendo escasa, especialmente para dosificar y ajustar las cargas de entrenamiento en paracycling, específicamente en los deportistas con parálisis cerebral debido al desorden neurológico originado, donde está ocasiona movilidad reducida y actividad limitada (González, *et al.*, 2016).

Estudios anteriores, en personas con parálisis cerebral han buscado implementar diferentes métodos de entrenamiento para mejorar la composición corporal y la condición física, dentro de estas investigaciones presentan protocolos de valoración de la resistencia aeróbica y anaeróbica, pruebas de velocidad compuestas por sprints de 5 a 80 m, test de flexibilidad y test de fuerza aplicados sobre todo en los miembros inferiores; adicionalmente se ha medido la composición corporal con métodos de impedancia eléctrica y uso de la cineantropometría para conocer los porcentajes de los tejidos corporales; y finalmente, se han hecho cuestionarios psicológicos y subjetivos para conocer y controlar la percepción del esfuerzo de los participantes (Lauglo *et al.*, 2016; Schranz *et al.*, 2018; Zwinkels *et al.*, 2019). Es importante mencionar que los experimentos realizados con los sujetos con parálisis cerebral, es con poblaciones sedentarias o medianamente activas y no manifiestan seguir un modelo de periodización tradicional o contemporánea.

Por consiguiente, este estudio realiza un análisis de la implementación del modelo de periodización contemporánea ATR (Acumulación-Transformación-Realización) en deportistas de clase T1 - T2 de la Comisión

Departamental de Paracycling del Cauca. Este modelo de periodización contemporáneo se caracteriza por ser un sistema de planeación sistemático y controlado que permite al entrenador y deportista alcanzar la forma atlética y deportiva varias veces durante la temporada (Agudelo-Velásquez, 2019; Neme Nova *et al.*, 2021).

Modelo de Periodización Contemporánea ATR en deportistas de Paracycling Clase T1-T2.

Inicialmente, la periodización del entrenamiento deportivo permite estructurar una programación o plan de trabajo en fases y sub-fases que permiten dosificar las cargas de entrenamiento de manera progresiva y ondulatorias para que los deportistas obtengan el mejor rendimiento en el transcurso y final de la temporada competitiva (Bompa & Buzzichelli, 2015). Dentro de los modelos de periodización más utilizados en deportes de conjunto e individuales está el modelo clásico de Matveev y el modelo contemporáneo ATR (Galeano-Virgen *et al.*, 2023). Siendo el modelo de periodización ATR de Issurin y Kaverin el más empleado en el ciclismo debido a la concentración de las cargas sobre capacidades condicionales específicas del deporte, y objetivos técnicos – tácticos propios de la preparación física y la etapa competitiva (Hansen & Rønnestad, 2017; Marques Junior, 2020).

La planificación por ATR propone un “entrenamiento por secuencia en bloques, en las que las cargas de entrenamiento van centradas a un mínimo de capacidades físicas, motrices y técnicas, haciendo que las cargas sean mucho más especializadas y centradas a diferencia de la planificación tradicional” (Neme Nova *et al.*, 2021, p. 5). El modelo ATR se compone de 3 mesociclos (Agudelo-Velásquez, 2019; Bompa & Buzzichelli, 2015; Charchabal Pérez *et al.*, 2018; Prieto-González & Larumbe-Zabala, 2021), un mesociclo de *Acumulación (A)* que se caracteriza porque tiene una duración del 30 - 50% del total del ATR y es donde las cargas de entrenamiento adaptan o preparan el organismo para altas concentraciones de volumen en kilómetros e intensidad baja en watts de potencia en el paracycling, esto con el propósito de fortalecer la resistencia aeróbica (sistema energético oxidativo y cardiovascular) y la fuerza máxima (sistema neuromuscular), dado que esto permite generar efectos residuales de largo plazo.

El mesociclo de *Transformación (T)* dura entre el 20-40% del ATR, en este periodo de tiempo se aumentan las cargas, el volumen de entrenamiento

es moderado y la intensidad es alta, asemejándose a las exigencias físicas (potencia aeróbica máxima, velocidad y fuerza específica) y técnicas propias de la competición, es decir, el deportista requiere asimilar las condiciones de la prueba de ruta o contrarreloj. Finalmente, está el mesociclo de *Realización (R)* que abarca del 10-30% del ATR implementado en la temporada deportiva, este mesociclo se describe porque es la etapa donde el atleta debe llegar al pico del rendimiento deportivo en competencia y debe desarrollar un mayor nivel técnico y táctico para las pruebas (Mujika *et al.*, 2016).

En este orden de ideas, es importante señalar que este trabajo hace parte de un proyecto de investigación efectuado con deportistas de la Liga Caucana de Para Atletismo y deportistas de la Comisión Departamental de Paracycling del Cauca, en este espacio como se ha dilucidado a lo largo del documento se presenta el modelo de periodización ATR implementado individualmente en 4 deportistas de paracycling de clase deportiva T1-T2. Para llevar a cabo este análisis y presentar una estructura válida para trabajar con esta población de deportistas no convencionales, se siguieron las siguientes fases que permitieron la aplicación de un programa de entrenamiento durante 6 semanas:

- a. Inicialmente, se rastreó la literatura en la construcción de un artículo de revisión narrativa que serviría de guía para establecer las cargas de entrenamiento externas e internas en deportistas con discapacidad (parálisis cerebral), se retomaron postulados científicos en el deporte paralímpico que hubieran utilizados estudios experimentales mediante el uso de protocolos de valoración de la composición corporal, la condición física y el rendimiento deportivo en el paracycling tanto para el pretest, intervención y posttest;
- b. Realizada la estructuración del proyecto de investigación en cuanto a la fase de intervención utilizando el modelo de periodización ATR, se consultó al presidente y entrenador encargado de los deportistas Caucaños de paracycling clase deportiva T1-T2 y se socializó el proyecto de investigación junto con los deportistas para la participación en el mismo;
- c. Consultada la población objeto de investigación, sistemáticamente, y en conjunto con el entrenador de la Comisión Departamental de Paracycling del Cauca se ajustó el programa de entrenamiento de forma general e individual teniendo en cuenta el principio de individualización y enfatizando en las características funcionales de cada deportista y las demandas fisiológicas de las pruebas en las que compiten;

- d. Una vez dosificada la carga de entrenamiento de los deportistas, se envió a evaluación a 2 pares expertos con trayectoria en el campo paralímpico a nivel nacional e internacional para recibir sugerencias o recomendaciones en cuanto al objetivo, protocolos de valoración de la composición corporal, de la condición física y el rendimiento deportivo, y del proceso de dosificación de la carga de entrenamiento para los deportistas según la clase deportiva;
- e. Recibida la evaluación y retroalimentación de los pares expertos, se procedió a realizar los ajustes solicitados y posterior implementación del programa de entrenamiento durante 6 semanas, de las cuales 2 semanas se utilizaron para el pretest y el posttest, y 4 semanas se usaron para implementar un método de entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT).

En referencia a las pruebas utilizadas al inicio y final del estudio, en la semana 1 se trabajó 2 días, se indicó al entrenador y deportistas abstenerse de realizar actividades extenuantes 48 horas de las pruebas. El primer día se citó a los deportistas en el laboratorio para explicar nuevamente el objetivo del estudio, firmar el consentimiento informado y realizar el procedimiento de medición con pruebas convalidadas. Los atletas vaciaron su vejiga, para empezar con las pruebas de evaluación de la composición corporal con el método de impedancia eléctrica (Tecnología de OMRON Healthcare, balanza OMRON modelo HBF-514C, Japón) y utilizando el método de cineantropometría del perfil restringido (21 puntos de medición) compuesto por 4 medidas básicas (peso, talla, talla sentado y envergadura), 8 pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, bíceps, cresta iliaca, supraespinal, abdominal, muslo anterior y pantorrilla medial), perímetros (brazo relajado, brazo flexionado, cintura mínima, cadera máximo, muslo medio y pantorrilla máximo) y diámetros (humeral, biestiloideo y femoral) que lo realizó un antropometrista nivel 1 certificado por la ISAK (Sociedad Internacional para el Desarrollo de la Cineantropometría). Después de las mediciones antropométricas, se realizaron las pruebas de potencia en Watts adaptando los protocolos en el ergometro de bicicleta Cyclus 2 (Avantronic, Cyclus 2, Leipzig, Alemania). La primera prueba de potencia realizada fue el test anaeróbico de Wingate que consiste en que los deportistas deben pedalear contra una resistencia (0.075 kg por kilogramo de peso corporal) a máxima velocidad durante 30 segundos para determinar el pico de potencia que se presenta a los 6 segundos; los deportistas hicieron un calentamiento estandarizado de 10 minutos con una cadencia de 60 revoluciones por minuto

(rpm) y movilizándolo 70 watts de potencia. La carga para los deportistas de clase T1 se estableció una cadencia de 70 rpm y para los deportistas T2 la cadencia fue 90 rpm, el protocolo inició con la indicación de salida desde una posición parada sobre los pedales y con la pierna dominante ubicada para dar el arranque. Los deportistas realizaron 3 intentos alternados de 10 minutos de recuperación y se tuvo en cuenta el mejor resultado.

Transcurrida una hora, se procedió con la prueba de resistencia aeróbica a través de un protocolo incremental escalonado denominado Astrand-rhyning, el cual consiste en que los deportistas deben movilizar en el mayor tiempo posible una carga acumulativa que se agrega cada determinado tiempo. La prueba empieza con un calentamiento estandarizado de 10 minutos con una cadencia de 60 revoluciones por minuto (rpm) y movilizándolo 60 watts de potencia. Luego, el test inicia con una carga inicial de 100 watts y luego son sometidos a una carga creciente 25 watts cada 2 minutos y manteniendo entre 80 rpm hasta llegar al agotamiento en el caso de los deportistas de clase deportiva T2. Para los atletas T1, la carga inicial es de 70 watts y luego son sometidos a una carga creciente de 15 watts cada 2 minutos y manteniendo entre 60 rpm hasta no poder soportar la carga de trabajo (Kim *et al.*, 2017). En esta prueba se monitorizó la respuesta fisiológica de la frecuencia cardíaca (FC) cada vez que los deportistas avanzaban un escalón y la FC máxima, el dispositivo utilizado fue un sensor de banda de pecho Polar H10 (Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia) enlazado al Cyclus 2. Adicional a esto, al final de la prueba se solicitó a los deportistas la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE) de la escala de BORG modificada de 0 a 10, siendo 0 poco intenso y 10 muy intenso (Bellinger *et al.*, 2020; Fernandes, *et al.*, 2024).

En el segundo día en las horas de mañana, pasadas 48 horas de las pruebas iniciales en el laboratorio, los deportistas fueron citados en un circuito cerrado de 853 metros de distancia con sus tricicletas para realizar las pruebas de rendimiento. Los deportistas realizaron un calentamiento estandarizado de 20 minutos dando 5 vueltas a la pista a una velocidad cómoda. El tiempo se registró de manera manual (cronómetro M6500, Miyagi) y se solicitó a los atletas cubrir la distancia asignada en el menor tiempo posible. Como pruebas de referencia se tuvo en cuenta una carrera de contrarreloj de 14 kilómetros para los deportistas de clase T1 y 20 kilómetros para los deportistas clase T2 (Kim *et al.*, 2017). Ambas clases deportivas hicieron las pruebas en conjunto para simular una carrera de competencia. En la semana 6, nuevamente se realizaron las pruebas bajo

las mismas condiciones iniciales y finales del laboratorio, horario, climáticas y del circuito cerrado para la prueba de rendimiento.

Una vez finalizada la primera semana de valoración inicial se procedió a ajustar las cargas de entrenamiento individual de acuerdo con los resultados obtenidos en cada prueba. El método de entrenamiento empleado para este estudio fue el HIIT que consiste en trabajar ráfagas de intervalos de alta intensidad alternadas con periodos de recuperación activa (Alonso-Fernández *et al.*, 2019; Bahdur *et al.*, 2019). Dentro de las adaptaciones fisiológicas del HIIT se destaca el aumento de la capacidad aeróbica, mejor respuesta del sistema cardiovascular en cuanto al favorecimiento del ventrículo izquierdo en el engrosamiento de sus paredes para aumentar el volumen sistólico y mayor reclutamiento de unidades motoras musculares (Collados-Gutiérrez & Gutiérrez Vilahú, 2023).

El programa de entrenamiento HIIT se hizo durante 4 semanas en el cicloergómetro Cyclus 2, con una frecuencia de 2 veces por semana y una duración de 60 minutos por sesión de trabajo. A partir de las pruebas de potencia anaeróbica y aeróbica se establecieron 4 zonas de entrenamiento en watts (Zona 1: 40-65%; Zona 2: 70-80%; Zona 3: 85-100%; Zona 4: 105-120%) y también desde la FC máxima registrada en el protocolo incremental dosificada en 5 zonas de entrenamiento (Zona 1: 50-60%; Zona 2: 60-70%; Zona 3: 70-80%; Zona 4: 80-90%; Zona 5: 90-100%).

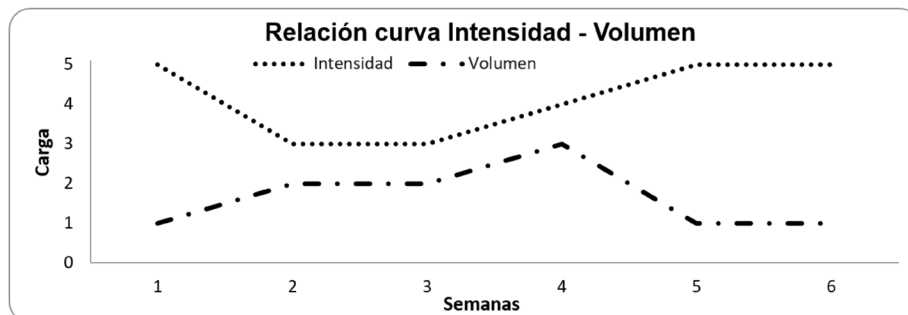
En la tabla 1 se presenta la distribución y dosificación de la carga de entrenamiento general desde el modelo de periodización ATR en deportistas de la Comisión Departamental de Paracycling del Cauca. Esta periodización desde el modelo ATR tiene 3 mesociclos distribuidos de la siguiente forma, un mesociclo de acumulación de 3 semanas (50%), un mesociclo de transformación de 2 semanas (33%) y un mesociclo de 1 semana (17). También está compuesto por 6 microciclos distribuidos en 3 microciclos ajuste, 1 microciclo de carga, 1 microciclo de activación, 1 microciclo competitivo entre los meses de julio y agosto de 2023, con una frecuencia de 2 sesiones semanales de entrenamiento con una duración total de 60 minutos por sesión aproximadamente. Es importante mencionar que, para esta investigación experimental no se tuvo en cuenta la transición (recuperación) después de finalizar las 6 semanas de intervención, porque la solo durante este tiempo y espacio la Comisión Departamental de Paracycling del Cauca habilitó a los deportistas para desarrollar el trabajo de campo.

Tabla 1. Plan Gráfico modelo de periodización ATR en deportistas de la Comisión Departamental de Paracycling del Cauca.

Fecha plan actual: 10 de julio - 20 de agosto			Categoría: T1-T2 (Parálisis Cerebral).			Género: Masculino	
Objetivo	Determinar los efectos de un programa de entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) para mejorar la condición física y el rendimiento deportivo en deportistas de la Comisión Departamental de Paracycling del Cauca.						
Mesociclo		Acumulación (50%)			Transformación (33%)		Realización (17%)
Microciclo		Ajuste	Ajuste	Ajuste	Carga	Activación	Competitivo
No. De microciclos		1	2	3	4	5	6
Mes		Julio			Agosto		
Fecha inicio y final de microciclo		10	17	24	31	7	14
		16	23	30	6	13	20
Días por microciclo		6	6	6	6	6	6
Sesiones por microciclo		2	2	2	2	2	2
Eventos	Fundamentales						
	Preparatorios						
	Test o pruebas						
Método		Pruebas	HIIT Largo	HIIT Largo	HIIT Corto	HIIT Corto	Pruebas
Watts de potencia		Zona 4	Zona 2	Zona 2-3	Zona 3	Zona 3-4	Zona 4
FC		Zona 5	Zona 3	Zona 3-4	Zona 3-4	Zona 5	Zona 5
RPE		9-10	7-8	7-8	8	8-9	9-10
Intensidad		5	3	3	4	5	5
Volumen		1	2	2	3	1	1
Volumen min sesión.		90	60	60	40	30	90
Volumen min. Fase central		70	36	36	20	10	40
Volumen min. Microciclo		180	120	120	80	60	180
Volumen min. Microciclos		420			80	60	180
Volumen min. Mesociclo		420			140		140
Volumen min. Macro ciclo		620					
Prep.física general (min).		10	50	50	50	50	50
Prep.física especial (min).		35	35	35	35	35	35
Prep.técnico-táctica (min).		35	35	35	35	35	35
Total tiempo por sesión		45	85	85	85	85	85

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Carga de entrenamiento externa reflejada en la curva intensidad y volumen en cada semana



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 1 se muestra la relación de la curva del volumen e intensidad de entrenamiento a lo largo del macrociclo de 6 semanas, se presenta en una escala de 1 a 5 siendo el valor más alto, la mayor presencia de volumen o intensidad según el microciclo en que se encuentre la preparación de los deportistas de paracycling. Junto a lo anterior, durante las sesiones de entrenamiento se solicitó a los deportistas la RPE una vez finalizada la fase central y también se monitorizó la respuesta fisiológica cardiovascular mediante la FC utilizando un sensor de banda alrededor del pecho. Esto con el objetivo de no generar episodio de epilepsia o convulsiones y otras alteraciones en los deportistas con parálisis cerebral (American College of Sports Medicine (Estados Unidos), 2014).

Para finalizar, en este apartado solo se presentó las cuestiones metodológicas y prácticas de la periodización contemporánea del entrenamiento desde el modelo de periodización ATR utilizado con los deportistas de la clase deportiva T1 – T2 de la Comisión Departamental de Paracycling del Cauca, los resultados obtenidos en este estudio a partir cada una de las pruebas hechas están siendo analizadas para publicar en un artículo de investigación, por ese motivo no se muestran en este documento.

Conclusiones.

Para concluir, hasta donde se conoce este es un primer estudio que implementa el modelo de periodización ATR en deportistas de clase deportiva T1 – T2 de paracycling. Por consiguiente, esta investigación contribuye con la estructuración de programas de entrenamiento desde

modelos de planificación contemporáneos y el método de entrenamiento HIIT aplicados a deportistas con parálisis cerebral. Además, permite divisar y generar evidencia científica para la clasificación funcional de los deportistas de paracycling, estandarizar protocolos de valoración de la composición corporal, la condición física y el rendimiento deportivo, junto con aplicación de las cargas de entrenamiento que puede soportar este tipo de población a partir de la monitorización de las respuestas y adaptaciones fisiológicas con métodos directos o indirectos.

Adicionalmente, se debe generar alianzas estrategias entre la academia y los diferentes entes deportivos municipales y departamentales para promover los procesos deportivos e investigativos que permitan posicionar al departamento como potencia deportiva en el deporte convencional y no convencional. Finalmente, se resalta que este tipo de experimentos no solo contribuye con la preparación atlética y deportiva de los participantes, también permite generar espacios de inclusión y permitir que otras personas en estas condiciones vean en el deporte adaptado una forma de rehabilitación no farmacológica.

Agradecimientos

El Joven Investigador Cristian Alexis Lasso Quilindo, Tutora Luz Marina Chalapud Narváez y la colaboradora Lady Yolima Gómez Chávez de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, agradecen al Proyecto de Jóvenes Investigadores e Innovadores en el Departamento del Cauca, a la Comisión Departamental de Paracycling del Cauca, al entrenador Fernando Granada Idrobo y en especial a los deportistas por permitir los procesos de investigación.

Referencias

- Agudelo-Velásquez, C. A. (2019). El modelo ATR como sistema alternativo de entrenamiento e investigación en el deporte. *Revista de Educación Física*, 8(1), 67–80. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/viref/article/view/337983>
- Alonso-Fernández, D., Fernández-Rodríguez, R., Taboada-Iglesias, Y., & Gutiérrez-Sánchez, Á. (2019). Impact of a HIIT protocol on body composition and VO₂max in adolescents. *Science & Sports*, 34(5), 341–347. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2019.04.001>
- American College of Sports Medicine (Estados Unidos). (2014). *Manual ACSM para la valoración y prescripción del ejercicio*. Paidotribo.
- Bahdur, K., Gilchrist, R., Park, G., Nina, L., & Pruna, R. (2019). Effect of HIIT on cognitive and physical performance. *Apunts. Medicina de l'Esport*, 54(204), 113–117. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2019.07.001>
- Bellinger, P., Arnold, B., & Minahan, C. (2020). Quantifying the Training-Intensity Distribution in Middle-Distance Runners: The Influence of Different Methods of Training-Intensity Quantification. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(3), 319–323. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0298>
- Bompa, T. O., & Buzzichelli, C. (2015). *Periodización del entrenamiento deportivo* (M. Á. González Moreno, Ed.; Editorial Paidotribo).
- Cardoso, V. D., Haiachi, M. de C., Reppold Filho, A. R., & Gaya, A. C. A. (2020). Entry of Brazilian paralympic athletes in high performance sport. *Journal of Physical Education*, 31(1), 1–8. <https://doi.org/10.4025/jphyseduc.v31i1.3151>
- Charchabal Pérez, D., Macao Naula, J. E., Díaz Páez, S., & Montesino Guarnizo, L. B. (2018). La Planificación del Entrenamiento Deportivo ATR, Victoria Estratégica en el Alto Rendimiento en el Equipo Sub 18 de Fútbol de Liga de Loja. *Revista Científica Hallazgos21*, 3, 1–17. <http://revistas.pucese.edu.ec/hallazgos21/>
- Collados-Gutiérrez, A., & Gutiérrez Vilahú, L. (2023). Eficacia del entrenamiento interválico de alta intensidad versus entrenamiento continuo moderado en pacientes con insuficiencia cardíaca crónica con fracción de eyección reducida, en relación a la capacidad aeróbica, la fracción de eyección del ventrículo izquierdo y la calidad de vida. *Revisión sistemática. Retos*, 49, 135–145. <https://doi.org/https://doi.org/10.47197/retos.v49.93944>
- Fernandes Machado, A., Gomes de Souza Vale, R., Ferreira Costa Leite, C. D., Barros dos Santos, A. O., Rica, R. L., Baker, J. S., Gobbo, S., Bergamin, M., & Sales Bocalini, D. (2024). Effects of different recovery times during high-intensity interval training using body weight on psychophysi-

- ological variables. *Retos*, 51, 109–116. <https://doi.org/10.47197/retos.v51.99199>
- Galeano-Virgen, J. D., Orejuela-Aristizabal, D. F., & Cardona-Orejuela, J. S. (2023). Descripción de los modelos de periodización del entrenamiento deportivo utilizados en el Valle del Cauca, Colombia. *Revista Digital: Actividad Física y Deporte*, 9(1). <https://doi.org/10.31910/rdafd.v9.n1.2023.2311>
- González-Carbonell, I., Brizuela, G., & Romero-Ávila, J. L. (2016). Pedaleo de brazos en personas con lesión medular, parálisis cerebral o ataxia cerebelosa: Parámetros fisiológicos. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias Del Deporte*, 12(46), 359–381. <https://doi.org/10.5232/ricyde2016.04602>
- Hansen, E. A., & Rønnestad, B. R. (2017). Effects of Cycling Training at Imposed Low Cadences: A Systematic Review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(9), 1127–1136. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0574>
- International Paralympic Committee. (2015). IPC Athlete Classification Code. <https://bit.ly/3JL8urD>
- Iturricastillo, A., Yanci, J., & Granados, C. (2018). Neuromuscular Responses and Physiological Changes During Small-Sided Games in Wheelchair Basketball. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 35(1), 20–35. <https://doi.org/10.1123/apaq.2016-0139>
- Kim, S.-H., An, H.-J., Choi, J.-H., & Kim, Y.-Y. (2017). Effects of 2-week intermittent training in hypobaric hypoxia on the aerobic energy metabolism and performance of cycling athletes with disabilities. *Journal of Physical Therapy Science*, 29(6), 1116–1120. <https://doi.org/10.1589/jpts.29.1116>
- Lauglo, R., Vik, T., Lamvik, T., Stensvold, D., Finbråten, A.-K., & Moholdt, T. (2016). High-intensity interval training to improve fitness in children with cerebral palsy. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 2(1), e000111. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2016-000111>
- Liljedahl, J. B., Bjerkefors, A., Arndt, A., & Nooijen, C. F. J. (2021). Para-cycling race performance in different sport classes. *Disability and Rehabilitation*, 43(24), 3440–3444. <https://doi.org/10.1080/09638288.2020.1734106>
- Marques Junior, N. K. (2020). Periodization models used in the current sport. *MOJ Sports Medicine*, 4(2), 27–34. <https://doi.org/10.15406/moj-sm.2020.04.00090>
- Morriën, F., Taylor, M. J. D., & Hettinga, F. J. (2017). Biomechanics in Paralympics: Implications for Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(5), 578–589. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0199>
- Mujika, I. (2017). Quantification of Training and Competition Loads in Endurance Sports: Methods and Applications. *International Journal of*

- Sports Physiology and Performance, 12(s2), S2-9-S2-17. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0403>
- Mujika, I., Rønnestad, B. R., & Martin, D. T. (2016). Effects of Increased Muscle Strength and Muscle Mass on Endurance-Cycling Performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(3), 283–289. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0405>
- Muñoz-Galíndez, E., Lasso-Quilindo, C. A., & Pérez-Muñoz, S. (2020). La tricicleta: una máquina de construir y deconstruir historias. *CULTURA EDUCACIÓN Y SOCIEDAD*, 12(1), 201–216. <https://doi.org/10.17981/cultedusoc.12.1.2021.13>
- Muñoz-Galíndez, E., Lasso-Quilindo, C. A., & Pérez-Muñoz, S. (2022). Ciclismo adaptado: faro de luz para sanar heridas físicas y psicológicas. *Revista Colombiana de Sociología*, 45(2), 349–372. <https://doi.org/10.15446/rcs.v45n2.92871>
- Neme Nova, S. A., Dueñas Gómez, Y. C., & Gutiérrez Gómez, C. (2021). Características de la planificación deportiva del ATR para el ciclismo de ruta. *Documentos de Trabajo Areandina*, 1. <https://doi.org/10.33132/26654644.1893>
- Pastor Chirino, L. A., de la Paz Arencibia, L., & de Lourdes Rodríguez Pérez, M. (2019). La interconexión de las cargas en la planificación del entrenamiento, en el deporte de boxeo. *Revista de Ciencia y Tecnología En La Cultura Física*, 14(2), 181–203. <http://podium.upr.edu/cu/index.php/podium/article/view/822>
- Picabea, J. M., Camara, J., & Yanci, J. (2017). Análisis de la condición física en jugadores y jugadoras de tenis de mesa y su relación con el rendimiento deportivo. [Physical fitness analysis in male and female table tennis players and their relationship to competition performance]. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias Del Deporte*, 13(47), 39–51. <https://doi.org/10.5232/ricyde2017.04703>
- Prieto-González, P., & Larumbe-Zabala, E. (2021). ATR versus periodización tradicional en tenistas amateur adolescentes. *Apunts Educación Física y Deportes*, 144, 65–74. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2021/2\).144.08](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2021/2).144.08)
- Reina, R., Ivan Vivaracho, José Luis García-Alaguero, & Alba Roldán. (2021). Bases para una Estrategia Nacional de Clasificación en Deporte Paralímpico en España. 978-84-09-33772-7. <https://doi.org/10.5569/2340>
- Schranz, C., Kruse, A., Belohlavek, T., Steinwender, G., Tilp, M., Pieber, T., & Svehlik, M. (2018). Does Home-Based Progressive Resistance or High-Intensity Circuit Training Improve Strength, Function, Activity or Participation in Children With Cerebral Palsy? *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 99(12), 2457-2464.e4. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2018.06.010>

- Union Cycliste Internationale [UCI]. (2023). UCI REGULATIONS PART 16 PARA-CYCLING. https://archive.uci.org/docs/default-source/rules-and-regulations/part-xvi--para-cycling.pdf?sfvrsn=47af1c56_34
- Yanci, J., Iturricastillo, A., Lozano, L., & Granados, C. (2015). Análisis de la condición física de jugadores nacionales de baloncesto en silla atendiendo a la clasificación funcional. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias Del Deporte*, 11(40), 173–185. <https://doi.org/10.5232/ricyde2015.04006>
- Zwinkels, M., Verschuren, O., De Groot, J. F., Backx, F. J. G., Wittink, H., Visser-Meily, A., & Takken, T. (2019). Effects of High-Intensity Interval Training on Fitness and Health in Youth with Physical Disabilities. *Pediatric Physical Therapy*, 31(1), 84–93. <https://doi.org/10.1097/PEP.0000000000000560>

CAPÍTULO 9.

Desarrollo de estímulos y destrezas musicales de melodía y ritmo, mediante el uso de aplicaciones móviles para el refuerzo en el aprendizaje musical en niños con trastorno del espectro autista y necesidades educativas especiales.

EDWAR HERNÁN MEDINA MUÑOZ¹

Resumen:

El presente proyecto ofrece una herramienta tecnológica de software que implementa una técnica innovadora y alternativa para niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) y Necesidades Educativas Especiales (NEE). El objetivo principal es superar las barreras en la interacción social, comunicación y comportamiento que enfrentan estos niños, mediante este método de aprendizaje automatizado, basado en dispositivos móviles, diseñado para fortalecer la educación musical con la metodología: “La musicoterapia como instrumento favorecedor en personas con trastorno del espectro autista” (Cuatindioy, 2021). La musicoterapia se emplea como una herramienta inclusiva para motivar a los niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) y proporcionar un acceso equitativo a la educación musical; Además, se ha demostrado que este enfoque terapéutico puede mejorar las habilidades de comunicación y reducir comportamientos autodestructivos en personas con TEA y NEE. En el marco del proyecto, se explorarán los fundamentos teóricos que respaldan la relación entre la música, el desarrollo cognitivo y emocional en estos niños. La metodología propuesta implica la implementación de una aplicación móvil interactiva y adaptativa que permita a los niños explorar elementos fundamentales de la música, como la

¹ Décimo semestre, Institución Universitaria Colegio Mayor del Cauca, Estudiante, edwarmedina@unimayor.du.co

melodía y el ritmo, de acuerdo con sus ritmos de aprendizaje y necesidades individuales.

Palabras Clave: Musicoterapia, Trastorno del Espectro Autista (TEA), Necesidades Educativas Especiales (NEE), Aplicaciones Móviles, Método de colores.

Introducción:

La relación entre la música y el desarrollo humano ha sido objeto de interés y estudio a lo largo de la historia, la música se ha demostrado como una herramienta poderosa para la comunicación, la expresión emocional y el aprendizaje, lo que la convierte en una disciplina clave en la educación y el bienestar de los individuos, independientemente de su capacidad o diferencia, en el contexto de niños con trastorno del espectro autista (TEA) y necesidades educativas especiales, la música ha surgido como un medio potencial para abordar desafíos en la comunicación, interacción social y cognición.

Una de las alternativas investigadas como tratamiento para el TEA, específicamente en las relaciones sociales y comunicativas, ha sido la musicoterapia. Según Gold (2016) a través de la música y sus elementos se permite la comunicación y expresión como medio para tratar o abordar algunos problemas específicos de las personas con TEA, por medio de técnicas tales como: la improvisación libre y estructurada, a través de las canciones y también mientras se escucha música.

El TEA es un conjunto de trastornos neuropsiquiátricos que afectan el desarrollo del lenguaje, la interacción social y la conducta. Los niños con TEA a menudo experimentan dificultades en la percepción auditiva, lo que puede impactar su capacidad para reconocer patrones melódicos y rítmicos en la música. Sin embargo, la música ha demostrado tener la capacidad única de acceder a áreas del cerebro que pueden no estar afectadas por las limitaciones del TEA, permitiendo así oportunidades de expresión y comunicación (Marco Tramontano, 2021).

A lo largo de las décadas, la terapia musical ha emergido como una modalidad terapéutica efectiva para abordar los desafíos que enfrentan los niños con TEA y necesidades educativas especiales, la terapia musical utiliza elementos de la música, como ritmo, melodía y armonía, para mejorar la comunicación, la interacción social y el desarrollo cognitivo en estos niños. Sin embargo, la disponibilidad de profesionales capacitados en terapia musical puede ser limitada, y es aquí donde la tecnología digital, en particular

el aumento en la accesibilidad de dispositivos móviles y aplicaciones ha brindado nuevas oportunidades para el aprendizaje musical adaptativo y personalizado (María Cecilia Tamayo Buitrago, 2020).

Las aplicaciones móviles pueden ofrecer ejercicios y actividades diseñados específicamente para abordar las necesidades individuales de los niños con TEA y necesidades educativas especiales. Estas aplicaciones pueden incorporar elementos visuales, auditivos e interactivos que facilitan la comprensión de conceptos musicales y la expresión creativa. Según investigaciones previas en el campo de la terapia musical con niños y adolescentes, se ha demostrado que la música desempeña un papel crucial en el desarrollo cognitivo, emocional y social de los jóvenes (Mathieu, 2019).

Este estudio se sitúa en esta brecha de conocimiento al examinar de manera rigurosa y sistemática cómo las aplicaciones móviles pueden contribuir al desarrollo de habilidades de melodía y ritmo en niños con TEA y necesidades educativas especiales (Callejas, 2020). La presente investigación se fundamenta en la necesidad de abordar los desafíos que enfrentan los niños con trastorno del espectro autista (TEA) y necesidades educativas especiales en el ámbito de la educación musical. Morán (2015), afirma que la calidad de vida y la manera de relacionarse los niños(as) con autismo mejoran estando en ambientes de inclusión. Aunque la música se reconoce ampliamente como una herramienta valiosa para el desarrollo integral de los individuos, existe una brecha en la comprensión y aplicación de estrategias específicas que se adapten a las necesidades únicas de este grupo de niños (Pfeifer, 2020).

Esta investigación tiene como objetivo abordar esta brecha al explorar el potencial de las aplicaciones móviles para potenciar las habilidades de melodía y ritmo en un entorno educativo inclusivo, con mecanismos que le permiten al niño realizar interpretaciones sin conocimientos avanzados en música y de esta forma le permitirá desarrollar habilidades motrices, sociales, bienestar emocional (Teppo Särkämö, 2008) entre otras en donde la música se utiliza como terapia para despertar dichas habilidades, teniendo en cuenta que los niños con esta condición cuentan con características similares como poca tolerancia, frustración, ansiedad y comparten gustos como atracción por los colores y los sonidos.

La inclusión de niños con TEA y necesidades educativas especiales en actividades musicales puede ser un desafío debido a las barreras de comunicación, interacción social y procesamiento sensorial que enfrentan. Las experiencias musicales tradicionales pueden no ser lo suficientemente accesibles ni adaptadas para garantizar un aprendizaje significativo y

enriquecedor. Es en este contexto que las aplicaciones móviles emergen como una oportunidad prometedora para mejorar la educación musical de estos niños y fomentar la plasticidad cerebral adaptándose neuralmente a nuevas condiciones. (Catherine Y. Wan, 2010).

La justificación de esta investigación se deriva de los siguientes aspectos:

1. Vacío en la Investigación: A pesar de la creciente relevancia de la música en la educación inclusiva, existe una falta de investigaciones enfocadas en el uso de aplicaciones móviles para potenciar habilidades musicales en niños con TEA y necesidades educativas especiales. Esta investigación busca llenar este vacío y contribuir al conocimiento científico en este campo.

2. Potencial Transformador de la Tecnología: El avance de la tecnología en el arte ha transformado la forma en que accedemos al aprendizaje y la información. Las aplicaciones móviles ofrecen oportunidades únicas para proporcionar una educación musical personalizada y adaptativa, lo que podría tener un impacto positivo en el desarrollo musical y general de los niños con TEA.

3. Impacto en el Desarrollo Integral: La música no solo es valiosa por sí misma, sino que también puede tener un impacto positivo en áreas como la interacción social, la comunicación y la autoestima. Al potenciar las habilidades musicales, se espera influir en aspectos diversos del desarrollo integral de los niños.

4. Relevancia para la Práctica: Los resultados de esta investigación pueden tener implicaciones prácticas significativas para educadores, terapeutas y desarrolladores de aplicaciones móviles. Las recomendaciones derivadas del estudio podrían informar la creación de programas de educación musical inclusiva y el diseño de aplicaciones más efectivas.

Esta investigación busca llenar un vacío en la literatura académica al explorar cómo las aplicaciones móviles pueden ser empleadas de manera efectiva para potenciar las habilidades de melodía y ritmo en niños con TEA y necesidades educativas especiales. Al hacerlo, aspira a enriquecer la educación musical de este grupo de niños y contribuir al avance de la educación inclusiva y la terapia musical en la era digital.

La música es una forma de expresión universal que posee un profundo impacto en el desarrollo cognitivo, emocional y social de los individuos. Para los niños, la música no solo representa una fuente de entretenimiento, sino también una herramienta invaluable para la adquisición de habilidades cognitivas y sociales. Sin embargo, este proceso de aprendizaje musical

puede presentar desafíos significativos para aquellos niños que enfrentan trastornos del espectro autista y otras necesidades educativas especiales.

El trastorno del espectro autista (TEA) es una condición neuropsiquiátrica caracterizada por dificultades en la comunicación, interacción social y comportamientos repetitivos. Los niños con TEA a menudo enfrentan obstáculos en la comprensión e interpretación de señales auditivas y sociales, lo que puede influir en su capacidad para apreciar y participar en experiencias musicales de manera convencional. A pesar de estos desafíos, existe un creciente cuerpo de evidencia que sugiere que la música puede ser una herramienta efectiva para el desarrollo de habilidades en niños con TEA y necesidades educativas especiales.

En este contexto, las tecnologías digitales, en particular las aplicaciones móviles, han emergido como herramientas prometedoras para el aprendizaje inclusivo de la música en niños con TEA y necesidades educativas especiales.

Las aplicaciones móviles pueden ser diseñadas para abordar las particularidades y preferencias individuales de estos niños, permitiéndoles explorar y desarrollar habilidades musicales de manera personalizada y accesible. En particular, la adquisición de habilidades de melodía y ritmo como elementos fundamentales de la música, puede ser especialmente beneficiosa para su desarrollo integral (Xiaohua Ke, 2022). Este estudio tiene como objetivo principal explorar el impacto de las aplicaciones móviles en el desarrollo de habilidades de melodía y ritmo en niños con TEA y necesidades educativas especiales.

Entre los conceptos fundamentales abordados en el presente proyecto tenemos:

1. **Trastorno del Espectro Autista (TEA):** Es una disfunción neurológica crónica con fuerte base genética, que desde edades tempranas se manifiesta en una serie de síntomas relacionados con la interacción social, la comunicación y la falta de flexibilidad en el razonamiento, interacción social y comportamientos repetitivos.
2. **Necesidades Educativas Especiales:** Requerimientos particulares en el aprendizaje y la enseñanza que se derivan de desafíos cognitivos, emocionales, físicos o sociales. Los niños con necesidades educativas especiales pueden requerir enfoques educativos adaptados.
3. **Habilidades Musicales:** La capacidad de comprender, interpretar y crear música. Esto incluye la apreciación de elementos como la melodía, el ritmo, la armonía y la estructura musical.
4. **Aplicaciones Móviles:** Programas informáticos diseñados para

dispositivos móviles como teléfonos inteligentes y tabletas. Estas aplicaciones pueden tener diversos propósitos, incluido el aprendizaje y la terapia.

5. **Desarrollo de Melodía y Ritmo:** La adquisición de la comprensión y habilidades para reconocer y crear patrones melódicos y rítmicos en la música. Estos elementos son fundamentales en la expresión musical.
6. **Inclusión Educativa:** La integración de niños con diversas habilidades y necesidades en entornos educativos convencionales. Busca proporcionar igualdad de oportunidades y acceso a la educación para todos.
7. **Educación Musical Inclusiva:** La adaptación de métodos de enseñanza musical para acomodar las necesidades y habilidades de todos los estudiantes, incluidos aquellos con TEA y necesidades educativas especiales.

El Ministerio de Educación Nacional (MEN) (2017) determina que la educación inclusiva es: Un proceso permanente que reconoce, valora y responde de manera pertinente a la diversidad de características, intereses, posibilidades y expectativas de las niñas, niños, adolescentes, jóvenes y adultos, cuyo objetivo es promover su desarrollo, aprendizaje y participación, con pares de su misma edad, en un ambiente de aprendizaje común, sin discriminación o exclusión alguna, y que garantiza, en el marco de los derechos humanos, los apoyos y los ajustes razonables requeridos en su proceso educativo, a través de prácticas, políticas y culturas que eliminan las barreras existentes en el entorno educativo (Decreto 1421, Artículo 1, p. 5).

8. **Aprendizaje Adaptativo:** Un enfoque educativo que se ajusta a las necesidades individuales de los estudiantes. Las aplicaciones móviles pueden ofrecer aprendizaje adaptativo al personalizar la experiencia de cada niño.
9. **Interacción Social:** La participación y comunicación con otros individuos. La música puede ser un medio para facilitar la interacción social en niños con TEA.
10. **Terapia Musical:** El uso de la música con fines terapéuticos. Puede involucrar actividades musicales estructuradas para mejorar habilidades cognitivas, emocionales y sociales.
11. **Desarrollo Cognitivo:** El proceso de adquisición y mejora de habilidades mentales y cognitivas. La música se ha asociado con el desarrollo cognitivo en niños.
12. **Tecnologías de Asistencia:** Herramientas tecnológicas diseñadas para

- ayudar a personas con discapacidades. Las aplicaciones móviles pueden actuar como tecnologías de asistencia para el aprendizaje musical.
13. Personalización del Aprendizaje: La adaptación de la educación para satisfacer las necesidades individuales de los estudiantes. Las aplicaciones móviles pueden personalizar el contenido y la dificultad según cada niño.

Desarrollo

Diseño de la Investigación

Según la revista El Tiempo, Jerez (2019) comunica que en Colombia hay 115.000 casos de personas diagnosticadas con TEA (Trastorno del Espectro Autista), en esta investigación se utiliza una metodología cualitativa, con un enfoque en estudios documentales, para explorar la interacción e intervención musico terapéutica en un grupo de niños diagnosticados con Trastorno del Espectro Autista (TEA) y Necesidades Educativas Especiales (NEE).

Se observará la conducta de los individuos en respuesta a dos métodos: “La musicoterapia como instrumento favorecedor en personas con trastorno del espectro autista” (Cuatindioy, 2021) que se centra en la improvisación, creación musical y trabajando la velocidad y el pulso a través de canciones cortas, y el método Música en Colores que se utiliza para facilitar la comprensión musical.

Población y Muestra

La población de estudio consistió en niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) y Necesidades Educativas Especiales (NEE), la muestra incluyó a los participantes que se sometieron a las sesiones de musicoterapia y que fueron seleccionados para el estudio.

Instrumentos y Recopilación de Datos

Los instrumentos utilizados fueron el método “La musicoterapia como instrumento favorecedor en personas con trastorno del espectro autista”, que involucra la improvisación musical, y el método de los colores, que se aplicó para facilitar la identificación de notas musicales. La recopilación de datos se realizó a través de observaciones de las sesiones terapéuticas.

Procedimiento

Las sesiones terapéuticas tuvieron una duración de dieciséis sesiones a lo largo de un período de tres meses. Durante estas sesiones, se aplicó el método “La musicoterapia como instrumento favorecedor en personas con trastorno del espectro autista”, que se centró en la sensibilización musical y visual, así como en la utilización de instrumentos de percusión menor y la creación de armonías con canciones cortas y repetitivas. También se fomentó el aprendizaje de aspectos rítmicos, como velocidad y dinámica, así como la recordación musical.

El método de los colores se utilizó para asignar colores específicos a las partes de los instrumentos con el fin de facilitar el reconocimiento y la recordación de los sonidos de los instrumentos.

Se implementó el desarrollo y la enseñanza del piano como parte del proyecto.

Fases

Fase 1: Análisis de Requisitos y Diseño del Software

Necesidades del público objetivo: Comprender las necesidades específicas de los niños con trastorno del espectro autista y necesidades educativas especiales en términos de aprendizaje musical es crucial. Esto implica la investigación sobre sus desafíos, preferencias, niveles de habilidad y estilos de aprendizaje.

Accesibilidad y usabilidad: Asegurarse de que la herramienta sea accesible para niños con diversas capacidades y habilidades. Esto incluye consideraciones de diseño universal y pruebas de usabilidad.

Contenido y actividades: Crear contenido musical apropiado y actividades adaptadas a las capacidades de los niños. Esto podría incluir lecciones interactivas, juegos musicales y ejercicios de práctica.

Apoyo emocional: Integrar estrategias para abordar las necesidades emocionales de los niños, brindando un ambiente de apoyo y positivo para fomentar la confianza y la autoestima.

Interacción social: Incluir características que promuevan la interacción social, como la posibilidad de colaborar en proyectos musicales con otros niños.

Formación y apoyo para los cuidadores: Proporcionar recursos y orientación para padres, maestros y terapeutas que trabajan con estos niños, para maximizar el impacto de la herramienta.

Seguridad y privacidad: Asegurarse de que la herramienta cumpla con las regulaciones de privacidad y que los datos de los niños estén protegidos.

Colaboración interdisciplinaria: Trabajar con expertos en educación especial, terapeutas ocupacionales, musicoterapeutas y otros profesionales para garantizar que la herramienta sea efectiva y beneficiosa.

Identificación de las necesidades específicas de las personas con TEA y cómo una herramienta tecnológica puede ayudar a abordar esas necesidades.

Diseño de la interfaz de usuario, teniendo en cuenta la accesibilidad y la usabilidad para este grupo demográfico.

Definición de las características y funcionalidades de la herramienta software basado en los resultados de la investigación, como la estimulación de los sentidos, el desarrollo cognitivo y la mejora de la comunicación.

Creación de un plan detallado para el desarrollo de la herramienta de software, incluyendo las tecnologías y plataformas a utilizar.

Fase 2: Desarrollo del Software

- Seleccionar la mejor herramienta de desarrollo de software para cumplir con las necesidades previamente analizadas, valorando los retos actuales y futuros.
- Desarrollo de la aplicación de la herramienta de software siguiendo las especificaciones del diseño y considerando los patrones de construcción.
- Integración de los elementos relacionados con la musicoterapia, como la identificación de colores y notas musicales.
- Implementación de características interactivas y educativas que se adapten a las necesidades de las personas con Trastorno del Espectro Autista (TEA) y Necesidades Educativas Especiales (NEE).
- Pruebas unitarias del software para asegurarse de que todas las funciones se ejecutan correctamente y son efectivas.

Fase 3: Personalización y Adaptación Progresiva

- Se requiere evaluar la evolución en usuarios con las condiciones objetivo, niños con TEA y necesidades especiales, con el fin de evaluar su respuesta de adaptación a la herramienta y hacerlo de forma continua y progresiva, esto garantizara la aceptación o ajustes necesario

- Evaluación continua del rendimiento del software en sesiones de musicoterapia para asegurarse de que se ajusta adecuadamente a las necesidades de los usuarios.

Fase 4: Prueba Piloto y Retroalimentación

- Realización de una prueba piloto con un grupo pequeño de personas con Trastorno del Espectro Autista (TEA) y Necesidades Educativas Especiales (NEE), para obtener retroalimentación sobre la eficacia y usabilidad del software.
- Recopilación de datos sobre la mejora en las áreas de estimulación de los sentidos, desarrollo cognitivo, comunicación y relaciones sociales.
- Incorporación de la retroalimentación del grupo piloto para realizar mejoras en el software.

Fase 5: Implementación y Evaluación Continua

- La implementación requiere un proceso afinado de liberación constante de versiones de software con un manejo adecuado, lo cual permitirá realizar ajuste de forma continua y controlada evitando que se pongan en conflicto ajustes realizados para diferentes casos, es necesario destacar que todo proyecto de desarrollo requiere un proceso de afinamiento que por más que se tomen medidas para evitarlo siempre estarán presentes, el reto consiste en tomar las medidas para que los ajustes no sea de fondo evitando rediseños estructurales, a menos de que sea analizados exhaustivamente, determinando que serán de más utilidad, lo anterior considerando que al ser una población con unas características tan diversas y si se quiere divergentes la implementaciones pueden no rustir los efectos esperados.
- Realización de un seguimiento continuo para evaluar la efectividad del software en el aprendizaje y desarrollo de los usuarios, los retos con el seguimiento están en que seguir realmente, es decir al ser una población a la cual no se le puede realizar una encuesta de satisfacción o incluso de usabilidad, no es fácil medir los parámetros de aceptación, ubicando al proyecto en un proceso atípico de evaluación, donde los resultado esperados deben diseñarse con relación a las medición de otros factores que ayuden a determinar factures como la usabilidad, la aceptación, el uso adecuado de los colores, el volumen o notas adecuadas, y todos los factores que influyen y no pueden ser juzgados, por personas que

no experimenten estas mismas condiciones.

- Ajustes periódicos del software según sea necesario, basados en la retroalimentación y en la evolución de la investigación, lograr tener una herramienta asertiva que permita realizar y evaluar de todos los posibles ajustes cual de todos es el más relevante y realizar análisis de causa raíz para evitar hacer ajuste que luego tengan que desecharse por mala respuesta del usuario. En este sentido se requiere crear una propia metodología adaptando las prácticas de desarrollo de software a las condiciones especiales

Fase 6: La interpretación de resultados

La interpretación de resultados en la interacción entre los recursos de la musicoterapia y las herramientas tecnológicas, proporcionaron una visión valiosa sobre su impacto y efectividad en el bienestar y desarrollo de los niños, puesto que el desarrollo de habilidades musicales mostró relevancia para la educación musical inclusiva e integral, contribuyendo a la mejora de la comunicación, la expresión emocional y la interacción social en niños con autismo; sin embargo, al ser una técnica innovadora los resultados, pueden variar con relación a los esperados, por eso es necesario interpretar los resultados de forma objetiva consciente y veraz evitando que el deseo de obtener resultados altere la muestra o medición de los mismos, así como también el manejo adecuado de los resultados negativos encontrados, que al ser una población con necesidades especiales los hacer ser diversos en sus necesidades particulares, de esta forma se lograran excluir o incluir en las nuevas versiones los aspectos necesarios para una mejora continua analizando los casos de forma general.

Fase 7: Documentación y Difusión

- Creación de documentación detallada que describa el proceso llevado a cabo para lograr el resultado y de esta forma promover estudios relacionados con la presente investigación.
- Preparación de informes y documentación sobre la investigación y los resultados obtenidos.
- Difusión de los resultados y de la aplicación de la aplicación en conferencias, publicaciones y comunidades de apoyo a personas con Trastorno del Espectro Autista (TEA) y Necesidades Educativas Especiales (NEE).

Fase 8: Resultados Esperados

Mejora en la Interacción Social:

Entre los resultados esperados se pretende que el uso de la aplicación móvil, genere un entorno más cómodo y ameno para los niños con Trastorno de Espectro Autista (TEA) y Necesidades Educativas Especiales (NEE), así mismo, que se evidencie mejoras en la interacción social, puesto que la música puede establecerse como instrumento potencial y medio de comunicación y conexión con sus compañeros, ayudando a fomentar la inclusión social, la retroalimentación con el entorno y el abordaje a las necesidades integrales.

Mayor Confianza y Autoestima:

Por medio de este proyecto se espera que los niños experimenten mejoras en sus habilidades musicales a través de las aplicaciones móviles, así mismo se evidencie un incremento en su autoestima.

Éxito y logros personales: A medida que los niños progresan y alcanzan metas en sus actividades musicales, experimentan un sentido de éxito personal que puede impulsar su confianza.

Expresión personal: La música les brinda una vía para expresarse de manera creativa, lo que puede aumentar su autoestima al sentir que pueden comunicar sus emociones y pensamientos de manera efectiva.

Participación social: La música a menudo implica actividades grupales, como tocar en conjunto o cantar en coro. Esto les brinda la oportunidad de interactuar y conectarse con otros, lo que puede aumentar su confianza en situaciones sociales.

Fomento de habilidades sociales: El trabajo en equipo, la cooperación y la comunicación son habilidades clave en la música en grupo, y mejorar en estas áreas puede tener un impacto positivo en la autoestima.

Autodisciplina y perseverancia: La práctica constante y la mejora gradual en las habilidades musicales requieren autodisciplina y perseverancia, lo que puede aumentar la confianza al demostrar que son capaces de esforzarse y superar desafíos.

Reconocimiento y apoyo: A medida que los niños desarrollan sus habilidades musicales, es probable que reciban reconocimiento y apoyo de sus familias, maestros y compañeros, lo que fortalece su autoestima.

Sentirse competentes en una actividad como la música puede tener un impacto positivo en otros aspectos de su vida cotidiana, contribuyendo

así a la expresión emocional de manera más efectiva, maximizando sus capacidades, desarrollo y habilidades cognitivas y motoras, que beneficien su integración social, disminuya los niveles de ansiedad y conductas de agresión.

Conclusiones

Según Calleja, Sanz y Tárraga (2016) a pesar de los estudios realizados en varios continentes, aún hay vacíos teóricos de cómo funciona realmente la musicoterapia en los niños con TEA, ya que hay pocas investigaciones sobre el tema que den cuenta de los beneficios que ésta brinda a largo plazo.

Luego de haber culminado el presente proyecto de investigación e implementación de una aplicación como herramienta tecnológica para el refuerzo en el aprendizaje musical en niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) y Necesidades Educativas Especiales (NEE), se puede concluir que:

Por medio del estudio previo, la metodología “La musicoterapia como instrumento favorecedor en personas con trastorno del espectro autista” (Cuatindioy, 2021) y la metodología de Música en Colores (Cabezas, 2021), un individuo diagnosticado con Trastorno del Espectro Autista (TEA) y Necesidades Educativas Especiales (NEE), evoluciona y logra desarrollar la parte motriz, auditiva y social a través de la musicoterapia creativa; la cual representa un gran aporte en los procesos de disminución de comportamientos ligados a la ansiedad.

A nivel investigativo, se concluye con la obtención de grandes conocimientos a raíz de la suplencia de una necesidad social enfocada en el grupo de personas diagnosticadas con Trastorno de Espectro Autista.

La aplicación móvil implementada facilita y refuerza el proceso de aprendizaje musical a través de contenido interactivo y educativo; por tanto, en el ámbito del desarrollo del software se establece un prototipo funcional para la evaluación de criterios y la selección correcta del lenguaje de programación en aplicaciones interactivas dirigidas a personas con Trastorno de Espectro Autista (TEA) y Necesidades Educativas Especiales (NEE).

Finalmente, gracias al proceso investigativo y exploratorio se obtuvo un prototipo que permite dar nociones en la creación piloto de una herramienta de aprendizaje terapéutica

alternativa que facilite la interacción musical en niños con Trastorno de Espectro Autista (TEA) y Necesidades Educativas Especiales (NEE), a su vez posibilita desarrollar capacidades adicionales cognitivas y sociales,

impulsando áreas como la atención, la memoria, la coordinación motora y el seguimiento de instrucciones; abordando necesidades integrales en la vida diaria de los niños con autismo. Escalando el progreso y el bienestar de manera inclusiva.

Según Benenson (1985), Gastón (1957) y Poch (1971), la musicoterapia es una herramienta que permite cambios positivos en las personas que lo escuchan, siendo así una técnica de comunicación que produce efectos de recuperación y regresividad, y, además, ayuda a rehabilitar y educar a las personas.

Referencias

- Benenson, R. (1985). *Manual de Musicoterapia*: Barcelona: Paidós Ibérica S.A.
- Benenson, R. (1992). *Teoría de la Musicoterapia*. Madrid: Mandala Ediciones.
- Benenson R. (1977). La musicoterapia en el grupo familiar del niño autista. *Revista Musical Chilena*, (32).
- Cabezas, E. (2021). *Música En Colores*. Escuela Nueva España.
- Callejas, K. J. (2020). La musicoterapia como herramienta pedagógica con niños(as) Trastornos del espectro Autista (TEA) en el aula convencional. Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, 80.
- Catherine Y. Wan, G. S. (2010). Music Mekong as a Tool for Promoting Brain Plasticity across the Life Span. *Neuroscientist*.
- Cuatindioy, A. (2021). La música como instrumento favorecedor en personas con trastorno del espectro autista. Popayán: Universidad Internacional de la Rioja.
- Marco Tramontano, S. D. (2021). Music-based techniques and related devices in neurorehabilitation: a scoping review. *National Library of Medicine*, 35.
- María Cecilia Tamayo Buitrago, M. A. (2020). INCIDENCIA DE UNA PROPUESTA DE ENSEÑANZA DE LA MÚSICA, IMPLEMENTADA ENTRE LOS AÑOS 2014 Y 2019, EN LA EJECUCIÓN MUSICAL DE LOS SORDOS DE LA FUNDACIÓN COLSALUD. *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA*, 161.
- Mathieu Pater, P. d. (2019). *Working Elements of Music Therapy for Children and Young People with Autism*. Scientific Research.
- Pfeifer, E. (2020). Preventing music performance anxiety (MPA): Music students judge combined Depth Relaxation Music Therapy (DRMT) and silence to be an effective methodology. *Catholic University of Applied Sciences Freiburg, Germany*, 95.
- Teppo Särkämö, M. T. (2008). Music listening enhances cognitive recovery and mood after middle cerebral artery stroke. *National Library of Medicine*, 132.
- Xiaohua Ke, W. S. (2022). Effectiveness of music therapy in children with autism spectrum disorder: A systematic review and meta-analysis. *National Library of Medicine*

CAPÍTULO 10.

Análisis de los Acuerdos Comerciales y Económicos entre los BRICS y su Impacto en la Economía Colombiana

EMANUEL TORRES¹
PEDRO JOSÉ VELASCO BENÍTEZ²
RODRIGO BALCÁZAR GRIJALBA³

Resumen

Se explora los posibles efectos para Colombia de integrarse a los acuerdos económicos y comerciales existentes entre los países BRICS (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica). Se analizan dimensiones políticas, estructurales y prácticas. En el ámbito político, se enfatiza la importancia de que Colombia tome decisiones estratégicas fundamentadas, equilibrando intereses nacionales y oportunidades globales. También se destaca la necesidad de una cuidadosa coordinación interna entre ministerios, superando posibles diferencias. Respecto a las estructuras económicas, se identifican posibles complementariedades entre los BRICS y Colombia en áreas como agricultura, tecnología, energía y manufactura. Esto podría facilitar el acceso a mercados emergentes, la transferencia de conocimientos y la diversificación exportadora de Colombia. En cuanto a los desafíos prácticos, se abordan barreras comerciales como aranceles,

1 Estudiante del programa de Finanzas y Negocios Internacionales, Noveno semestre. Correo: emanuel.torres@uniautonomo.edu.co

2 Estudiante del programa de Administración de Empresas, Noveno semestre. Correo: pedro.velasco.b@uniautonomo.edu.co

3 Abogado, maestro en Derecho por la Universidad Rey Juan Carlos, actualmente es profesor de la Uniautónoma del Cauca: Correo: rodrigo.balcazar.g@uniautonomo.edu.co

diferencias regulatorias y procedimientos aduaneros complejos. Colombia debe participar activamente en la resolución de controversias y asegurar una implementación efectiva, con una asignación adecuada de recursos y mejoras en la capacidad administrativa.

Palabras Clave: BRICS, economía colombiana, mercados emergentes, Complementariedades e Implementación.

Introducción

Los países que integran el grupo BRICS, compuesto por Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica, han emergido como fuerzas económicas significativas a nivel mundial. Su presencia en la escena económica global ha experimentado un crecimiento notorio, destacándose no solo por el tamaño de sus economías y poblaciones, sino también por su potencial para influir en un nuevo orden económico a escala planetaria.

En este contexto, surge la posibilidad de que Colombia, un país con un vasto potencial, considere la integración a los acuerdos comerciales y económicos existentes entre los BRICS. Esta opción se presenta como una oportunidad estratégica para Colombia, que podría beneficiarse de diversas maneras, como el acceso a mercados emergentes, la atracción de inversión extranjera directa, la diversificación de sus exportaciones y la participación en las cadenas globales de valor lideradas por estas potencias económicas.

La decisión de unirse a los acuerdos BRICS conlleva desafíos y retos que deben ser cuidadosamente evaluados. Este artículo se propone realizar un análisis integral de los posibles efectos de esta integración en diversos sectores de la economía colombiana, abordando dimensiones políticas, estructurales y prácticas.

En primer lugar, se exploran las implicaciones políticas, examinando la capacidad de los líderes colombianos para tomar decisiones estratégicas fundamentadas. Se evalúan cuidadosamente los intereses nacionales frente a las oportunidades y desafíos potenciales de una alianza más estrecha con los BRICS. Se examinan las estructuras económicas tanto de los BRICS como de Colombia, destacando posibles complementariedades en áreas como agricultura, tecnología, energía y manufactura.

El análisis también se adentra en las dinámicas comerciales entre los BRICS y aborda los desafíos que Colombia enfrentaría al integrarse a estos acuerdos económicos, incluyendo barreras arancelarias, diferencias regulatorias y procedimientos aduaneros. Se presta especial atención a todos

los mecanismos que ayudan para la resolución de conflictos y a los retos prácticos de implementación, subrayando la importancia de la coordinación institucional interna y la asignación efectiva de recursos.

Este capítulo ofrece un panorama completo que permite comprender las diversas aristas y la complejidad de los acuerdos BRICS, así como su potencial impacto en la economía colombiana. Los análisis presentados buscan enriquecer el debate en torno a los beneficios, oportunidades y desafíos que Colombia enfrentaría al sumarse a la dinámica de negociaciones e intercambios económicos impulsada por estas prominentes economías emergentes. Asimismo, se busca proporcionar información crítica para la toma de decisiones, equipando a los responsables políticos con herramientas clave para definir políticas públicas y económicas en torno a esta potencial alianza histórica.

Política Interna y Decisiones Estratégicas

¿Qué es una política interna? Una política interna es una política que se aplica dentro de un país. Se refiere a las decisiones que toma el gobierno para gobernar el país y sus ciudadanos. Las políticas internas pueden abordar una amplia gama de temas, como la economía, la educación, la salud, la seguridad y la justicia. (Investigación forense, 2023)

***Decisiones Estratégicas** son aquellas que tienen un impacto significativo en el futuro de una organización o institución. Estas decisiones suelen ser complejas y requieren una cuidadosa consideración de los factores internos y externos que pueden afectarlas. (Pedraja Rejas et al., 2006)*

Cómo cada país de los BRICS maneja su propia política y economía como lo es Brasil, con su economía diversa, Rusia como un gran jugador en energía, India destacando en tecnología y servicios, China con su enorme influencia global y Sudáfrica con sus recursos minerales, todos estos países tienen su papel. Esto afecta directamente las áreas en las que Colombia puede colaborar con ellos. (Baumann, 2009)

En el caso de Colombia, la creación y ejecución de estos acuerdos no solo depende de lo que sucede en el mundo, sino también de las decisiones internas. Las elecciones y políticas gubernamentales son clave para decidir cómo participa Colombia dentro de este grupo de países. Los líderes colombianos tienen que equilibrar los intereses nacionales con las oportunidades y desafíos que vienen con trabajar con los BRICS.

En este complicado escenario la habilidad de Colombia para adaptarse a los cambios globales y aprovechar todas las oportunidades que vienen con los BRICS es fundamental para su desarrollo económico. Entender estos factores de manera detallada es crucial para prever y abordar los desafíos que pueden surgir al implementar acuerdos comerciales y económicos con los BRICS. Esto permitirá a Colombia sacar el máximo provecho en esta colaboración internacional.

Intereses Nacionales Priorizados

Colombia al formar parte de los BRICS podrá diversificar su economía. Los BRICS ofrecen oportunidades en sectores como la agricultura, la tecnología y la manufactura. El acceso a los mercados emergentes de los BRICS es importante para las exportaciones e inversiones colombianas. La seguridad alimentaria colombiana podría beneficiarse de la cooperación en investigación y desarrollo facilitada por los acuerdos de los BRICS. (Trujillo, 2023)

Colombia con su firme compromiso hacia la diversificación económica, en colaboración con los BRICS conseguirá encontrar una vía prometedora para ampliar horizontes en diversos sectores estratégicos. La agricultura, considerada como un pilar fundamental en la economía colombiana, es un área de especial interés en este tipo de acuerdos, donde la implementación de tecnologías innovadoras provenientes de los países BRICS podría revolucionar las prácticas agrícolas locales, aumentando la eficiencia y sostenibilidad.

En el ámbito tecnológico, la asociación con los BRICS ofrece a Colombia la oportunidad de acceder a conocimientos avanzados y recursos que impulsarían significativamente su sector de tecnología e innovación. Este intercambio no solo fortalecería la posición competitiva de Colombia en el ámbito global, sino que también fomentaría el desarrollo de capacidades

internas, así logrando generar un ecosistema tecnológico más robusto y dinámico.

Asimismo, la manufactura como otro campo de colaboración. Los BRICS, con su gran experiencia y capacidades en la producción y la exportación de bienes manufacturados, pueden facilitar el crecimiento y la diversificación del sector manufacturero colombiano. La transferencia de tecnología y conocimientos en este ámbito no solo potenciaría la productividad, sino que también abriría nuevas oportunidades de comercio internacional para Colombia.

La cooperación económica entre Colombia y los BRICS es importante para el crecimiento económico colombiano. Los BRICS son un grupo de países emergentes con grandes mercados, lo que representa una oportunidad para que Colombia diversifique sus exportaciones y establezca vínculos comerciales sólidos. Además, el impulso hacia la seguridad alimentaria se posiciona como un objetivo compartido fundamental en esta colaboración. Dada la importancia que este sector tiene en Colombia, la cooperación en investigación y desarrollo, facilitada por los acuerdos, podría resultar fundamental. La implementación de prácticas agrícolas sostenibles, la mejora de la cadena de suministro alimentario y la promoción de la innovación en el sector agrícola son solo algunas de las áreas en las que la colaboración BRICS podría tener un impacto positivo y duradero. (Sebastián, 2016)

La unión entre Colombia y los BRICS se presenta como una oportunidad única para diversificar la economía del país, así logrando impulsar el desarrollo tecnológico y fortalecer conocimientos avanzados y recursos, fortaleciendo su posición global y fomentando el desarrollo de capacidades internas.

Diversificación Económica: Colombia busca diversificar su economía más allá de sectores tradicionales como el petróleo y la minería. Estos acuerdos BRICS podrían proporcionar nuevas oportunidades en áreas como la agricultura, la tecnología y la manufactura.

Colombia busca diversificar su economía, que actualmente depende de los sectores extractivos como el petróleo y la minería. Los BRICS, un grupo de economías emergentes, ofrecen oportunidades para expandirse en sectores como la agricultura, la tecnología y la manufactura. (Trujillo, 2023)

La agricultura colombiana tiene potencial para expandirse a través del desarrollo de prácticas sostenibles, la modernización de la cadena de suministro y la promoción de productos colombianos en mercados internacionales. Colombia, en su afán de impulsar la diversificación económica, debe adoptar estrategias para expandir sus horizontes más allá de las dependencias tradicionales en los sectores como el petróleo y la minería.

Los BRICS, representan un grupo de naciones con economías emergentes y en constante crecimiento ofrecen a Colombia la posibilidad de explorar nuevas fronteras en sectores clave como la agricultura, la tecnología y la manufactura. La agricultura como un terreno fértil para la expansión, con oportunidades para el desarrollo de prácticas sostenibles, la modernización de la cadena de suministro y la promoción de productos colombianos en mercados internacionales. (Maihold & Villamar, 2016)

En cuanto a la tecnología, la colaboración con los BRICS podría tener avances significativos en la investigación y el desarrollo, abriendo nuevas puertas a la innovación y la adopción de soluciones tecnológicas de última generación. Además, la manufactura podría experimentar un impulso considerable, aprovechando la experiencia y los recursos de estos países para fortalecer la base industrial colombiana. La diversificación económica es un pilar fundamental en la estrategia de Colombia, no solo para reducir su dependencia de sectores volátiles, sino también para fomentar un crecimiento económico sostenible y resiliente en el largo plazo. la colaboración con los BRICS se presenta como un paso estratégico que podría definir el futuro económico de Colombia y consolidar su posición a nivel global.

Acceso a Mercados Emergentes: Dada la naturaleza de los BRICS como mercados emergentes, Colombia busca acceso a estos para incrementar sus exportaciones y atraer inversiones.

En la búsqueda de nuevas oportunidades para fortalecer su posición en el ámbito económico global, Colombia ha puesto su mirada en los mercados emergentes, con especial atención en los BRICS ya que esta representa no solo un conglomerado de economías en ascenso, sino también una puerta estratégica para la expansión comercial y la captación de inversiones extranjeras directas. (Maihold & Villamar, 2016)

Colombia, consciente de la importancia de diversificar sus relaciones económicas y comerciales, ha dirigido sus esfuerzos hacia el acceso a nuevos mercados emergentes de los BRICS, reconociendo las oportunidades que estos ofrecen en términos de crecimiento y desarrollo. La apertura a estos mercados se presenta como un pilar fundamental en la estrategia de internacionalización del país, permitiendo la ampliación de sus horizontes comerciales, sino también la consolidación de alianzas estratégicas con actores clave en la arena económica mundial.

El interés de Colombia en acceder a los mercados emergentes de los BRICS no se limita únicamente a la exportación de bienes y servicios, sino que se extiende a la atracción de inversiones. La nación sudamericana busca no solo colocar sus productos en estos prósperos mercados, sino también captar la atención de inversores y empresarios interesados en participar en el dinámico panorama económico colombiano.

Al establecer lazos más estrechos con los BRICS, Colombia aspira en beneficiarse de la transferencia de conocimientos, tecnologías y mejores prácticas empresariales que estos países pueden ofrecer. La colaboración en sectores estratégicos, la implementación de proyectos y el intercambio de experiencias comerciales se perfilan como elementos clave en esta relación, promoviendo un crecimiento sostenible y una mayor competitividad en la economía colombiana.

el acceso a los mercados emergentes de los BRICS se erige como un componente esencial de la agenda internacional de Colombia, contribuyendo no solo al fortalecimiento de sus lazos diplomáticos, sino también al impulso de su desarrollo económico. A medida que el país avanza en su búsqueda de nuevas oportunidades, la apertura a estos mercados no solo representa un paso estratégico, sino también un compromiso con la construcción de un futuro económico más robusto e integrado a nivel global. (Baumann, 2009)

Seguridad Alimentaria: “Dada la importancia de la agricultura en Colombia, los acuerdos BRICS podrían facilitar el acceso a insumos agrícolas y tecnología, así como promover la cooperación en investigación y desarrollo.” (Sebastián, 2016). La seguridad alimentaria en Colombia, un país donde la agricultura desempeña un papel fundamental en su economía, se vislumbra como un componente clave que podría experimentar mejoras sustanciales a través de los acuerdos BRICS. Estos tratados no solo

representan una oportunidad para fortalecer la disponibilidad de insumos agrícolas, sino que también abren la puerta a la adopción de tecnologías innovadoras que podrían transformar el panorama agrícola nacional.

Con la posibilidad de un acceso más fácil a insumos agrícolas de calidad y tecnología de punta, los agricultores colombianos podrían aumentar la eficiencia de sus prácticas, mejorar la productividad y, en última instancia, garantizar un suministro más estable y diversificado de alimentos para la población. Además, los acuerdos BRICS podrían facilitar la colaboración en investigación y desarrollo en el ámbito agrícola, permitiendo la implementación de prácticas sostenibles. “La cooperación en investigación no solo contribuiría al avance tecnológico en la agricultura colombiana, sino que también podría generar conocimientos que beneficien a la comunidad global.” La unión entre los países miembros de BRICS y Colombia podría resultar en innovaciones significativas, desde variedades de cultivos más resistentes hasta prácticas agrícolas más respetuosas con el medio ambiente.

Además, la seguridad alimentaria va más allá de la producción agrícola; implica también la distribución equitativa de alimentos y el acceso a una dieta balanceada. Los acuerdos BRICS podrían facilitar la creación de infraestructuras logísticas que optimicen la distribución de productos agrícolas a lo largo y ancho del país, reduciendo desperdicios y garantizando que los alimentos lleguen de manera oportuna a comunidades tanto urbanas como rurales. La seguridad alimentaria en Colombia podría beneficiarse enormemente de los acuerdos BRICS, ya que estos no solo abren nuevas oportunidades en términos de acceso a insumos y tecnología, sino que también fomentan la colaboración en investigación y desarrollo. Estas iniciativas podrían no solo transformar la agricultura colombiana, sino también contribuir a la seguridad alimentaria a nivel global mediante el intercambio de conocimientos y la implementación de prácticas sostenibles.

Negociación de Términos:

Los líderes políticos, tanto colombianos como los del grupo BRICS, juegan un papel crucial en la negociación de acuerdos. En Colombia, se enfrentan a decisiones importantes al considerar las prioridades de sectores clave y equilibrar concesiones para obtener beneficios nacionales. Además, la participación de la sociedad civil es esencial para asegurar que los acuerdos reflejen los intereses del país. En el caso de los líderes del BRICS, se reúnen en cumbres y foros para discutir temas fundamentales,

con prioridades variadas según los intereses nacionales, como el comercio exterior en China o la agricultura e industria en Brasil. (Sebastián, 2016)

La dinámica de las negociaciones políticas no solo se limita a las decisiones estratégicas de los líderes, sino que también se ve influenciada por factores económicos y sociales. En el caso colombiano, la diversidad geográfica y cultural del país agrega una capa adicional de complejidad a las deliberaciones, ya que los líderes deben tener en cuenta las particularidades regionales para garantizar un desarrollo equitativo. La gestión de recursos naturales, la protección del medio ambiente y la inclusión de comunidades marginadas son aspectos cruciales que los líderes políticos deben abordar en el proceso de negociación.

Asimismo, la interconexión global desempeña un papel fundamental en las decisiones de los líderes del BRICS. Las relaciones comerciales internacionales, las dinámicas geopolíticas y los avances tecnológicos son elementos clave que influyen en las discusiones y acuerdos alcanzados en cumbres y foros. En este escenario, la habilidad de los líderes para anticipar y adaptarse a los cambios en el panorama internacional se vuelve esencial para salvaguardar los intereses de sus respectivos países.

En el ámbito colombiano, la participación de la sociedad civil no solo se traduce en un mecanismo de control y equilibrio, sino que también fomenta la transparencia en el proceso de toma de decisiones. La diversidad de opiniones y perspectivas enriquece el debate y contribuye a la construcción de acuerdos más inclusivos y representativos. Los líderes políticos se enfrentan a la tarea de encontrar un equilibrio entre las demandas de la sociedad civil y las necesidades del Estado, garantizando así la legitimidad y sostenibilidad de los acuerdos.

En el ámbito internacional, la unión entre los líderes del BRICS no solo se basa en la convergencia de intereses económicos, sino también en la comprensión mutua de los desafíos globales. Las discusiones sobre temas como el cambio climático, la seguridad alimentaria y la paz mundial requieren un enfoque colaborativo y la disposición de cada líder a ceder en ciertos puntos para alcanzar consensos beneficiosos para todos. La diplomacia y la negociación se convierten así en herramientas fundamentales para superar las diferencias y construir alianzas estratégicas que impacten positivamente en la estabilidad global. (Sebastián, 2016)

Los líderes políticos, ya sea en el ámbito nacional colombiano o en el contexto internacional del BRICS, se encuentran inmersos en un proceso complejo de toma de decisiones que va más allá de simples acuerdos superficiales. La gestión de intereses, la consideración de factores económicos y sociales además la participación de la sociedad civil son elementos clave que definen la naturaleza y la efectividad de los acuerdos.

Prioridades Sectoriales: Los líderes colombianos deben definir qué sectores se beneficiarán más y cómo protegerán aquellos considerados sensibles.

La determinación de prioridades sectoriales se convierte en un aspecto de suma importancia para los líderes colombianos inmersos en la compleja tarea de negociar acuerdos. Esta labor implica una evaluación minuciosa de los sectores clave que impulsan la economía del país, donde los factores como la industria, la agricultura, la tecnología y la energía desempeñan papeles cruciales. En la toma de decisiones respecto a qué sectores se beneficiarán más y cómo se protegerán aquellos considerados sensibles requiere un enfoque estratégico y equilibrado.

Los líderes políticos colombianos se encuentran ante la responsabilidad de equilibrar los intereses de distintos sectores, logrando considerar las necesidades de la población, la competitividad internacional y la sostenibilidad a largo plazo. Además, deben tener en cuenta las dinámicas del mercado global y la interconexión de las economías en un mundo cada vez más globalizado. La complejidad de estas decisiones radica en la necesidad de encontrar un punto medio que garantice el desarrollo equitativo, fomente la inversión extranjera y, al mismo tiempo, resguarde la integridad de sectores sensibles que podrían ser vulnerables en el proceso de apertura económica.

En este complejo escenario, la participación de la sociedad civil se vuelve aún más crucial. Los líderes políticos no solo deben considerar las perspectivas de los sectores económicos, sino también escuchar y tener en cuenta las preocupaciones y expectativas de la sociedad en general. La transparencia y la inclusión en el proceso de toma de decisiones son elementos fundamentales para construir acuerdos que reflejen auténticamente los intereses y necesidades del país.

La diferencia de prioridades entre los líderes del BRICS y los líderes colombianos refleja la diversidad de desafíos y oportunidades que enfrenta cada nación. Mientras que los líderes colombianos pueden centrarse en proteger sectores sensibles y fomentar el desarrollo equitativo, los líderes del BRICS exploran estrategias para consolidar su posición en la economía

global y maximizar el impacto de sus ventajas competitivas. En este complejo entramado de negociaciones y acuerdos internacionales.

Equilibrio de Concesiones: La negociación implica concesiones en algunos aspectos para obtener beneficios en otros. Los líderes colombianos deben evaluar cuidadosamente los términos y las concesiones.

La tarea de equilibrar concesiones se vuelve especialmente delicada en un contexto global donde las dinámicas entre los países del BRICS y Colombia son fundamentales. Los líderes colombianos, al enfrentarse a estas decisiones estratégicas, deben considerar no solo las necesidades inmediatas de sectores clave, como la economía, la seguridad y la infraestructura, sino también proyectar las implicaciones a largo plazo en el marco de las relaciones internacionales. (Haibin, 2012)

En este complejo escenario, la capacidad de los líderes para tejer alianzas y asegurar compromisos equitativos se convierte en un elemento esencial. La diplomacia juega un papel destacado, no solo en la mesa de negociaciones, sino que también en los encuentros bilaterales y multilaterales que definen la agenda internacional. La participación de la sociedad civil en este proceso se vuelve crucial, ya que garantiza que los líderes políticos sean conscientes de las expectativas y necesidades de la población.

En el ámbito del BRICS, las cumbres y foros representan plataformas estratégicas donde los líderes se esfuerzan por encontrar puntos comunes entre sus intereses nacionales divergentes. El comercio exterior en China, la agricultura e industria en Brasil, y las prioridades económicas de Rusia, India y Sudáfrica son elementos que, aunque diversos, requieren un delicado equilibrio para lograr acuerdos beneficiosos para todas las partes involucradas. (Haibin, 2012)

Los líderes colombianos no solo deben evaluar los términos de los acuerdos, sino también anticipar y mitigar posibles desafíos que puedan surgir en el futuro. Este proceso implica un compromiso constante con el diálogo, la flexibilidad y la capacidad para lograr adaptarse a un entorno internacional en constante evolución, el éxito de estas negociaciones no solo

se traduce en beneficios económicos, sino también en el fortalecimiento de las relaciones internacionales y la posición geopolítica de Colombia en el escenario mundial.

Participación Ciudadana: La consulta a la sociedad y a grupos de interés se vuelve fundamental para asegurar que los acuerdos reflejen los intereses nacionales.

La participación ciudadana, como se mencionó anteriormente, desempeña un papel crucial en el proceso de negociación de acuerdos políticos tanto en Colombia como en los países del grupo BRICS., los líderes colombianos se encuentran inmersos en la toma de decisiones trascendentales al considerar las prioridades de sectores clave, como la economía, la educación y la salud, entre otros. La ponderación de concesiones y la búsqueda de beneficios nacionales demandan un equilibrio delicado que solo puede lograrse con una cuidadosa consideración de las necesidades y expectativas de la sociedad.

La participación ciudadana no solo se limita a la mera observación de los procesos de negociación, sino que se extiende a la interacción activa y a la contribución directa de la sociedad civil en la formulación de propuestas y la expresión de sus puntos de vista. Foros, mesas de diálogo y consultas públicas son herramientas esenciales para garantizar que las voces de los ciudadanos sean escuchadas y que sus inquietudes se tengan en cuenta durante las etapas clave de la toma de decisiones.

Los líderes del BRICS, al reunirse en cumbres y foros, también reconocen la importancia de la participación ciudadana en la configuración de políticas y acuerdos a nivel global. La diversidad de prioridades entre los miembros del BRICS, desde el enfoque en el comercio exterior en China hasta la atención a la agricultura e industria en Brasil, refleja la complejidad de las negociaciones internacionales. La participación de la sociedad civil en cada uno de todos los países miembros se vuelve aún más vital, ya que contribuye a la comprensión y la armonización de intereses divergentes, promoviendo así la cohesión y la cooperación efectiva entre naciones.

La participación ciudadana no solo se presenta como un elemento indispensable en el ámbito nacional, sino que también se establece como un componente esencial para fortalecer la diplomacia y la cooperación internacional, especialmente en contextos donde diferentes países buscan alcanzar acuerdos que impactarán no solo en sus realidades locales, sino también en la dinámica global.

Papel de los Líderes Políticos:

La participación de los líderes políticos, desde presidentes hasta ministros de comercio, es esencial en las negociaciones de los BRICS. Tomar decisiones estratégicas sobre la apertura de mercados, proteger sectores sensibles y promover inversiones requiere trabajo en equipo. Para Colombia, entender cómo las decisiones políticas y los intereses nacionales afectan su participación es crucial. Evaluar la alineación de objetivos y el impacto en sectores económicos específicos son preguntas clave para entender el panorama. Mantener la estabilidad política y la cohesión interna es fundamental para el éxito de los acuerdos, evitando divisiones que puedan debilitar la posición negociadora del país en la mesa de negociación. (Baumann, 2009)

Las negociaciones entre los BRICS, la participación de los líderes políticos, desde presidentes hasta ministros de comercio, emerge como un factor determinante que modela el destino económico de naciones como Colombia. La toma de las decisiones estratégicas, que abarca desde la apertura de mercados hasta la protección de sectores sensibles y la promoción de inversiones, se convierte en un ejercicio de colaboración y coordinación que trasciende las fronteras nacionales. Colombia se encuentra ante el desafío crucial de comprender cómo las decisiones políticas y los intereses nacionales influyen directamente en su participación en este bloque de naciones emergentes. La evaluación meticulosa de la alineación de objetivos y el análisis detallado del impacto en los sectores económicos

La conexión entre la estabilidad política y la cohesión interna se presenta como un pilar fundamental para el éxito de los acuerdos. En este contexto, surge la necesidad de evitar divisiones internas que podrían debilitar la posición negociadora de Colombia en la mesa de discusiones internacionales, este escenario demanda una visión estratégica y a largo plazo por parte de los líderes colombianos, quienes deben anticiparse a las complejidades de estas negociaciones internacionales. La habilidad para forjar consensos, gestionar divergencias internas y mantener una postura coherente frente a los desafíos globales se convierte en una tarea primordial para asegurar la efectividad de la presencia de Colombia en las deliberaciones de los BRICS.

La construcción de alianzas sólidas y la comprensión profunda de la dinámica política y económica de los BRICS se erigen como elementos esenciales para consolidar la posición de Colombia en este escenario

internacional dinámico y en constante evolución. De esta manera, el país se sitúa en la encrucijada de decisiones estratégicas que no solo impactan su presente, sino que también delinear su futuro en el ámbito de las relaciones económicas globales.

Trabajo en Equipo: Los presidentes, ministros de comercio y diplomáticos colombianos deben colaborar para representar los intereses del país de manera efectiva.

La importante labor de trabajar juntos en equipo se vuelve esencial para los líderes políticos colombianos, desde los presidentes hasta los ministros de comercio y los diplomáticos, cuando se encuentran en las complicadas negociaciones dentro del marco de los BRICS. La colaboración activa y coordinada entre estos actores clave se torna necesaria, ya que la toma de decisiones estratégicas sobre la apertura de mercados, la protección de sectores sensibles y la promoción de inversiones requiere una sincronización precisa de esfuerzos. Comprender a fondo cómo las decisiones políticas y los intereses nacionales están interconectados y afectan directamente la participación de Colombia.

La evaluación constante de la alineación de objetivos y el minucioso análisis del impacto en sectores económicos específicos se erigen como prácticas esenciales para desentrañar la complejidad de este panorama, el éxito de los acuerdos alcanzados dentro de la dinámica de los BRICS no solo depende de la habilidad estratégica para proteger los intereses nacionales, sino también de la capacidad para mantener una estabilidad política interna que actúe como cimiento sólido. Evitar divisiones internas que puedan debilitar la posición negociadora de Colombia se convierte en una premisa fundamental para asegurar el logro de resultados beneficiosos en la mesa de negociación global, el trabajo en equipo emerge como una herramienta vital, donde la colaboración estrecha entre los líderes políticos y diplomáticos se erige como la brújula que orienta la dirección hacia el éxito en el complejo escenario de las negociaciones internacionales.

Estabilidad Política: La estabilidad política y la cohesión interna son fundamentales. Los líderes deben evitar divisiones que debiliten la posición negociadora de Colombia.

La estabilidad política no solo implica la ausencia de conflictos internos, sino también la capacidad de los líderes para forjar alianzas sólidas y promover la cohesión en torno a los objetivos estratégicos del país en las negociaciones de los BRICS. La construcción de consensos internos se convierte así en un componente clave para garantizar el éxito de los acuerdos alcanzados en la mesa de negociación.

En el complejo escenario global actual, donde los intereses de los países miembros de los BRICS pueden divergir en ciertos aspectos, la habilidad de los líderes colombianos para mantener una posición unificada se erige como un factor determinante. La coordinación efectiva entre presidentes, ministros de comercio y otros actores políticos se convierte en una tarea esencial para asegurar que las decisiones estratégicas tomadas no solo reflejen los intereses nacionales, sino que también fortalezcan la posición de Colombia en el contexto internacional.

“En este sentido, el papel de los líderes políticos no se limita únicamente a las sesiones formales de negociación, sino que se extiende a la diplomacia previa y posterior a los encuentros oficiales. La construcción de relaciones sólidas con otros países miembros de los BRICS se convierte en un activo estratégico, ya que estas conexiones pueden facilitar el entendimiento mutuo, allanar el camino para acuerdos más favorables y mitigar posibles tensiones que podrían surgir durante el proceso negociador. (Barrera Gutiérrez, 2019)

La participación de líderes colombianos en foros internacionales y eventos paralelos a las negociaciones BRICS puede potenciar la visibilidad y credibilidad del país. Estas plataformas ofrecen oportunidades para presentar la posición de Colombia, destacar sus fortalezas económicas y promover su atractivo como socio comercial e inversor. La construcción de una imagen positiva a nivel internacional puede contribuir a generar confianza entre los demás países miembros, consolidando así la posición de Colombia como un actor relevante en el escenario global.

la estabilidad política y la cohesión interna no solo son requisitos previos para el éxito de las negociaciones de los BRICS, sino que también representan una estrategia proactiva para fortalecer la posición negociadora de Colombia en el ámbito internacional. La capacidad de los líderes políticos para trabajar en conjunto, anticipar y abordar posibles desafíos, así como para construir relaciones sólidas con sus homólogos de los BRICS, se presenta como un factor determinante en la consecución de acuerdos beneficiosos para el desarrollo económico y la proyección global del país. (Barrera, 2019)

La política interna y las decisiones estratégicas de Colombia son determinantes para el éxito de los acuerdos BRICS. La participación de líderes políticos y la consideración de los intereses nacionales son esenciales para aprovechar al máximo estas alianzas económicas globales.

Estructuras Económicas y Complementariedades

Estructuras Económicas hace referencia a la organización y distribución de los recursos económicos de una sociedad o país. Esta estructura se compone de varios elementos interrelacionados que determinan cómo se producen, distribuyen y consumen los bienes y servicios en una economía (Coll Morales, 2020)

Complementariedades se refiere a la capacidad de dos o más países para complementarse entre sí en términos de producción y comercio. Esto significa que cada país se especializa en la producción de bienes y servicios que son relativamente más eficientes en comparación con otros países, y luego intercambia estos bienes y servicios con otros países para obtener los bienes y servicios que no produce. (Tapia Ladino, 2017)

Los países BRICS muestran una variada gama de estructuras económicas, destacándose cada uno en sectores específicos. Esta diversidad, que constituye un grupo con un considerable potencial en la economía global, ofrece a Colombia la oportunidad de identificar y aprovechar las complementariedades en los acuerdos comerciales. Al analizar las fortalezas individuales de Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica, Colombia puede explorar estratégicamente oportunidades que impulsen su posición en el escenario económico mundial. La fascinante diversidad económica de los BRICS se convierte así en un terreno fértil para el desarrollo de acuerdos y colaboraciones que abran un amplio abanico de posibilidades para el crecimiento económico colombiano.

Sectores Fuertes:

Brasil, como gigante sudamericano, destaca por su fortaleza en la agricultura, siendo líder en la producción de soja, carne de res y aves. Además, su presencia en la industria automotriz y aeroespacial, así como en el sector energético con la extracción de petróleo y gas, le concede al país una posición clave en la economía global. Estas áreas representan no solo oportunidades

de colaboración comercial para Colombia, sino también puntos estratégicos para la diversificación de su matriz económica. (Montoya, 2023)

Rusia, como exportador de energía, se posiciona como un socio potencial para Colombia en el ámbito de los recursos naturales. La minería rusa, centrada en metales y diamantes, complementa las necesidades de muchas industrias colombianas. Además, la tecnología militar y espacial rusa abre la puerta a posibles alianzas en investigación y desarrollo, creando posibilidades que podrían impulsar la innovación en ambos países. (Basque Trade Rusia, 2019)

India, destaca en sectores clave como la tecnología de la información y los servicios, incluyendo el outsourcing, que podría proporcionar a Colombia oportunidades para el desarrollo de su sector tecnológico. La industria farmacéutica india, reconocida a nivel mundial, también representa una vía estratégica para la cooperación bilateral. Además, la robusta agricultura india, centrada en productos como arroz, trigo y algodón, ofrece potenciales puntos de convergencia con la realidad agrícola colombiana. (Montoya P, 2023b)

China, como gigante manufacturero, abarca una amplia gama de industrias, desde la electrónica hasta la maquinaria. Su posición como exportador global de productos de consumo y bienes intermedios le da una influencia significativa en el comercio mundial. La infraestructura y la construcción son otros pilares de la economía china. Colombia, al reconocer estas fortalezas, puede buscar oportunidades en áreas como la manufactura y la construcción, fortaleciendo así los lazos económicos entre ambas naciones. (Amorós, 2022)

Sudáfrica, con sus ricos recursos minerales, especialmente en oro, platino y diamantes, se destaca en la minería a nivel global.

Su presencia en la agricultura, con cultivos como cítricos, uvas y vino, añade diversidad a su economía. Además, el turismo y los servicios financieros son sectores en los que Sudáfrica ha experimentado un crecimiento significativo. Colombia, al explorar áreas de colaboración en la minería, la agricultura y los servicios financieros, puede consolidar vínculos estratégicos con Sudáfrica. (Gándara, 2021)

Colombia, como una nación con una riqueza diversa de recursos y capacidades que pueden contribuir de manera significativa a la dinámica económica del grupo. Su posición geográfica estratégica y su rica biodiversidad en términos de recursos naturales ofrecen una plataforma única para la colaboración y complementariedad con los países BRICS.

En el ámbito agrícola, Colombia se destaca como un productor clave de café, flores, esmeraldas y frutas tropicales. Su agricultura diversificada, junto con la producción de productos como palma de aceite y banano, presenta oportunidades para la integración con la fortaleza agrícola de Brasil y la demanda de productos alimenticios de India. Además, la experiencia colombiana en el desarrollo sostenible de la agricultura puede ser un punto focal para la cooperación en prácticas agrícolas responsables.

El sector minero colombiano, que incluye carbón, oro, esmeraldas y níquel, puede ser de particular interés para naciones como Rusia y Sudáfrica, que tienen una presencia destacada en la exportación de recursos minerales. La experiencia de Colombia en la explotación sostenible de estos recursos y en la gestión de impactos ambientales puede ser una base para el intercambio de conocimientos con países que buscan mejorar sus prácticas en este sector.

En términos de tecnología, Colombia ha experimentado un crecimiento significativo en el sector de la tecnología de la información y los servicios. Su capacidad en outsourcing puede ser un área de colaboración con India, que es líder mundial en este campo. Además, la inversión en innovación y tecnología puede proporcionar oportunidades para la cooperación con China y Rusia, que tienen un enfoque destacado en el desarrollo tecnológico y espacial.

En el sector energético, Colombia tiene potencial en la producción de petróleo y gas, aunque en menor escala en comparación con Brasil y Rusia. La diversificación de fuentes de energía, incluyendo la hidroeléctrica, ofrece oportunidades para la colaboración en el ámbito energético con todos los países BRICS, cada uno con enfoques específicos en este sector. Además,

el turismo y los servicios financieros son áreas en las que Colombia ha experimentado un crecimiento considerable. La promoción del turismo y la expansión de servicios financieros esto puede favorecer a Sudáfrica, que también destaca en estos sectores.

Colombia, con su mezcla única de recursos naturales, capacidad agrícola diversa, desarrollo tecnológico en ascenso y sectores emergentes como el turismo y los servicios financieros, tiene mucho que ofrecer a los países BRICS. La identificación y aprovechamiento de estas complementariedades pueden fortalecer los lazos económicos entre Colombia y los BRICS, generando beneficios mutuos y contribuyendo al desarrollo sostenible a nivel global. (Rojas, 2017)

Las fortalezas económicas de cada país BRICS proporciona a Colombia una base sólida para la identificación y aprovechamiento de oportunidades estratégicas. La diversidad presente en estos mercados emergentes ofrece un abanico de posibilidades para la colaboración bilateral y el fortalecimiento de la posición de Colombia en la economía global. Los BRICS se complementan estratégicamente en varios aspectos, y estas pueden llegar a ser relevantes para Colombia:

China e India: China, con su enfoque en productos manufacturados, puede colaborar con India, que lidera en servicios y tecnología. Esta complementariedad puede generar oportunidades para la cooperación en investigación y desarrollo.

Brasil y Rusia: La fortaleza de Brasil en agricultura y recursos naturales se complementa con la posición de Rusia como un exportador clave de energía. La colaboración en tecnología y energía podría ser beneficiosa para ambas partes.

India y Sudáfrica: Ambos países tienen economías basadas en servicios y una clase media en crecimiento. La cooperación en áreas como tecnología de la información y educación puede generar beneficios mutuos.

Los BRICS buscan aprovechar estas complementariedades en sus acuerdos comerciales mediante:

- Fomento de la cooperación en sectores específicos (tecnología, energía, agricultura).
- Facilitación de la inversión y acceso a mercados.
- Promoción de la transferencia de conocimientos y tecnología.

Sin embargo, es crucial evaluar el posible impacto en las relaciones con

EE. UU., dada la presencia de China en el grupo. La invitación a Colombia representa una apuesta geopolítica importante, y el país debe considerar cuidadosamente los beneficios y desafíos de formar parte de este bloque económico global. La identificación de oportunidades específicas en sectores clave puede impulsar el crecimiento económico y la diversificación de la economía colombiana.

Dinámicas Comerciales y Desafíos

Dinámicas Comerciales se refieren al conjunto de fuerzas, factores y tendencias que impulsan el comercio entre países. Estas fuerzas pueden ser de naturaleza económica, política, social o tecnológica.

Desafíos se refiere a los desafíos que Colombia enfrentaría al integrarse a los acuerdos comerciales y económicos existentes entre los BRICS.

Las dinámicas y desafíos asociados a los acuerdos comerciales entre los BRICS cruciales para la cooperación económica global. En el contexto específico de Colombia, es esencial explorar estos aspectos con mayor profundidad y argumentar sobre cómo el país suramericano aborda y supera estos desafíos para así lograr fortalecer su posición frente a la economía global. En el caso específico de Colombia, una nación suramericana con una economía dinámica, la conexión con los BRICS se vuelve esencial para su estrategia de inserción en la economía global. Es necesario examinar cómo Colombia enfrenta estos desafíos, adaptándose a las cambiantes dinámicas del panorama económico global. La capacidad del país para desarrollar estrategias que fortalezcan su posición en este entorno comercial es un indicador clave de su resiliencia y adaptabilidad.

Para superar estos desafíos, es muy importante que Colombia promueva la diversificación de su base productiva, mejore la infraestructura logística y fomente la innovación. La colaboración entre el gobierno, el sector privado y la academia se convierte en un catalizador esencial para formular e implementar políticas que refuercen la posición de Colombia en el escenario internacional, creando alianzas estratégicas importantes tanto a nivel local como internacional. Comprender a fondo las dinámicas y desafíos de los acuerdos comerciales con los BRICS es esencial para formular una estrategia integral que fortalezca la participación de Colombia en la economía global. La capacidad del país para abordar estos desafíos no solo define su posición internacional, sino también su habilidad para aprovechar oportunidades en un mundo interconectado y en constante transformación.

Barreras Comerciales:

Aranceles y Cuotas: Los aranceles y cuotas de importación presentes en las relaciones comerciales entre los BRICS pueden afectar significativamente el acceso de los productos colombianos a estos mercados. Colombia debe evaluar minuciosamente los aranceles que enfrentan sus productos al ingresar a los mercados BRICS, identificando oportunidades para la reducción de barreras y la promoción de exportaciones.

Las relaciones comerciales entre los BRICS, los aranceles y cuotas de importación son factores clave que afectan directamente la capacidad de Colombia para vender sus productos en estos mercados emergentes. Evaluar cuidadosamente estos aranceles es esencial, ya que pueden convertirse en obstáculos económicos importantes.

Examinar las tarifas aduaneras es crucial para diseñar políticas comerciales que impulsen la competitividad de los productos colombianos en los mercados BRICS. Identificar áreas donde se puedan negociar reducciones arancelarias o cuotas más favorables es una prioridad para el gobierno colombiano. La diplomacia comercial y las negociaciones bilaterales son herramientas clave, ya que facilitan estrategias para superar los obstáculos de aranceles y cuotas. Además, promover activamente las exportaciones es una respuesta proactiva a los desafíos de los aranceles y cuotas en los mercados BRICS. Colombia podría implementar programas para estimular la internacionalización de sus empresas, diversificando y consolidando su presencia en estos mercados estratégicos. Identificar nichos de mercado y adaptar estrategias empresariales a las demandas específicas de los consumidores en los BRICS podría formar parte de una estrategia amplia para superar barreras arancelarias.

Manejar eficientemente los aranceles y cuotas en las relaciones comerciales con los BRICS no solo ampliará las oportunidades comerciales para Colombia, sino que también fortalecerá la posición del país a nivel internacional. Este enfoque se presenta como una herramienta estratégica esencial para asegurar la viabilidad a largo plazo de las exportaciones colombianas en estos mercados dinámicos y competitivos. Colombia podría considerar establecer acuerdos comerciales con los países BRICS para reducir aranceles y cuotas de importación, buscando así diversificar su base de exportación y explorar nuevos mercados. Otra estrategia podría ser mejorar la calidad de productos y servicios, invirtiendo en investigación y desarrollo, mejorando eficiencia y productividad, y adoptando tecnologías avanzadas.

Regulaciones y Normativas: Las diferencias en las regulaciones comerciales entre los BRICS pueden generar obstáculos para el comercio colombiano. Colombia debe asegurarse de que sus productos cumplan con los estándares de calidad, etiquetado y certificación de los países BRICS, explorando mecanismos de armonización o reconocimiento mutuo. Las regulaciones y normativas comerciales son fundamentales a nivel internacional y juegan un papel clave en facilitar o dificultar el comercio. En el caso de Colombia, las diferencias en las regulaciones con los países BRICS son un desafío para sus operaciones comerciales. Colombia debe asegurar que sus productos cumplan con los estándares de calidad de estos países, lo que implica un análisis detallado de las regulaciones y la posibilidad de armonización o reconocimiento mutuo.

La armonización busca simplificar los procesos para exportadores colombianos al establecer normativas comunes. Esto facilitaría la circulación de bienes al reducir barreras administrativas y técnicas. Por otro lado, el reconocimiento mutuo implica que cumplir con los estándares de un país automáticamente cumple con los requisitos del otro. Colombia busca construir puentes normativos con los BRICS, equilibrando la protección de la salud y el medio ambiente con la promoción de un comercio fluido. Estrategias flexibles y un diálogo continuo son clave para superar desafíos regulatorios y promover un entorno propicio para el intercambio comercial mutuamente beneficioso. La armonización de regulaciones entre los BRICS es un proceso complejo que requiere cooperación entre gobiernos y empresas. Este proceso puede reducir costos y eliminar barreras comerciales en Colombia. Es un proceso gradual que demanda tiempo y recursos, por lo que la colaboración estrecha con los BRICS es esencial para establecer mecanismos efectivos de armonización y reconocimiento mutuo.

Barreras No Arancelarias: Colombia también enfrenta desafíos relacionados con barreras no arancelarias, como requisitos fitosanitarios y procedimientos aduaneros. Es crucial entender cómo Colombia resuelve estos desafíos y qué estrategias utiliza para superar estas barreras. Colombia enfrenta desafíos en su comercio internacional, no solo por barreras arancelarias, sino también por obstáculos como requisitos fitosanitarios y procedimientos aduaneros. Estos aspectos son cruciales para la dinámica económica del país. En el ámbito fitosanitario, se requiere cumplir con estrictos reglamentos para lograr proteger la salud de las plantas y prevenir la entrada de plagas, lo que afecta la competitividad en los mercados globales. Además, los procedimientos aduaneros influyen en la fluidez del comercio

retrasos pueden generar costos adicionales y afectar la competitividad colombiana.

El gobierno colombiano aborda estos desafíos con estrategias como la modernización de los controles fitosanitarios y la simplificación de procedimientos aduaneros. Estos esfuerzos buscan mejorar la capacidad del país para superar las barreras no arancelarias, promoviendo un entorno comercial más eficiente. Las iniciativas reflejan el compromiso de Colombia con el comercio internacional y su búsqueda de soluciones innovadoras para consolidarse globalmente. Las barreras no arancelarias, como requisitos fitosanitarios y procedimientos aduaneros, plantean desafíos significativos para Colombia en el comercio internacional. Sin embargo, el país demuestra determinación al abordar estos desafíos mediante estrategias adaptativas y mejoras continuas, fortaleciendo así su posición en la economía global. Además, ha implementado medidas como la simplificación de procedimientos aduaneros, armonización de normas fitosanitarias y acuerdos comerciales para reducir estas barreras y mejorar el acceso a los mercados internacionales.

Resolución de Conflictos:

Mecanismos de Solución de Controversias: Para asegurar la protección de sus intereses, Colombia debe participar activamente en los mecanismos de solución de controversias establecidos entre los BRICS. Esto incluye el arbitraje, la mediación y los paneles de expertos. Con el fin de resguardar y fortalecer los intereses nacionales, es crucial que Colombia adopte una postura activa en los mecanismos de solución de controversias establecidos con los BRICS. Entre estos mecanismos, el arbitraje se destaca como una herramienta esencial, proporcionando un medio efectivo y neutral para resolver disputas de manera justa. A través del arbitraje, las partes pueden someter sus diferencias a un tercero imparcial, cuya decisión, basada en la ley y la equidad, brinda una resolución eficiente y legalmente vinculante.

La mediación se presenta como otro enfoque valioso. Al fomentar el diálogo y la negociación, busca alcanzar acuerdos mutuamente aceptables, evitando procedimientos formales y adversariales. La flexibilidad a la mediación permite adaptar soluciones a circunstancias específicas, promoviendo un enfoque colaborativo y construyendo puentes para una cooperación continua entre los países del BRICS. Además, la participación en paneles de expertos es una estrategia integral para abordar controversias complejas. Estos paneles, conformados por profesionales altamente

calificados, ofrecen un foro especializado para analizar y resolver cuestiones específicas, contribuyendo a decisiones informadas que respetan los principios jurídicos y promueven la equidad entre las partes involucradas.

La efectiva utilización de estos mecanismos no solo consolida la posición de Colombia en los BRICS, sino que también contribuye a construir una red robusta y duradera de relaciones diplomáticas. Al abrazar la diversidad de opciones disponibles, Colombia demuestra su compromiso con la resolución pacífica de disputas y su disposición a trabajar en colaboración con los demás miembros de los BRICS para fortalecer la estabilidad y la prosperidad en la región y más allá. Para asegurar la protección de sus intereses, Colombia debe participar activamente en estos mecanismos, lo que no solo evitará conflictos innecesarios, sino que también mejorará su posición en el mercado internacional y fortalecerá su economía. Es fundamental que Colombia esté preparada para participar en estos mecanismos y tenga una estrategia clara para hacerlo, asegurando así que sus intereses estén protegidos y que pueda competir efectivamente a nivel internacional.

Negociación Diplomática: La diplomacia y el diálogo son esenciales para resolver conflictos comerciales. Colombia debe participar de manera proactiva en la diplomacia comercial con los BRICS, utilizando estrategias efectivas para mantener relaciones constructivas y resolver disputas.

Desafíos Prácticos:

Coordinación Interna: La coordinación interna es clave para la implementación efectiva de los acuerdos. Colombia debe asegurarse de que sus ministerios y agencias trabajen de manera conjunta para cumplir con los compromisos, alineando los intereses nacionales y superando posibles diferencias. En el complejo entramado de las relaciones comerciales, la coordinación interna emerge como un elemento fundamental para la implementación eficaz de los acuerdos comerciales entre Colombia y los BRICS. La necesidad de lograr asegurar que los diversos ministerios y agencias del país trabajen en armonía y colaboración se convierte en un aspecto crucial. Este desafío implica no solo la alineación de intereses nacionales, sino también la superación de posibles diferencias que podrían surgir en el proceso.

La coordinación interna es un pilar esencial para garantizar que los compromisos adquiridos en los acuerdos comerciales se lleven a cabo de manera coherente y efectiva, el papel de los ministerios relacionados con la

economía, el comercio exterior y la planificación estratégica adquiere una importancia estratégica. La colaboración estrecha entre estas entidades se vuelve imperativa para asegurar que cada una de ellas cumpla con su rol asignado de manera eficiente y contribuya al éxito general de la estrategia de Colombia en sus relaciones con los BRICS.

La alineación de intereses nacionales es un aspecto complejo que requiere una comprensión profunda de las dinámicas internas de la economía colombiana. La capacidad de los diferentes sectores gubernamentales para trabajar en conjunto, dejando de lado posibles discrepancias, se convierte en un factor determinante para la ejecución exitosa de los acuerdos. Esta sinergia interna no solo abarca la esfera gubernamental, sino que se extiende a la colaboración entre el gobierno, el sector privado y la academia, creando un entorno propicio para el intercambio de conocimientos y la formulación de políticas estratégicas.

Además, la coordinación interna no solo se limita a la ejecución de los acuerdos, sino que también influye en la capacidad de Colombia para adaptarse a las cambiantes dinámicas del panorama económico global. La agilidad en la toma de decisiones y la capacidad de ajuste a las condiciones cambiantes son elementos esenciales que se ven potenciados por una coordinación interna efectiva. Asimismo, la habilidad para anticipar y abordar posibles obstáculos en tiempo real se convierte en un indicador de la resiliencia y adaptabilidad del país ante los desafíos comerciales que puedan surgir en la relación con los BRICS.

La coordinación interna no solo es un requisito práctico para la implementación de acuerdos comerciales, sino que se posiciona como un componente estratégico que define la capacidad de Colombia para navegar exitosamente en el complejo escenario de las relaciones económicas internacionales. Su importancia radica no solo en la ejecución eficiente de los compromisos, sino también en la capacidad del país para posicionarse de manera sólida y adaptable en el dinámico tablero económico global, especialmente en el contexto de sus interacciones con los BRICS.

Implementación Efectiva: Colombia enfrenta desafíos específicos en la implementación de los acuerdos, que pueden incluir la asignación de recursos y la capacidad administrativa. Identificar estos desafíos y desarrollar estrategias para superarlos es crucial para garantizar el éxito de los acuerdos BRICS.

Colombia debe considerar cuidadosamente estas dinámicas y desafíos para maximizar los beneficios de los acuerdos comerciales con los

BRICS, asegurando una participación en la resolución de conflictos y una implementación efectiva para fortalecer su posición en la economía global.

La implementación efectiva de los acuerdos comerciales entre Colombia y los BRICS plantea desafíos específicos que requieren una atención cuidadosa. Uno de los aspectos cruciales es la asignación de recursos, donde Colombia debe equilibrar eficientemente sus inversiones para asegurar un máximo rendimiento de estos acuerdos. La capacidad administrativa también se presenta como un factor determinante, ya que la eficaz gestión y supervisión de los términos acordados son fundamentales para el éxito a largo plazo.

Identificar y abordar estos desafíos es esencial para garantizar la implementación efectiva de los acuerdos BRICS en el contexto colombiano. La asignación estratégica de recursos financieros y humanos, así como la mejora de la capacidad administrativa, son pasos fundamentales para superar los obstáculos en el camino hacia una cooperación económica sólida con los países del BRICS. Colombia, en su estrategia de inserción en la economía global a través de estos acuerdos, debe reconocer la importancia de promover la participación en la resolución de los posibles conflictos. La capacidad de la nación suramericana para contribuir de manera constructiva a la solución de disputas comerciales fortalecerá sus lazos con los BRICS, consolidando así su posición como un socio fiable y comprometido en el escenario internacional.

Además, la implementación efectiva de estos acuerdos no solo se traduce en beneficios económicos tangibles, sino que también juega un papel crucial en la proyección de la imagen de Colombia a nivel global. Una ejecución exitosa demuestra la resiliencia y adaptabilidad del país frente a los desafíos económicos y contribuye a su reputación como actor serio y confiable en el ámbito internacional. En este sentido, la colaboración entre el gobierno, el sector privado y la academia se erige como un pilar fundamental para lograr superar todos los obstáculos en la implementación estos acuerdos BRICS. La sinergia entre estas entidades permite una formulación más robusta de políticas, así como la implementación de medidas concretas que aborden los desafíos específicos que surgen en la ejecución de estos acuerdos.

La diversificación de la base productiva se convierte en un aspecto clave para maximizar los beneficios de los acuerdos comerciales con los BRICS. Colombia debe explorar nuevas oportunidades de mercado y sectores

económicos para reducir la dependencia de ciertos productos o industrias, asegurando así una mayor estabilidad frente a posibles fluctuaciones en el panorama económico global. Mejorar la infraestructura logística es otro elemento esencial para la implementación efectiva de los acuerdos comerciales. Un sistema logístico eficiente facilita el flujo de mercancías y reduce los costos asociados al comercio internacional, lo que contribuye directamente a la competitividad de Colombia en los mercados globales.

La innovación se presenta como un motor clave para el crecimiento económico sostenible. La capacidad de Colombia para fomentar la investigación y el desarrollo, así como la adopción de nuevas tecnologías no solo fortalecerá su posición en los acuerdos BRICS, sino que también le permitirá destacarse como un actor innovador en el escenario internacional.

La implementación efectiva de los acuerdos comerciales con los BRICS demanda un enfoque integral que aborde los desafíos específicos que enfrenta Colombia. Desde la asignación eficiente de recursos hasta la mejora de la capacidad administrativa, pasando por la diversificación de la base productiva y el impulso a la innovación, cada paso contribuye a la consolidación de la posición de Colombia en la economía global. La participación en la resolución de conflictos y la evaluación cuidadosa de la posible inclusión en los BRICS son elementos cruciales que añaden capas de complejidad y oportunidad a esta estrategia de inserción económica en el escenario internacional. (Trujillo, 2023)

Coordinación Interna: La coordinación interna es clave para la implementación efectiva de los acuerdos. Colombia debe asegurarse de que sus ministerios y agencias trabajen de manera conjunta para cumplir con los compromisos, alineando los intereses nacionales y superando posibles diferencias. La coordinación interna, como componente fundamental de la implementación efectiva de los acuerdos comerciales entre Colombia y los BRICS, es un elemento clave que impacta directamente en el éxito de esta estrategia de inserción económica en el escenario internacional. Profundicemos en cómo la armonización de esfuerzos y la colaboración entre los diferentes sectores gubernamentales pueden potenciar los resultados positivos de estos acuerdos.

En primer lugar, la colaboración entre los diferentes ministerios es muy importante para cumplir los acuerdos. Todos los ministerios deben trabajar juntos para que los acuerdos se cumplan de la misma manera. Esto

contribuirá a evitar problemas o desacuerdos cuando se implementen las políticas de los acuerdos BRICS.

La alineación de intereses nacionales también juega un papel crucial en este proceso. Colombia debe asegurarse de que sus objetivos internos estén en sintonía con los compromisos asumidos en los acuerdos, lo que implica una cuidadosa planificación y evaluación de las implicaciones a nivel nacional. Esto no solo fortalecerá la coherencia en la implementación, sino que también consolidará la posición del país como un socio confiable y comprometido en el ámbito internacional. (Rojas, 2017)

Superar posibles diferencias entre los ministerios y agencias gubernamentales es otro desafío que debe abordarse en la búsqueda de una coordinación interna efectiva. La identificación temprana de posibles conflictos de interés o divergencias en las interpretaciones de los términos acordados permitirá una gestión proactiva de estos problemas, evitando obstáculos que podrían obstaculizar la implementación exitosa de los acuerdos comerciales. Además, la coordinación interna no solo se limita al ámbito gubernamental. La participación del sector privado y las universidades en este proceso es esencial. La colaboración entre el gobierno y todas las empresas e instituciones académicas puede enriquecer la formulación de políticas y la implementación de medidas concretas. Este enfoque garantiza que la estrategia de inserción económica de Colombia no solo sea exitosa en papel, sino que también se traduzca en resultados tangibles y beneficios para la sociedad en general.

La coordinación interna se presenta como un pilar indispensable para la implementación efectiva de los acuerdos comerciales entre Colombia y los BRICS. La colaboración entre los diferentes actores, tanto gubernamentales como del sector privado y académico, es esencial para superar los desafíos específicos y aprovechar las oportunidades que estos acuerdos ofrecen. Este enfoque integral garantiza que Colombia no solo sea un participante activo en la resolución de conflictos y la evaluación cuidadosa de su inclusión en los BRICS, sino que también consolide su posición como un actor destacado en la economía global.

Implementación Efectiva: Colombia enfrenta desafíos específicos en la implementación de los acuerdos, que pueden incluir la asignación de recursos y la capacidad administrativa. Identificar estos desafíos y

desarrollar estrategias para superarlos es crucial para garantizar el éxito de los acuerdos BRICS. La implementación efectiva de los acuerdos comerciales entre Colombia y los BRICS constituye un desafío multifacético que demanda una atención estratégica y un enfoque integral. La asignación eficiente de recursos y la gestión adecuada de la capacidad administrativa emergen como elementos críticos en este proceso. Abordar estos desafíos de manera efectiva no solo es esencial para el éxito a corto plazo, sino que también sienta las bases para una colaboración económica sólida y sostenible a largo plazo.

Para Colombia la asignación de recursos se presenta como un punto de especial relevancia. La capacidad del país para equilibrar eficientemente sus inversiones en los acuerdos BRICS es fundamental para asegurar un rendimiento máximo de dichas asociaciones. La cuidadosa consideración de cómo se distribuyen los recursos financieros y humanos se convierte en un ejercicio estratégico que no solo afecta los beneficios económicos inmediatos, sino que también modela la trayectoria de la relación comercial a lo largo del tiempo. (Trujillo, 2023)

Asimismo, la capacidad administrativa emerge como un factor determinante en la implementación exitosa de los acuerdos. La gestión eficaz y el seguimiento de los términos acordados son esenciales para así lograr garantizar que los beneficios comerciales se materialicen de manera eficiente. Mejorar la capacidad de gestión implica no solo fortalecer la estructura administrativa, sino también promover la formación de personal especializado y la implementación de tecnologías que optimicen los procesos relacionados con los acuerdos BRICS. Identificar y abordar estos desafíos es esencial para garantizar la implementación efectiva de los acuerdos BRICS en el contexto colombiano. La asignación estratégica de recursos financieros y humanos, así como la mejora de la capacidad administrativa, son pasos fundamentales para superar los obstáculos en el camino hacia una cooperación económica sólida con los países del BRICS.

En este complejo entramado de desafíos, la participación en la resolución de los conflictos se convierte en otro componente crucial. Colombia, al posicionarse como un actor proactivo en la solución de disputas comerciales, no solo fortalece sus lazos con los BRICS, sino que también contribuye a la construcción de una

reputación internacional sólida y confiable. Este compromiso con la resolución pacífica de conflictos no solo tiene implicaciones inmediatas en términos de relaciones comerciales, sino que también contribuye al fortalecimiento de la imagen de Colombia en la escena global. (Arenales, 2023)

La colaboración entre los sectores público, privados y académicos es un pilar fundamental para la implementación exitosa de los acuerdos BRICS. Esta colaboración permite a los actores involucrados trabajar juntos para formular políticas sólidas e implementar medidas concretas que aborden los desafíos específicos de la ejecución de los acuerdos. La creación de un marco de cooperación facilita el intercambio de conocimientos y experiencias, lo que contribuye a una aplicación más efectiva y eficiente de los acuerdos comerciales. En la búsqueda de una inserción económica exitosa en la economía global a través de estos acuerdos, Colombia debe reconocer la importancia de la diversificación de su base productiva. Este enfoque estratégico implica explorar nuevas oportunidades de mercado y sectores económicos, reduciendo así la dependencia de ciertos productos o industrias. La diversificación no solo brinda una mayor estabilidad frente a posibles fluctuaciones en el panorama económico global, sino que también maximiza los beneficios a largo plazo de los acuerdos con los BRICS.

Mejorar la infraestructura logística es otro elemento esencial para la implementación efectiva de los acuerdos comerciales. Un sistema logístico eficiente facilita el flujo de mercancías y reduce los costos asociados al comercio internacional, lo que contribuye directamente a la competitividad de Colombia en los mercados globales. Una inversión estratégica en infraestructuras de transporte, puertos y tecnologías logísticas modernas puede potenciar significativamente la capacidad de Colombia para cumplir con los términos acordados con los BRICS.

La innovación se presenta como un motor clave para el crecimiento económico sostenible en el contexto de estos acuerdos. La capacidad de Colombia para fomentar la investigación y el desarrollo, así como la adopción de nuevas tecnologías, no solo fortalecerá su posición en los acuerdos BRICS, sino que también le permitirá destacarse como un actor innovador en el escenario internacional. La incorporación de prácticas innovadoras de procesos productivos y de la promoción de creatividad y la investigación son pasos cruciales para mantenerse a la vanguardia en la cooperación económica con los BRICS.

La implementación efectiva de los acuerdos comerciales con los BRICS demanda un enfoque integral que aborde los desafíos específicos que enfrenta Colombia. Desde la asignación eficiente de todos los recursos hasta la mejora de la capacidad administrativa, pasando por la diversificación de la base productiva y el impulso a la innovación, cada paso contribuye a la consolidación de la posición de Colombia en la economía global. La participación en la resolución de los conflictos y la evaluación cuidadosa de la posible inclusión en los BRICS son elementos cruciales que añaden capas de complejidad y oportunidad a esta estrategia de inserción económica en el escenario internacional. La implementación exitosa de estos acuerdos no solo representa una victoria económica, sino también un testimonio de la capacidad de Colombia para superar desafíos y prosperar en la escena global.

Conclusión

Los acuerdos económicos y comerciales entre los BRICS ofrecen a Colombia una dualidad de oportunidades y desafíos que requieren una cuidadosa consideración. En primer lugar, es evidente que la participación en estos acuerdos puede ser una valiosa oportunidad para fortalecer la economía colombiana y su posición en la escena global. No obstante, para capitalizar al máximo estas posibilidades, el país debe abordar diversos factores que van desde los aspectos políticos internos hasta las complejidades prácticas de implementación. El análisis detallado de los factores políticos internos, las estructuras económicas y las dinámicas comerciales, realizado en el marco de estas negociaciones, proporciona una visión integral de la situación. Además, se destaca la importancia de que Colombia tome decisiones estratégicas fundamentadas, considerando las particularidades de cada país BRICS y buscando identificar complementariedades que impulsen sectores económicos clave.

Es crucial que Colombia, al adentrarse en estos acuerdos, se enfrente de manera proactiva a los obstáculos, especialmente las barreras comerciales. La resolución de disputas mediante negociación y el uso de mecanismos especializados son elementos clave para consolidar los beneficios de estos pactos. La coordinación interna y la asignación efectiva de recursos se perfilan como fundamentales para la ejecución exitosa de estos acuerdos, lo que implica la necesidad de una cuidadosa planificación y gestión de los todos los recursos disponibles.

Se resalta la necesidad de que Colombia priorice sus intereses nacionales en las negociaciones, buscando la diversificación económica, el acceso a

mercados emergentes y el fortalecimiento de la seguridad alimentaria. La identificación de sectores económicos complementarios, donde se puedan establecer alianzas estratégicas mutuamente beneficiosas, se convierte en un elemento clave para maximizar las oportunidades. La superación de barreras comerciales, la participación en la resolución de los conflictos y la implementación efectiva de los acuerdos demandan una coordinación interna cuidadosa, respaldada por recursos adecuados y la construcción de consensos. Este proceso implica no solo la participación del sector público, sino también la colaboración público-privada para garantizar un enfoque integral y eficiente.

El éxito de la inserción internacional de Colombia a través de los BRICS dependerá de su capacidad para equilibrar los intereses domésticos y las oportunidades globales. La maximización de beneficios y la gestión de riesgos requerirán un enfoque estratégico, realista y multidimensional. La participación en las iniciativas de integración económica de los BRICS, especialmente en áreas como la agricultura, la tecnología y la manufactura, podría consolidar la posición de Colombia como un actor global relevante. Para superar los obstáculos como aranceles, diferencias regulatorias y procedimientos aduaneros complejos, será esencial una diplomacia comercial integral, respaldada por acuerdos de libre comercio y estrategias de diversificación económica.

Si Colombia logra abordar con éxito estos desafíos, su inserción en la economía global se verá significativamente beneficiada, potenciando el acceso a importantes mercados y fortaleciendo sectores económicos clave. Este proceso requerirá una participación en las negociaciones, el desarrollo de nuevas capacidades internas y una implementación eficiente basada en alianzas estratégicas público-privadas.

Referencia

- Amorós, R. (2022). *La economía china por sectores – Ategi*. <https://ategi.com/2022/05/24/la-economia-china-por-sectores/>
- Arenales, J. V. (2023, September 6). *Si Colombia acepta entrar al Banco de Brics se suma a entidades como CAF, FMI y BM*. <https://www.larepublica.co/economia/si-colombia-acepta-entrar-al-banco-de-brics-se-suma-a-entidades-como-caf-fmi-y-bm-3697491>
- Barrera Gutiérrez, R. A. (2019). Los Brics y las relaciones Sur-Sur: la participación de India. *OASIS*, 30, 113–143. <https://doi.org/10.18601/16577558.N30.08>
- Basque Trade Rusia. (2019). FEDERACIÓN RUSA INFORMACIÓN GENERAL PRINCIPALES INDICADORES ECONÓMICOS. www.basquetrade.eus
- Baumann, R. (2009). COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE Oficina en Brasil EL COMERCIO ENTRE LOS PAÍSES “BRICS.”
- Coll Morales, F. (2020, May 1). Estructura económica. <https://economipedia.com/definiciones/estructura-economica.html>
- Gándara, G. (2021). Sudáfrica: El motor de un continente. <https://revistacomercioexterior.com/sudafrica-el-motor-de-un-continente>
- Haibin, N. (2012). Los BRICS en la gobernanza global : una fuerza progresista? <http://www2.goldmansachs.com/ideas/brics/>
- Investigación forense. (2023). Requisitos De La Política Interna: La Importancia De Las Políticas Y Los Procedimientos Internos. <https://financialcrimeacademy.org/es/requisitos-de-la-politica-interna-la-importancia-de-las-politicas-y-los-procedimientos-internos/>
- Maihold, G., & Villamar, Z. (2016). EL G20 Y LOS PAÍSES EMERGENTES. *Foro Internacional*, 223(1), 165–211. <http://www.project-syndicate.org/commentary/emer->
- Montoya P, J. D. (2023a). Actividades económicas de Brasil - Actividades Económicas. <https://actividadeseconomicas.org/actividades-economicas-de-brasil/>
- Montoya P, J. D. (2023b). Actividades económicas de la India - Actividades Económicas. <https://actividadeseconomicas.org/actividades-economicas-de-la-india/>
- Pedraja Rojas, L., Rodríguez Ponce, E., & Rodríguez Ponce, J. (2006). Liderazgo y decisiones estratégicas: Una perspectiva integradora. *Interciencia*, 31(8), 577–582. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442006000800007&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Rojas Sánchez, R. A. (2017). Los BRICS, Una Oportunidad Para El Mundo.
- Sebastián, J. (2016). Tesis presentada para la obtención del grado de Licenciado en

Sociología. <http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/tesis/te.1226/te.1226.pdf>

Tapia Ladino, M. (2017). Las fronteras, la movilidad y lo transfronterizo: Reflexiones para un debate. *Estudios Fronterizos*, 18(37), 61–80. <https://doi.org/10.21670/REF.2017.37.A04>

Trujillo Velásquez, J. (2023). Qué son los Brics y qué implicaría que Colombia hiciera parte de este grupo de países. <https://www.larepublica.co/economia/que-son-los-brics-y-que-implicaria-que-colombia-hiciera-parte-de-este-grupo-de-paises-3669785>

CAPÍTULO 11.

Evaluación del desempeño docente desde la óptica del análisis de sentimientos: un caso de estudio en la Uniautónoma del Cauca

VALENTINA CERÓN MONJE¹
CARLOS EDUARDO ZÚÑIGA MUÑOZ²
SANDRA PATRICIA CASTILLO LANDÍNEZ³
PABLO EDUARDO CAICEDO RODRÍGUEZ⁴

Resumen

El ODS 4 de UNESCO hace referencia a la educación inclusiva, equitativa y de calidad, es en este último aspecto, donde la evaluación del desempeño docente toma gran relevancia pues constituye una oportunidad de mejora tanto a nivel de los individuos en particular (prácticas, estrategias, metodologías, etc.) como del sistema educativo en general. En este trabajo se usaron técnicas de minería de texto (estudio de unigramas, bigramas y análisis de sentimientos) para examinar los comentarios hechos por decanos, docentes y estudiantes en el proceso de evaluación docente en la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca durante el período 2018 a 2021. Se empleó un proceso integral, que abarca desde la recopilación y exploración de datos

-
- 1 Estudiante último semestre de Ingeniería de Software y Computación Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. Miembro del Semillero de Investigación en Minería de Datos (SIMD). Desarrolladora de asistentes virtuales mediante inteligencia artificial. valentina.ceron.m@uniautonom.edu.co
 - 2 Ingeniero de Software y Computación, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. Miembro del Semillero de Investigación en Minería de Datos (SIMD). Desarrollador de integración. carlos.zuniga.m@uniautonom.edu.co
 - 3 Magister en Ciencia de los Datos y Procesamiento de Datos Masivos (Big-Data). Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. Docente e investigadora adscrita al Grupo MEDES, coordinadora de la línea de Investigación en Análisis y procesamiento de datos y líder del Semillero de Investigación en Minería de Datos (SIMD). sandra.castillo.l@uniautonom.edu.co
 - 4 Doctor en Ciencias de la Electrónica. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. Docente e investigador, director del Grupo de Investigación en Matemáticas y Estadística para el Desarrollo Sostenible (MEDES). pablo.caicedo.r@uniautonom.edu.co

hasta la depuración, preparación, análisis de sentimientos y análisis de resultados, lo que permitió comprender el impacto de la práctica docente en las concepciones, creencias y opiniones de la comunidad educativa. Los resultados muestran un concepto favorable del cuerpo docente en general y una tendencia al uso de palabras con un tono positivo, asociadas a emociones de felicidad y confianza. Este patrón se refuerza al detallar los bigramas y las redes de palabras, que también indican una percepción positiva.

Palabras clave: Evaluación docente, Calidad educativa, Análisis de sentimientos, Análisis de texto.

1. Introducción

La educación representa el pilar fundamental del desarrollo tanto individual como colectivo (Bravo De la Ossa, 2018), en este sentido, facilita la integración de las personas en la comunidad y brinda herramientas a los individuos para adaptarse a diversos entornos, por tal razón ocupa una posición fundamental en el mundo actual.

Considerando los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, este trabajo dirige su atención de manera significativa hacia el Objetivo 4, el cual hace referencia a *“Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos”* (Naciones Unidas 2023). La calidad educativa, avalada por instrumentos como la evaluación docente, desempeña un papel de suma relevancia en esta perspectiva, no solamente proporciona conocimientos, sino también dota a los individuos de habilidades prácticas, tales como la capacidad de análisis crítico, resolución de problemas y toma de decisiones informadas; además los capacita para afrontar los desafíos del desarrollo sostenible y contribuye al avance hacia un mundo más equitativo y resiliente.

Según (Gamboa-Suárez, 2016), uno de los aspectos más relevantes en la educación superior es la docencia, por su impacto en los procesos que desarrolla la universidad. Por lo anterior, la calidad en la educación se convierte en un pilar fundamental dentro de un sistema eficiente y transformador, lo cual implica un compromiso constante con la innovación y la mejora en metodologías y didácticas educativas.

De acuerdo con Cejas, Chirinos y Vásquez (2017) resaltan la importancia de explorar en profundidad las competencias docentes, ya que estas habilidades particulares constituyen un enfoque completo que posibilita la expresión de conocimientos, capacidades y destrezas, además de las

características esenciales de las personas en el contexto de la enseñanza, la investigación y la colaboración.

Es precisamente en este contexto donde cobra suma importancia la calidad de los profesores para contribuir en aspectos como la equidad en la educación, adaptando métodos de enseñanza para atender las diversas necesidades de los aprendices, apoyando la igualdad de oportunidades para el crecimiento y aprendizaje.

Esta noción de calidad se vincula al término *reflexión*, entendido como la acción y efecto de reflejar o reflejarse, según la definición del Diccionario de la Lengua Española de la (Real Academia Española, s.f., definición 1); direccionándose en el ámbito educativo, los maestros evalúan críticamente sus propias acciones con el objetivo de perfeccionar su desempeño. La práctica continua de la reflexión les permite adquirir una perspectiva más deliberada y consciente en su enfoque hacia la enseñanza, lo que les facilita la obtención de información esencial para comprender lo que sucede en los salones de clase y, en consecuencia, llevar a cabo las adaptaciones y mejoras necesarias, por esta razón, la reflexión se posiciona como el núcleo central en el proceso de mejora de la calidad de la educación. (Velarde, 2020).

Las voces más coherentes y significativas con respecto a la reflexión de un docente sobre su práctica pedagógica suelen ser los propios estudiantes. Esto se debe a que son los aprendices directos de la enseñanza impartida. Ellos, como beneficiarios primarios de la educación, ofrecen una perspectiva valiosa y esencial para comprender cómo la enseñanza influye en su aprendizaje y desarrollo. Sus opiniones y valoraciones, incorporadas adecuadamente en los procesos de evaluación docente, proporcionan información fundamental para la continua mejora de calidad educativa y la adaptación de las estrategias de enseñanza.

2. La evaluación docente

En la actualidad, han tomado relevancia el desarrollo de sistemas de evaluación docente como un complemento a los sistemas convencionales de rendición de cuentas a nivel educativo. Este enfoque se encuentra arraigado en la búsqueda constante de la mejora de la práctica docente y el progreso de los estudiantes. La atención se centra en el avance de los métodos de evaluación de los educadores, que se integran de manera sinérgica con los sistemas tradicionales de la respectiva área. Este enfoque tiene como objetivo primordial mejorar la enseñanza en las aulas y aumentar el nivel de aprendizaje de los estudiantes (Martínez, 2013)

Además, es ampliamente aceptado socialmente que la evaluación de los docentes es necesaria tanto para asegurar la calidad profesional de quienes están a cargo de la educación como para comprobar la eficacia del sistema educativo en su conjunto (Galaz-Ruiz & Anaya-Torres, 2022). Dentro de este contexto, la perspectiva de (Brutti & Sánchez Torres, 2022) subraya que los informes de evaluación docente asumen un carácter constructivo y proactivo y están diseñados con el objetivo claro de ayudar a los profesores a mejorar en aquellas áreas donde tienen más oportunidades de crecimiento. No obstante, es importante destacar que, en muchas ocasiones, una evaluación positiva juega un papel crucial en el avance de la remuneración.

En consecuencia, se plantea un equilibrio entre el incentivo de la mejora personal y la necesidad de cumplir con requisitos laborales, donde estos factores pueden tener un impacto en la forma en que los docentes abordan la evaluación, es decir la evaluación docente muestra cómo por medio de políticas institucionales, que adopte un centro educativo, se puede afectar el desempeño de un profesor, al igual que su motivación, lo cual se ve reflejado en la calidad de la enseñanza.

A partir de lo expuesto anteriormente, en la Tabla 1 se presentan algunas propuestas con enfoques variados para desarrollar el proceso de evaluación docente.

Tabla 1. Propuestas para la evaluación del desempeño docente

Autor	Método	Característica
Rueda, (2008)	Cuestionario diligenciado por los estudiantes	<ul style="list-style-type: none"> • Examen del nivel de dominio de la materia por parte del docente. • Habilidades interpersonales del docente. • Metodología que se emplea para evaluar el aprendizaje de los estudiantes.
Wellein, Ragucci y Lapointe (2009)	Autoevaluación y heteroevaluación	Autoevaluación (por parte del docente) <ul style="list-style-type: none"> • Presentación de los argumentos para la concepción del curso. • Valoración de la validez de las fuentes de información utilizadas.
		Heteroevaluación (por parte de decanos, estudiantes y compañeros de trabajo) <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación del cumplimiento de las metas establecidas en el curso.

<p>Mar et al., (2016) y Morey Cortés (2019)</p>	<p>Ponderación lineal</p>	<p>El método consiste en calcular una puntuación global para cada alternativa.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificación de competencias: Se utiliza una lista de competencias para seleccionar las habilidades que se evaluarán. • Ponderación: El puntaje de esas habilidades lo determinan los expertos. • Evaluación de competencias: se utiliza una fórmula única con datos para producir un resultado.
<p>Corporación Universitaria Autónoma del Cauca (2014)</p>	<p>Análisis de tipo cualitativo y cuantitativo</p>	<p>En el proceso de evaluación participan tres actores principales, cada uno con su respectivo porcentaje de contribución a la evaluación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Decano: 60% • Estudiante: 30% • Docente: 10% <p>La evaluación abarca tres dimensiones principales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Social e institucional. • Docencia. • Gestión académica, proyectos institucionales y del programa. <p>Cada actor diligencia un formulario particular donde consigna una valoración entre 1 y 5 a diferentes aspectos; adicionalmente puede incluir comentarios de dos tipos: aspectos en los que se destaca el docente y factores por mejorar.</p>

Fuente: Elaboración propia

Con la anterior información de acuerdo con Gómez López & Valdés, (2019) dentro de la educación superior, es esencial evaluar cómo los profesores se desempeñan en sus roles. Sin embargo, es común que los métodos elegidos para esta evaluación tiendan a centrarse en elementos más superficiales o fáciles de medir, lo que podría no reflejar adecuadamente la totalidad de su impacto y efectividad en el proceso educativo.

3. La evaluación docente Uniautónoma

Para el caso de estudio, la evaluación docente en la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca está soportada en la Resolución No.0246 de 2014, en ella participan tres actores: estudiantes, decanos y docentes; cada uno diligencia un instrumento diferente al finalizar el periodo académico al cual se accede a través de la página web de la Institución; el cuestionario se compone de una serie de preguntas que son valoradas en una escala entre 1 y 5.

La ponderación de cada actor al resultado final es: 30% para los discentes, 10% para el profesor y 60% corresponde al decano. Por último, los actores pueden realizar comentarios en dos direcciones: ¿En qué aspectos podría mejorar el desempeño del docente? y ¿Qué aspectos destaca en el desempeño del docente?

Es importante tener en cuenta que el tono y el contenido los comentarios de los estudiantes pueden estar influenciados por los sentimientos y emociones del momento, los resultados obtenidos, las experiencias vividas durante el curso, entre otros factores.

Dada esta perspectiva, cobra relevancia explorar enfoques innovadores que no solo afronten los retos presentes en la evaluación docente, sino que también enriquezcan la calidad educativa. En tal sentido, la ciencia de datos y más específicamente la minería de texto ofrece oportunidades para lograr una perspectiva diferente de la evaluación docente.

4. La minería de texto

En la actualidad, la sociedad dispone de una gran cantidad de documentos y textos generados por diversas fuentes (oral, escrita o audiovisual), que constituyen material en estado bruto, aún por explotar. El desafío radica en la capacidad para aprovechar y extraer información pertinente y valiosa que sustente la generación de conocimiento (Valero, 2017)

La transformación de estos datos no estructurados en información significativa representa un desafío esencial; para enfrentar esta tarea se han desarrollado métodos, algoritmos y sistemas capaces de realizar el procesamiento, en respuesta a esta necesidad surge la minería de texto que se define como el proceso de descubrimiento de patrones y conocimiento que no existen explícitamente en ningún texto (Barrera, 2014). Las tareas comunes que se realizan se mencionan a continuación:

- **Definición del propósito.**
- **Recolección de información:** recopilación de textos y documentos.
- **Procesamiento del texto:** eliminación palabras que no aportan valor.
- **Extracción y análisis de relaciones:** identificación de tokens es decir, “dividir en unidades textuales independientes” (Guzmán et al., 2020); la tokenización es el proceso de descomponer el texto en sus componentes más básicos, como palabras individuales, para facilitar el desarrollo de otros procesos como análisis de sentimientos, frecuencia de palabras (unigramas), identificación de términos claves, relación entre palabras (n-gramas). Por su parte los bigramas se definen como combinaciones de dos palabras consecutivas que se repiten con frecuencia en el texto. Esta técnica se utiliza para identificar las combinaciones más comunes y proporcionar un contexto en la interpretación de los comentarios, como se detalla en el estudio de (Menacho, 2020).
- **Análisis de Texto:** aplicación de algoritmos con un propósito específico, por ejemplo: análisis de sentimientos, clasificación de temas, detección de patrones, predicción de texto, generación de redes de palabras, entre otros.
- **Visualización de resultados:** generación de gráficas y/o diagramas para presentar los hallazgos
- **Interpretación y toma de decisiones.**

Estudiar los comentarios que reciben los maestros, se basa en la premisa de que los sentimientos y percepciones de los estudiantes hacia sus profesores juegan un papel importante en su experiencia de aprendizaje. Comprender y analizar estos sentimientos, ya sean neutros, positivos o negativos, puede dar una visión rica y profunda del impacto que las enseñanzas tienen en el proceso educativo. Afrontar este desafío requiere más que simplemente recopilar comentarios de los estudiantes. También demanda una metodología adecuada y una comprensión profunda del lenguaje y las emociones del entorno académico.

Por lo anterior, resulta importante una revisión y entendimiento de los comentarios plasmados en estas evaluaciones, resulta un reto, ya que lenguaje natural tiende a ser complejo y está fuertemente influenciado por la personalidad, individualidad y cultura de cada persona, lo que dificulta su procesamiento y demanda la aplicación de diversas técnicas para la identificación de patrones como lo menciona Salihoun, (2020).

Centrarse en el análisis de una sola palabra puede incurrir en malinterpretaciones, por ejemplo, Cortés et al., (2023) planteó que para recopilar y examinar las experiencias y opiniones de unos participantes, era

necesario usar una metodología novedosa como el análisis de bigramas. Los resultados de esta investigación resaltan la capacidad de esta metodología para identificar patrones, permitiendo hacer una evaluación más profunda y precisa.

(San Mateo, 2016) igualmente destaca la aplicación del análisis estadístico de pares de palabras, también conocidos como 'bigramas' o 'digramas' para estudiar actitudes, creencias y sentimientos ocultos en un texto, ya que permite establecer conexiones que van más allá de las palabras.

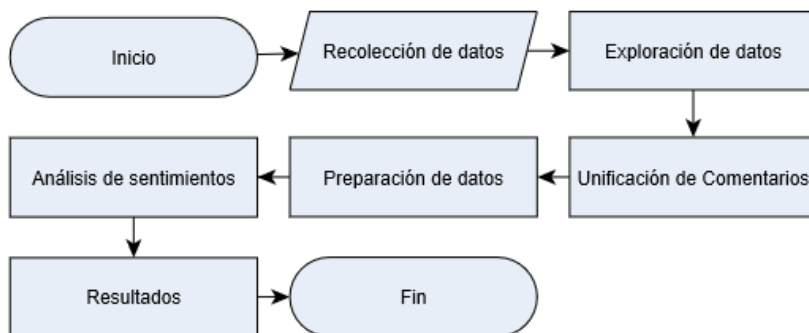
En cuanto al análisis de sentimientos, los léxicos desempeñan un papel fundamental, son una colección de palabras que se comparan con el texto analizado (Prasad et al., 2020) . Son términos asociados con emociones específicas, cada palabra en un léxico tiene asignada una etiqueta que indica si representa una emoción positiva, negativa o neutra, y diferentes emociones. En este trabajo se utilizaron los léxicos Affin y NRC; el primero permite establecer la polaridad o carga emocional de las palabras en un mensaje, que puede ser positiva, negativa o neutra. Cada palabra recibe una puntuación, de -5 a -1 para los negativos, 5 a 1 para los positivos y 0 para los neutros.(Ulises et al., 2021).

Por su parte, el léxico NRC es conocido como emotion lexicón (Mohammad & Turney, 2013) “es capaz de clasificar las emociones en ocho categorías básicas: ira, miedo, tristeza, anticipación, asco, alegría, sorpresa y confianza, además de identificar sentimientos positivos y negativos en los datos" (Brzustewicz & Singh, 2021).

5. Análisis de sentimientos de los comentarios en la evaluación docente

Se estudiaron los comentarios al desempeño docente realizados por los tres actores durante el periodo 2018 a 2021, con el objetivo de encontrar la tonalidad emocional. En la Figura 1 se presentan las etapas del proceso.

Figura 1. Etapas del proceso de análisis de sentimientos.



Fuente propia

Recolección de datos: Los datos fueron proporcionados por la Vicerrectoría Académica en hojas de cálculo con más de 500.000 registros. En consideración a preservar la privacidad se anonimizó la identidad de los actores y solo se usaron los códigos institucionales.

Exploración de datos: Se pudo identificar que los datos estaban distribuidos en ocho períodos académicos consecutivos, se evaluaron un total de 349 docentes, de los cuales 320 tenían al menos un comentario de alguno de los actores; orientaron cursos de pregrado en las cinco facultades de la institución:

- Facultad de Ciencias Administrativas, Contables y Económicas
- Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible
- Facultad de Derecho, Ciencias Sociales y Políticas
- Facultad de Educación
- Facultad de Ingeniería

En la Tabla 2 se muestra el número de docentes que recibieron al menos una reseña por parte de algún actor, en los diferentes periodos académicos de estudio.

Tabla 2. Número de docentes que recibieron comentarios

Año	Periodo	Decano	Docente	Estudiante
2018	01	78	68	165
2018	02	107	58	149
2019	01	91	54	163
2019	02	151	63	189
2020	01	63	76	189
2020	02	132	57	132
2021	01	0	21	119
2021	02	81	40	118

Fuente: Elaboración propia

Para la selección de las variables de estudio se decidió enfocarse exclusivamente en aspectos cualitativos: el código del docente, el periodo académico, la facultad, el comentario 1 y el comentario 2. Es importante resaltar que el comentario 1 se refiere a las respuestas a ¿En qué aspectos se destaca el docente?, mientras que el comentario 2 corresponde a las respuestas a ¿En qué áreas debe mejorar el docente?

Unificación de comentarios: con el objetivo de lograr una mayor cohesión en los datos y proporcionar un contexto más claro y preciso, se determinó juntar las variables “comentario 1” y “comentario 2” en una nueva denominada “comentarios”. Como resultado de este proceso, en cada período académico se generó un único registro por docente por actor.

Preparación de datos: los algoritmos de minería de texto no pueden manejar directamente los documentos de texto en su formato original. Por lo tanto, es necesario realizar un pre procesamiento para ajustar los documentos en una representación más adecuada y manejable (Menacho, 2020); por ello, se realizaron las siguientes tareas:

- 1) Convertir a minúsculas todos los caracteres para garantizar uniformidad en el análisis.
- 2) Eliminación de puntuación: Se retiran los signos de puntuación, lo que facilita la separación y el análisis por palabras.
- 3) Eliminación de caracteres especiales y números
- 4) Eliminación de espacios en blanco extras.
- 5) Eliminación de Stopwords (palabras vacías): entiéndase como palabras que carecen de significado propio, como los artículos, pronombres, preposiciones, entre otros, y que no aportan información valiosa al clasificador. (Elgueta Morales, 2017).
- 6) Corrección de errores ortográficos. Es relevante subrayar que, para lograr resultados precisos en el análisis de los comentarios, es necesario contar con una ortografía correcta; lo cual desempeña un papel crucial en la mejora de la precisión en el procesamiento de texto, la reducción de errores, la calidad del modelo de lenguaje y la comprensión completa del contenido textual.
- 7) Identificación de unigramas y bigramas: Una vez que el texto ha sido depurado, se inicia el proceso de tokenización utilizando unigramas. Cada palabra en el texto es considerada de forma individual para asignar una puntuación de polaridad basada en léxicos. Luego, estas palabras se reagrupan en sus comentarios originales y se realiza la ponderación de las puntuaciones, a fin de establecer la polaridad del mensaje (positivo,

negativo o neutro). En el caso de los bigramas, el procedimiento es similar, con la diferencia de que se tokenizan secuencias consecutivas de palabras. Esto se hace con el propósito de descubrir relaciones y conexiones significativas entre palabras que aparecen en conjunto.

Para realizar las tareas anteriores se usó la herramienta R versión 4.2.3 (2023-03-15 ucrt); en el caso de la corrección de ortografía, se optó por utilizar una herramienta Hunspell versión 1.6.2 y para la identificación de tokens se empleó la librería UDPIPE versión 0.8.11.

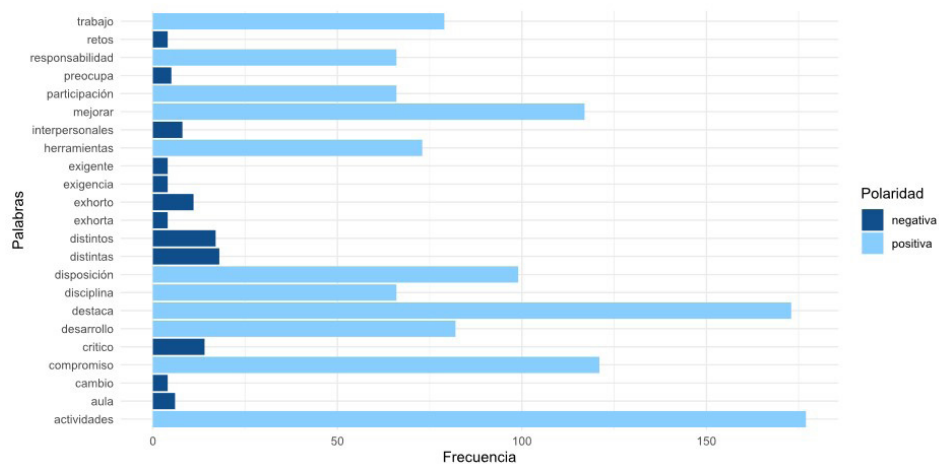
Análisis de sentimientos: también conocido como análisis de emociones, consiste en estudiar el vocabulario presente en un texto y determinar sus cargas emocionales. Esta técnica se apoya en léxicos especializados que reconocen y evalúan las distintas emociones que se manifiestan en los comentarios. (Arcila-Calderón et al., 2016).

Debido a las jergas y expresiones propias de los estudiantes, se pudo observar que varias palabras de los comentarios no eran identificadas por los léxicos; en consecuencia, se tomó la decisión de incorporar estos términos adicionales a los léxicos y asignarles una puntuación.

6. Resultados

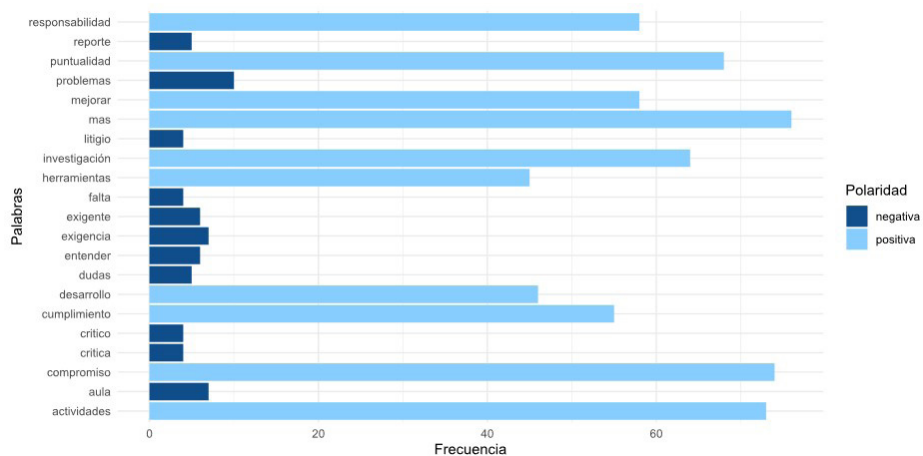
En las Figuras 2, 3 y 4 se observa que los tres actores de la comunidad educativa presentan una tendencia al uso de palabras de tono positivo, es decir, vocablos asociados con emociones afectuosas o felices; resaltan términos como: destaca, compromiso, puntualidad, excelente; estas palabras son importantes en el análisis de sentimientos puesto que ayudan a establecer las emociones plasmadas en los comentarios hechos por los tres actores. En contraste, en el lado negativo resaltan palabras como exigente que puede a su vez tomarse como una característica crucial en alcanzar el nivel de calidad alineado con el objetivo de calidad educativa, mencionado por (Naciones Unidas 2023).

Figura 2. Polaridad de las palabras más usadas en los comentarios de los Decanos.



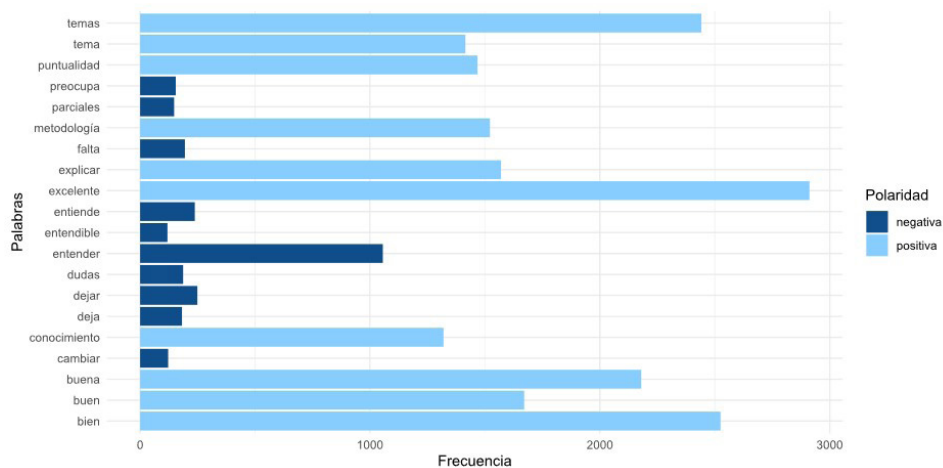
Fuente propia

Figura 3. Polaridad de las palabras más usadas en los comentarios de los Docentes.



Fuente propia

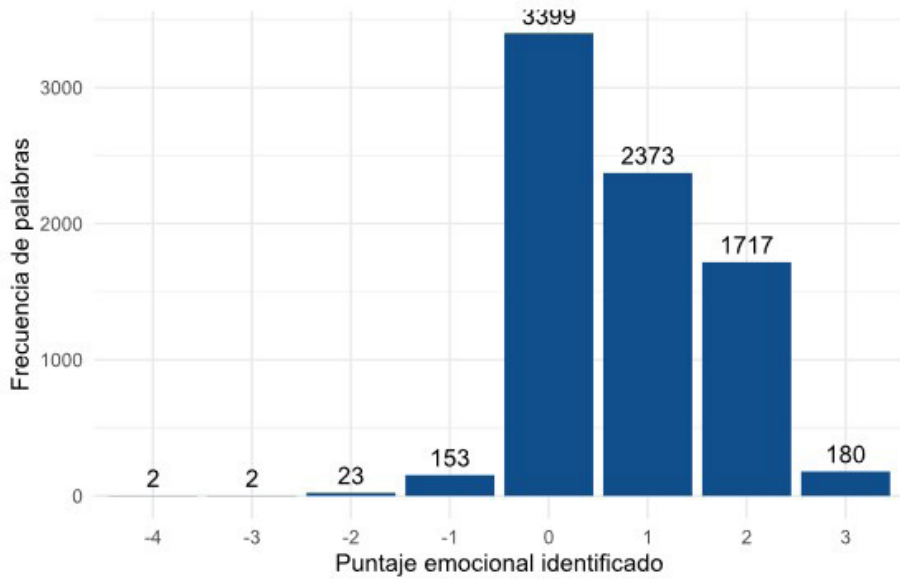
Figura 4. Polaridad de las palabras más usadas en los comentarios de los Estudiantes.



Fuente propia

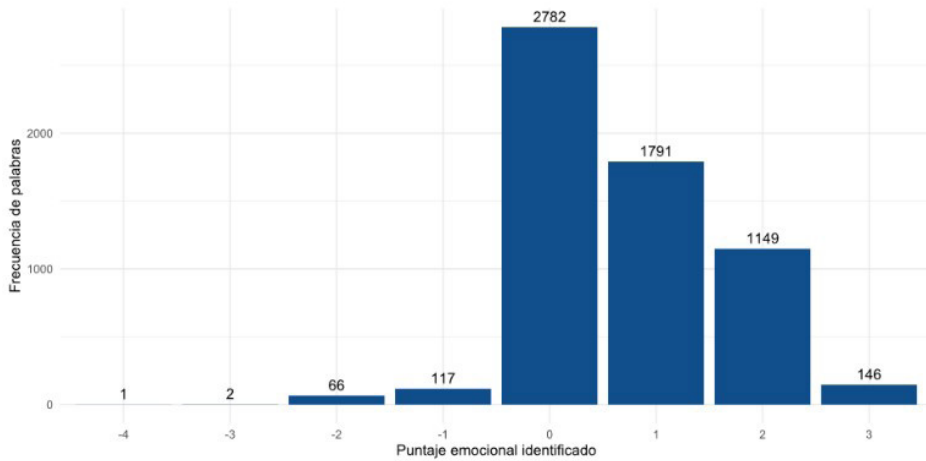
De acuerdo con el puntaje emocional de los comentarios según la escala del léxico Affin (varía entre -5 y 5), en las Figuras 5, 6 y 7 se observa que para los tres actores el tono emocional es neutro, representado por el valor 0; adicionalmente se evidencia una ligera inclinación hacia el lado positivo, con un valor de 1. Sin embargo, esta positividad tiende a ser moderada y a menudo regresa al tono neutral. Es relevante notar que existe una tendencia positiva en comparación con las puntuaciones negativas, que son escasas y tienden a ser inferiores a cero. Esto sugiere que, en general, las expresiones de los actores tienden a ser mayoritariamente positivas, aunque no son extremadamente altas.

Figura 5. Puntaje emocional en los comentarios de los Decanos.



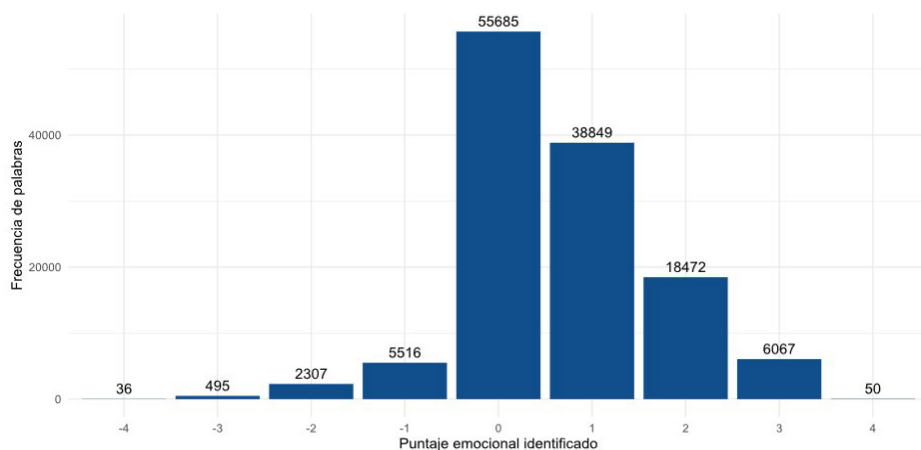
Fuente propia

Figura 6. Puntaje emocional en los comentarios de los Docentes.



Fuente propia

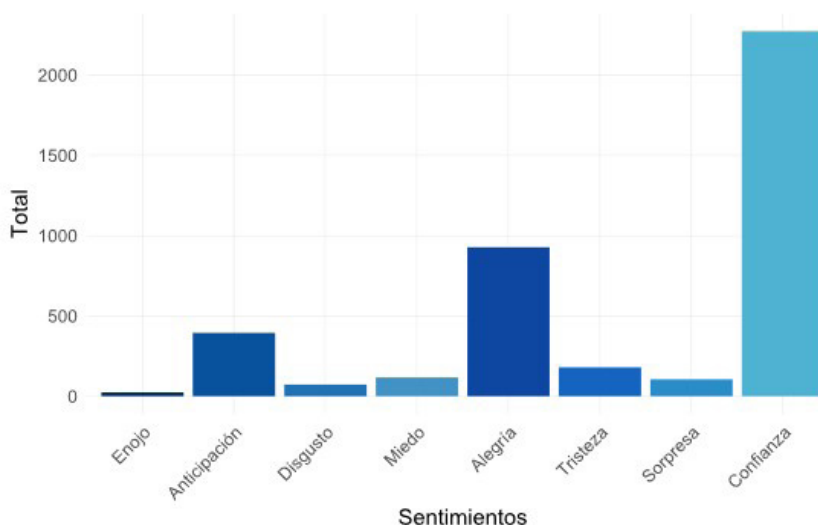
Figura 7. Puntaje emocional en los comentarios de los Estudiantes.



Fuente propia

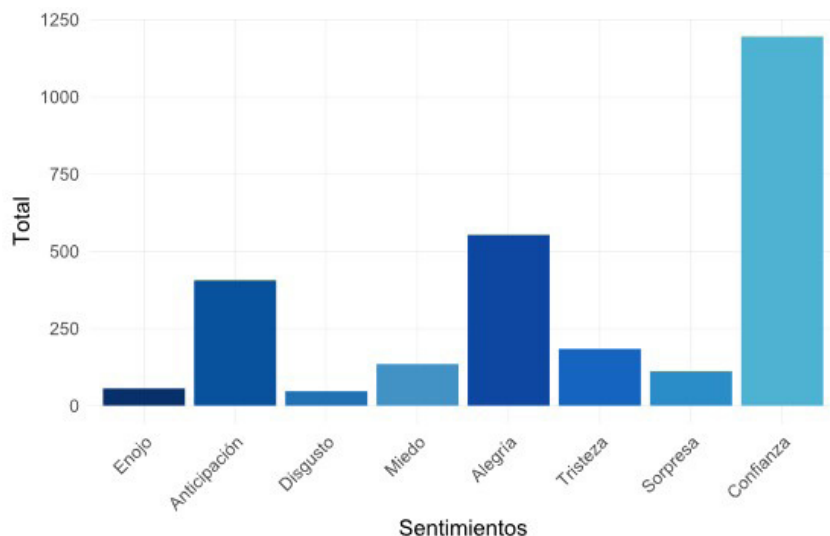
En cuanto al análisis resultante del léxico NRC y la capacidad de clasificar las emociones resaltadas en textos, se destaca que en los tres actores el sentimiento predominante es “confianza”, en segundo lugar, se observa la presencia de “alegría”, esta correlación sugiere que en general, los actores experimentan un alto nivel de confianza en sus interacciones, lo que a su vez contribuye a un sentimiento positivo y de alegría en sus comunicaciones.

Figura 8 Emociones identificadas en los comentarios de los Decanos.



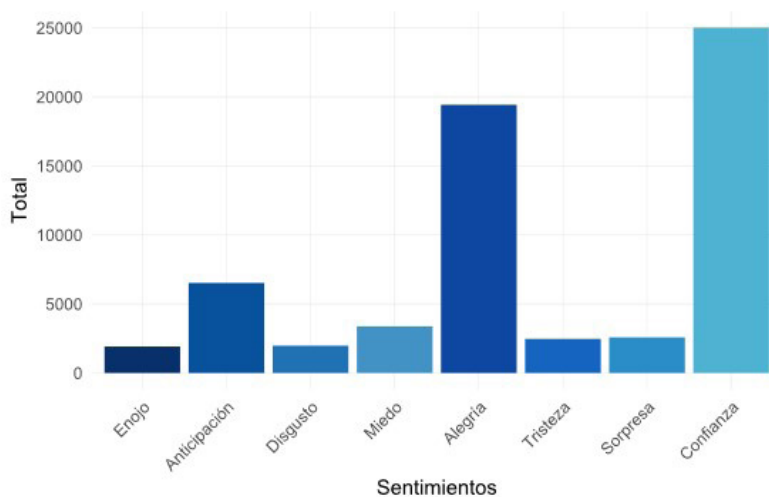
Fuente propia.

Figura 9. Emociones identificadas en los comentarios de los Docentes.



Fuente propia

Figura 10. Emociones identificadas en los comentarios de los Estudiantes.



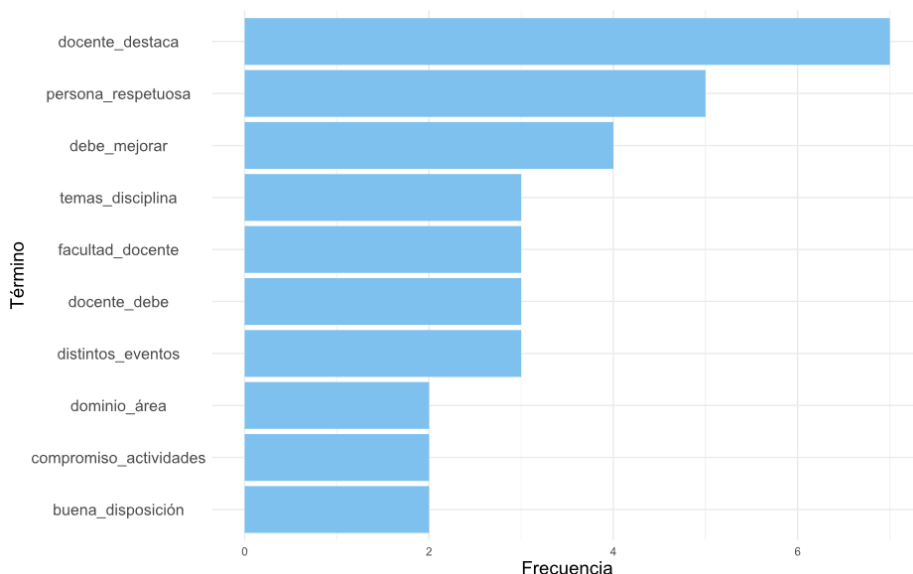
Fuente propia

Al comparar los resultados anteriores con el análisis de bigramas de las Figuras 11, 12 y 13, se observa que los términos más utilizados por los 3 actores están estrechamente asociados a una perspectiva positiva, ejemplos de estas combinaciones incluyen “docente-respetuosa,” “organización-clase”

y “sentido-pertenencia,” entre otras. En cada gráfica se puede establecer un eje temático específico; En la Figura 11 se evidencia un énfasis en las cualidades del docente y los aspectos que pueden ser mejorados. En contraste se identifica la secuencia de palabras ‘debe-mejorar’, aunque ‘mejorar’ podría tener una connotación positiva, la inclusión de ‘debe’ cambia el matiz del mensaje y ofrece una perspectiva diferente.

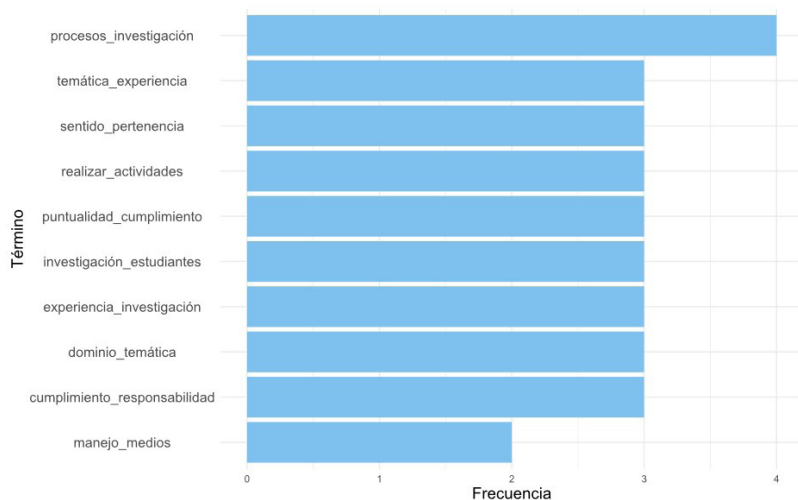
En la Figura 12, se revela un eje temático centrado en la preparación docente y las actividades en el aula. Esto se alinea perfectamente con el rol del profesor, como se refleja en bigramas como ‘dominio-temático’, ‘sentido-pertenencia’ y ‘puntualidad-cumplimiento’.

Figura 11. Bigramas más usados en los comentarios de los Decanos.



Fuente propia

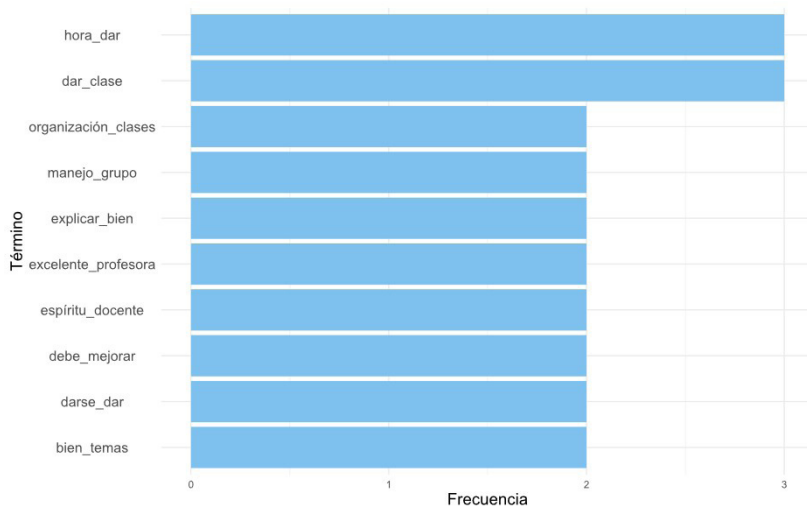
Figura 12. Bígamas más usados en los comentarios de los Docentes.



Fuente propia

Finalmente, en la Figura 13 se destaca un eje temático relacionado con la descripción del aula desde la perspectiva del estudiante hacia su maestro, expresando sus apreciaciones en términos positivos. Esta correspondencia refuerza el análisis previamente realizado a través de los unigramas, ya que ambos enfoques subrayan una percepción positiva en la evaluación.

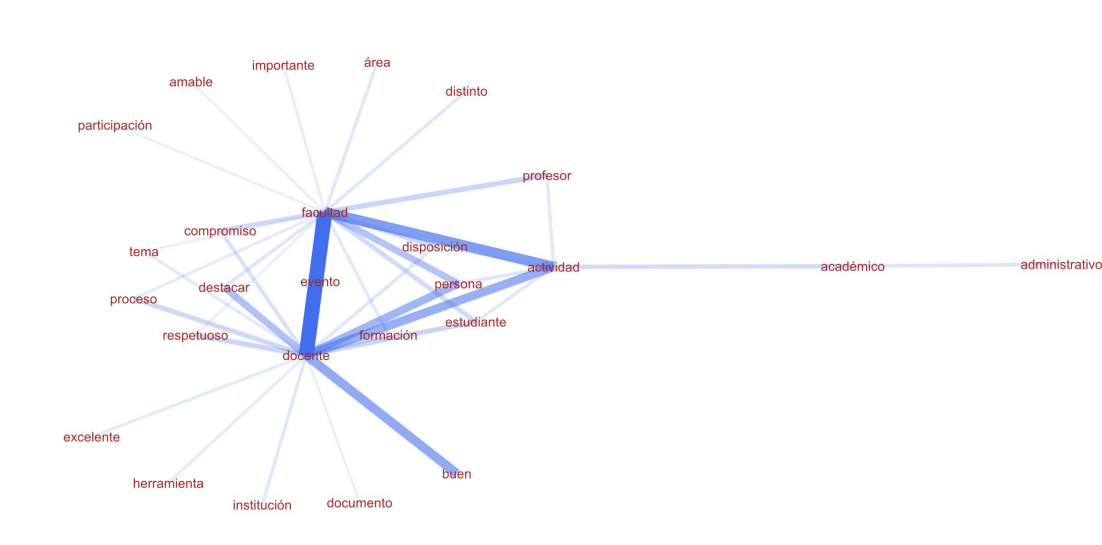
Figura 13. Bígamas más usados en los comentarios de los Estudiantes.



Fuente propia

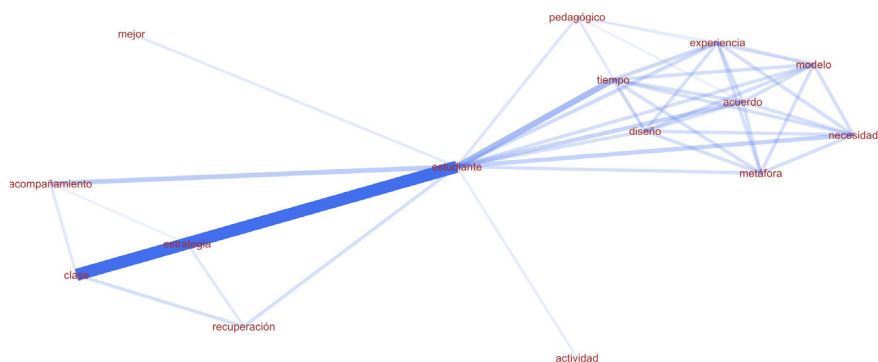
Las Figuras 14, 15 y 16, se observa el diagrama de co-ocurrencias (apariciones conjuntas) que permite identificar relaciones considerando el uso de las palabras en los mensajes; la amplitud y densidad de la línea azul refleja el grado de relación entre los elementos. En el caso del decano (Figura 14), se evidencia una relación entre facultad, evento y docentes, muy estrechamente ligado a un ámbito educativo, lo que destaca la importancia de la colaboración y la participación de los docentes en eventos y actividades relacionadas en la institución.

Figura 14. Diagrama de co-ocurrencias a partir de los comentarios de los Decanos.



Fuente propia

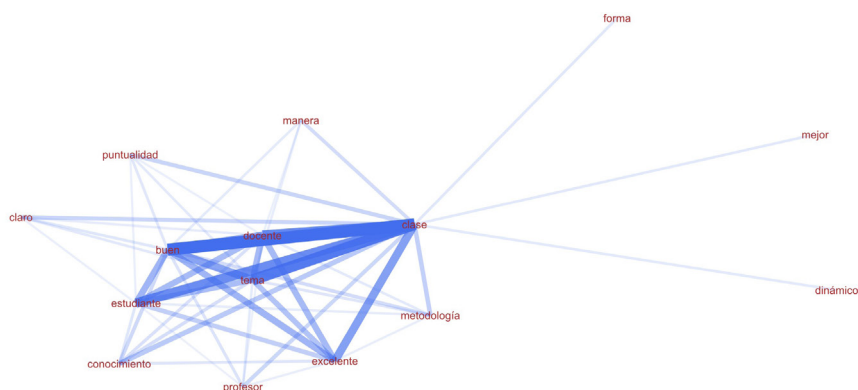
En la Figura 15 se aprecia una relación entre estudiantes, estrategias y clases, lo cual genera una visión asociada a las estrategias enseñanza-aprendizaje y el papel activo de los estudiantes en su proceso de formación.



Fuente propia

Por último, en la Figura 16, se enfatizan términos que señalan una relación con buen, docente, clase y tema, esto pone de relieve la importancia de contar con docentes de alta calidad que puedan impartir clases efectivas sobre temas específicos, lo que contribuye a una experiencia de aprendizaje exitosa y significativa para los estudiantes. Estos resultados son coherentes con las observaciones previamente mencionadas y mantienen un tono positivo.

Figura 16. Diagrama de co-ocurrencias a partir de los comentarios de los Estudiantes.



Fuente propia

7. Conclusiones

En las Figuras 2 a 13, se observa una tonalidad emocional predominantemente positiva, lo que sugiere que tanto los decanos, como los docentes y los estudiantes expresan agrado con la labor que han desarrollado los maestros durante el periodo de estudio.

Es fundamental reconocer que, aunque los resultados de la evaluación docente evidencian un alto grado de emociones con tonalidad positiva, la calidad educativa implica considerar una amplia gama de aspectos, siendo necesario explorar dimensiones como el aprendizaje de los estudiantes, el desarrollo de habilidades, el logro de objetivos académicos, entre otros como se destaca en el trabajo (Suarez et. Al, 2015). También se deben analizar los resultados de las pruebas de estado, la actualización y pertinencia de los planes de estudio y la tasa de éxito de los egresados en su transición al mundo laboral como fuentes de información que complementen los análisis con perspectiva de Analítica Académica (Academic Analytics).

Si bien la evaluación docente proporciona indicadores tangibles de calidad educativa, no debe limitarse únicamente a estos aspectos. Es esencial explorar una variedad de dimensiones que contribuyan al objetivo de mantener y mejorar los niveles de éxito tanto académico, emocional como profesional.

Además, es destacable que la evaluación docente implementada por la institución es pertinente y proporciona información que va más allá de una simple puntuación numérica. La recopilación de comentarios por parte de los tres actores involucrados crea una base de datos valiosa que permite un análisis en profundidad de diversos aspectos de la evaluación.

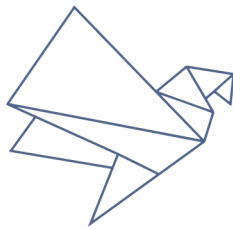
Es decir, con esta información se puede realizar un análisis comparativo entre los resultados obtenidos del componente numérico y contrastarlos con los cualitativos, incluso temas como: sesgo o datos relacionados con género o raza; relación directa entre las notas de una materia con las emociones que despierta un docente hacia sus estudiantes. Lo anterior conlleva a tomar importancia que en las evaluaciones docentes se contemple la realización de preguntas abiertas que permitan la producción de más material que conlleve al análisis y toma de decisiones tanto en las instituciones, como a nivel general en la búsqueda de la calidad educativa..

Referencias

- Arcila-Calderón, C., Barbosa-Caro, E., & Cabezuelo-Lorenzo, F. (2016). Técnicas big data: análisis de textos a gran escala para la investigación científica y periodística. *El Profesional de La Información*, 25(4), 623.
- Barrera, M. C. (2014). Minería de texto: una visión actual. *Biblioteca Universitaria*, 17(2), 129–138.
- Bravo De la Ossa, A. (2018). La Educación Como Eje Fundamental Para El Desarrollo. *Revista Dialogus*, 1, 20–30.
- Brutti, Z., & Sánchez Torres, F. (2022). Turning around teacher quality in Latin America: Renewed confidence and lessons from Colombia. *Economic Analysis and Policy*, 73, 62–93.
- Brzustewicz, P., & Singh, A. (2021). Sustainable consumption in consumer behavior in the time of covid-19: Topic modeling on twitter data using lda. *Energies*, 14(18).
- Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. (2014). RESOLUCIÓN No.0246 - Por la cual se aprueba el nuevo modelo de evaluación al desempeño docente de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.
- Cortés, E., Acuña Gamboa, L. A., Martínez Mendoza, E., & Reyes Jiménez, S. (2023). Text mining in the analysis of experiences of higher-education students in the migration to the online study model forced by Covid-19. *Diálogos Sobre Educación*, 27.
- Elgueta Morales, J. A. (2017). *Comparación de rendimiento de técnicas de aprendizaje automático para análisis de afecto sobre textos en español*. 59.
- Galaz-Ruíz, A., & Anaya-Torres, E. D. (2022). Teacher evaluation as a seduction device: Is refusal also resistance? *Revista Iberoamericana de Educación Superior*, 13(36), 124–137.
- Gamboa-Suárez, A. A. (2016). Docencia, investigación y gestión: Reflexiones sobre su papel en la calidad de la educación superior. *Revista Perspectivas*, 1(1), 81.
- Gómez López, L. F., & Valdés, M. G. (2019). The Evaluation of Teacher Performance in Higher Education. *Propósitos y Representaciones*, 7(2).
- Guzmán, A., Casatti, M. G., Alejandra, M., Menvielle, P., Maldonado, C., & Ligorria, K. (2020). Aplicación de técnicas de minería de textos sobre respuestas de exámenes en formato de texto libre. *CIDS – Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia En Sistemas de Información Universidad Tecnológica Nacional*, 126–132.
- Mar, O., Argota, L., & Santana, I. (2016). Módulo para la evaluación de competencias a través de un Sistema de Laboratorios a Distancias. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 10(2), 132-147.
- Martínez, J. F. (2013). Combinación de mediciones de la práctica y el desempeño docente: consideraciones técnicas y conceptuales para la evaluación

- docente. *Pensamiento Educativo: Revista de Investigación Educativa Latinoamericana*, 50(1), 4–20.
- Menacho, I. B. (2020). *Parte III : 7 . Minería de Texto Análisis de Texto sobre Redes Sociales*.
- Mohammad, S. M., & Turney, P. D. (2013). Nrc emotion lexicon. National Research Council, Canada, 2, 234.
- Morey Cortès, F. (2019). El sistema alimentario global: ponderación cuantitativa de las variables del modelo en el entorno de Cataluña. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Naciones Unidas (2023). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023: Edición especial Por un plan de rescate para las personas y el planeta. https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf
- Prasad, M. S. V. C. R., Mohammed, M., Dhanush, G., Vamsi, A., & Lakshmi Prasanna, T. (2020). Lexicon based sentiment analysis of tweets. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(3), 9156–9166.
- Real Academia Española. (s.f.). Reflexión. En Diccionario de la lengua española. Recuperado en 18 de octubre de 2023, de <https://dle.rae.es/reflexión?m=form>
- Rueda, M. B., (Coord.) (2008), *La evaluación de los profesores como recurso para mejorar su práctica*, México: UNAM-IISUE/ Plaza y Valdés
- Salihoun, M. (2020). State of Art of Data Mining and Learning Analytics Tools in Higher Education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 15(21), 58–76.
- San Mateo, A. (2016). Un corpus de bigramas utilizado como corrector ortográfico y gramatical destinado a hablantes nativos de Español. *Revista Signos*, 49(90), 94–118. <https://doi.org/10.4067/S0718-09342016000100005>
- Suarez, D. B., Pineda, M. L. M., Pineda, A. Y. P., & Hurtado, J. L. J. (2015). Investigación documental sobre calidad de la educación en instituciones educativas del contexto iberoamericano. *Entramados: educación y sociedad*, (2), 107-124.
- Ulises, J., Salinas, S., Carlos, J., & Diaz, T. (2021). Análisis de Sentimientos en los Mensajes Recibidos en el Entorno Virtual de Aprendizaje de la Modalidad Abierta y a Distancia de la UTPL. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, 2(41), 98–113.
- Valero Moreno, A.I. (2017). *Técnicas estadísticas en Minería de Textos* (Trabajo de grado). Universidad de Sevilla, Sevilla
- Vásquez Acosta, G., Cejas Martínez, M. y Chirinos, N. (2017). Administración de Recursos Humanos la arquitectura estratégica de las organizaciones. Rumiñahui, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE

- Velarde, A. L. (2020). La Reflexión De La Práctica Docente. Chakiñan, Revista De Ciencias Sociales Y Humanidades, 2020(10), 87–101.
- Wellein, M. G., Ragucci, K. R., & Lapointe, M. (2009). A peer review process for classroom teaching. American Journal of Pharmaceutical Education, 73(5), 1-7.



EDITORIAL



9 786287 691124