

SERVOLAB SCIENCE NEWS

REVISTA DE INVESTIGACIÓN
PATROCINADA POR:
SERVOLAB OVERSEAS INC

VOLUMEN 2 / N° 2
JULIO-DICIEMBRE, 2023

OTITIS MEDIA SUPURATIVA:
Complicaciones en niños.

**SIMULACIÓN NUMÉRICA
COMPUTACIONAL:**

Método para el control de procesos
industriales de catalizadores.

DESDE NUESTRO LABORATORIO:
Digestión asistida por microondas:
Excelente método de laboratorio
para controles de procesos industriales
de catalizadores.

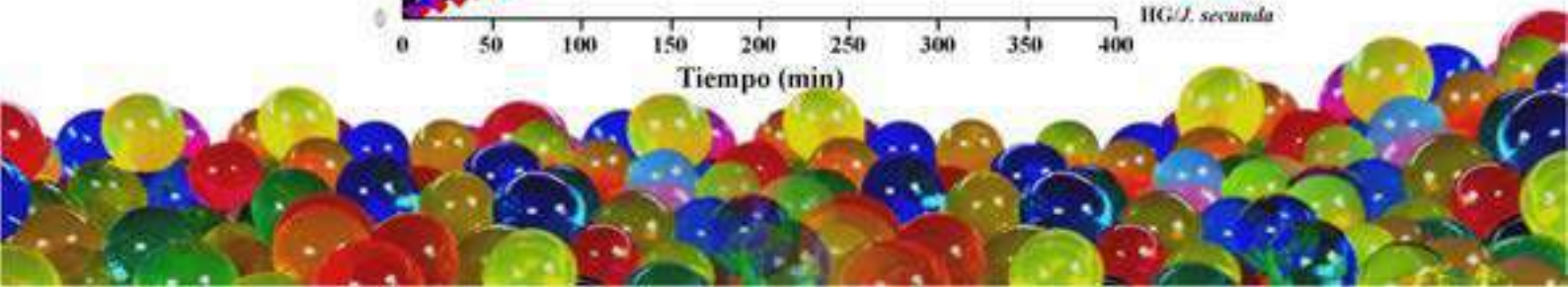
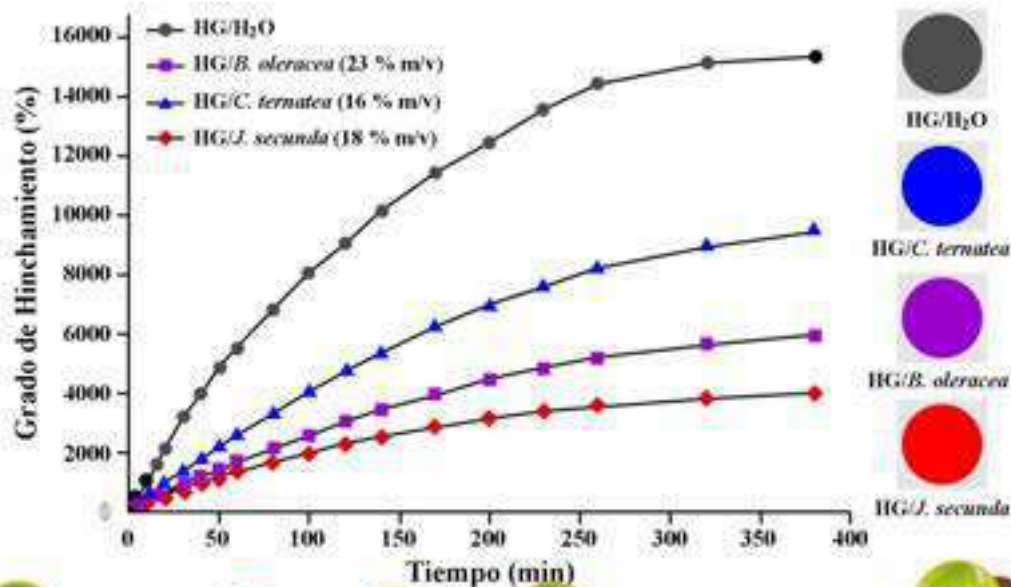
**CÁLCULO DE DESCRIPTORES
MOLECULARES TOPOLÓGICOS:**
Papel clave en la bioactividad.

GESTIÓN PARTICIPATIVA:
Búsqueda de la organización
y excelencia institucional.

**ESTRUCTURA DEL ESPACIO-TIEMPO
CUÁNTICO CANTORIANO:**
Grandes avances en el campo
de la neurociencia.

HIDROGELES DE POLIACRILATO DE SODIO

EVALUACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA PURA
Y DE SOLUCIONES CON COLORANTES NATURALES



SERVICIOS DE ANÁLISIS ESPECIALES
DE LABORATORIO
Y ASESORÍAS EN DIVERSAS ÁREAS

SERVOLAB



**Contamos con el laboratorio más moderno
para caracterización de materiales en Venezuela.
Operando bajo estándares conocidos
(ASTM, ISO, EPA) y reglas GLP.**



OFRECEMOS LOS SIGUIENTES SERVICIOS

- Servicios analíticos.
- Formación.
- Demostraciones.
- Desarrollo de métodos.
- Investigación y desarrollo.



PONEMOS A SU DISPOSICIÓN

**Toda nuestra cartera
de técnicas analíticas
para estudios
de materiales**

Resonancia Magnética
Nuclear de Dominio
Temporal (TD-NMR)

Fluorescencia de
Rayos X (XRF)

Micro Fluorescencia
de Rayos X (μ FRX)

Difracción de
Rayos X (XRD)

Cromatografía
de Gases (GC)

Espectrometría de emisión
óptica (Arco y chispa)
y analizadores de
combustión (CS ONH)

Espectroscopia de
Absorción Atómica (AAS)

Espectroscopia de
Infrarrojo (FT-IR y FT-NIR)

SERVOLAB SCIENCE NEWS

Revista interdisciplinaria de la empresa Servolab

Revista interdisciplinaria, arbitrada a doble ciego de la empresa Servolab. Este órgano de divulgación científica publica trabajos científicos originales, novedosos, inéditos, concisos, revisiones, comunicaciones, correctos en su estilo y el uso de abreviaturas, símbolos y términos, que contribuyan al avance y difusión de la investigación científica, principalmente en las áreas de ciencias básicas, ciencias de los materiales, ciencias de la salud, farmacia y alimentos. SERVOLAB SCIENCE NEWS publica dos volúmenes anuales sin especificación de números, los artículos son recibidos y arbitrados se van incorporando en su área respectiva en orden de aprobación.

COMITÉ EDITORIAL

EMPRESA SERVOLAB

José Manuel Mago Marcano

Editor jefe

Director jefe, empresa Servolab

William José Velásquez Sanzonetti

Editor adjunto

Escuela de ciencias, núcleo de Sucre, Universidad de Oriente

Josué David Mago Arredondo

Secretario

EDITORES POR ÁREA

Ciencias de los materiales

Blanca Rojas de Gascue

Instituto de Investigaciones Biomédicas
y Ciencias Aplicadas

Química

Euclides José Velazco Rivero

Escuela de ciencias, núcleo de Sucre, Universidad de Oriente

Wendy Rondón

Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas

Biología

Brightdoom Márquez Rojas

Instituto Oceanográfico de Venezuela,
Universidad de Oriente

José Amador Sánchez Carreño

Escuela de humanidades y educación, núcleo de Sucre,
Universidad de Oriente

Física

José Eduardo Rengel Hernández

Escuela de ingeniería, núcleo de Anzoátegui,
Universidad de Oriente

Salud

Yurilis Josefina Fuentes Silva

Escuela de medicina, núcleo de Bolívar,
Universidad de Oriente

Farmacia

Rafael Danilo García Pérez

Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Centro
de Microbiología y Biología Celular, Unidad de
Microscopía Electrónica y Confocal.

Alimentos

Víctor Hugo López López

Consultores Sigma APS, C.A.

Editor Web

José Amador Sánchez Carreño

Escuela de humanidades y educación, núcleo de Sucre,
Universidad de Oriente

COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR

Blanca Rojas de Gascue

Universidad de Oriente, Venezuela

Rolando José Tremont

University of Puerto Rico at Humacao, Puerto Rico

Edgar Alexander Márquez Brazón

Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia

Militza del Carmen Guzmán Lista

Universidad de Oriente, Venezuela

América Belen Vargas Milano

Universidad de Oriente, Venezuela

María del Valle Valera Maneiro

Universidad de Oriente, Venezuela

José Gregorio Betancourt Villarroel

Universidad Tecnológica del Perú, Perú

Yanet del Valle Antón Marín

Universidad de Oriente, Venezuela

Raquel del Valle Salazar Lugo

Universidad de Oriente, Venezuela

Mairin Josefina Lemus Barrios

Universidad de Oriente, Venezuela

Ney Luigi Ágreda

Universidad de Oriente, Venezuela

ISSN: 2790-8712

Depósito legal impreso

B02022000008

ISSN: 2837-1364

Depósito legal digital

B02022000007



Dirección:

(USA)

19013 NW 30th Street UNIT 100, Doral, FL, 33172

Phone: + 1 786 314 7142

(VENEZUELA)

Zona industrial Los Pinos, Manzana 36 Galpón 30B

Puerto Ordaz, Bolívar

Teléfono: +58 (0) 286 7154303

Servolab Overseas Inc.

Rif: J-411600750

E-mail: ssnews@servolab-overseas.com

www.servolab-overseas.com

<https://servolab-overseas.com/magazine/>

Twitter: @ServolabSN

Instagram @servolabsciencenews

SERVOLAB SCIENCE NEWS

Coordinación y revisión

William José Velásquez Sanzonetti

Coordinación gráfica y diseño

Joaquín Gómez

Redacción

Raúl De La Rosa Castro

Impresión

Editoriales Radoca, C.A.

CARTA EDITORIAL

Estimados lectores,

Los últimos seis meses del 2023 pasaron volando, y nos complace enormemente volver a estar con ustedes para presentar una nueva edición de la revista **SERVOLAB SCIENCE NEWS (SSN)**. En esta cuarta edición desde nuestro nacimiento, hemos recopilado una variedad de temas que reflejan la diversidad y el dinamismo de la investigación científica en nuestro país.

En esta edición, destacamos investigaciones de gran relevancia, tales como la **SIMULACIÓN NUMÉRICA COMPUTACIONAL DEL COMPORTAMIENTO FLUIDODINÁMICO DE UNA TURBINA PELTON MEDIANTE LOS MODELOS DE TURBULENCIAS $k-\epsilon$ y $k-\omega$ SST**, así como el **CÁLCULO DE DESCRIPTORES MOLECULARES TOPOLÓGICOS DE DERIVADOS DE 1,4-DI-N-ÓXIDO DE 3 TRIFLUOROMETIL - 2-CARBONILQUINOXALINA CON ACTIVIDAD ANTIMALÁRICA**. También abordamos la **MORBILIDAD DE NIÑOS MENORES DE 12 AÑOS CON OTITIS MEDIA SUPURATIVA**, y un interesante **ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE COLORANTES NATURALES EN HIDROGELES DE POLIACRILATO DE SODIO (PACNa)**. Además, incluimos un análisis fascinante titulado **Sobre LA ESTRUCTURA DEL ESPACIO TIEMPO CUÁNTICO CANTORIANO: UNA POSIBILIDAD HACIA LA EXISTENCIA DE SISTEMAS ATEMPORALES**, todos realizados por profesionales e investigadores de alto nivel académico de reconocidas universidades.

Nuestro comité editorial y de arbitraje se siente igualmente complacido de presentar un excelente artículo sobre **ESTRATEGIAS DE GESTIÓN PARTICIPATIVA EN LA UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS DE LA SALUD «HUGO CHÁVEZ FRÍAS», NÚCLEO DE SUCRE, AÑO 2022**. Este trabajo es especialmente relevante ante la problemática nacional relacionada con el ingreso de medicinas y productos de higiene personal de origen dudoso, que han sido reconocidos como perjudiciales para la salud por nuestro Instituto Nacional de Higiene.

Finalmente, con mucho placer, presentamos la sección **DESDE NUESTRO LABORATORIO**, que contiene un material sumamente interesante para la industria. En este apartado se aborda el **USO DE LA DIGESTIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS EN LA DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE Pd Y Pt EN CATALIZADORES INDUSTRIALES**, mostrando el empleo de la técnica de digestión asistida a través del digestor de microondas MARS™ 2 en catalizadores. Esta nota de aplicación fue realizada en su totalidad en las instalaciones del laboratorio de la empresa Servolab, con personal capacitado y el apoyo de investigadores internacionales.

En medio de cualquier noticia desalentadora en este último año, esperamos de corazón que este nuevo número de **SSN** sea de su agrado y sirva como un paso más para convertirnos como la revista latinoamericana de diseminación científica a la que aspiramos.

Ing. José Manuel Mago
EDITOR JEFE
COMITÉ EDITORIAL SERVOLAB SCIENCE NEWS

EDITORIAL LETTER

Dear Readers,

The last six months of 2023 have flown by, and we are very pleased to be back with you to present a new edition of **SERVOLAB SCIENCE NEWS (SSN)**. In this fourth edition since our birth, we have compiled a variety of topics that reflect the diversity and dynamism of scientific research in our country.

In this edition, we highlight research of great relevance, such as the **COMPUTATIONAL NUMERICAL SIMULATION OF THE FLUID-DYNAMIC BEHAVIOR OF A PELTON TURBINE THROUGH THE k - AND k - ω SST TURBULENCE MODELS**, as well as the **CALCULATION OF TOPOLOGICAL MOLECULAR DESCRIPTORS OF 1,4-DI-N-3-TRIFLUOROMETHYL-2-CARBONYLQUINOXALINE DERIVATIVES WITH ANTI-MALARIAL ACTIVITY**. We also address the **MORBILITY OF CHILDREN UNDER 12 YEARS OF AGE WITH SUPPURATIVE OTITIS MEDIA**, and an interesting **STUDY OF THE ABSORPTION CAPACITY OF NATURAL COLORANTS IN POLYACRYL SODIUM HYDROGELS (PAAcNa)**. In addition, we include a fascinating analysis titled **ON THE STRUCTURE OF QUANTUM CANTORIAN QUANTUM SPACE-TIME: A POSSIBILITY TOWARDS THE EXISTENCE OF ATEMPORAL SYSTEMS**, all carried out by professionals and researchers of high academic level from renowned universities.

Our editorial and refereeing committee is equally pleased to present an excellent article on **PARTICIPATIVE MANAGEMENT STRATEGIES AT THE UNIVERSITY OF HEALTH SCIENCES 'HUGO CHÁVEZ FRÍAS', SUCRE CORE, YEAR 2022**. This work is especially relevant in view of the national problem related to the entry of medicines and personal hygiene products of dubious origin, which have been recognized as harmful to health by our National Institute of Hygiene.

Finally, it is with great pleasure that we present the section **FROM OUR LAB**, which contains some very interesting material for the industry. This section deals with the **USE OF MICROWAVE ASSISTED DIGESTION IN THE QUANTITATIVE DETERMINATION OF Pd AND Pt IN INDUSTRIAL CATALYSTS**, showing the use of the assisted digestion technique using the MARSTM 2 microwave digester on catalysts. This application note was carried out entirely in the laboratory facilities of the Servolab company, with trained personnel and the support of international researchers.

In the midst of any discouraging news over the past year, we sincerely hope that this new issue of **SSN** will be to your liking and serve as another step towards becoming the Latin American journal of scientific dissemination to which we aspire.

Eng. José Manuel Mago

CHIEF EDITOR

EDITORIAL COMMITTEE SERVOLAB SCIENCE NEWS

CARTA EDITORIAL

Caros leitores,

Os últimos seis meses de 2023 passaram a correr e é com grande satisfação que voltamos a estar convosco para apresentar uma nova edição das **SERVOLAB SCIENCE NEWS (SSN)**. Nesta quarta edição desde o nosso nascimento, compilámos uma variedade de tópicos que reflectem a diversidade e o dinamismo da investigação científica no nosso país.

Nesta edição, destacamos pesquisas de grande relevância, como a **SIMULAÇÃO NUMÉRICA COMPUTACIONAL DO COMPORTAMENTO FLUIDO-DINÂMICO DE UMA TURBINA DE PELTON ATRAVÉS DOS MODELOS DE TURBULÊNCIA $k-\epsilon$ E $k-\omega$ SST**, bem como o **CÁLCULO DE DESCRITORES MOLECULARES TOPOLÓGICOS DE DERIVADOS DE 1,4-DI-N-3-TRIFLUOROMETIL-2-CARBONILQUINOXALINA COM ACTIVIDADE ANTI-MALÁRICA**. Abordamos também a **MORBILIDADE DAS CRIANÇAS COM MENOS DE 12 ANOS COM MEIOS SUPURATIVOS DE OTITE**, e um interessante **ESTUDO DA CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE CORANTES NATURAIS EM HIDROGELS DE POLIACRIL SÓDIO (PACNa)**. Além disso, incluímos uma fascinante análise intitulada **SOBRE A ESTRUTURA DO ESPAÇO-TEMPO QUANTUM CANTORIANO: UMA POSSIBILIDADE PARA A EXISTÊNCIA DE SISTEMAS ATEMPORAIS**, todas realizadas por profissionais e pesquisadores de alto nível académico de universidades de renome.

O nosso comité editorial e de arbitragem tem a mesma satisfação em apresentar um excelente artigo sobre **ESTRATÉGIAS DE GESTÃO PARTICIPATIVA NA UNIVERSIDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE “HUGO CHÁVEZ FRÍAS”, NÚCLEO SUCRE, ANO 2022**. Este trabalho é especialmente relevante tendo em conta o problema nacional relacionado com a entrada de medicamentos e produtos de higiene pessoal de origem duvidosa, que foram reconhecidos como prejudiciais à saúde pelo nosso Instituto Nacional de Higiene.

Finalmente, é com grande prazer que apresentamos a secção **DESDE NOSSO LABORATÓRIO**, que contém material muito interessante para a indústria. Esta secção trata da **UTILIZAÇÃO DA DIGESTÃO ASSISTIDA POR MICRO-ONDAS NA DETERMINAÇÃO QUANTITATIVA DE Pd E Pt EM CATALISADORES INDUSTRIAIS**, mostrando a utilização da técnica de digestão assistida utilizando o digestor de micro-ondas MARS™ 2 em catalisadores. Esta nota de aplicação foi inteiramente realizada nas instalações laboratoriais da empresa Servolab, com pessoal formado e com o apoio de investigadores internacionais.

Em meio às notícias desanimadoras do último ano, esperamos sinceramente que este novo número da SSN seja do vosso agrado e sirva como mais um passo para nos tornarmos a revista latino-americana de divulgação científica a que aspiramos.

Eng. José Manuel Mago

EDITOR-CHEFE

COMITÉ EDITORIAL SERVOLAB SCIENCE NEWS

CONTENIDO

SERVOLAB SCIENCE NEWS Vol. 2 N° 2 (2023) ISSN: 2837-1364 - ISSN: 2790-8712

EDITORIAL.....	3
----------------	---

CIENCIAS BÁSICAS:

DESDE NUESTRO LABORATORIO

USO DE LA DIGESTIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS EN LA DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE Pd Y Pt EN CATALIZADORES INDUSTRIALES.

DANIEL VILLARROEL, RICHARD HENRÍQUEZ, DANIEL GONZÁLEZ, EUCLIDES VELASCO, JOSUÉ MAGO, JOSÉ MAGO.....7

CIENCIAS BÁSICAS:

MORBILIDAD DE NIÑOS MENORES DE 12 AÑOS CON OTITIS MEDIA SUPURATIVA

MILGLADYS BELÉN CENTENO-ARENAS.....15

CIENCIAS BÁSICAS:

SIMULACIÓN NUMÉRICA COMPUTACIONAL DEL COMPORTAMIENTO FLUIDODINÁMICO DE UNA TURBINA PELTON MEDIANTE LOS MODELOS DE TURBULENCIAS $k-\varepsilon$ y $k-\omega$ SST.

YESSICA SALAZAR MARVAL, YORDY GONZÁLEZ – RONDÓN, JOHNNY JOSÉ MARTÍNEZ.....27

CIENCIAS BÁSICAS:

CÁLCULO DE DESCRIPTORES MOLECULARES TOPOLÓGICOS DE DERIVADOS DE 1,4-DI-N-ÓXIDO DE 3-TRIFLUOROMETIL 2-CARBONILQUINOXALINA CON ACTIVIDAD ANTIMALÁRICA

EMMANUEL BERNAL-CARABALLO, JESÚS LEZAMA.....45

CIENCIAS BÁSICAS:

ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE COLORANTES NATURALES EN HIDROGELES DE POLIACRILATO DE SODIO (PAAcNA)

RITA TENÍA, CARLOS NÚÑEZ, SHAILILI MORENO, JOSÉ BENÍTEZ, EDGAR CATARÍ, ALEXANDER GARCIA.....61

CIENCIAS BÁSICAS:

ESTRATEGIAS DE GESTIÓN PARTICIPATIVA EN LA UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS DE LA SALUD "HUGO CHÁVEZ FRÍAS", NÚCLEO SUCRE, AÑO 2022

ERSI VARGAS DÍAZ, DAMARIS ZERPA DE MÁRQUEZ.....83

CIENCIAS BÁSICAS:

SOBRE LA ESTRUCTURA DEL ESPACIO-TIEMPO CUÁNTICO CANTORIANO: UNA POSIBILIDAD HACIA LA EXISTENCIA DE SISTEMAS ATEMPORALES

MARÍA T. MALAVÉ-RAMÍREZ.....108

DESDE NUESTRO
LABORATORIO

REPORTE DE
LABORATORIO
LAB-IN-003/2024



CEM
CEM

SERVOLAB



USO DE LA DIGESTIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS EN LA DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE PD Y PT EN CATALIZADORES INDUSTRIALES

RESUMEN Este reporte presenta el empleo de la técnica de digestión asistida por microondas usando el digestor de microondas MARSTM 2 para la posterior determinación cuantitativa de paladio (Pd) y platino (Pt) en catalizadores industriales. Este método muestra la ventaja de la reducción del lapso de digestión de las muestras al emplear las microondas comparadas con la digestión en envase abierto. Se realizó la digestión asistida por microondas de muestras reales de catalizadores industriales de Pd y Pt. Se realizó la cuantificación de los analitos en las soluciones de los digestados por espectrometría de absorción atómica de llama (FAAS) usando un espectrómetro NovAA 800D. El análisis de los resultados mostró que las desviaciones estándar para las mediciones de Pd y Pt son 10 y 132 ppm, respectivamente. Sin embargo, se puede establecer que existe una buena repetibilidad en ambas mediciones. Se concluye que la digestión asistida por microondas resulta ser una buena alternativa a usar en el procesamiento químico de muestras de catalizadores industriales. Mientras que los resultados obtenidos para ambos metales (0,21% de Pd y 0,31% de Pt) entran en el rango de los valores esperados para este tipo de catalizadores.

Palabras claves: catalizadores, paladio, platino, microondas, FAAS

USE OF MICROWAVE ASSISTED DIGESTION IN THE QUANTITATIVE DETERMINATION OF PD AND PT IN INDUSTRIAL CATALYSTS

ABSTRACT This report presents the use of the microwave-assisted digestion technique using the MARSTM 2 microwave digester for the subsequent quantitative determination of palladium (Pd) and platinum (Pt) in industrial catalysts. This

RICHARD HENRÍQUEZ¹, EUCLIDES VELAZCO¹
Laboratorio de ensayos, Servolab Overseas, Inc., Puerto Ordaz, Venezuela
dirlab@servolab.com.ve

method shows the advantage of reducing the digestion time of the samples when using microwaves compared to digestion in open containers. Microwave-assisted digestion of real samples of industrial Pd and Pt catalysts was performed. Quantification of the analytes in the solutions of the digestates was performed by flame atomic absorption spectrometry (FAAS) using a NovAA 800D spectrometer. Analysis of the results showed that the standard deviations for the Pd and Pt measurements are 10 and 132 ppm, respectively. However, it can be established that there is good repeatability in both measurements. It is concluded that microwave-assisted digestion turns out to be a good alternative to use in the chemical processing of industrial catalyst samples. While the results obtained for both metals (0.21% Pd and 0.31% Pt) fall within the range of values expected for this type of catalysts.

Key words: catalysts, palladium, platinum, microwave, FAAS

INTRODUCCIÓN

En la industria automotriz los metales Pt y Pd (y Rh) son una herramienta utilizada para reducir la emisión de gases contaminantes liberados por el motor de combustión, tales como el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados durante la combustión (HC) y óxido de nitrógeno (NO_x). Estos platinoides son depositados sobre alúmina (Al_2O_3), cordierita ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$) o una solución sólida de Al_2O_3 - $\text{CeO}_{0.2}\text{Zr}_{0.8}\text{O}_2$, entre otros soportes, los cuales trabajan en conjunto para transformar estas especies gaseosas en especies menos contaminantes, tales como CO en CO_2 , HC en CO_2 y H_2O , y NO_x en N_2 (NAVARRO-ESPINOZA ET AL. 2022). El contenido de estos platinoides en este tipo de catalizadores es de alrededor de 0,1-0,3% en masa (OMRANI ET AL. 2019). Los procesos de control de los catalizadores industriales en la industria química requieren una respuesta rápida en los análisis de las muestras enviadas al laboratorio para la cuantificación del Pd y Pt. La aplicación de un método que permita minimizar el tiempo de respuesta de los reportes de análisis del contenido de estos metales en los catalizadores, de tal manera que los procesos de usos del mismo al determinar su calidad se agilicen mucho más. Una de las etapas en los ensayos de laboratorio que requiere de una apreciable inversión de tiempo para obtener un resultado en los análisis es la etapa de digestión.

A pesar de la existencia de muchos métodos de digestión, la técnica analítica tradicional

utilizada en muchos laboratorios de ensayos es la digestión ácida en envase abierto. Este método puede involucrar lapsos de tiempo que pueden oscilar entre las 2 y 3 horas para que una muestra, con un mínimo 10 g de masa, complete la digestión y la disolución de metales pesados, tales como Pd y Pt. Los análisis de estos elementos de manera individual siguen determinadas normas internacionales. Para Pd existe la norma ISO 11490:2023 *Jewellery and precious metals — Determination of palladium — Gravimetry using dimethylglyoxime* y la norma ISO 11495:2019 *Jewellery and precious metals — Determination of palladium in palladium alloys — ICP-OES method using an internal standard element*. Mientras que para Pt se siguen las normas ISO 11210:2023 *Jewellery and precious metals — Determination of platinum — Gravimetry using ammonium chloride* e ISO 11494:2019 *Jewellery and precious metals — Determination of platinum in platinum alloys — ICP-OES method using an internal standard element*. Otras normas involucran el análisis de ambos elementos por la técnica de ICP-OES, tal como la norma ISO 15093:2020 *Jewellery and precious metals — Determination of high purity gold, platinum and palladium — Difference method using ICP-OES*. Sin embargo, estas normas aplican principalmente para joyerías y afines. Otra norma establece directrices para el análisis de elementos trazas (incluidos Pd y Pt) en calidad de suelos, tal como la ISO 16965:2013 *Soil quality — Determination of trace elements using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS)*. Siendo los catalizadores industriales especies metálicas, sales o

complejos del metal depositados sobre una base inerte, principalmente alúmina, los mismos se constituyen como un tipo de muestra que no sigue una norma de análisis en específico. En ese sentido, se requiere llevar a cabo los análisis que permitan dar una respuesta eficiente y confiable para elaborar un reporte del contenido de Pd y Pt presentes en las muestras a analizar.

Este reporte presenta un proceso rápido de digestión de muestras de catalizadores industriales de Pd y Pt asistido por microondas para su cuantificación por espectrometría de absorción atómica de llama (FAAS).

MATERIALES Y MÉTODOS

Instrumentación

Un digestor de microondas CEM MARS 2 (**Fig. 1a**) fue utilizado para digerir las muestras. Este equipo está provisto de envases de teflón MARSXpress, los cuales cuentan con un sistema de ventilación y resellado, que permite liberar los gases generados dentro del envase sin perjuicio de la muestra durante la digestión y que previene la generación de altas presiones dentro del envase sellado. Estos envases se ubican en una placa giratoria de 16 posiciones, la cual se coloca dentro del equipo para la digestión.



Figura 1. (a) Digestor de microondas MARS 2.

Preparación de la muestra

Para la aplicación del método fueron empleadas soluciones patrones de 1000 mg/l de Pd y Pt, a partir de estas soluciones fueron preparadas soluciones madres de 100 ml de cada analito para elaborar curvas de calibración de 5 puntos automatizado con el FAAS. El método pre-instalado "Copper Ore™" del MARS 2 en la opción One Touch™ Methods fue utilizado, que comprendían las siguientes condiciones de preparación de muestra: 0,5 g de muestra de los catalizadores (**Fig. 2**) y 10 ml de agua regia (3:1 de HCl:HNO₃). Un total de 9 muestras de catalizadores para el análisis de Pd y 10 muestras para el análisis de Pt fueron utilizadas, con la finalidad de evaluar la repetibilidad del método. Las muestras fueron sometidas a ataque químico con agua regia en los envases de teflón del digestor, con alrededor de 15 minutos de pre-digestión antes de cerrarlos. Posteriormente, colocados en la placa giratoria y ubicados en el MARS 2 y sometidos al proceso de digestión, según el método seleccionado. La **Tabla 1** muestra las condiciones instrumentales del método.

Análisis

El contenido de Pd y Pt en las muestras fue determinado por FAAS con un equipo marca Analytik Jena, modelo NovAA 800D (**Fig. 1b**). En la **Tabla 2** son listadas las condiciones instrumentales del espectrómetro para cada elemento.



Figura 1. (b) Espectrómetro de absorción atómica NovAA 800F.



Figura 2. a) Catalizador de paladio, b) Catalizador de platino.

Tabla 1. Condiciones instrumentales del método pre-instalado “Copper Ore” en el MARS 2 utilizado tanto para catalizadores d Pd como para catalizadores de Pt.

Parámetro	Ajuste
Etapas	1
Potencia (W)	290 – 1440
Rampa de tiempo (min)	20:00
Tiempo de mantenimiento (min)	10:00
Temperatura (°C)	200

Tabla 2. Parámetros del espectrómetro de absorción atómica para la medición de Pd y Pt.

Parámetro	Ajuste	
	Pd	Pt
Analito	Acetileno/Aire	Acetileno/Aire
Llama	Acetileno/Aire	Acetileno/Aire
Longitud de onda (nm)	247,6	265,9
Corriente de la lámpara (mA)	6	6
Slit (nm)	0,5	0,5
Corrección de fondo	Lámpara de D ₂	Lámpara de D ₂
Flujo de aspiración (ml/min)	5	5
Tiempo de integración (s)	5	5
Numero de integraciones (N°)	3	3

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La **Figura 3** muestra los gráficos de temperatura y potencia obtenidos del digestor de microondas MARS 2 para el método aplicado, lo que permite monitorear, en tiempo real, la evolución de ambos parámetros en el equipo durante la digestión de muestras de los catalizadores industriales de Pd y de Pt. Todo el

proceso de digestión se ejecutó en un lapso de tiempo de 30 minutos, que es más corto que el lapso que puede llevar una digestión en envase abierto.

La **Tabla 3** muestra los resultados obtenidos por FAAS tanto para Pd como Pt en los catalizadores. En el caso de Pd, observamos un promedio de 2105 ppm (0,21%) y una desviación estándar de 10 ppm. A su vez, en la **Fig.**

4(a) puede visualizarse el gráfico de cajas y bigotes con los valores de los 5 números, el rango de valores máximo y mínimo va de 2120 hasta 2090, sabiendo que los bigotes del gráfico representan la varianza esperada, y representándose los valores cuartiles respectivos al 25-50 (mediana) y 75%.

Para el caso de los resultados obtenidos por FAAS para Pt (Tabla 3), el promedio de las

mediciones fue de 3147 ppm (0,31%), con una desviación estándar de 132 ppm. A su vez, en el gráfico de cajas y bigotes [Fig. 4(b)], el rango de valores máximo y mínimo va de 3012 hasta 2090. Comparando los resultados promedios obtenidos para ambos catalizadores hay menos desviación en la determinación de Pd que de Pt en los catalizadores; sin embargo, los valores para ambos elementos presentan una buena repetitividad.

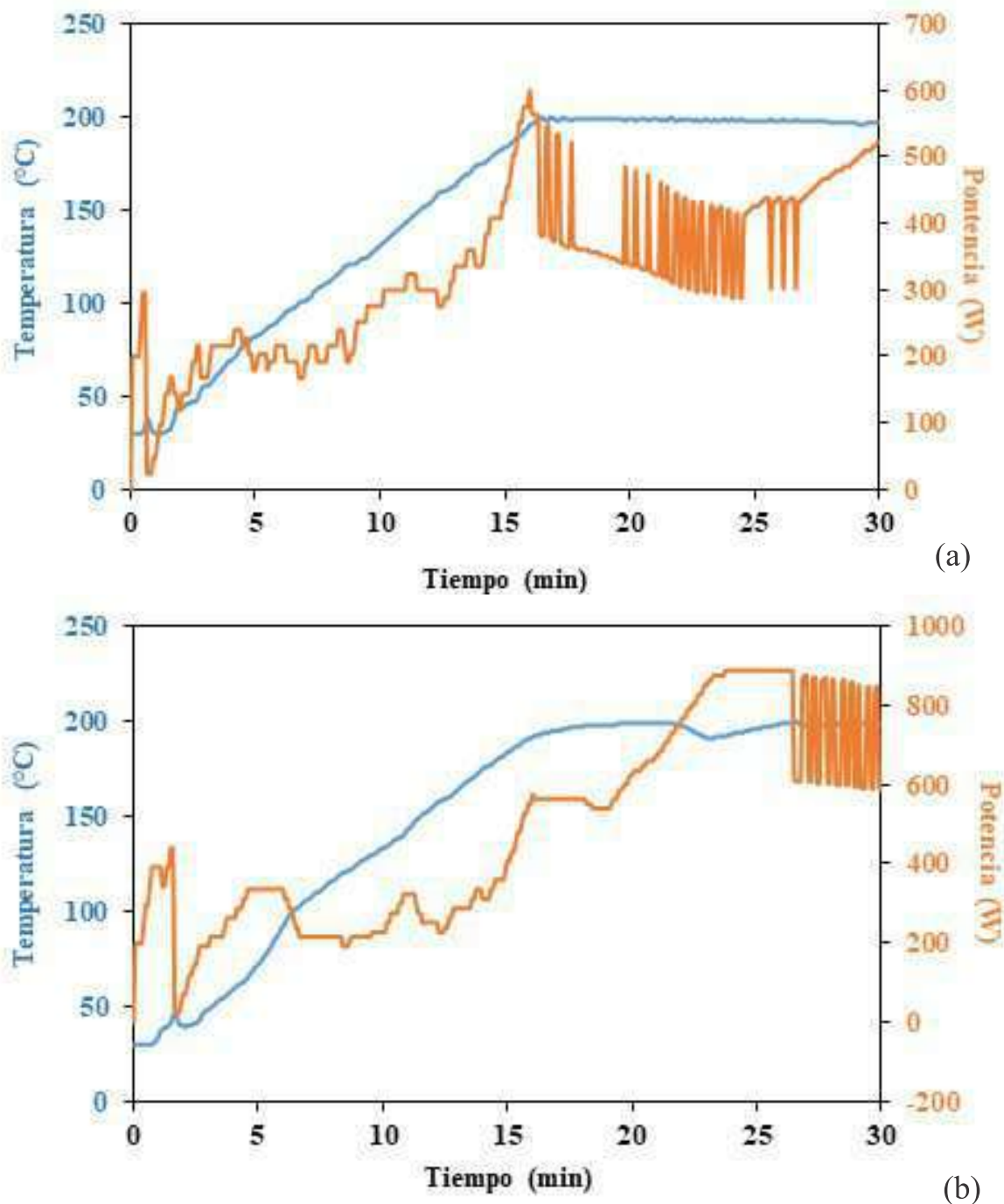


Figura 3. Grafico del comportamiento de la temperatura y potencia durante la digestión en el MARS 2 de: a) Pd y b) Pt.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que la digestión asistida por microondas permite obtener resultados repetibles en la cuantificación de los analitos Pd y Pt en muestras de catalizadores, minimizando consumibles y parámetros, tales como el consumo de reactivos y el tiempo de respuesta. Esto hace que

la digestión asistida por microondas sea una excelente alternativa como método de laboratorio para los controles de los procesos industriales de los catalizadores, permitiendo arrojar resultados repetibles en las determinaciones por FAAS. Los resultados obtenidos para Pd (0,21%) y Pt (0,31%) entran en el rango de concentración reportados para este tipo de catalizadores (0,1-0,3%).

Tabla 3. Resultados obtenidos en el análisis de Pd y Pt por FAAS.

N°	Concentración (ppm)	
	Pd	Pt
1	2116	3012
2	2102	3050
3	2108	3162
4	2090	3212
5	2100	3266
6	2096	2870
7	2120	3277
8	2112	3273
9	2100	3164
10	-	3180
Desviación estándar	10	132
Número de muestras	9	10
Promedio	2105	3147

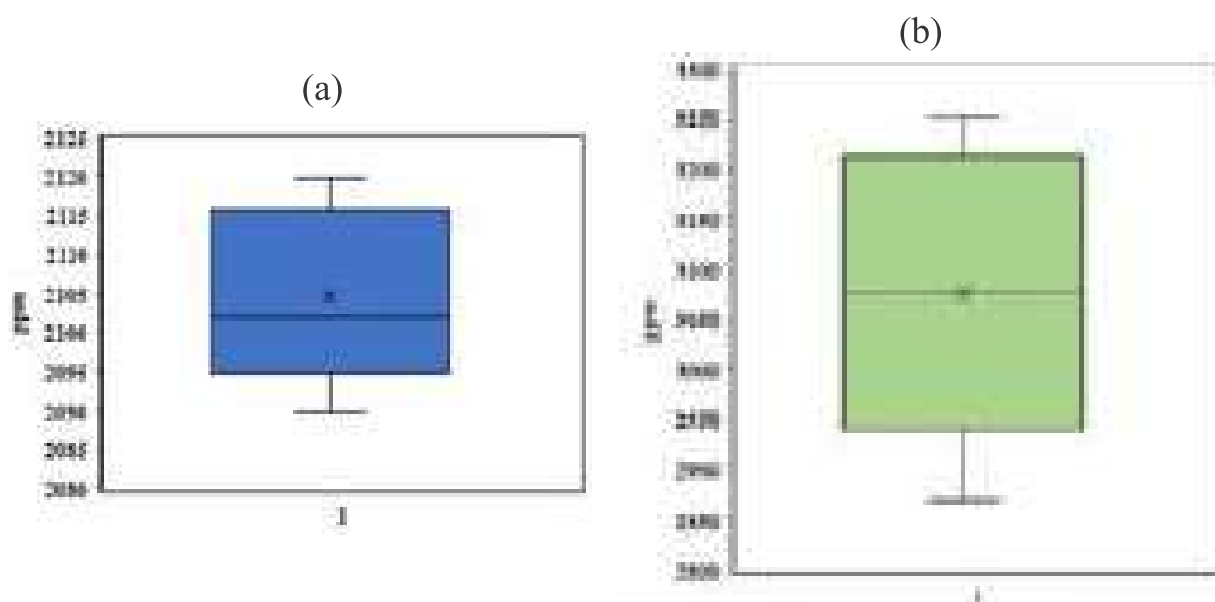


Figura 4. Gráfico de cajas y bigotes de los resultados por FAAS de: (a) Pd y (b) Pt.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ISO 11210:2023 Jewellery and precious metals - Determination of platinum - Gravimetry using ammonium chloride.

ISO 11490:2023 Jewellery and precious metals - Determination of palladium - Gravimetry using dimethylglyoxime.

ISO 11494:2019 Jewellery and precious metals - Determination of platinum in platinum alloys - ICP-OES method using an internal standard element.

ISO 11495:2019 Jewellery and precious metals - Determination of palladium in palladium alloys - ICP-OES method using an internal standard element.

ISO 15093:2020 Jewellery and precious metals - Determination of high purity gold, platinum and palladium - Difference method using ICP-OES. Sin embargo, estas normas aplican principalmente para joyerías y afines.

ISO 16965:2013 Soil quality - Determination of trace elements using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).

NAVARRO-ESPINOZA S., MEZA-FIGUEROA D., PEDROZA-MONTERO M. Y SOTO-PUEBLA D. 2022. Catalizadores de tres vías: historia, funcionamiento y ventajas ambientales. *Epistemos (Sonora)*. 16(33): 99-105. <https://doi.org/10.36790/epistemos.v16i33.240>

OMRANI M., GORIAUX M., LIU Y., MARTINET S., JEAN-SORO L. & RUBAN V. 2019. Platinum group elements study in automobile catalysts and exhaust gas samples. *Environ. Pollut.* 113477. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113477>



VAPODEST® 500

Para análisis Kjeldahl precisos en laboratorios de alto rendimiento. Desarrollado especialmente para usuarios exigentes, este equipo permite la determinación de nitrógeno según el método Kjeldahl y destilación por vapor de sustancias volátiles. La eficiencia, la seguridad y el cumplimiento de normas son características prioritarias.



Efficiente: análisis Kjeldahl totalmente automatizado y optimizado para el proceso.

Robusto: diseñado para análisis de alto rendimiento y funcionamiento continuo.

Altamente preciso: su bomba de microdosificación y su software superan a las buretas.

Totalmente integrado: gestión de procesos y datos compatible con la red.



Combine el VAPODEST 500 con el KJELDATHERM KT-L20s para utilizar la solución completa más potente del mercado para digestión y análisis Kjeldahl.

El VAPODEST 500 es el equipo ideal para laboratorios que buscan precisión y rendimiento. Obtén resultados confiables y eficientes sin sacrificar la seguridad y el cumplimiento normativo. ¡No pierdas la oportunidad de contar con esta solución completa en tu laboratorio de alto rendimiento!

MORBILIDAD DE NIÑOS MENORES DE 12 AÑOS CON OTITIS MEDIA SUPURATIVA

(MORBIDITY OF CHILDREN UNDER 12 YEARS OLD WITH SUPURATIVE OTITIS MEDIA)

MILGLADYS BELÉN CENTENO-ARENAS¹

¹Universidad Central de Venezuela, "Hospital Dr. Domingo Luciani, Servicio de Otorrinolaringología.

milgladysb.1502@gmail.com

RESUMEN

La otitis media supurativa es el proceso inflamatorio del oído medio con presencia de material purulento en el canal auditivo, secundario a una infección viral o bacteriana. En esta investigación se estudió la morbilidad de niños menores de 12 años con otitis media supurativa, en los periodos 2000-2005 y 2013-2018, en el servicio de Otorrinolaringología del hospital universitario Antonio Patricio De Alcalá (HUAPA). Para ello se hizo uso de la metodología retrospectiva; de tipo y nivel descriptivo, corte transversal y diseño de campo. La población fue de 114 individuos, menores de 12 años que acudieron a este servicio, con muestra igual a población. Se tomaron como variables la edad, el sexo, el tipo de otitis media(OM), las complicaciones y los factores de riesgo. Se encontró que el 58,33% (2000-2005) y el 61,54% (2013-2018), correspondió al sexo masculino y en cuanto a la edad el 56,52% (2000-2005) y el 62,90% (2013-2018) se ubicaron en el grupo etario 0 a 2 años. Del total de pacientes, el 91,67% (2000-2005) y 82,05% (2013-2018), presentaron otitis media aguda (OMA). El 75,00% (2000-2005) y el 72,15% (2013-2018), transcurrió sin complicaciones. En relación a los factores de riesgo: sexo 19,09% (2000-2005) y antecedentes de otitis media aguda (OMA) e infecciones respiratorias altas (IRA) 24,34% (2013-2018) fueron los más frecuentes. Todo esto permite concluir que el sexo masculino y el grupo etario de 0 a 2 años fueron los más propensos a esta patología. La OMA fue el tipo de otitis más común. En ambos periodos, la mayoría de los pacientes no presentó complicaciones y los factores de riesgo más comunes fueron antecedentes de OMA, IRA, sexo y lactancia inadecuada.

Palabras Claves: Otitis Media Aguda, morbilidad, factores de riesgo, complicaciones.

ABSTRACT

Suppurative otitis media is the inflammatory process of the middle ear with the presence of purulent material in the ear canal, secondary to an infection, viral or bacterial. In this research, the morbidity of children under 12 years of age with suppurative otitis media was studied, in the periods 2000-2005 and 2013-2018, in the Otorhinolaryngology service of the Antonio Patricio De Alcala university hospital (HUAPA). For this purpose, the retrospective methodology was used; of type and descriptive level, cross section and

field design. The population was 114 individuals, under 12 years of age who attended this service, with a sample equal to the population. Age, sex, type of otitis media (OM), complications and risk factors were taken as variables. It was found that 58.33% (2000-2005) and 61.54% (2013-2018) corresponded to the male sex and in terms of age, 56.52% (2000-2005) and 62.90 % (2013-2018) were in the age group 0 to 2 years. Of the total patients, 91.67% (2000-2005) and 82.05% (2013-2018) presented acute otitis media (AOM). 75.00% (2000-2005) and 72.15% (2013-2018) passed without complications. In relation to risk factors: sex 19.09% (2000-2005) and history of acute otitis media (AOM) and upper respiratory infections (ARI) 24.34% (2013-2018) were the most frequent. All this allows us to conclude that the male sex and the age group from 0 to 2 years were the most prone to this pathology. AOM was the most common type of otitis. In both periods, the majority of patients did not present complications and the most common risk factors were history of AOM, ARI, sex and inadequate breastfeeding.

Key Words: Acute Otitis Media, morbidity, risk factors, complications.

INTRODUCCIÓN

La otitis media (OM) es una inflamación del oído medio que incluye, no sólo la cavidad del oído medio, la mucosa que la tapiza y el tímpano, sino también la trompa de Eustaquio y la mastoides (POCH 2006). Basándose en el tiempo de evolución, puede ser aguda, subaguda o crónica. La OM supurativa es definida como el proceso inflamatorio del oído medio con la presencia de material purulento en el canal auditivo secundario a una infección. La otitis media aguda (OMA) es una infección aguda viral o bacteriana de presentación súbita y de corta duración (menor de 3 semanas), de la cavidad del oído medio y anexos, que en general acompaña una infección de las vías respiratorias superiores. Suele ser una infección monobacteriana y los síntomas consisten en otalgia, a menudo con síntomas sistémicos (fiebre, náuseas, vómitos y diarrea), sobre todo en los niños muy pequeños (POCH 2006; VALLÉS ET AL. 2016; MIYAMOTO 2022). ÁLVAREZ ET AL. (2011) encontraron que el *Streptococcus pneumoniae* (35,00%), *Haemophilus influenzae* no tipificable (25,00%) y el *Streptococcus epidermidis* (10,00%) fueron los gérmenes aislados con

mayor frecuencia. Esta patología cumple con 4 etapas clínicas, según la evolución de la enfermedad: en la etapa de tubotimpanitis, se encuentran datos inespecíficos en la otoscopia; en etapa hiperémica, se caracteriza por otalgia, malestar general, fiebre de 39,00°C o más; en la etapa exudativa, la otalgia es tan intensa que impide el sueño o lo interrumpe y finalmente, en la etapa supurativa, existe fiebre mayor a 40,00°C, otalgia intensa y pulsátil. La hipoacusia es importante en esta etapa y puede presentar perforación de la membrana timpánica y otorragia (POCH 2006; VALLÉS ET AL. 2016). OMA recurrente es la aparición de 3 episodios de otitis media aguda con contenido purulento (adecuadamente diagnosticado) en el lapso de 6 meses o bien 4 otitis media aguda con contenido purulento (adecuadamente diagnosticada) en el lapso de 12 meses, con el último episodio durante el mes previo a la consulta, con otoscopia normal entre los mismos. Estudios recientes han comenzado a poner alguna luz sobre el tema, evidenciando que el diagnóstico de OMA debe pasar por considerar los signos y síntomas más específicos, como la otalgia y la otorrea aguda

o la otoscopia con datos inequívocos de inflamación (BURGOS *ET AL.* 2021).

La otitis media crónica (OMC), por lo general, comienza con una infección aguda del oído que deja un orificio en el tímpano que nunca cicatriza (perforación del tímpano). Una infección de oído crónica puede presentar un brote agudo cuando el paciente se resfría y/o entra agua en su oído medio a través de la perforación del tímpano mientras se baña o nada. Los niños que tienen defectos congénitos en el rostro presentan un mayor riesgo de infecciones crónicas del oído (THE MANUAL'S STAFF. 2023). La OMC consiste en una inflamación crónica del oído medio de comienzo insidioso, curso lento y duración mayor o igual a 3 meses, que genera un cuadro de otorrea purulenta crónica o recidivante. Cursa con o sin otalgia y se acompaña de hipoacusia variable en función de las lesiones del tímpano y de la cadena de huesecillos. La otitis media supurativa o benigna cursa con inflamación crónica y recidivante de la mucosa del oído medio, sin osteólisis de sus paredes (POCH 2006). En la otoscopia aparece una perforación central y suele existir lesión de la cadena osicular, sobre todo de la rama larga del yunque. En la radiología simple y en la tomografía computarizada (TC), destaca la presencia de una mastoidees eburnea, con ausencia de erosiones en las paredes óseas a diferencia del colesteatoma. Su principal causa es la existencia previa de una perforación timpánica, como secuela de una OMA o de un traumatismo, y la disfunción tubárica contribuiría a la cronificación del proceso (VALLÉS *ET AL.* 2016). Algunas personas con otitis media supurativa crónica desarrollan un colesteatoma en el oído medio. El colesteatoma u OMCcolesteatomatosa (OMCC) es una protuberancia no cancerosa (benigna) de una sustancia blanca parecida a la piel (POCH2006; MIYAMOTO 2023).

La OM es un problema de salud mundial que afecta a uno de cada cuatro niños menores de

10 años y es la infección bacteriana más frecuente en lactantes y niños pequeños, se calcula que a la edad de 5 años más del 90,00% de los niños han sufrido algún episodio de OMA, constituyendo una de las causas más comunes de consulta médica pediátrica (BURGOS *ET AL.* 2021).

Existen muchos factores de riesgo de OM, entre los que se encuentran los personales y ambientales como: edad (menores de 2 años), sexo masculino, nacimiento prematuro, bajo peso al nacer, clima, patologías respiratorias crónicas (asma), inmunización inadecuada, malnutrición, anomalías anatómicas, comienzo del primer episodio de OM antes del sexto mes de vida, lactancia inadecuada (leche y técnica), hospitalizaciones previas, infecciones respiratorias altas (IRA) y antecedentes familiares como hermanos en edades escolares y con antecedentes de OMA y socioeconómicos como: pertenencia a grupos vulnerables (casa hogar, guarderías y maternales), hacinamiento, condiciones de vivienda, higiene deficiente, contacto con animales, y presencia de fumadores en el hogar (MIYAMOTO 2022).

GONZÁLEZ *ET AL.* (2017) describieron la frecuencia con que se presenta un episodio de OMA, en niños menores de 8 años de edad residentes de una casa hogar, encontrando que los principales factores de riesgo asociados a la ocurrencia de OMA fueron la edad pre-escolar, el índice de hacinamiento (>2,50 personas/habitación), las infecciones de vías respiratorias superiores previas y el antecedente de uno o más episodios alérgicos. También se encontró que los niños con una lactancia materna prolongada (> 6 meses) estaban más protegidos contra la OMA.

El diagnóstico se basa en la historia clínica y exploración física con examen de la membrana timpánica, revelando inflamación del oído medio. Estudios recientes han evidenciado que el diagnóstico de OM debe pasar por conside-

rar los signos y síntomas más específicos (otalgia y otorrea) suprimiendo otros más inespecíficos como fiebre, rinitis, vómitos y otoscopia poco significativa. Lo que ocurre es que el dolor es difícil de evaluar en los niños más pequeños, precisamente aquellos en los que la OM es más grave y más frecuente. Sin embargo, la otalgia del lactante se puede evidenciar con el despertar brusco y el llanto desconsolado de varias horas después de un sueño profundo o la irritabilidad diurna injustificada y prolongada (VALLÉS *ET AL.* 2016).

Las complicaciones de la OMA son poco comunes. En casos raros, la infección bacteriana del oído medio se disemina localmente y produce mastoiditis aguda, petrositis o laberintitis. La propagación intracraneal es extremadamente rara y suele causar meningitis, absceso cerebral, empiema subdural, absceso epidural, trombosis del seno lateral o hidrocefalia ótica. Incluso con antibioticoterapia, las complicaciones intracraneales se resuelven lentamente, en especial en los pacientes inmunodeprimidos (MIYAMOTO 2022).

ÁLVAREZ *ET AL.* (2011), reportaron que, con excepción de la mastoiditis, el resto de las complicaciones descritas en relación con la OMA han disminuido desde la utilización de antibióticos y se consideran excepcionales en la actualidad, pero se describe el déficit auditivo como la secuela más frecuente en la OMA a medio y a largo plazo. Estas secuelas pueden producir diversos grados de hipoacusia generalmente de conducción. Otra consecuencia derivada de los procesos inflamatorios es la timpanoesclerosis, que se caracteriza por la presencia de tejido cicatricial, que bloquea el tímpano y/o los huesecillos e impide una correcta transmisión del sonido.

El estudio de la morbilidad, la cual es considerada un dato estadístico importante para comprender la evolución o retroceso de alguna enfermedad como la OM, las razones de

su surgimiento y las posibles soluciones, ha interesado a los investigadores con el fin de buscar las causas, efectos, realizar explicaciones, dar respuestas y soluciones a esta patología otológica. En el sentido de la epidemiología, la morbilidad se puede ampliar al estudio y cuantificación de la presencia y efectos de alguna enfermedad en una población (BURGOS *ET AL.* 2021).

Se considera una consulta de morbilidad, la atención profesional otorgada por el médico a un paciente, en un lugar destinado para esos fines. Esta prestación incluye anamnesis, examen físico, hipótesis diagnóstica, con o sin prescripción de exámenes o medidas terapéuticas. La tasa mundial de morbilidad es evaluada por la Organización Mundial de la Salud (OMS), con el fin de ofrecer una imagen completa de la situación mundial de la salud, utilizando los años de vida ajustados en función de la discapacidad, como una nueva medida de utilidad para cuantificar las pérdidas de vida sana. En general, el objetivo común de los estudios de morbilidad es doble: por un lado, identificar cohortes de pacientes sobre los que se pueden realizar determinadas intervenciones y, por otro, identificar variaciones en el patrón de morbilidad con respecto a variables localización geográfica, tiempo, edad, sexo y ocupación de la población estudiada, entre otros.

Al hospital universitario Antonio Patricio de Alcalá (HUAPA), ubicado en la ciudad de Cumaná, estado Sucre, acude la comunidad en general del estado, prestándole el servicio de medicina, cirugía, maternidad y planificación familiar, con capacidad de albergar en sus instalaciones casos de hospitalización, examinar por las áreas de emergencias a un gran número de pacientes, tanto en el nivel pediátrico como adulto. El HUAPA cuenta con una unidad de Otorrinolaringología, adscrita al departamento de Cirugía, que realiza consultas, cirugías y atención a emergencias. En-

tre las patologías más comunes se encuentran: hipoacusia, otitis, amigdalitis e hipertrofia adenoide motivado al aumento en los casos de otitis media supurada e hipoacusia como secuela de otitis crónica, especialmente en niños, observados en los últimos años en este servicio. En esta investigación se realizó un estudio de la morbilidad por otitis media supurada en niños menores de 12 años, sus factores predisponentes y las complicaciones que puedan presentarse, en dos períodos de 5 años cada uno, con el fin de comparar la evolución de la enfermedad y los posibles factores que puedan estar condicionando el comportamiento de los casos.

METODOLOGÍA

La investigación cuenta con un fundamento retrospectivo, siendo de tipo descriptiva (MANTEROLA ET AL. 2019); ya que en ella se revisaron las historias o expedientes clínicos de niños menores de 12 años con otitis media supurada en los periodos 2000-2005 y 2013-2018, en el departamento de Otorrinolaringología del HUAPA, a fin de describir, registrar y analizar de forma correcta los hallazgos, teniendo un nivel descriptivo, correspondiéndose con un corte transversal (MANTEROLA ET AL. 2019).

La población estuvo conformada por 114 individuos (niñas 45 y niños 69), menores de 12 años, con otitis media supurada, atendidos en el servicio de Otorrinolaringología del HUAPA, 36 durante los periodos 2000-2005 (15 niñas y 21 niños) y 78 en el lapso 2013-2018 (30 niñas y 48 niños), tomándose la muestra igual a la población; es decir, 114 individuos, entre 45 niñas y 69 niños con esta patología, evaluados en este servicio en los periodos establecidos.

Se tomaron como variables la edad, sexo, tipo de OM, complicaciones y factores de riesgo.

La técnica utilizada en esta investigación fue

la de documentos y registros. Para la aplicación de esta técnica, primero se procedió a solicitar permiso para la revisión de historias médicas en el departamento de Información, Estadística y Salud, para la recolección de datos de los elementos de la muestra, haciendo uso de fichas, para ordenarlos y clasificarlos, facilitando la redacción (MANTEROLA ET AL. 2019).

La información recopilada por medio del instrumento, se procesó en Microsoft Excel 2010, para luego presentar los resultados a través de estadísticas descriptivas, mediante tablas elaboradas en Microsoft Excel 2010, haciendo uso de porcentajes para las variables nominales y para las variables discretas y continuas, medidas de tendencia central en frecuencia y porcentaje. Una vez realizadas las tablas, se procedió a su interpretación y comparación, de acuerdo a los objetivos de esta investigación.

RESULTADOS

En función de los objetivos planteados, se efectuó un minucioso análisis que permitió consolidar la base de datos del registro. En primer lugar, se realizó una división de acuerdo a la edad, tomándose los siguientes intervalos de tres (3) años cada uno: de 0 a 2 años, de 3 a 5 años, de 6 a 8 años y de 9 a 11 años.

En la **Tabla 1** se presentan los datos correspondientes al número de individuos de la muestra, de acuerdo a la edad, en los periodos 2000-2005 y 2013-2018.

Como se observa en la **Tabla 1**, la mayor cantidad de individuos, en ambos periodos, se presentan entre 0 y 2 años (63,89%) y (79,49%) para los lapsos 2000-2005 y 2013-2018. Se puede inferir, que esto es motivado a que los niños de menor edad tienen las trompas de Eustaquio más cortas y horizontales, lo que permite que los patógenos nasofaríngeos ingresen al oído medio con relativa faci-

Tabla 1. Número de individuos por edad período: (2000-2005) y (2013-2018)

Edad (años)	2000-2005		2013-2018	
	N° de individuos	%	N° de individuos	%
0 – 2	23	63,89	62	79,49
3 – 5	8	22,22	9	11,54
6 – 8	2	5,56	5	6,41
9 – 11	3	8,33	2	2,56
Total	36	100,0	78	100,0

lidad.

En la Tabla 2 se muestra el número de individuos objeto de estudio, de acuerdo a la edad y sexo en el periodo 2000-2005.

Se observa en la **Tabla 2**, que, en general, el

Se puede ver en la **Tabla 3**, que el mayor número de individuos objeto de estudios (33) presentaron OMA, mientras que ninguno presentó OMCC ni OMA recurrente. Esto puede ser debido al acceso a la atención médica y la

Tabla 2. Número de individuos de acuerdo a la edad y sexo (2000-2005)

Edad (años)	N° Individuos	Femenino	%	Masculino	%
0 - 2	23	10	43,48	13	56,52
3 - 5	8	4	50,00	4	50,00
6 - 8	2	0	0,00	2	100,00
9 - 11	3	1	33,33	2	66,67
Total	36	15	41,67	21	58,33

número mayor de individuos de la muestra que presentó la patología objeto de estudio fue el sexo masculino con un porcentaje del 58,33%. De igual forma, se observa que, para las edades comprendidas de 3 a 5 años, ambos sexos tienen un 50,00%. Además, para las edades de 0 a 2 años; 6 a 8 años y 9 a 11 años, el número de individuos de la muestra del sexo femenino fue menor. Estos resultados pueden ser originados por factores poblacionales.

La **Tabla 3** muestra el número de individuos y el porcentaje respectivo, por tipo de otitis media presente, en el periodo 2000-2005.

introducción de antibióticos e inmunizaciones.

La **Tabla 4** muestra el número de individuos, de la muestra, por factores de riesgo, en el periodo 2000-2005 observándose que los factores de riesgo más predominantes fueron: sexo (19,09%), antecedentes de OMA e IRA (16,36%), lactancia inadecuada (13,64%) y factores socioeconómicos (12,73%). Estos resultados pueden considerarse debido a la misma predisposición anatómica mencionada con anterioridad, así como al escenario ideal que crean la IRA y técnica inadecuada de lactancia materna, para que se acumule la pre-

sión negativa en el espacio del oído medio, además del aseo inadecuado, permitiendo en que los patógenos proliferen.

Tabla 3. Número de individuos por tipo de Otitis (2000-2005)

Tipo de Otitis	Nº de individuos	%
OMA	33	91,67
OMC	3	8,33
OMCC	0	0,00
OMA Recurrente	0	0,00
Total	36	100

En la **Tabla 5** se expone el número de individuos objeto de estudio con relación a las complicaciones de la otitis media supurativa presentes en los pacientes analizados.

Como se puede ver en la **Tabla 5**, la mayoría de los individuos (27), no presentaron complicaciones, mientras que solo seis (6) pacien-

Tabla 4. Número de individuos por factores de riesgo (2000-2005)

Factores de Riesgo	Nº de Individuos	%
Edad	6	5,45
Sexo	21	19,09
Desnutrición	6	5,45
BPAN	7	6,36
Lactancia inadecuada	15	13,64
Inmunización inadecuada	6	5,45
PRS (Asma)	7	6,36
Antecedentes de OMA,IRA	18	16,36
Hospitalizaciones	5	4,55
Socioeconómicos	14	12,73
Mala higiene	1	0,91
Fumadores en el hogar	4	3,64
Total	110	100,00

tes presentaron membrana timpánica perforada. Esto puede ser debido al acceso a la atención médica oportuna y la introducción de antibióticos e inmunizaciones.

En la **Figura 1**, se muestra, en una gráfica de barra, la combinación del número de individuos de acuerdo a las edades y al sexo en el periodo 2013-2018, se observa que el número de niños del sexo masculino es mayor para las edades comprendidas entre 0 y 2 años y 3 a 5 años y menor para niños con edades entre 6 a 8 años y entre 9 y 11 años, en el cual se atendió solo un niño de cada sexo.

Esto puede ser explicado por factores poblacionales.

En la **Figura 2** se presenta la relación porcentual de los casos por tipo de otitis en el periodo 2013-2018, donde se observa que un alto porcentaje de niños presentaron OMA (82,00%) y otros tipos de otitis que suman 18,00%. Esto puede ser debido al acceso a la atención médica y la introducción de antibióticos e inmunizaciones.

En la **Figura 3** se muestra, el número de individuos por factores de riesgo, donde se observan las barras con mayor altitud en los factores antes mencionados y ningún caso por mala higiene. Estos resultados pueden tener su origen en la misma predisposición anatómica mencionada con anterioridad, así como al escenario ideal que crean la IRA y la técnica inadecuada de lactancia materna, para la proliferación de patógenos.

La **Figura 4** presenta, de forma gráfica, la relación porcentual que existe, entre los individuos de la muestra que presentaron complicaciones, en el periodo 2013-2018. En la misma se observa, que el 72,15% no presentó complicación alguna, mientras que el 17,72% presentó membrana timpánica perforada y el 1,27% (un individuo) presentó parálisis facial. Esto permite inferir, que este resultado es motivado a la atención médica oportuna y al

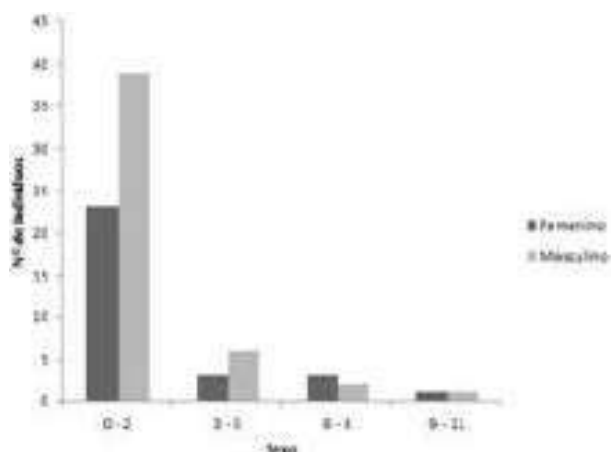


Figura 1. Número de individuos con otitis media supurativa de acuerdo a la edad y el sexo en el periodo 2013-2018

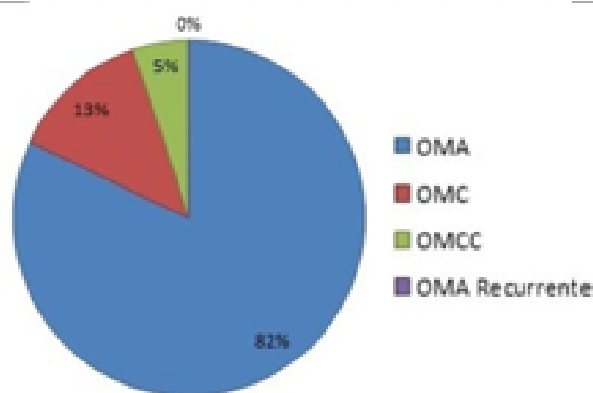


Figura 2. Porcentaje de individuos por tipo de otitis en el periodo 2013-2018

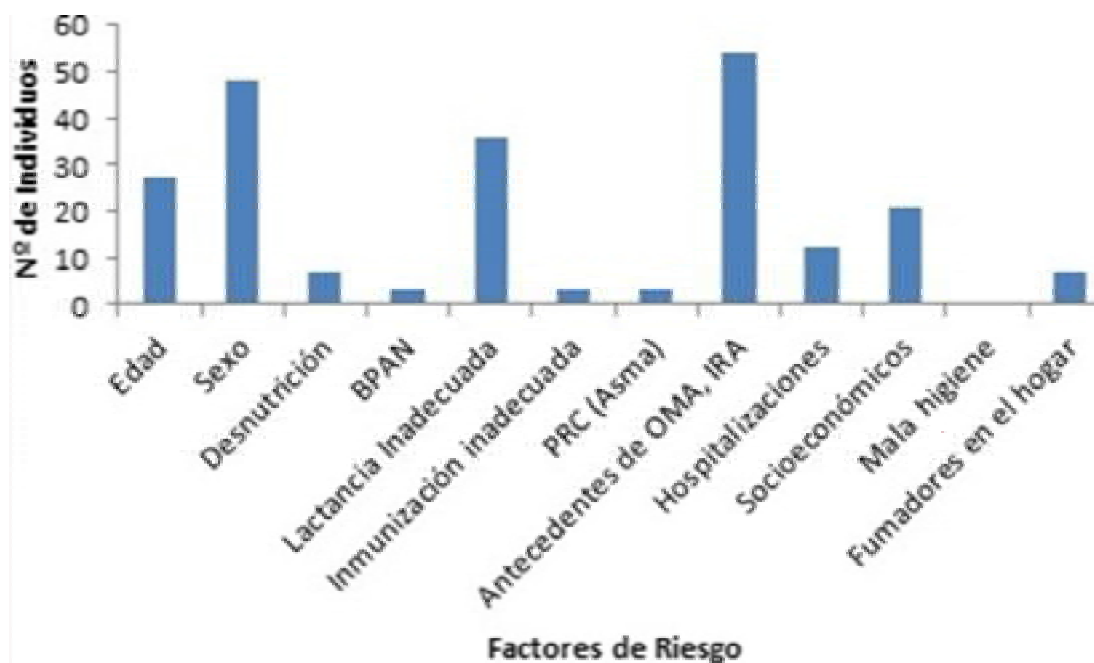


Figura 3. Número de individuos con otitis media supurativa por factores de riesgo en el periodo 2013-2018

uso adecuado de antibióticos.

Ahora, con el fin de cumplir con los objetivos de la investigación se presenta un análisis comparativo de los factores de riesgos y las complicaciones presentes en los niños de la muestra de esta investigación.

Con relación a los factores de riesgo presentes en los periodos 2000-2005 (**Tabla 5**) y

2013-2018 (**Figura 4**), se observa que para el primer periodo el factor de riesgo con mayor número de individuos es el sexo (19,09%) y en segundo lugar antecedentes de OMA e IRA (16,36%), mientras que para el lapso 2013-2018 el factor predominante fue antecedentes de OMA e IRA (24,43%); sin embargo para este periodo el sexo también fue un factor de riesgo importante; ya que el por-

**Tabla 5. Número de individuos de acuerdo a complicaciones presente
2000 - 2005**

Complicaciones	Nº de individuos	%
Membrana Timpanica Perforada	6	16,67
Mastoiditis Aguda	3	8,33
Absceso subperióstico	0	0,00
Parálisis Facial	0	0,00
Sin Complicaciones	27	75,00
Total	36	100,00

Tabla 5. Número de individuos de acuerdo a complicaciones presente 2000 - 2005

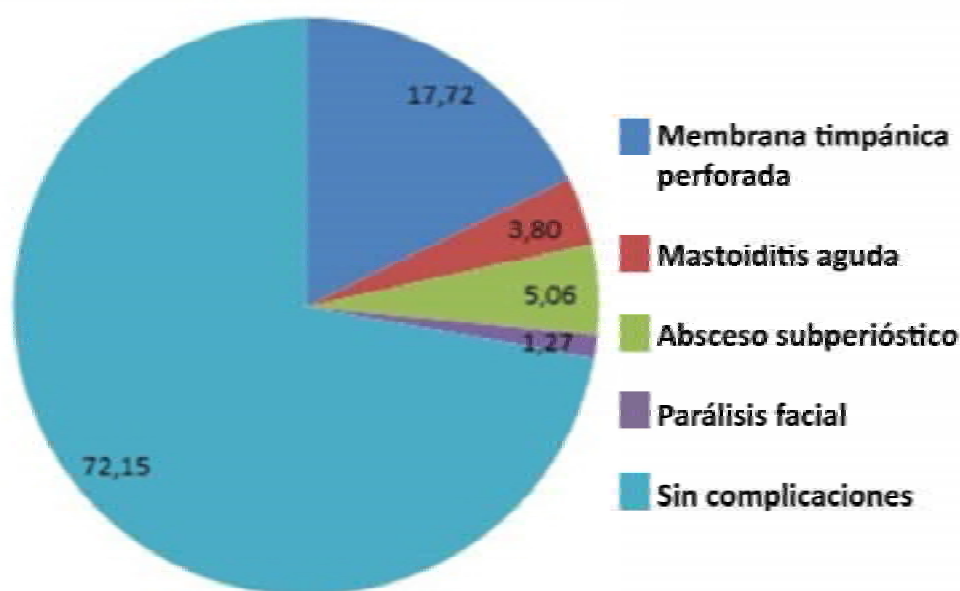


Figura 4. Porcentaje de individuos con otitis media supurativa por complicación en el periodo (2013-2018)

centaje de niños fue del 21,72%, ubicándose en el segundo lugar. Por otro lado, los factores de riesgo lactancia inadecuada y factores socioeconómicos presentaron porcentajes importantes de consideración. Sin embargo, el factor de riesgo edad, para el periodo 2013-2018 (12,22%) estuvo entre los cuatro (4) primeros, no así para el lapso 2000-2005, que obtuvo solo un 5,45%.

En cuanto a las complicaciones que presentaron los niños objeto de estudio, se tiene lo si-

guiente: en ambos periodos la gran mayoría de los niños no presentaron complicaciones, para el periodo 2000-2005, el porcentaje de individuos sin complicaciones fue del 75,00% y para el periodo 2013-2018 fue del 72,15%.

DISCUSIÓN

Al comparar los resultados obtenidos en esta investigación, con los presentados por Campos *et al* (2014), se puede decir que son se-

mejantes; ya que ellos señalan que los episodios de OMA se presentan en mayor medida en el género masculino.

De igual forma, Campos, *et al* (2014) estiman que más del 80,00% de los niños presentará un episodio de OMA antes de los 3 años de edad y que el 40,00% desarrollará 6 o más recurrencias hacia los 7 años. De igual forma establecen que, la OMS estima que 65,00-330,00 millones de individuos desarrollarán OM supurativa y 60,00% de ellos sufrirán un déficit auditivo, lo cual concuerda con los datos obtenidos en esta investigación.

Roca *et al* (2020) presentan, en sus resultados, que el 90,00% al 95,00% de OMA y OM supurativa están precedidos por IRA, lo que se asemeja a los resultados de esta investigación.

Por otro lado, Roca *et al* (2020) estiman que entre el 50,00% y 85,00% de los niños experimentan al menos un episodio de OMA a los 3 años, con una incidencia máxima entre 6 y 15 meses, debido a una predisposición anatómica.

CONCLUSIONES

En el periodo 2013-2018 se atendió un número mayor de niños (78) de los 114 que representa el total entre ambos periodos y de estos el 79,49% con edades comprendidas entre 0 y 2 años. En el periodo 2000-2005, el 63,89% de los niños atendidos también eran del grupo etario de 0 a 2 años.

Las mayores cifras de niños atendidos, en ambos periodos fueron del sexo masculino, con un 58,33% para el lapso 2000-2005 y un 61,54 para el periodo 2013-2018.

El periodo 2000-2005 el 91,67% de los niños de la muestra presentaron OMA, siendo esta misma patología la más frecuente en el periodo 2013-2018, con un 82,05%.

En ambos periodos el porcentaje mayor de los

individuos de la muestra no presentaron complicaciones con un 75,00% y un 72,15%, para los periodos 2000-2005 y 2013-2018, de forma respectiva.

Los factores de riesgo más frecuentes, en ambos periodos estudiados (2000-2005 y 2013-2018) resultaron ser: antecedentes de OMA, IRA (18% y 54%); sexo (19,09% y 21,72%); lactancia inadecuada (13,64% y 16,29%) y factores socioeconómicos (12,73% y 9,50%). Sin embargo, es importante señalar que el factor de riesgo sexo, aunque para el periodo 2000-2005 tuvo apenas un 5,45%, para el periodo 2013-2018 se ubicó en un 12,72%, superior al factor socioeconómico.

RECOMENDACIONES

Realizar campañas de concientización a padres y representantes de los niños y niñas, sobre los factores de riesgo modificables, a fin de minimizar la incidencia de esta patología.

Fomentar la lactancia materna, sobre todo durante los primeros tres meses de vida; ya que disminuye el riesgo de OMA. El efecto protector de la lactancia materna, observado durante los primeros tres meses de vida, se prolonga hasta los 6 meses, disminuyendo la frecuencia de la OMA en niños alimentados con leche materna.

El impacto de las vacunas conjugadas en los dos primeros años de vida incluye la reducción de la frecuencia de OMA, del estado de portador de neumococo, la resistencia bacteriana y confiere una mejor protección con OMA complicada y recurrente.

Ante la sospecha de OMA, se deberá mejorar la calidad de la evaluación clínica y definir el criterio para la administración de tratamiento antibiótico, con lo que se contribuye a mejorar el uso de estos fármacos y reducir la resistencia bacteriana en la comunidad. El uso más razonable de antibióticos puede también reducir episodios de OMA, debido a que su uti-

lización indiscriminada altera la colonización de la nasofaringe, lo que predispone al desarrollo de un episodio temprano subsecuente.

En pacientes alérgicos a beta-lactámicos, las alternativas terapéuticas en OMA, por su adecuada concentración en el oído medio, son los macrólidos y la clindamicina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVAREZ I., QUINTERO J., VILLAVICENCIO E., PONCE J., TAMARGO I., QUIÑONES D. Y MORALES M. 2011. Caracterización clínico-epidemiológica de la otitis media aguda en pacientes pediátricos. *Rev. Cubana Pediatr.* 83(3): 271-279.

BURGOS A., I., EXPÓSITO P., A. Y TRUFFIN H. 2021. Tratamiento de la otitis media aguda en niños. *Rev. Otorrinolaringol. Cir. Cabeza Cuello.* 5(1): 1-11.

CAMPOS N. LA, BARRÓN S., M y FAJARDO D., G. 2014. Otitis media aguda y crónica, una enfermedad frecuente y evitable. *Rev. Fac. Med. UNAM.* 57(1): 5-14.

GONZÁLEZ-GUERRERO MC., MORALES-LARA AC., GUZMÁN-CASTELLANOS LA, MONTES-ESQUIVEL LM, RAMÍREZ-FONTES A, WHEBER-HIDALGO KA. Y VÁZQUEZ-ARMENTA G. 2017. Factores de riesgo para otitis media aguda en niños de una casa hogar. *Rev. Med. MD.* 8(3): 85-93.

MANTEROLA C., QUIROZ G., SALAZAR P. Y GARCÍA N. 2019. Metodología de los tipos y diseños de estudio más frecuentemente utilizados en investigación clínica. *Rev. Med. Clin. CONDES.* 30(1): 36-49.

MIYAMOTO R. 2023. Otitis media (supurativa crónica). Merck & Co., Inc., Rahway,

NJ, USA y sus empresas asociadas. USA.

MIYAMOTO R. T.2022. Otitis media (aguda). MD, MS, Indiana University School of Medicine, EE.UU.

POCH J. 2006. Otorrinolaringología y patología cervicofacial. 2ª edición. Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina.

ROCA C., BELLO V., CR, ZAMBRANO M., XO Y GONZÁLEZ Q., LA. 2020. Complicaciones de la otitis media en la edad pediátrica. *J. Am. Health.* 3(2): 140-148.

THE MANUAL'S STAFF. 2023. Infección crónica del oído (otitis media crónica). Manual MSD. Merck & Co., Inc., Rahway, NJ, USA y sus empresas asociadas, USA.

VALLÉS H., URPEGUI A., ÁGREDA B., ALFONSO JI., SEBASTIÁN JM. Y MATA LLANA S. 2016. Otorrinolaringología. Prensa de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España.

Aquinity² P10

*Producción de agua ultrapura 0,055 μ S/cm
siendo la solución perfecta para cualquier laboratorio*

El sistema Aquinity² está diseñado para la producción de agua ultrapura (0,055 μ S/cm, agua tipo 1) y es la solución perfecta para cualquier laboratorio, garantizando un suministro práctico, confiable y rentable de agua de laboratorio ultrapura, todo en un diseño compacto e innovador.



Ventajas de los nuevos sistemas:

- Carcasa compacta.
- Pantalla táctil grande.
- Módulo de servicio remoto.
- Menús y asistentes fáciles de usar que evitan errores.
- Nuevo dispensador fijo y flexible.
- Fácil acceso para el intercambio de cartuchos.

El purificador de agua Aquinity² P10 es perfecto para la producción de agua ultrapura en una amplia gama de aplicaciones. Obtenga agua de alta calidad con facilidad y confiabilidad. No pierda la oportunidad de contar con este sistema avanzado en tu laboratorio.

SIMULACIÓN NUMÉRICA COMPUTACIONAL DEL COMPORTAMIENTO FLUIDODINÁMICO DE UNA TURBINA PELTON MEDIANTE LOS MODELOS DE TURBULENCIAS $k-\epsilon$ y $k-\omega$ SST

(COMPUTATIONAL NUMERICAL SIMULATION OF THE FLUID-DYNAMIC BEHAVIOR OF A PELTON TURBINE USING THE $k-\epsilon$ AND SST TURBULENCE MODELS)

YESSICA SALAZAR MARVAL¹, YORDY GONZÁLEZ – RONDÓN^{1,2}, JOHNNY JOSÉ MARTÍNEZ³

¹Universidad de Oriente, Centro de Termofluidodinámica y Mantenimiento (CTYM). Puerto La Cruz, estado Anzoátegui, Venezuela.

²Instituto de Investigaciones en Biomedicina y Ciencias Aplicadas «Dra. Susan Tai». Universidad de Oriente. Cumaná. Venezuela

³Universidad de Oriente, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Departamento de Mecánica. Puerto La Cruz, estado Anzoátegui, Venezuela.

yordygonzalez@hotmail.com

RESUMEN

En este artículo se evaluó el comportamiento fluidodinámico del chorro de agua que impacta en la cuchara de una turbina Pelton de laboratorio Armfield FM-32 acoplada a una unidad de servicio Armfield FMSU, para diferentes aperturas de la boquilla del inyector de la turbina, empleando la teoría de la dinámica de fluidos computacional (computational fluid dynamics, CFD). La metodología consistió en tomar las dimensiones del prototipo y construir con un software CAD la geometría de la turbina Pelton en 3D. Asimismo, se diseñaron modelos físicos con distintos porcentajes de aperturas (100,00, 85,00, 75,00, 50,00, 25,00 y 15,00 %) de la boquilla del inyector, y se discretizaron los dominios de cálculos aplicando la técnica de mallado no estructurado. Las simulaciones se realizaron con un software de DFC en estado transitorio aplicando dos (2) modelos de turbulencias, $k-\epsilon$ y $k-\omega$ SST. Los resultados numéricos mostraron las curvas de convergencia de la turbulencia y del momento y masa para cada porcentaje de apertura del inyector. También se determinó el comportamiento de la presión y líneas de velocidad del chorro de agua, y los contornos de la presión en la cuchara de la turbina para los distintos porcentajes de aperturas del inyector con ambos modelos de turbulencia. El estudio demostró que las simulaciones numéricas del comportamiento fluidodinámico del chorro de agua en las cucharas de la turbina mediante el software DFC generaron resultados confiables en la predicción del comportamiento del flujo. Se concluyó que el modelo de turbulencia que mejor representó el comportamiento fluidodinámico del chorro de agua en las cucharas de la turbina es el $k-\omega$ SST.

Palabras clave: Dinámica de fluidos computacional, modelo de turbulencia, turbina hidráulica.

ABSTRACT

In this article, the fluid dynamic behavior of the water jet that impacts the ladle of an Armfield FM-32 laboratory Pelton turbine coupled to an Armfield FMSU service unit was evaluated, for different openings of the turbine injector nozzle, using the theory of computational fluid dynamics (computational fluid dynamics, CFD). The methodology consisted of taking the dimensions of the prototype and building the geometry of the Pelton turbine in 3D with CAD software. Likewise, physical models were designed with different percentages of openings (100,00, 85,00, 75,00, 50,00, 25,00 and 15,00%) of the injector nozzle, and the calculation domains were discretized by applying the unstructured meshing technique. The simulations were carried out with transient state CFD software applying two (2) turbulence models, $k-\epsilon$ and $k-\epsilon$ y $k-\omega$ SST. The numerical results showed the convergence curves of turbulence and momentum and mass for each injector opening percentage. The behavior of the pressure and velocity of the water jet, and the pressure contours in the turbine spoon for the different percentages of injector openings with both turbulence models, were also determined. The study demonstrated that numerical simulations of the fluid dynamic behavior of the water jet in the turbine ladles using CFD software generated reliable results in predicting the flow behavior. It was concluded that the turbulence model that best represented the fluid-dynamic behavior of the water jet in the turbine spoons is the $k-\omega$ SST.

Keywords: Computational fluid dynamics, turbulence model, hydraulic turbine.

INTRODUCCIÓN

La energía hidroeléctrica se considera una fuente de energía renovable, limpia y sostenible, que se puede generar en grandes y pequeños ríos, o en canales naturales (COMINO *ET AL.* 2020; KIRKE 2020; ZAMORA-JUÁREZ *ET AL.* 2023). El desarrollo y la implementación de centrales para producir este tipo de energía han estado ligados a entornos naturales, pero también está teniendo sus inicios en grandes ciudades como un potencial de fuentes de energía (KUMANO *ET AL.* 2018; HAN *ET AL.* 2021). A nivel mundial la hidroeléctrica representa aproximadamente la cuarta parte de la producción total de electricidad, y los países más importantes que constituyen esta fuente de electricidad son Noruega, Zaire y Brasil; otros países como Canadá, Estados Unidos y China, también utilizan dicho sistema con muy buenos resultados (SALAZAR 2015). En Venezuela, la energía hidroeléctrica representó alrededor del 70,00 % del total de generación

de energía en los últimos cinco (5) años.

La central hidroeléctrica está constituida por diversas instalaciones y equipos, y uno de los más importantes entre estos es la turbina hidráulica, la cual puede ser de tipo Francis, Kaplan Pelton, entre otras. La tipo Pelton es una turbina de acción de flujo radial, que se utiliza en elevadas alturas y bajos caudales. El agua suele salir de uno o más inyectores de alta presión en forma de chorro, lo cual impacta a un conjunto de cucharas unido a un rodete; este proceso es el responsable de la conversión de casi toda la energía cinética del agua en energía mecánica mediante un cambio de impulso, esto a su vez es utilizado para producir energía eléctrica a través de un generador (; PERRIG *ET AL.* 2006; ARMFIELD 2007, PERRIG 2007).

El análisis del funcionamiento de la turbina Pelton ha sido abordado desde hace más de un siglo desde su invención por Lester Pelton en 1889 (SOLEMSLIE & DAHLHAUG 2012). La

predicción del rendimiento de las máquinas hidráulicas, como la eficiencia y el comportamiento dinámico en diferentes condiciones operativas, es de gran interés para los fabricantes (PERRIG ET AL. 2006). El diseño de la turbina Pelton puede centrarse en las dimensiones geométricas de sus elementos considerando condiciones de operación como carga hidráulica, características del generador eléctrico y caudal disponible, entre otras, y se ha investigado utilizando enfoques tanto numéricos como experimentales (QASIM ET AL. 2022; ZAMORA-JUÁREZ ET AL. 2023).

La experimentación es el método más común para evaluar su desempeño, sin embargo, puede ser costosa y no proporciona información detallada de los parámetros locales (GUPTA ET AL. 2016). Por ello, se han desarrollado métodos para reducir la complejidad en este proceso, siendo el más utilizado la dinámica de fluidos computacional (DFC). La aplicación DFC permite modelar, mediante esquemas numéricos, el flujo básico y el momento de un flujo continuo para resolver diversos problemas de transferencia de calor y masa a partir de las ecuaciones de cantidad de movimiento de Navier-Stokes y la ecuación de la energía (LÓPEZ-REBOLLAR ET AL. 2021). Los resultados obtenidos de este análisis permiten obtener información detallada del flujo a nivel local para evaluar y optimizar la geometría de los diferentes elementos que componen el sistema (SHIKAMA ET AL. 2021).

Debido a que en las turbinas tipo Pelton, para obtener mayor productividad, eficiencia y el mejor diseño, se requieren de muchos procesos que garanticen un mejor entendimiento del comportamiento del chorro de agua en las cucharas, y que esto no es tan fácil de conseguir debido a que el flujo de agua al salir del inyector entra en superficie libre produciendo distintos regímenes de flujo en toda la superficie de la misma (BAJRACHARYA ET AL. 2019). Además, el poco conocimiento de la física de

los fenómenos que ocurren en la interacción entre el chorro de agua y las cucharas es limitante para obtener un modelo numérico que englobe los distintos comportamientos dinámicos que se presentan en dicha zona (GUPTA ET AL. 2016); la DFC abre un campo en el avance del estudio del comportamiento fluidodinámico en las turbinas Pelton.

Como se ha escrito en la literatura, según el principio de funcionamiento de la turbina Pelton la calidad del chorro influye en el rendimiento de la turbina (HAN ET AL. 2021), que el inyector de la turbina juega un papel importante en generar la alta velocidad del chorro como para regular el caudal (MESSA ET AL. 2019), que para predecir el flujo turbulento en la cuchara y el inyector de una turbina hidráulica se recomienda utilizar el modelo de turbulencia $k-\epsilon$ estándar, el modelo RNG $k-\epsilon$ para la turbina de flujo cruzado, mientras que se sugiere el modelo SST $k-\omega$ para turbinas de hélice o de canal abierto como la Pelton, en este sentido, el presente estudio plantea evaluar el comportamiento fluidodinámico del chorro de agua que impacta en la cuchara de una turbina Pelton de laboratorio Armfield FM-32 acoplada a una unidad de servicio Armfield FMSU, para diferentes aperturas de la boquilla del inyector de la turbina, empleando la teoría de la DFC con dos (2) modelos de turbulencia: $k-\epsilon$ y $k-\omega$ SST.

Con el objetivo planteado se busca obtener mayor detalle sobre las características locales del flujo y la física de los fenómenos que actúan en la dinámica del fluido. Para esto se construirán distintos modelos físicos de la turbina Pelton FM-32 con porcentajes de aperturas de la boquilla del inyector de 100,00, 85,00, 75,00, 50,00, 25,00 y 15,00 %. Se realizarán pruebas experimentales a la turbina Pelton FM-32 ubicada en el Centro de Termofluidodinámica y Mantenimiento de la Universidad de Oriente, para verificar la sensibilidad de cada malla del modelo numérico

diseñado.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el estudio se desarrolla el modelo numérico 3D de una turbina tipo Pelton de laboratorio Armfield FM-32 acoplada a una unidad de servicio Armfield FMSU (ARMFIELD 2007).

Ecuaciones de movimiento

Para flujo laminar estacionario de un fluido viscoso, newtoniano, incompresible y sin efectos de superficie libre, las ecuaciones de movimiento son las ecuaciones de continuidad:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0 \quad (1)$$

Y la ecuación de Navier-Stokes:

$$(\vec{\nabla} \cdot \vec{V})\vec{V} = -\frac{1}{\rho}\vec{\nabla}P' + \nu\nabla^2\vec{V} \quad (2)$$

En realidad, la ecuación 1 es de conservación de la masa, mientras que la ecuación 2 es la de transporte, que representa el transporte de cantidad de movimiento lineal en el dominio computacional. Las ecuaciones (1 y 2) se aplican solo a flujos incompresibles, en los que también se supone que ρ y ν son constantes. Por lo tanto, para el flujo tridimensional en coordenadas cartesianas son cuatro ecuaciones diferenciales, acopladas para cuatro incógnitas u, v, w, P' . Los flujos de líquidos pueden tratarse casi siempre como incompresibles, y en el caso de muchos flujos de gas, el flujo está a un número de Mach suficientemente bajo para que se interprete como un fluido casi incompresible (GONZÁLEZ-RONDÓN ET AL. 2021).

Continuidad:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

Cantidad de movimiento en x:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P'}{\partial x} + \nu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) \quad (4)$$

Cantidad de movimiento en y:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P'}{\partial y} + \nu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right) \quad (5)$$

Cantidad de movimiento en z:

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u\frac{\partial w}{\partial x} + v\frac{\partial w}{\partial y} + w\frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P'}{\partial z} + \nu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right) \quad (6)$$

Donde, P' es la presión; u, v, w es el vector unitario de la velocidad; x, y, z presentan las coordenadas cartesianas espaciales; ρ la densidad del fluido; t el tiempo.

Modelo de turbulencia k-ε

Para considerar los efectos de turbulencia en el flujo de fluidos del área de la turbina, el modelo de turbulencia K-ε es adecuado (GONZÁLEZ-RONDÓN ET AL. 2021). El modelo de turbulencia k-ε utiliza un acercamiento de la función de pared que mejora los resultados cuando la malla cercana a la pared es muy fina. La función de pared, permite una solución arbitraria en rejillas finas cercanas a la pared, que es una significativa mejora dentro de las funciones estándares de pared. El modelo está basado en la hipótesis de difusividad de remolino y permite expresar los esfuerzos de

Reynolds en términos del gradiente de la velocidad. Este modelo de turbulencia evita la singularidad para un valor bajo de turbulencia, y se ha reportado en estudios previos (GONZÁLEZ-RONDÓN ET AL. 2021). Es un modelo semiempírico de dos ecuaciones que se basan en la ecuación de la energía cinética de turbulencia k , que representa las fluctuaciones de la velocidad, y en la ecuación de la razón de disipación ϵ , es la disipación turbulenta de torbellino (la razón con la cual las fluctuaciones de velocidad se disipan), como se muestra a continuación (GONZÁLEZ-RONDÓN ET AL. 2021):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \nabla \cdot (\rho k \vec{v}) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_m + S_k \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \nabla \cdot (\rho \epsilon \vec{v}) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \nabla \epsilon \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} S_\epsilon \quad (8)$$

Donde, k es la energía cinética turbulenta; μ_t la viscosidad turbulenta; G_k la generación de energía cinética turbulenta debido a gradientes de velocidad; G_b la generación de energía cinética turbulenta debido a fuerzas de flotación; Y_m la contribución a la razón de disipación debido a efectos de compresibilidad; término fuente; y las constantes $C_2 = 1,90$, $\sigma_k = 1,00$, y $\sigma_\epsilon = 1,20$.

Modelo k- ϵ SST

Este modelo fue desarrollado y descrito por MENTER (1994), el cual trata de conseguir una mezcla entre la precisa y robusta formulación del modelo k- ϵ en la zona cercana a la pared y los buenos resultados que da el modelo k- ϵ en la zona interior del campo fluido (ARMFIELD 2007). Asimismo, el modelo de turbulencia k- ϵ SST, es un modelo de transporte de la ten-

sión de cizallamiento (SST), usa la formulación k- ϵ en las partes interiores de la capa límite, lo cual hace que el modelo sea utilizable en toda la trayectoria hacia abajo de la pared, a través de la sub-capa viscosa, por lo tanto, el modelo k- ϵ SST puede ser utilizado como un bajo número de Reynolds, modelo de turbulencia y sin ninguna función de amortiguación adicional. La formulación SST, también cambia a un comportamiento k- ϵ en la corriente libre y por lo tanto evita el problema k- ϵ común. El modelo es muy sensible a las propiedades de la turbulencia de entrada libre de flujo.

Los autores que utilizan el modelo k- ϵ SST a menudo lo recomiendan, por su buen comportamiento en los gradientes de presión adversos y separación de flujo. El modelo k- ϵ SST produce grandes niveles de turbulencia en las regiones con una variedad normal, al igual que las regiones de estancamiento y regiones con una fuerte aceleración. Esta tendencia es mucho menos pronunciada que con un modelo normal k- ϵ . Las ecuaciones de transporte para k y ϵ se detallan a continuación:

Ecuación para k

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_k - Y_k + S_k \quad (9)$$

Ecuación para ϵ :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial(\rho \epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma_\epsilon \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + G_\epsilon - Y_\epsilon + D_\epsilon + S_\epsilon \quad (10)$$

Donde, y es la energía cinética turbulenta debida a los gradientes de velocidad promediados de k y ω ; Γ_k y Γ_ω es la difusividad efectiva de y ; y son la disipación de y debido a la turbulencia; y términos de fuente.

Modelo geométrico y mallado

Se diseñó la geometría del modelo computa-

cional en 3D de la turbina tipo Pelton con un software CAD. Las dimensiones de la carcasa, la cuchara, rueda motriz, aguja del inyector, diámetro de tubo, longitud total de la aguja y el diámetro de la boquilla del inyector fueron tomadas de la turbina Pelton Armfield FM-32 (ARMFIELD 2007), ubicada en el Centro de Termofluidodinámica y Mantenimiento de la Universidad de Oriente. La geometría fue exportada al software de análisis de DFC como se muestra en la **Figura 1**.

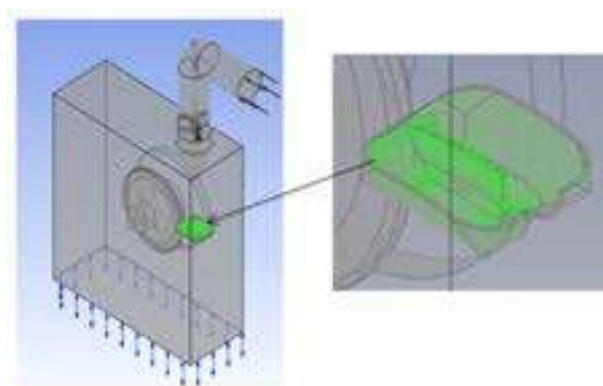


Figura 1. **Modelo físico de la turbina Pelton.**

El mallado de la turbina Pelton se realizó con el método Lagrangiano, se establecieron los parámetros de la función de tamaño avanzado en las zonas de curvaturas, se consideró la función de transición como baja y una resolución angular de $35,00^\circ$. Se realizó un refinamiento de la malla en el modelo físico variando el tamaño mínimo de aristas para generar una mayor densidad de malla, produciendo un mejor alcance en el lugar de estudio. La malla de la turbina Pelton se generó para seis (6) porcentajes de aperturas de la boquilla del inyector: 100,00 %, 85,00 %, 75,00 %, 50,00 %, 25,00 % y 15,00 %, como se muestra en la **Tabla 1**. Se realizó un análisis de sensibilidad para cada caso de estudio, comparando con resultados experimentales de la presión estática en la turbina Pelton FM-32.

Condiciones de frontera y simulación

La simulación se realizó con una sola cuchara debido a que éstas poseen las mismas dimensiones y se asumió que el resultado sería el mismo en el resto de las cucharas, esto para ahorrar tiempo computacional. Para configurar las propiedades del dominio y las regiones o límites que representan las fronteras de estudio, se seleccionó como tipo de dominio el fluido agua y se definieron las propiedades físicas de la misma. También se configuró la morfología como fluidos continuos y el movimiento del dominio como estacionario. La configuración de la simulación fue en estado transitorio, con una duración de tiempo total de 1,00 s y un paso de tiempo de 0,001 s, previamente se realizaron pruebas para distintos tiempos y los resultados fueron muy similares.

Se establecieron como modelos de turbulencia el $k-\epsilon$ y $k-\omega$ SST, esto para verificar cuál de los modelos representa mejor las condiciones de estudio. Se estableció la entrada del volumen de control como un régimen de flujo de fluido subsónico, en masa y momento, se estableció la presión estática, la cual fue distinta para cada apertura como se muestra en la **Tabla 2**. Estos valores fueron tomados de resultados experimentales de la turbina Pelton FM-32.

El mallado de la turbina Pelton se realizó con el método Lagrangiano, se establecieron los parámetros de la función de tamaño avanzado en las zonas de curvaturas, se consideró la función de transición como baja y una resolución angular de $35,00^\circ$.

Se realizó un refinamiento de la malla en el modelo físico variando el tamaño mínimo de aristas para generar una mayor densidad de malla, produciendo un mejor alcance en el lugar de estudio. La malla de la turbina Pelton se generó para seis (6) porcentajes de aperturas de la boquilla del inyector: 100,00 %, 85,00

Tabla 1. Estadísticas de la malla

PARÁMETROS	Apertura (%)					
	15	25	50	75	85	100
No. de Elementos	4.403.429	4.397.207	4.406.664	4.395.913	4.397.167	4.399.452
No. de nodos	770.272	769.342	770.909	768.878	769.181	769.662
Angulo normal de la curva	35,00°	35,00°	35,00°	35,00°	35,00°	35,00°
Tamaño mínimo (mm)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Tamaño mínimo de cara (mm)	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Tamaño máximo (mm)	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Índice de crecimiento	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Longitud mínima de borde (mm)	2,36E-04	2,36E-04	2,36E-04	2,36E-04	2,36E-04	2,36E-04

Tabla 2. Presiones para los diferentes porcentajes de apertura

Apertura (%)	Apertura (%)					
	15	25	50	75	85	100
Presión estática (kPa)	265,83	254,91	233,81	220,62	218,04	215,04

%, 75,00 %, 50,00 %, 25,00 % y 15,00 %, como se muestra en la **Tabla 1**. Se realizó un análisis de sensibilidad para cada caso de estudio, comparando con resultados experimentales de la presión estática en la turbina Pelton FM-32.

Condiciones de frontera y simulación

La simulación se realizó con una sola cuchara debido a que éstas poseen las mismas dimensiones y se asumió que el resultado sería el mismo en el resto de las cucharas, esto para ahorrar tiempo computacional. Para configurar las propiedades del dominio y las regiones o límites que representan las fronteras de estudio, se seleccionó como tipo de dominio el fluido agua y se definieron las propiedades físicas

de la misma. También se configuró la morfología como fluidos continuos y el movimiento del dominio como estacionario. La configuración de la simulación fue en estado transitorio, con una duración de tiempo total de 1,00 s y un paso de tiempo de 0,001 s, previamente se realizaron pruebas para distintos tiempos y los resultados fueron muy parecidos.

Se establecieron como modelos de turbulencia el k- ϵ y k- ω SST, esto para verificar cuál de dichos modelos representa mejor las condiciones de estudio. Se estableció la entrada del volumen de control como un régimen de flujo de fluido subsónico, en masa y momento, se estableció la presión estática la cual fue distinta para cada apertura como se muestra en la **Tabla 2**. Dichos valores fueron tomados de resultados experimentales de la turbina

Pelton FM-32.

En la configuración básica se establecieron las zonas que representan a los alrededores en la geometría, y en el tipo de borde se seleccionó la opción pared de no deslizamiento. En el dominio de salida se estableció el tipo de condición de borde, como apertura, debido a que existe intercambio de flujo en dicha frontera, un régimen de fluido subsónico, en masa y momento se estableció la presión de apertura de 0,00 Pa y una intensidad de turbulencia media médium intensity = 5,00 %. Dichas condiciones fueron establecidas para cada porcentaje de apertura y para los modelos de turbulencia k- ϵ y k- ω SST. Como criterio de convergencia se escogió un error de $1,00 \times 10^{-4}$, el cual fue el valor del error aceptable en la simulación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Convergencia numérica

La simulación numérica permitió conocer la malla que más se ajusta a cada modelo matemático, para esto se realizó un análisis de sensibilidad a los modelos numéricos que corresponden a las aperturas de 100,00, 85,00, 75,00, 50,00, 25,00 y 15,00 % de la boquilla del inyector, tomando como referencia las presiones experimentales que se muestran en la ta-

bla 2. Los resultados arrojaron que para cada malla pertinente a las aperturas antes mencionadas, los números de elementos en la discretización fueron 4.399.452,00; 4.397.167,00; 4.395.913,00; 4.406.664,00; 4.397.207,00 y 4.403.429,00 y los errores en las presiones (experimental y numérica) estuvieron inferiores al 3,00 %, lo que indica una buena sensibilidad en cada caso.

Se graficaron las curvas de la convergencia numérica en la simulación del chorro de agua que impacta con las cucharas de la turbina Pelton, esto para evaluar que las variables del proceso consiguieran la estabilidad en función del tiempo. En la **Figura 2** se muestra el comportamiento de convergencia de las curvas de turbulencia y momento y masa para un porcentaje de apertura del inyector de 75,00 %, y en la **Figura 3** se presenta de igual manera para un porcentaje de apertura del inyector de 15,00 %, ambas figuras representan el modelo k- ω . Del mismo modo, para el modelo k- ϵ SST se evaluó el comportamiento de convergencia, en la **Figura 4** se muestran las curvas de turbulencia y momento y masa para un porcentaje de apertura del inyector de 75,00 %, y la **Figura 5** para un porcentaje de apertura del inyector del 15,00 %.

Se puede observar en las **Figuras 2, 3, 4, y 5**, las mayores y menores estabilidades que se presentaron durante la evaluación de las si-

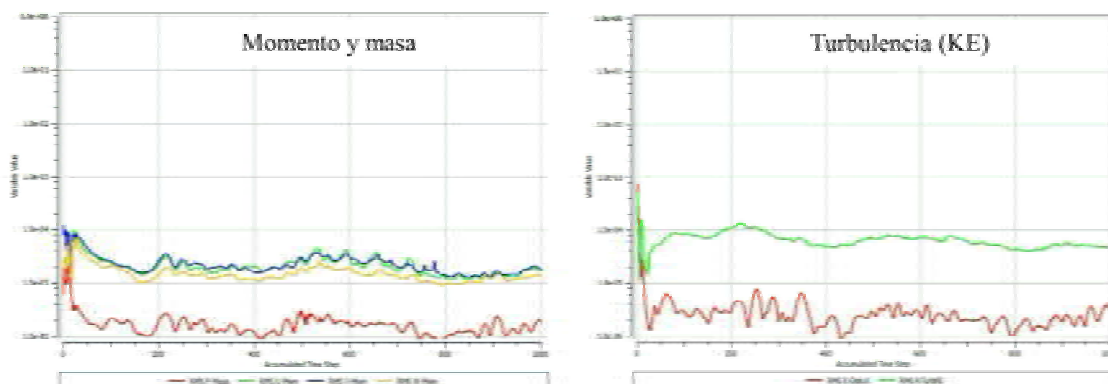


Figura 2. Convergencia del porcentaje de apertura de 75,00 % del modelo k- ϵ

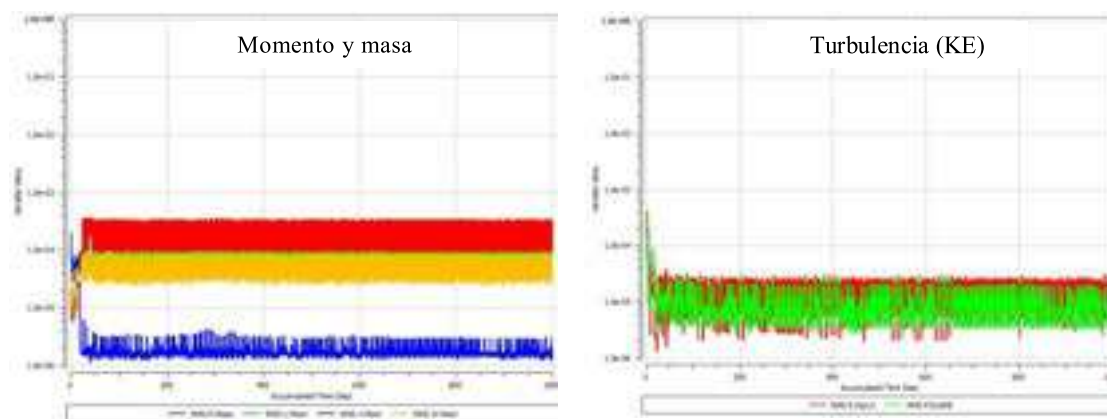


Figura 3. Convergencia del porcentaje de apertura de 15,00 % del modelo k-ε

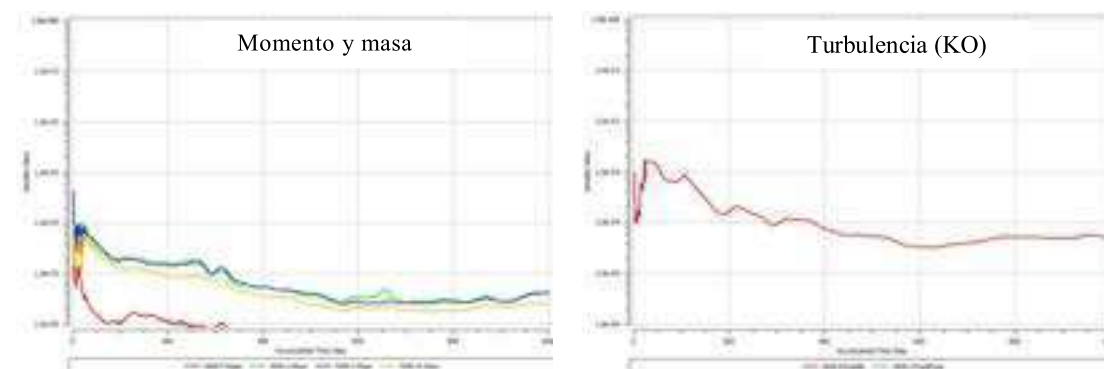


Figura 4. Convergencia del porcentaje de apertura de 75,00 % del modelo k-ε SST

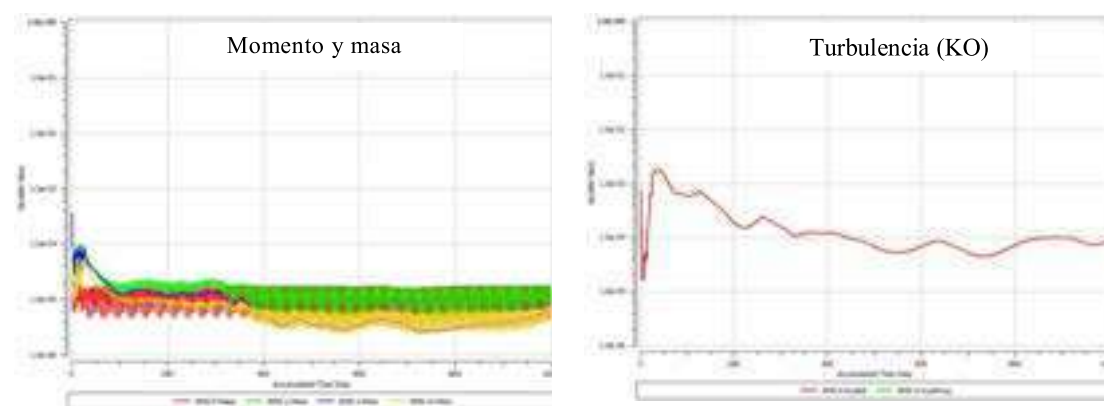


Figura 5. Convergencia del porcentaje de apertura de 15,00 % del modelo k-ε SST

mulaciones numéricas. Las curvas de convergencias correspondientes a los porcentajes de aperturas 100,00 %, 85,00 %, 50,00 % y 25,00 % que no se muestran en la investigación, se mantuvieron dentro del comportamiento an-

tes mostrado. De tal manera, que todas las curvas de convergencia obtenidas en este trabajo reflejaron una tendencia estable, y mantuvieron un error residual en estado transitorio menor a $1,00 \times 10^{-4}$, a excepción de la cur-

va momento y masa del modelo $k-\epsilon$ que, para una apertura de 15,00, % (**Figura 3**) la variable no alcanzó converger por debajo del error establecido, sin embargo, el modelo $k-\omega$ SST si obtuvo la convergencia de todas las variables estudiadas. También se puede observar en las **Figuras 2 y 4** que la mayor estabilidad del flujo se generó para los porcentajes de apertura de 75,00 % en ambos modelos ($k-\epsilon$ y $k-\omega$ SST), y la mayor turbulencia se presentó para el porcentaje de apertura de 15,00 % (según **Figuras 3 y 5**) en ambos modelos.

Comportamiento fluidodinámico con los modelos de turbulencia $k-\epsilon$ y $k-\omega$ SST

Las curvas de velocidad del flujo de agua se muestran en las **figuras 6 y 7** para los modelos de turbulencia $k-\epsilon$ y $k-\omega$ SST. Se puede observar que en el modelo $k-\epsilon$ (**Figura 6**) las mayores velocidades se presentaron para los porcentajes de aperturas de 100,00 %, 85,00 %, 75,00 % y 50,00 %, con valores de 16,96 m/s; 17,78 m/s, 17,97 m/s y 17,99 m/s, respectivamente, mientras que en el modelo $k-\omega$ SST fueron de 16,96 m/s; 17,48 m/s, 18,04 m/s y 18,13 m/s, respectivamente para los porcentajes de aperturas. Este comportamiento en las velocidades es normal por cuanto existe una reducción de área. Sin embargo, en el modelo $k-\omega$ para los porcentajes de apertura 25,00 % y 15,00 % la velocidad decreció de 14,32 m/s a 11,56 m/s respectivamente.

Del mismo modo, en la **Figura 7** del modelo de turbulencia $k-\omega$ SST se obtuvo una disminución de 14,62 m/s a 11,80 m/s en estas aperturas. Este comportamiento puede atribuirse a las pérdidas que se generan en la boquilla del inyector lo cual ocasionó que la velocidad del flujo disminuyera a medida que el chorro de agua se iba haciendo menor.

En las **Figuras 6 y 7**, también se pudo observar que para todas las aperturas, la velocidad

del flujo desde la boquilla del inyector hasta las cucharas de la turbina Pelton en los dos modelos de turbulencia ($k-\epsilon$ y $k-\omega$ SST), la velocidad de las partículas de flujo fue decreciente, lo que representó adecuadamente el comportamiento típico del funcionamiento de la turbina Pelton, ya que el flujo de agua, al impactar con las cucharas de la turbina Pelton, se transfiere la mayoría de su energía saliendo con una velocidad mínima.

Las curvas de presión del flujo de agua para los modelos de turbulencia $k-\epsilon$ y $k-\omega$ SST se presentan en las **Figuras 8 y 9**. Se puede observar que la presión del flujo de agua para ambos modelos de turbulencia ($k-\epsilon$ y SST), en la **Figura 8**, tuvo una tendencia de mayor a menor entre el porcentaje de apertura de 100,00 % hasta 15,00 %, cuyos valores son 13.191,56 Pa; 13.560,74 Pa; 13.449,76 Pa; 12.261,69 Pa; 7.320,78 Pa y 5.355,25 Pa para el modelo $k-\epsilon$, y de 13.330,00 Pa; 13.217,34 Pa; 13.337,45 Pa y 12.427,20 Pa; 7.040,76 Pa y 5.393,73 Pa para el modelo $k-\omega$ SST, lo que es un comportamiento esperado ya que a mayor flujo mayor presión en el impacto de la cuchara y viceversa.

Sin embargo, en las **Figuras 8 y 9**, también se pueden apreciar algunas irregularidades en el comportamiento del flujo de agua a mayor acercamiento con la cuchara de la turbina, esto pudo atribuirse a que se generaron presiones de vacío en la superficie libre del volumen de control, indicando con ello perturbaciones que afectaron a las partículas del chorro de agua.

Análisis de los planos de superficie XY y YZ de la presión y la velocidad del chorro de agua

En las **Figuras 10 y 11**, se muestran los planos XY y YZ de la presión y la velocidad del flujo de agua en el volumen de control, correspondiente a los modelos de turbulencia $k-\epsilon$ y $k-\omega$ SST para los porcentajes de apertura de 85,00 % y 75,00 %, los cuales generaron las mayores velocidades del flujo en la boqui-

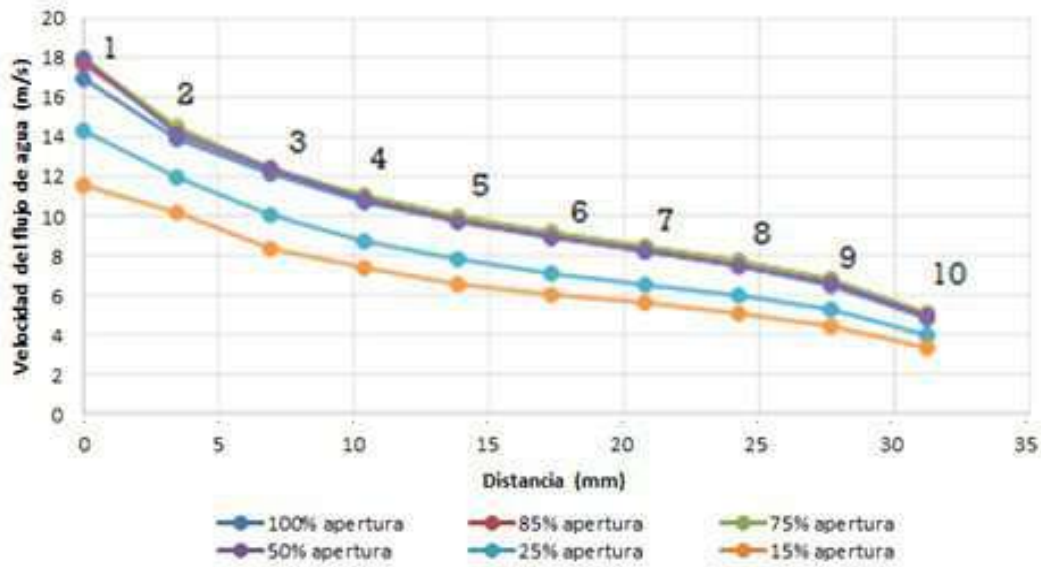


Figura 6. Curvas de la velocidad del flujo de agua para el modelo de turbulencia k-ε

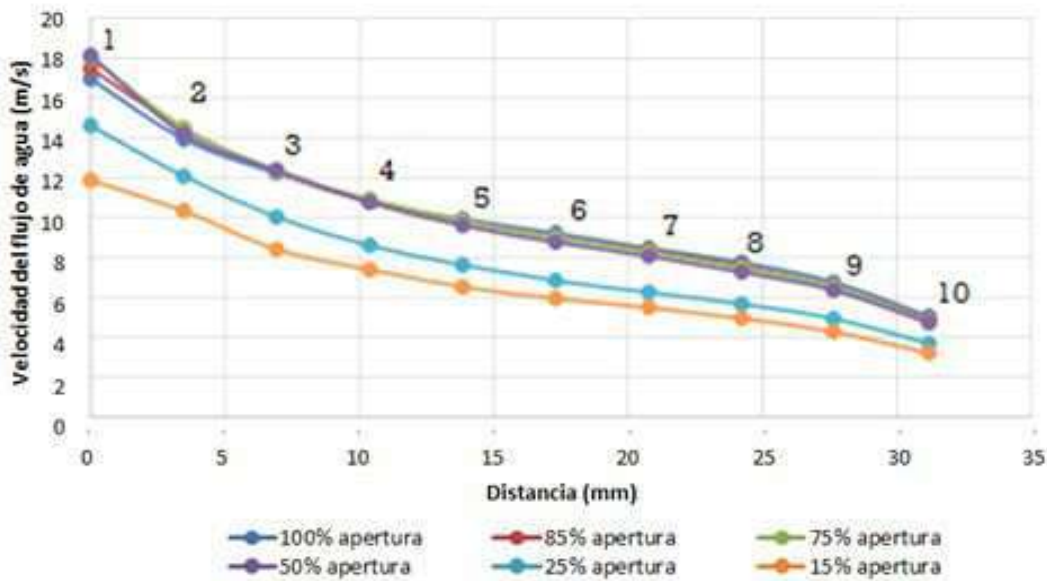


Figura 7. Curvas de la velocidad del flujo de agua para el modelo de turbulencia k-ε SST

lla del inyector, de 19,99 m/s y 20,04 m/s, respectivamente, lo que indica que a mayor apertura menor velocidad y viceversa. Asimismo, se puede observar que las mayores presiones tuvieron lugar en el interior del inyector generando un valor de 218.000,00 Pa en el modelo k-ε y de 220.500,00 Pa en el modelo SST, lo que afirma que a mayor apertura menor pre-

sión y viceversa. Estos comportamientos de la presión del flujo en la boquilla del inyector concuerdan con los resultados de HORTA (2009).

También se observa en las **Figuras 10 y 11**, que la velocidad del flujo de agua presenta cierta dispersión desde que sale de la boquilla del inyector hasta que impacta con las cucha-

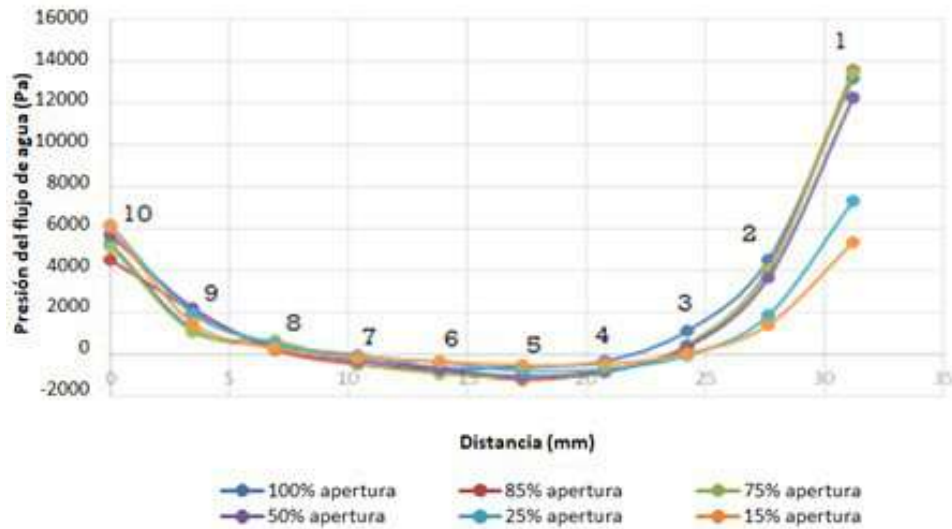


Figura 8. Curvas de la Presión del flujo de agua para el modelo de turbulencia $k-\epsilon$

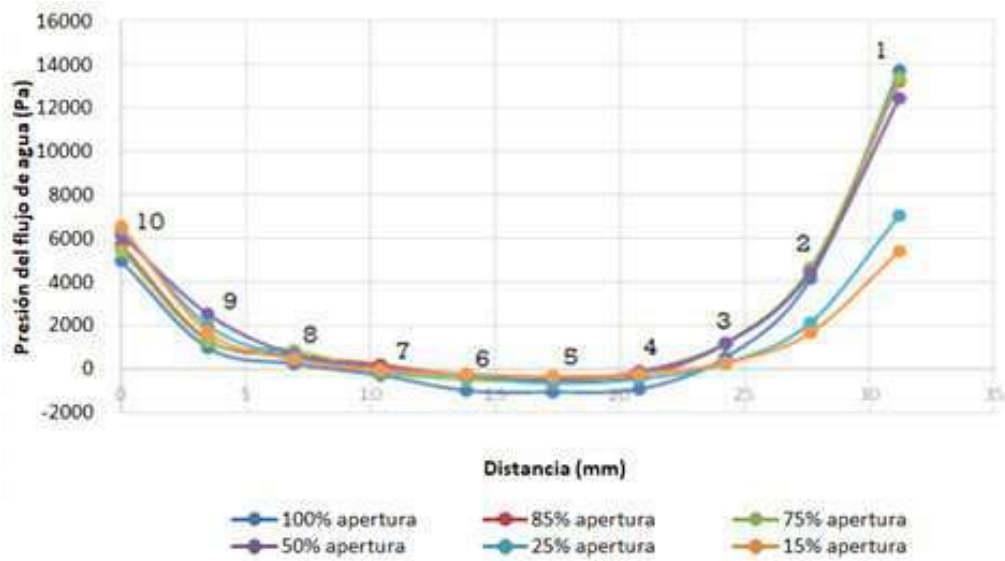


Figura 9. Curvas de la Presión del flujo de agua para el modelo de turbulencia $k-\epsilon$ SST

ras de la turbina Pelton, el flujo entra en superficie libre y tiene mayor libertad de movimiento, lo cual generó desviaciones con respecto al centro de la cuchara de la turbina Pelton. Este comportamiento puede atribuirse a la hidrodinámica del flujo de superficie libre en las cucharas de una turbina Pelton, y coincide con los resultados de PERRIG *ET AL.* (2006), quienes comprobaron que la compresión de las láminas de agua liberadas a través

de la superficie libre provocan una desviación radial del flujo de agua y que los bordes de la cuchara forman un obstáculo que hace que el flujo se devuelva, prolongando la componente normal de la velocidad del chorro generada por el impacto. En la presente investigación, este comportamiento se presentó en todos los porcentajes de apertura de la boquilla del inyector, lo cual indica que, independientemente del flujo de agua suministrado por el inyector,

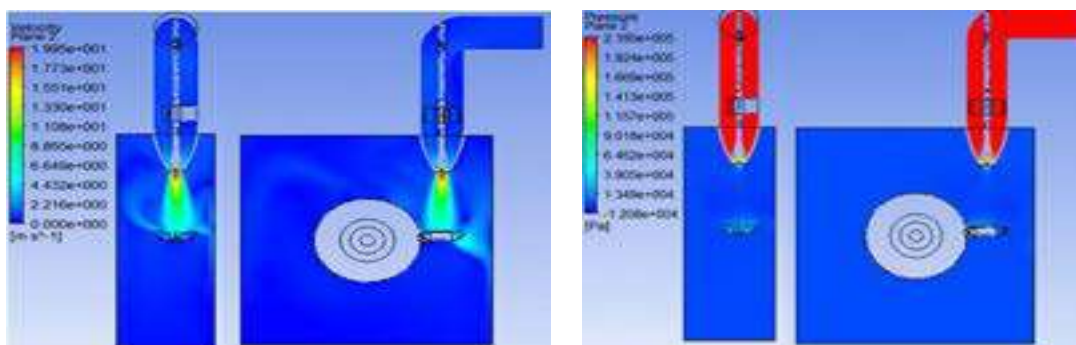


Figura 10. Planos XY y YZ para la apertura de 85,00 % en el modelo de turbulencia $k-\epsilon$

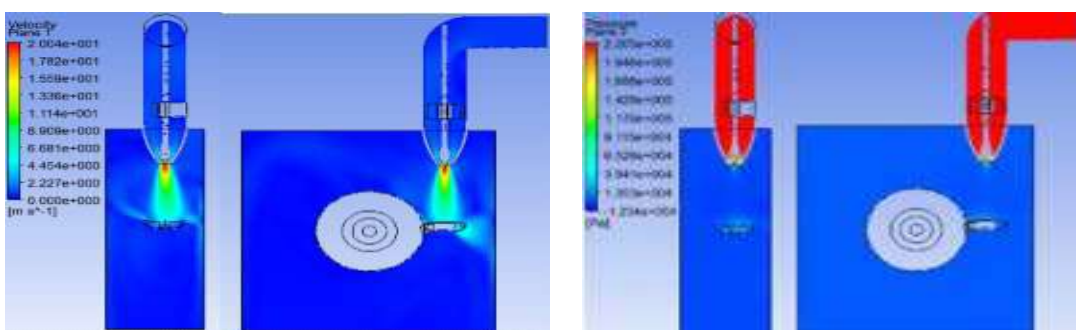


Figura 11. Planos XY y YZ para la apertura de 75,00 % en el modelo de turbulencia $k-\epsilon$ SST.

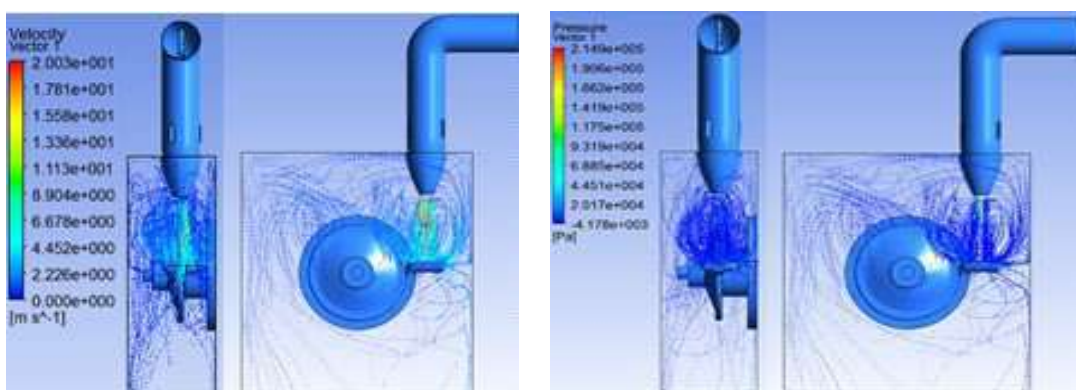


Figura 12. Velocidad y presión del chorro de agua para la apertura de 85,00 % en el modelo de turbulencia $k-\epsilon$

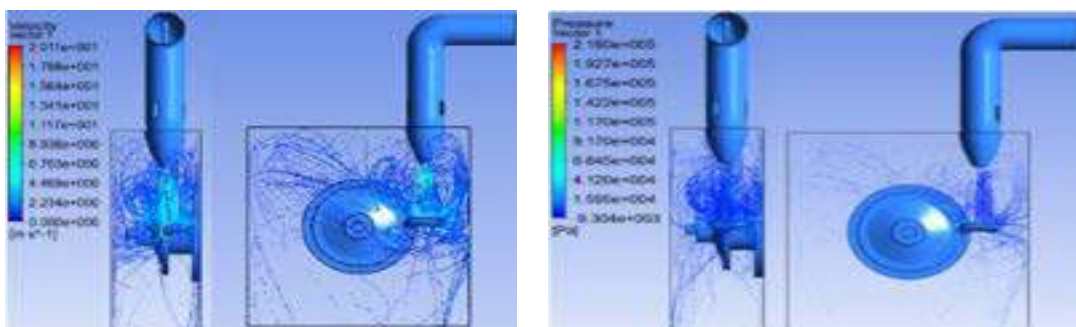


Figura 13. Velocidad y presión del chorro de agua para la apertura de 75,00 % en el modelo de turbulencia $k-\epsilon$ SST.

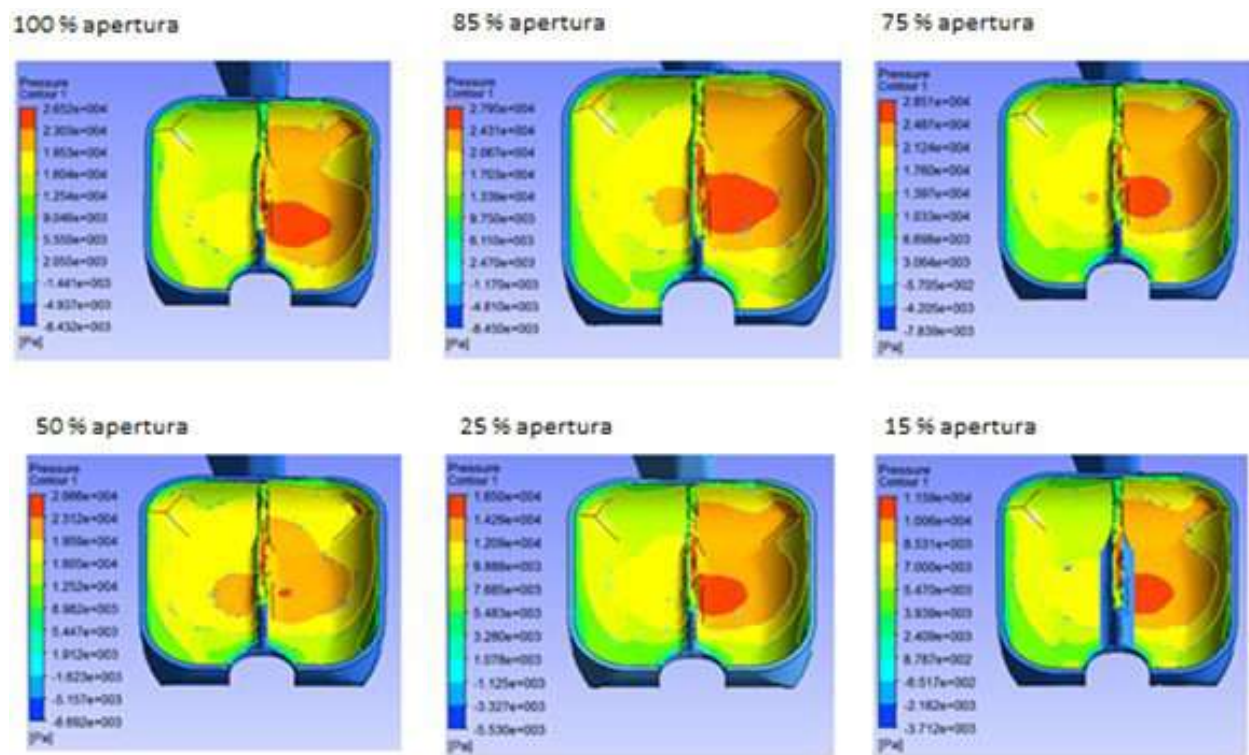


Figura 14. Contornos de la presión en las cucharas con el modelo de turbulencia $k-\epsilon$

tor, se genera un comportamiento indeseable, que pudiera desencadenar en una serie de problemas que afectarían tanto el funcionamiento como el diseño de la turbina Pelton.

Análisis de velocidad y presión en diferentes porcentajes de apertura de la boquilla

En las Figuras 12 y 13 se presentan la velocidad y la presión en los modelos de turbulencia $k-\epsilon$ y SST para los porcentajes de apertura de 85,00 % y 75,00 %. En ambos modelos, se observa que el flujo de agua al impactar con las cucharas de la turbina Pelton se devuelve hacia arriba generando perturbaciones en el mismo, empujándolo mayormente hacia el lado derecho de las cucharas.

Este comportamiento pudiera traer como consecuencia que se generen mayores esfuerzos de un lado de la cuchara, provocando un desequilibrio en el sistema, así como la desalineación del eje y la alteración del equilibrio

dinámico que existe entre la interacción del flujo de agua y las cucharas de la turbomáquina. Es importante mencionar, que el comportamiento de la presión y la velocidad del flujo de agua presentados en las Figuras 12 y 13, guarda relación con el comportamiento mostrado en los planos de superficie de las Figuras 10 y 11, lo que afirma la presencia de turbulencias creadas en el volumen de control.

Análisis del contorno de presión en la cuchara para distintos porcentajes de aperturas de la boquilla

En las Figuras 14 y 15 se muestran los contornos de presión en las cucharas de la turbina Pelton para los distintos porcentajes de apertura de la boquilla del inyector, mediante los modelos $k-\epsilon$ y $k-\omega$ SST. Se observa, en ambas figuras, que la mayor incidencia de la presión se registró del lado derecho de la cuchara, comprobando lo expuesto en la sección anterior, es decir, que existe una desviación

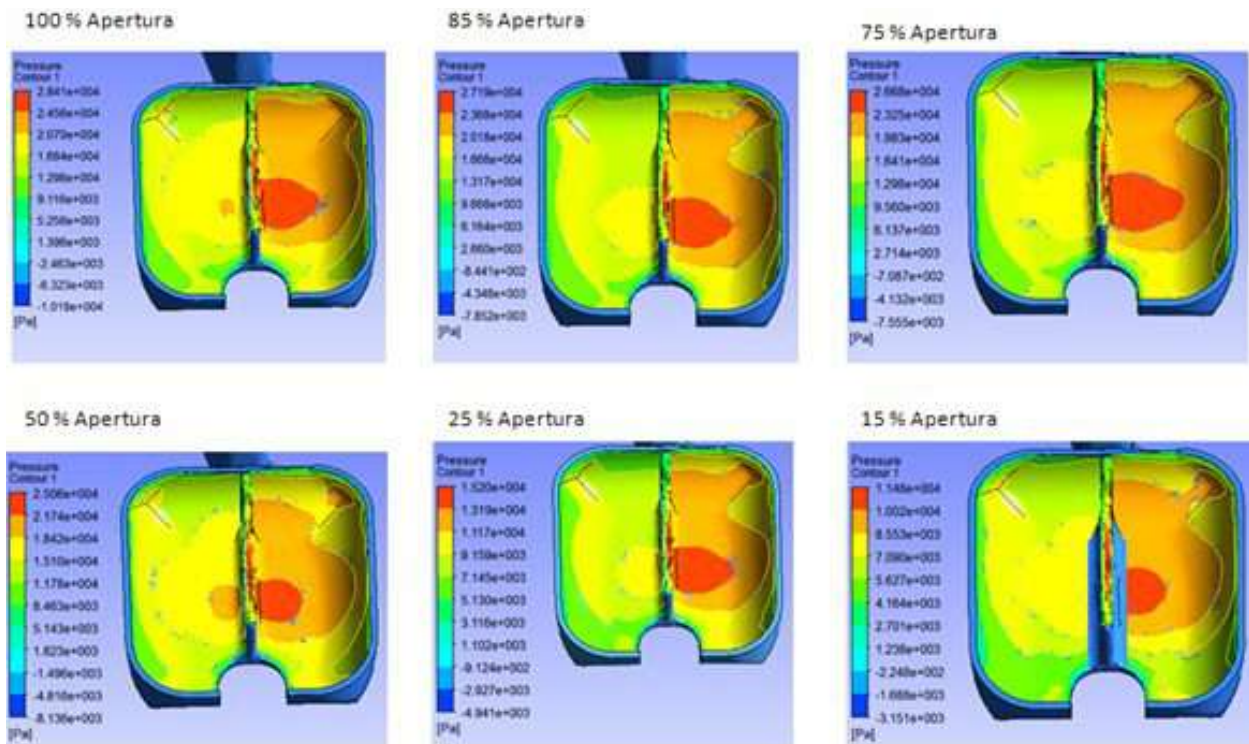


Figura 15. Contornos de presión en las cucharas con el modelo de turbulencia SST

del chorro de agua producto de la hidrodinámica del flujo de agua, ocasionando una anomalía en el funcionamiento típico de la turbina Pelton.

Asimismo, se puede apreciar que en el modelo de turbulencia $k-\omega$ la mayor presión se generó para los porcentajes de apertura de 85,00 % y 75,00 % con valores de 27.950,00 Pa y 28.510,00 Pa respectivamente, y que la menor presión en las cucharas fue de 11.590,00 Pa en el porcentaje de apertura de 15,00 %. Sin embargo, en el modelo $k-\varepsilon$ SST, la mayor concentración de presión se observa en el porcentaje de 100,00 % la cual fue de 28.410,00 Pa, la cual disminuyó a medida que se fue cerrando la válvula, siendo este comportamiento el adecuado, debido a que la fuerza de impacto también disminuye con el cierre de la misma observadores que en el porcentaje mínimo de apertura 15,00 % la presión fue de 11.480,00 Pa.

CONCLUSIONES

Esta investigación obtuvo un modelo numérico que describe el comportamiento fluidodinámico de una turbina tipo Pelton para las aperturas de 100,00, 85,00, 75,00, 50,00, 25,00 y 15,00 % en la boquilla del inyector. El modelo se basó en los modelos de turbulencia $k-\varepsilon$ y $k-\omega$ SST, donde el primero tuvo el mayor tiempo de convergencia respecto al segundo, y este último mostró ser más estable y fue el que se ajustó mejor al tipo de estudio.

Se generaron los modelos numéricos de las aperturas de 100,00, 85,00, 75,00, 50,00, 25,00 y 15,00 % de la boquilla del inyector, que arrojaron respectivamente mallas con números de elementos de 4.399.452,00, 4.397.167,00, 4.395.913,00, 4.406.664,00, 4.397.207,00 y 4.403.429,00, indicando una buena sensibilidad en cada caso. Se establecieron los modelos de turbulencia $k-\varepsilon$ y $k-\omega$ SST, en los cuales se obtuvo que el mayor tiempo de convergen-

cia en el modelo k- ϵ fue de 10 horas con 43 minutos en la apertura de 15,00 % y de 6 horas con 2 minutos en la apertura del 50,00 % con el modelo SST, indicando que dicho modelo es más estable y fue el que se adaptó mejor al tipo de estudio.

Las simulaciones numéricas y los resultados presentados describieron el cambio en la presión y la velocidad del flujo de agua para cada porcentaje de apertura, desde la boquilla del inyector hasta las cucharas de la turbina, mostrando adecuadamente el comportamiento típico del funcionamiento de la turbina Pelton. La velocidad y la presión describieron las zonas de contacto entre el flujo de agua y el volumen de control. Los contornos de presión mostrados en la zona interna de las cucharas de la turbina reportaron un comportamiento anormal, presentando mayores contornos de presión en la zona interna del lado derecho de la cuchara, de 28.510,00 Pa en la apertura de 75,00 % para el modelo k- ϵ , y de 28.410,00 Pa en la apertura de 100,00 % para el modelo de turbulencia k- ϵ SST.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARMFIELD 2007. Manual de instrucciones FM32 (Unidad de demostración de una turbina).
- BAJRACHARYA T.R., SHRESTHA R. & TIMILSINA A.B. 2019. A methodology for modelling of steady state flow in Pelton turbine injectors. *J. Inst. Eng.* 15: 246–255.
- COMINO E., DOMINICI L., AMBROGIO F. & ROSSO M. 2020. Mini-hydro power plant for the improvement of urban water-energy nexus toward sustainability-A case study. *J. Clean. Prod.* 249: 119416. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119416>
- GONZÁLEZ-RONDÓN Y., RENGEL J. E. & MARTÍNEZ J. J. 2021. Simulación termofluidodinámica en un molde de colada continua de acero. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*. 21: 29-42. <https://doi.org/10.36561/ING.21.4>
- GUPTA V., PRASAD V. & KHARE R. 2016. Numerical simulation of six jet Pelton turbine model. *Energy*. 104: 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.03.110>
- HAN L., WANG Y., ZHANG G. F. & WEI X. 2021. The particle induced energy loss mechanism of Pelton turbine. *Renew. Energ.* 173: 237-248.
- HORTA C. 2009. Estudio fluidodinámico en el interior de un inyector de una turbina Pelton mediante la aplicación del software CFD. Tesis de Grado. Departamento de Mecánica, Universidad de Oriente.
- KIRKE B. 2020. Hydrokinetic turbines for moderate sized rivers. *Energy Sustain. Dev.* 58: 182-195. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2020.08.003> (Kirke 2020)
- KUMANO T., MATSUNAWA K. & NISHIYAMA R. 2018. Experimental test and feasibility study of a micro in-pipe hydro power generator at a university building. *IFAC-Papers OnLine*. 51(28): 380-385. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.732>
- LÓPEZ-REBOLLAR B. M., SALINAS-TAPIA H., GARCÍA-PULIDO D., DURÁN-GARCÍA M. D., GALLEGO-ALARCÓN I., FONSECA-ORTIZ C. R. & DÍAZ-DELGADO C. 2021. Performance study of annular settler with gratings in circular aquaculture tank using computational fluid dynamics. *J. Aquac. Eng. Fish. Res.* 92: 102143. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102143>

- MENTER F. R., KUNTZ M. & LANGTRY R. 2003. Ten years of industrial experience with the SST turbulence model. *Proc. Int. Symp. Turbul. Heat Mass Transf.* 4(1): 625-632.
- MESSA G. V., MANDELLI, S. & MALAVASI S. 2019. Hydro-abrasive erosion in Pelton turbine injectors: A numerical study. *Renew. Energ.* 130: 474-488. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.064>
- PERRIG A. 2007. Hidrodinámica de los flujos de superficie libre en los alabes de una turbina Pelton. Doctorado en ciencias. Escuela Politécnica Federal en Lausana Suiza.
- PERRIG A., AVELLAN F., KUENY J. L., FARHAT M. & PARKINSON E. 2006. Flow in a Pelton turbine bucket: numerical and experimental investigations. *ASME*. 128: <https://doi.org/10.1115/1.2170120>
- QASIM M.A., VELKIN V.I., SHCHEKLEIN S.E., HANFESH A.O., FARGE T.Z. & ESSA F.A. 2022. A numerical analysis of fluid flow and torque for hydropower pelton turbine performance using computational fluid dynamics. *Inventions*. 7: 22. <https://doi.org/10.3390/inventions7010022>
- ROSSI M., NIGRO A. & RENZI M. 2019. Experimental and numerical assessment of a methodology for performance prediction of Pumps-as-Turbines (PaTs) operating in off-design conditions. *Appl. Energy*. 248: 555-566. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.123>
- SALAZAR Y. 2015. Evaluación del comportamiento fluidodinámico del chorro de agua en las cucharas de la turbina tipo Pelton FM-32 mediante un software de CFD. Trabajo de grado. Universidad de Oriente. Venezuela.
- SHIKAMA H., WANG T., YAMAGATA T. & FUJISAWA N. 2021. Experimental and numerical studies on the performance of a waterfall-type cross-flow hydraulic turbine. *Energy Sustain. Dev.* 64: 128-138. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.09.001>
- SOLEMSLIE B. W. & DAHLHAUG O. G. 2012. A reference Pelton turbine design. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 15(3): 032005.
- ZAMORA-JUÁREZ M. Á., ORTIZ C. R. F., GUERRA-COBÍAN V. H., LÓPEZ-REBOLLAR B. M., ALARCÓN I. G. & GARCÍA-PULIDO D. 2023. Parametric assessment of a Pelton turbine within a rainwater harvesting system for micro hydro-power generation in urban zones. *Energy Sustain Dev.* 73: 101-115. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2023.01.015>



CIQTEK

SERVOLAB

CIQTEK SEM5000



**Microscopio electrónico
de barrido por emisión
de campo FESEM de ultra alta
resolución | SEM5000X**



CIQTEK SEM5000X es un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FE-SEM) de resolución ultra alta con una resolución innovadora de 0,6 nm a 15 kV y 1,0 nm a 1 kV.

Gracias a la mejora en el proceso de ingeniería. La tecnología "SuperTunnel" y el diseño de lentes de objetivo de alta resolución, el SEM5000X puede lograr mejoras adicionales en la resolución de imágenes de bajo voltaje. Los puertos de la cámara de muestras se extienden a 16 y el bloqueo de carga de intercambio de muestras admite un tamaño de oblea de hasta 8 pulgadas (diámetro máximo de 208 mm), lo que amplía enormemente la cobertura de las aplicaciones. Los modos de escaneo avanzados y las funciones automatizadas mejoradas brindan un rendimiento más sólido y una experiencia aún más optimizada.

Características Principales:

- Resolución excepcional: Resolución ultra alta (0,6 nm a 15 kV)
- Tecnología de óptica electrónica "SuperTunnel"
- Diversas aplicaciones: adaptado a un espectro de aplicaciones industriales y de investigación.
- Modo de desaceleración dual (opcional; Duo-Dec)
- Técnicas de imágenes avanzadas: múltiples modos para una visión holística de las muestras.
- Rendimiento confiable: consistencia y precisión en cada uso.
- Platina mecánica eucéntrica para muestras.

Su versatilidad lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones, desde la investigación sobre materiales avanzados de almacenamiento de energía hasta la observación de muestras nítidas y detalladas en medicina legal y forense..

www.servolab.com.ve

CÁLCULO DE DESCRIPTORES MOLECULARES TOPOLÓGICOS DE DERIVADOS DE 1,4-DI-*N*-ÓXIDO DE 3-TRIFLUOROMETIL-2-CARBONILQUINOXALINA CON ACTIVIDAD ANTIMALÁRICA

(CALCULATION OF TOPOLOGICAL MOLECULAR DESCRIPTORS OF 3-TRIFLUOROMETHYL-2-CARBONYLQUINOXALINE 1,4-DI-*N*-OXIDE DERIVATIVES WITH ANTIMALARIAL ACTIVITY)

EMMANUEL BERNAL-CARABALLO^{1,2}, JESÚS LEZAMA^{1*}

¹Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, Escuela de Ciencias, Departamento de Química, Laboratorio de Físicoquímica Orgánica y Química Computacional. Cumaná, Venezuela

²Laboratorio de Polímeros, Centro de Química «Gabriel Chuchani», Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Caracas, Venezuela.

jlezgar@gmail.com

RESUMEN

La relación cuantitativa estructura-actividad (QSAR) es una técnica que correlaciona la estructura química de los compuestos con su actividad biológica. En el contexto de enfermedades tropicales, como la malaria, los modelos QSAR son particularmente beneficiosos, ya que facilitan el desarrollo de nuevos tratamientos eficaces. Se evaluaron un total de 19 compuestos derivados de 1,4-di-*N*-óxido-3-trifluorometil-2-carbonilquinoxalina con actividad antimalárica contra *Plasmodium falciparum*, mediante un estudio clásico de QSAR. El objetivo fue establecer las características estructurales que determinan la actividad antimalárica. Las estructuras de mínima energía fueron obtenidas utilizando la Teoría del Funcional de la Densidad (DFT), con la combinación funcional de correlación/base B3LYP/6-31++G(*d,p*); incluidos en el paquete computacional Gaussian 09W® y, a partir de éstas se calcularon los descriptores topológicos y el coeficiente de partición 1-octanol/agua ($\log P$), con el software Perkin Elmer Chembiooffice 18.1®. Mediante un análisis de regresión lineal múltiple, se estimó la correlación entre los descriptores moleculares y la actividad antimalárica, generando varios modelos QSAR, los cuales mostraron una buena calidad estadística ($r > 0,8$ y $Q^2 > 0,7$). Las ecuaciones obtenidas indican que la actividad antimalárica de los derivados de 1,4-di-*N*-óxido-3-trifluorometil-2-carbonilquinoxalina está asociado a los descriptores suma de grados de valencia, número de enlaces rotables, área de superficie polar, ovalidad, conectividad total y $\log P$. Esto sugiere que la topología molecular juega un papel clave en la bioactividad de este grupo de compuestos

Palabras claves: QSAR, actividad antimalárica, descriptores topológicos.

ABSTRACT

The quantitative structure-activity relationship (QSAR) is a technique that correlates

the chemical structure of compounds with their biological activity. In the context of tropical diseases like malaria, QSAR models are particularly beneficial as they facilitate the development of new effective treatments. A total of 19 compounds derived from 1,4-di-*N*-oxide-3-trifluoromethyl-2-carbonylquinoxaline with antimalarial activity against *Plasmodium falciparum* were evaluated through a classical QSAR study. The objective was to establish the structural characteristics that determine antimalarial activity. The minimum energy structures were obtained using Density Functional Theory (DFT), with the correlation functional/basis combination B3LYP/6-31++G(*d,p*); included in the Gaussian 09W® computational package and, from these, the topological descriptors and the 1-octanol/water partition coefficient ($\log P$) were calculated with PerkinElmer ChemBioOffice 18.1® software. Multiple linear regression analysis was used to establish the correlation between molecular descriptors and antimalarial activity, generating several QSAR models, all of which exhibited good statistical quality ($r > 0.8$ and $Q^2 > 0.7$). This equation indicates that the antimalarial activity of the 1,4-di-*N*-oxide-3-trifluoromethyl-2-carbonylquinoxaline derivatives is associated with the descriptors sum of degrees of valence, number of rotatable bonds, polar surface area, ovality, total connectivity and $\log P$. This suggests that molecular topology plays a key role in the bioactivity of this group of compounds.

Keywords: QSAR, antimalarial activity, topological descriptors.

INTRODUCCIÓN

El descubrimiento de nuevos medicamentos constituye un ámbito multidisciplinario, que abarca desde la química médica hasta la farmacología y la biología molecular. Actualmente, el uso de métodos computacionales en la búsqueda de estructuras químicas con actividad farmacológica gana cada vez mayor relevancia, destacándose, los estudios de relación cuantitativa estructura-actividad (QSAR), que agilizan y hacen más rentable el proceso de desarrollo de fármacos (HANSCH ET AL. 2002; DE ET AL. 2022; CHATTERJEE & ROY 2023).

Los modelos QSAR son ecuaciones matemáticas que correlacionan la actividad biológica de una serie de moléculas con sus propiedades estructurales o fisicoquímicas, mediante parámetros cuantitativos derivados computacional o experimentalmente (ROY ET AL. 2015). Estos parámetros, conocidos como descriptores moleculares, son índices numéricos que codifican la información relacionada con las

propiedades de la molécula (TODESCHINI ET AL. 2009), los cuales se emplean como variables independientes en una relación lineal, obtenida por un análisis de regresión múltiple, donde la actividad biológica se considera como la variable dependiente, de acuerdo a la ecuación 1.

$$\text{Actividad biológica} = f_{(\text{parámetros fisicoquímicos y/o estructurales})} \quad [\text{Ec.1}]$$

Una de las principales características que deben presentar las QSAR es que deben ser estadísticamente robustas y capaces de hacer predicciones precisas al estimar la actividad de compuestos no probados (TROPSHA & GOLBRAIKH 2007), para lo cual se hace necesario considerar con mucho cuidado la calidad de los datos de bioactividad recolectados y la elección de los descriptores indicados, así como, los métodos estadísticos para el modelado y validación de los mismos. En este sentido, la topología molecular constituye un método muy utilizado en el cálculo rápido y directo de descriptores moleculares, para lo cual la

molécula se representa por un grafo donde los átomos se ubican en los vértices (a excepción del hidrógeno) y los enlaces en las aristas. La conectividad entre los átomos se incluye dentro de matrices topológicas (de distancia o adyacencia), a partir de las cuales se calculan los índices topológicos, permitiendo una caracterización de la estructura molecular a un bajo costo computacional (GÁLVEZ *ET AL.* 2012; LÓPEZ *ET AL.* 2013; ZANNI *ET AL.* 2020; KIRMANI *ET AL.* 2021).

Estos modelos QSAR, basados en descriptores topológicos, han sido ampliamente utilizados en la investigación de potenciales fármacos contra enfermedades tropicales (AGRAWAL *ET AL.* 2001; GARCÍA-DOMENECH *ET AL.* 2008; CARRILLO *ET AL.* 2017; NGO HANNA *ET AL.* 2021), que provocan estragos en países subdesarrollados motivado, entre otras razones, al atraso socio-económico que éstas padecen (COHEN *ET AL.* 2014), siendo la malaria una de las más devastadoras, ya que se estima que sólo en 2021 provocó 247 millones de casos y se cobró la vida de aproximadamente 619 mil afectados (WHO 2022). Esta enfermedad es provocada por los parásitos del género *Plasmodium* y transmitida a través de la picadura de un mosquito hembra del género *Anopheles* (PHILLIPS *ET AL.* 2017). La malaria, en seres humanos, puede ser causada por cuatro especies del género *Plasmodium*: *P. vivax*, *P. malariae*, *P. ovale* y *P. falciparum*, siendo ésta última la más peligrosa y mortal (SATO 2021). La reciente aparición de cepas de éstos parásitos, particularmente *P. falciparum*, que han desarrollado resistencia tanto a los tratamientos clásicos basados en derivados de quinolina (SLATER 1993; WICHT *ET AL.* 2020) como a los tratamientos basados en terapias combinadas con artemisinina (TCA) y ha generado urgencia en el desarrollo de nuevos fármacos antimaláricos (FAIRHURST & DONDORP 2016; WARD *ET AL.* 2022).

En esta búsqueda, llaman la atención una se-

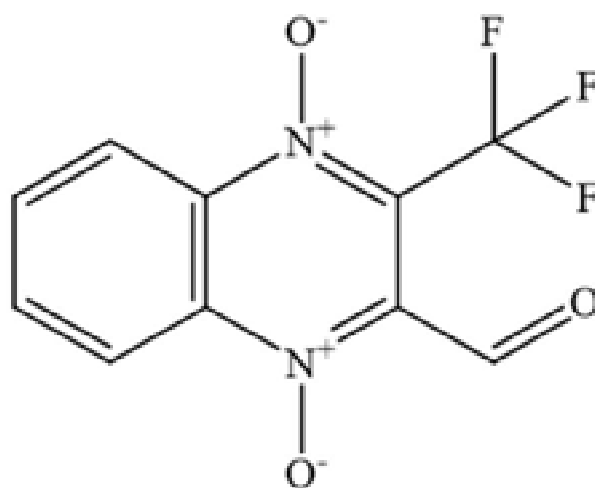


Figura 1: Estructura química básica de 1,4-di-*N*-óxido de 3-trifluorometil-2-carbonilquinoxalina.

rie de compuestos activos contra el *P. falciparum* basados en 1,4-di-*N*-óxido de quinoxalina (VICENTE *ET AL.* 2008; BAREA *ET AL.* 2012), específicamente un grupo de derivados de 1,4-di-*N*-óxido de 3-trifluorometil-2-carbonilquinoxalina (**Fig. 1**), que mostraron resultados muy alentadores contra la cepa FCB1 (*Falciparum* Colombia B-1) de *P. falciparum* resistente a la cloroquina (ZARRANZ *ET AL.* 2006; MARIN *ET AL.* 2008).

En atención a lo anterior, y considerando que la interacción entre ligandos y receptores es un proceso altamente complejo que depende de factores como la estructura molecular, la distribución de la densidad electrónica y de las conformaciones espaciales (IBEZIM *ET AL.* 2012; MELO-FILHO *ET AL.* 2016; ISERT *ET AL.* 2023); se planteó desde el enfoque de estudios QSAR para evaluar la relación entre la estructura de una serie de derivados de 1,4-di-*N*-óxido de 3-trifluorometil-2-carbonilquinoxalina y su actividad antimalárica. Para tal fin, se calcularon, mediante la teoría del funcional de densidad (DFT) al nivel B3LYP/6-31++G(*d,p*), los descriptores topológicos relacionados con las interacciones fármaco-receptor y se construyeron modelos QSAR para comprender como influye la topología

molecular sobre la actividad de estos compuestos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de los compuestos con actividad antimalárica

Se seleccionaron 19 derivados de 1,4-di-*N*-óxido de 3-trifluorometil-2-carbonilquinoxalina con actividad antimalárica, determinada bajo las mismas condiciones experimentales. Los datos de concentración media inhibitoria ($1/IC_{50}$) contra la cepa FCB1 de *P. falciparum* se obtuvieron de la literatura (ZARRANZ ET AL. 2006; MARIN ET AL. 2008).

Optimización de estructuras

Para obtener las estructuras de mínima energía, las estructuras tridimensionales de las moléculas se modelaron usando el programa Gauss View 6.0. Los cálculos DFT se realizaron utilizando el funcional de intercambio-correlación (BECKE 1988; C. LEE ET AL. 1988) con el conjunto de base 6-31++G(*d,p*), incluidos en el paquete computacional Gaussian 09 para Windows (G09W) (FRISCH ET AL. 2009).

Obtención de los descriptores moleculares

Se utilizó el software Perkin Elmer ChembioOffice 18.1 (G09W) (FRISCH ET AL. 2009). para el cálculo de los descriptores (conectividad total, índice de Balaban (*J*), refractividad molar (R.M.), suma de grados de valencia (S.G.V.), área de superficie polar (A.S.P.), número de enlaces rotables (N.E.R.), coeficiente de partición 1-octanol/agua ($\log P$), entre otros, a partir de las estructuras de mínima energía.

Cálculos estadísticos

Se realizó un análisis de correlación lineal múltiple entre la actividad antimalárica, $\ln(1/IC_{50})$, reportada y los descriptores mo-

leculares calculados, utilizando el software Statgraphics Centurion XVI y, considerando la actividad antimalárica como la variable dependiente y los descriptores moleculares como las variables independientes.

La calidad estadística de los modelos obtenidos fue evaluada mediante el valor del coeficiente de correlación lineal (*r*) y el *F* de Fisher. Adicionalmente, mediante una matriz de correlación se determinó que las variables independientes no estuvieran inter correlacionadas entre sí.

Validación del modelo QSAR

Una vez identificados los modelos QSAR, se empleó el método de validación cruzada Leave-One-Out Cross-Validation (G09W) (FRISCH ET AL. 2009).

Se evaluó la capacidad predictiva (Q^2) de los modelos encontrados mediante la ecuación 2:

$$Q^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{exp} - Y_{pred})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{exp} - \bar{Y}_{exp})^2} \quad [\text{Ec.2}]$$

donde, Y_{pred} , Y_{exp} e $\bar{Y}$ son los valores de la actividad predicha, la actividad experimental, y el valor promedio de la actividad experimental, respectivamente (GOLBRAIKH & TROPSHA 2002).

De igual forma, se determinó el rendimiento del modelo mediante la determinación del error estándar de predicción (TODESCHINI ET AL. 2009), con la ecuación 3:

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{exp} - Y_{pred})^2}{n}} \quad [\text{Ec.3}]$$

donde n es el número de muestras utilizada para la construcción de los modelos.

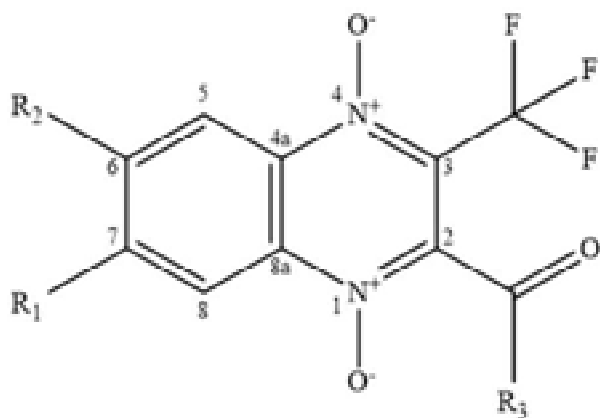
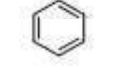


Figura 2: Estructura general de los derivados de 1,4-di-*N*-óxido de 3-trifluorometil-2-carbonilquinoxalina.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se eligieron 19 derivados de 1,4-di-*N*-óxido de 3-trifluorometil-2-carbonilquinoxalina, con bioactividad en términos de $1/IC_{50}$ frente a la cepa FCB1 de *P. falciparum*, reportados en la literatura. La estructura general de los compuestos estudiados se muestra en la **Fig. 2**, mientras que los sustituyentes R_1 , R_2 y R_3 se enlistan en la **tabla 1**. A fin de referenciar la bioactividad que poseen las estructuras químicas estudiadas, se añadió la cloroquina (CQ) por ser el medicamento de uso común en el siglo XX para el tratamiento de la malaria (FOLEY & TILLEY 1998). De la **tabla 1** puede observarse que la variación estructural incide

Tabla 1. Estructura química y actividad biológica de los 19 derivados de 1,4-di-*N*-óxido de 3-trifluorometil-2-carbonilquinoxalina seleccionados para el estudio QSAR

Compuestos	R_1	R_2	R_3	$IC_{50}(\mu\text{mol l}^{-1})$	Referencia
1	H	H		0,20	(MARIN ET AL. 2008)
2	CH ₃	H		0,70	(MARIN ET AL. 2008)
3	CF ₃	H		0,90	(MARIN ET AL. 2008)?
4	Cl	H		0,80	(MARIN ET AL. 2008)
5	OCH ₃	H		0,80	(MARIN ET AL. 2008)
6	Cl	H		0,10	(MARIN ET AL. 2008)
7	Cl	Cl		9,50	(MARIN ET AL. 2008)
8	Cl	H		10,0	(MARIN ET AL. 2008)
9	CH ₃	CH ₃		2,70	(ZARRANZ ET AL. 2006)
10	CH ₃	H		1,70	(ZARRANZ ET AL. 2006)
11	OCH ₃	H		23,60	(ZARRANZ ET AL. 2006)
12	Cl	Cl		11,40	(ZARRANZ ET AL. 2006)
13	Cl	H		2,90	(ZARRANZ ET AL. 2006)
14	H	H	CH ₂ CH ₃	2,40	(ZARRANZ ET AL. 2006)
15	H	Cl	CH ₂ CH ₃	3,10	(ZARRANZ ET AL. 2006)
16	CH ₃	H	CH(CH ₃) ₂	1,90	(ZARRANZ ET AL. 2006)
17	H	H	CH(CH ₃) ₂	2,00	(ZARRANZ ET AL. 2006)
18	CH ₃	H	C(CH ₃) ₃	2,10	(ZARRANZ ET AL. 2006)
19	H	H	C(CH ₃) ₃	1,20	(ZARRANZ ET AL. 2006)
CQ				0,40	(MARIN ET AL. 2008)

$1/IC_{50}$ Concentración media inhibitoria; CQ: Cloroquina

sobre los valores de actividad antimalárica, considerando que un menor valor de $1/IC_{50}$, representa una mayor efectividad del com-

puesto químico. Las estructuras más activas contra la malaria presentan en la posición R_3 un heterocíclico aromático, tiofenil (1-4) o

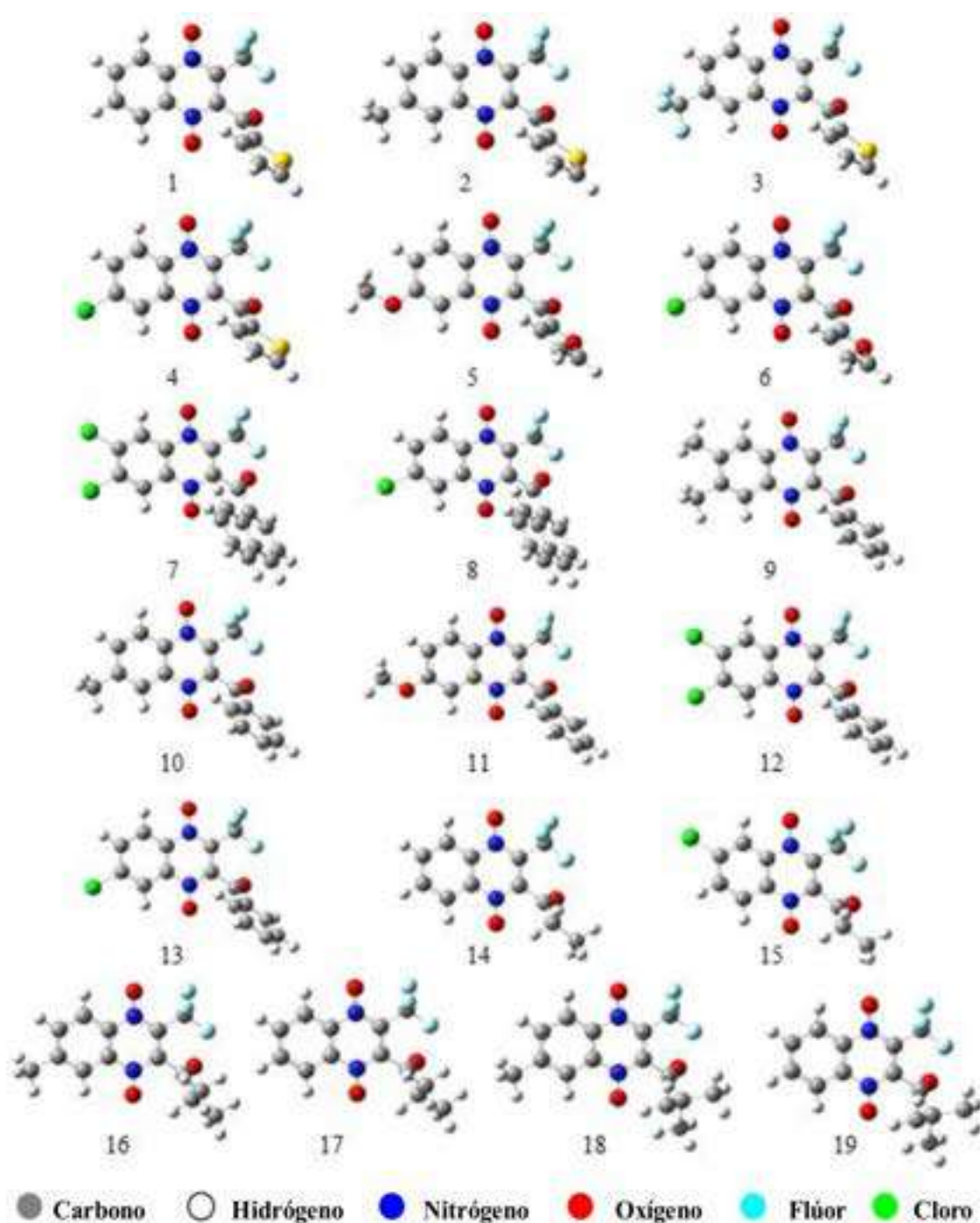


Figura 3: Estructuras de mínima energía de los derivados de 1,4-di-*N*-óxido de 3-trifluorometil-2-carbonilquinoxalina, obtenidas al nivel DFT B3LYP/6-31++G(*d,p*).

furanyl (5 y 6) y exhiben un $1/IC_{50}$ menor a 1, incluso con menor $1/IC_{50}$ que la cloroquina (1 y 6) (MARIN ET AL. 2008).

Estructuras optimizadas

En la Fig. 3 se muestran las estructuras optimizadas de cada compuesto obtenidas al nivel de DFT B3LYP/6-31++G(*d,p*). La prin-

Tabla 2. Descriptores moleculares seleccionados para el estudio QSAR y valores de bioactividad

Compuesto	log <i>P</i>	S.G.V.	N.E.R.	A.S.P. (Å ²)	Ovalidad	C. Total (10 ⁻⁴)	ln (1/IC ₅₀)
1	1,53	96,67	3,00	64,01	1,21	3,86	1,61
2	1,97	98,67	3,00	64,01	1,23	3,15	0,36
3	2,45	122,67	4,00	64,01	1,23	1,57	0,10
4	2,15	98,44	3,00	64,01	1,23	3,15	0,22
5	1,09	110,00	4,00	82,47	1,25	2,23	0,22
6	1,80	103,78	3,00	73,24	1,22	3,15	2,30
7	5,01	119,56	3,00	64,01	1,22	0,30	-2,25
8	4,39	117,78	3,00	64,01	1,21	0,37	-2,30
9	3,38	106,00	3,00	64,01	1,23	1,82	-0,99
10	2,94	104,00	3,00	64,01	1,23	2,22	-0,53
11	2,40	110,00	4,00	73,24	1,25	1,57	-3,16
12	3,72	105,56	3,00	64,01	1,24	1,82	-2,43
13	3,12	103,78	3,00	64,01	1,23	2,23	-1,06
14	1,04	86,00	3,00	64,01	1,22	18,90	-0,87
15	1,66	87,77	3,00	64,01	1,24	15,43	-1,13
16	1,76	90,00	3,00	64,01	1,21	12,60	-0,64
17	1,33	88,00	3,00	64,01	1,19	15,43	-0,69
18	1,97	92,00	3,00	64,01	1,20	10,91	-0,74
19	1,53	90,00	3,00	64,01	1,18	13,36	-0,18

cial ventaja de este nivel de teoría, en comparación con otras aproximaciones en el campo de la química cuántica, es su capacidad para proporcionar resultados que describen con precisión la distribución de la densidad electrónica en el sistema, además, que estos resultados son coherentes con las observaciones experimentales (LEZAMA *ET AL.* 2009; SANTOS *ET AL.* 2020). Adicionalmente, se aplicó el criterio de la segunda derivada, para confirmar que todas las estructuras sean mínimas en las superficies de energía potencial (MCQUARRIE, 1986).

Descriptores moleculares

En la **tabla 2** se presentan los valores de los seis descriptores moleculares calculados que, de acuerdo a las correlaciones lineales múltiples aplicadas, mejor describen la actividad antimalárica de los compuestos estudiados. Se muestran cinco descriptores topológicos: número de enlaces rotatables (N.E.R.), suma de grados de valencia (S.G.V.), área de superficie polar (A.S.P.), ovalidad y conectividad total (C.

Total); y un descriptor termodinámico: coeficiente de partición 1-octanol/agua (log *P*).

Modelos QSAR obtenidos

Empleando el análisis de regresión lineal múltiple y tomando en consideración los criterios de calidad estadísticas y de validación (*r*, *F*, *Q*² y *SEP*), se obtuvieron 5 modelos de relación cuantitativa estructura-reactividad. El coeficiente de correlación *r* cuantifica el ajuste lineal del modelo; el índice de Fisher *F* señala el grado de conformidad y/o factibilidad de la ecuación; mientras que *Q*² (índice de predictibilidad de validación cruzada) examina los resultados para garantizar que son independientes y señala la exactitud de los resultados obtenidos a través del modelo y, por último, *SEP* cuantifica el error estándar de la ecuación al momento de predecir la actividad biológica.

Para evaluar las correlaciones entre los factores presentes en los modelos QSAR, en la **tabla 3** se muestra la matriz de correlación

Tabla 3. Matriz correlación para los descriptores moleculares incluidos en el modelo QSAR

	$\log P$	S.G.V.	N.E.R.	ASP	Ovalidad	C. Total	$\ln (1/IC_{50})$
$\log P$	1,00						
S.G.V.	0,69	1,00					
N.E.R.	-0,16	0,50	1,00				
ASP	-0,29	0,25	0,66	1,00			
Ovalidad	0,27	0,42	0,42	0,42	1,00		
C. Total	-0,63	-0,86	-0,31	-0,25	-0,49	1,00	
$\ln (1/IC_{50})$	-0,58	-0,24	-0,10	0,17	-0,23	0,06	1,00

entre los descriptores moleculares. El $\log P$ es el descriptor que mejor se correlaciona linealmente con la actividad antimalárica en este estudio ($r > 0,50$). Además, como se observa en la **tabla 3**, dos descriptores utilizados (S.G.V. y C. Total) presentan una inter-

correlación significativa ($r > 0,75$), por lo que no fueron incluidos ambos en una misma ecuación.

A partir de todas las consideraciones mencionadas, se obtuvieron cinco modelos QSAR, descritos con las siguientes ecuaciones:

$$\ln (1/IC_{50}) = -2,19159 - 2,61598 \cdot \log P + 0,237121 \cdot \text{S.G.V.} - 5,16482 \cdot \text{N.E.R.} \quad [\text{Ec. 4}]$$

$r = 0,955$; $F = 52,210$; $Q^2 = 0,913$; $SEP = 0,387$; $N = 19$

$$\ln (1/IC_{50}) = -1,66684 - 2,65466 \cdot \log P + 0,240453 \cdot \text{S.G.V.} - 5,10893 \cdot \text{N.E.R.} - 0,0143679 \cdot \text{ASP} \quad [\text{Ec. 5}]$$

$r = 0,956$; $F = 37,190$; $Q^2 = 0,914$; $SEP = 0,384$; $N = 19$

$$\ln (1/IC_{50}) = -3,4294 - 2,62268 \cdot \log P + 0,237274 \cdot \text{S.G.V.} - 5,19375 \cdot \text{N.E.R.} + 1,08659 \cdot \text{Ovalidad} \quad [\text{Ec. 6}]$$

$r = 0,855$; $F = 36,630$; $Q^2 = 0,913$; $SEP = 0,386$; $N = 19$

$$\ln (1/IC_{50}) = -8,9172 - 1,47808 \cdot \log P - 1,79832 \cdot \text{N.E.R.} - 15,5913 \cdot \text{Ovalidad} - 2130,23 \cdot \text{C. Total} \quad [\text{Ec. 7}]$$

$r = 0,865$; $F = 10,400$; $Q^2 = 0,784$; $SEP = 0,657$; $N = 19$

$$\ln (1/IC_{50}) = -11,9835 - 1,54435 \cdot \log P - 1,89117 \cdot \text{N.E.R.} - 0,026499 \cdot \text{A.S.P.} - 2038,83 \cdot \text{C. Total} \quad [\text{Ec. 8}]$$

$r = 0,848$; $F = 8,930$; $Q^2 = 0,718$; $SEP = 0,694$; $N = 19$

Los modelos obtenidos demostraron una excelente calidad estadística, con coeficientes de correlación (r) superiores a 0,80 y valores de Q^2 por encima de 0,70. De acuerdo a la literatura, un modelo QSAR se considera aceptable cuando Q^2 se encuentra por encima de 0,50 (GOLBRAIKH & TROPSHA 2002)

La ecuación 5 se destaca por su excelente correlación lineal y capacidad predictiva ($Q^2 = 0,91$ y $r = 0,95$), siendo este el modelo con mayor capacidad predictiva para la actividad antimalárica de los compuestos estudiados. Asimismo, presenta el valor más bajo de

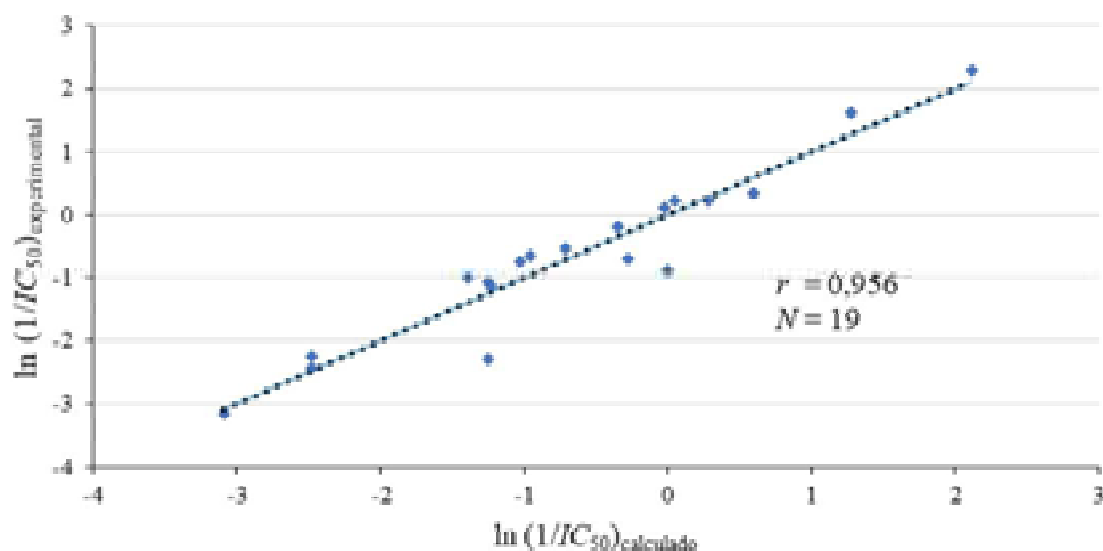
error estándar de predicción ($SEP = 0,38$) y un alto valor del estadístico de Fisher ($F = 37,19$).

Por otro lado, en la **tabla 4**, se comparan los valores experimentales y los valores calculados por la ecuación 5. Se observa una buena concordancia entre los valores obtenidos usando dicha ecuación y, los datos experimentales reportados.

En la **Fig. 4**, se observa la linealidad entre los valores experimentales y los calculados por la ecuación 5, lo que indica la excelente capa-

Tabla 4. Actividad antimalárica predicha por la ecuación 5.

Compuesto	Valor experimental	Valor calculado	Residuo
1	1,609	1,272	0,337
2	0,357	0,593	-0,236
3	0,105	-0,025	0,130
4	0,223	0,049	0,174
5	0,223	0,280	-0,057
6	2,303	2,116	0,187
7	-2,251	-2,473	0,222
8	-2,303	-1,250	-1,053
9	-0,993	-1,389	0,395
10	-0,531	-0,709	0,178
11	-3,161	-3,088	-0,073
12	-2,434	-2,477	0,043
13	-1,065	-1,253	0,188
14	-0,875	-0,001	-0,874
15	-1,131	-1,225	0,093
16	-0,642	-0,954	0,312
17	-0,693	-0,274	-0,419
18	-0,742	-1,027	0,285
19	-0,182	-0,348	0,165

Figura 4: $\ln (1/IC_{50})_{\text{experimental}}$ vs. $\ln (1/IC_{50})_{\text{calculado}}$ mediante la ecuación 5.

cidad predictiva de este modelo QSAR.

De acuerdo al modelo QSAR (ecuación 5) la actividad antimalárica de los derivados 1,4-di-*N*-óxido de 3-trifluorometil-2-carbonilquinoxalina depende de cuatro descriptores moleculares: S.G.V.; N.E.R.; $\log P$ y A.S.P. Esta ecuación, in-

dica que la bioactividad disminuye con el incremento de N.E.R, A.S.P. y $\log P$, mientras que aumenta con altos valores de S.G.V.

El descriptor $\log P$, es el más significativo en términos de la permeabilidad celular, ya que el valor de este índice es directamente pro-

porcional a la lipofilicidad y, por lo tanto, a la solubilidad de las moléculas en membranas lipídicas (MALAVÉ ET AL. 2015; SOLIMAN ET AL. 2021). Para que un fármaco alcance el sitio de acción debe poder interactuar con membranas (medio lipofílico) y citoplasma (medio acuoso), de allí que el $\log P$ ideal debe tener un valor intermedio, donde no predomine ni el carácter hidrofóbico ni el hidrofílico (KUJAWSKI ET AL. 2012). Se ha demostrado que los fármacos con buena permeabilidad celular suelen tener valores moderados de $\log P$ ($\log P < 5$), de acuerdo con la regla de cinco de Lipinski, que se utiliza para evaluar la capacidad de un compuesto químico de atravesar membranas biológicas y difundirse en el citoplasma (LIPINSKI ET AL. 2001; BENET ET AL. 2016). En cambio, compuestos con alta lipofilicidad tienden a exhibir problemas de retención en la membrana celular y son menos selectivos en su unión con las proteínas (LEE & CHOI 2019). Si no se puede alcanzar o mantener una concentración adecuada de un fármaco en el tejido diana, incluso la sustancia in vitro más potente, puede ser un fármaco ineficaz (LEWANDOWSKI ET AL. 2020).

El modelo QSAR obtenido indica que un incremento de la lipofilicidad de la estructura química (altos valores de $\log P$) inciden en la disminución de la actividad antimalárica de los compuestos estudiados. En este sentido, los derivados de 1,4-di-*N*-óxido de 3-trifluorometil-2-carbonilquinoxalina, deben exhibir bajos valores de $\log P$, idealmente, entre 0 y 2.

El descriptor topológico, suma de grados de valencia (S.G.V.), se relaciona con el tamaño y conectividad de la molécula, ya que representa la suma de los órdenes de los enlaces adyacentes a un átomo, incluyendo aquellos enlaces que involucren hidrógenos (LEWANDOWSKI ET AL. 2020). El modelo QSAR sugiere que un incremento en el valor de S.G.V. se relaciona con una mayor bioactividad. Esta correlación puede estar asociada a

la presencia de anillos de tiofenilo o furanilo en la posición R_3 (**Figura 2**), en las moléculas que exhiben la actividad antimalárica más alta, y al mismo tiempo, presentan valores relativamente elevados de S.G.V. Sin embargo, valores muy altos de este índice topológico (S.G.V. $> 120,00$) pueden introducir otros factores estructurales que contrarrestan la actividad biológica.

Los resultados indican qué moléculas con valores superiores a 3, para el número de enlaces rotables (N.E.R.), presentan una disminución en la actividad antimalárica. Una molécula, con un alto valor de N.E.R. será muy flexible y tendrá un mayor número de conformaciones energéticamente similares, siendo más difícil lograr un acoplamiento con el receptor y, por lo tanto, tendrá menor probabilidad de experimentar una interacción ligando-receptor exitosa (MALAVÉ ET AL. 2016).

En cuanto al descriptor área de superficie polar (A.S.P.), la ecuación 5 señala que un aumento en este parámetro resulta en una reducción de la actividad antimalárica de los compuestos analizados. Este descriptor se define como la suma de la superficie que abarca todos los átomos polares, generalmente oxígeno y nitrógeno, incluyendo los hidrógenos unidos (CLARK 2011; TEKIN ET AL. 2022). Su utilidad radica en medir la capacidad de un fármaco para atravesar las membranas celulares; las moléculas con un valor de A.S.P. superior a $140,00 \text{ \AA}^2$ son tan altamente polares que difícilmente penetran las membranas celulares (PALM ET AL. 1997). Sin embargo, como se observa en la **tabla 2**, la mayoría de las estructuras químicas estudiadas presentan un valor de A.S.P. muy por debajo de $140,00 \text{ \AA}^2$, por consiguiente, estas estructuras tienen la capacidad de penetrar las membranas celulares.

El modelo QSAR sugiere que la actividad antimalárica de los derivados de

1,4-di-*N*-óxido de 3-trifluorometil-2-carbonilquinoxalina es el resultado de una baja lipofilidad (entre 0 y 2), un N.E.R. no mayor a 3, un A.S.P. inferior a 140,00 Å², y una S.G.V. entre 90,00 y 120,00.

CONCLUSIONES

Los modelos QSAR desarrollados en esta investigación demostraron ser estadísticamente sólidos, con valores de $r > 0,80$ y $Q^2 > 0,70$. Entre estos modelos, la ecuación 5 destacó al exhibir la correlación estadística más alta ($r = 0,96$) y una capacidad predictiva sobresaliente ($Q^2 = 0,91$), lo que convierte a este modelo QSAR en una herramienta confiable para estimar y predecir la actividad antimalárica de moléculas de derivados de 1,4-di-*N*-óxido de 3-trifluorometil-2-carbonilquinoxalina. Asimismo, los resultados de este trabajo sugieren que la actividad antimalárica de estos compuestos está asociada a los descriptores topológicos: número de enlaces rotables, suma de grados de valencia y área de superficie polar; y a un descriptor termodinámico: coeficiente de partición 1-octanol/agua ($\log P$). Por lo tanto, la topología molecular de los derivados de 1,4-di-*N*-óxido de 3-trifluorometil-2-carbonilquinoxalina resulta relevante para estimar y predecir la actividad antimalárica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRAWAL V. K., SRIVASTAVA R. & KHADIKAR P. V. 2001. QSAR Studies on some antimalarial sulfonamides. *Bioorg. Med. Chem.* 9(12): 3287–3293. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0968-0896\(01\)00241-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0968-0896(01)00241-3)
- BAREA C., PABÓN A., GALIANO S., PÉREZ-SILANES S., GONZALEZ G., DEYSSARD C., MONGE A., DEHARO E. & ALDANA I. 2012. Antiplasmodial and Leishmanicidal Activities of 2-Cyano-3-(4-phenylpiperazine-1-carboxamido) Quinoxaline 1,4-Dioxide Derivatives. *Molecules*. 17(8): 9451–9461. <https://doi.org/10.3390/molecules17089451>
- BECKE A. D. 1988. Density-functional exchange-energy approximation with correct asymptotic behavior. *Phys. Rev. A*. 38(6): 3098–3100. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.38.3098>
- BENET L. Z., HOSEY C. M., URSU O. & OPREA T. I. 2016 BDDCS, the Rule of 5 and drugability. *Adv. Drug Deliv. Rev.* 101: 89–98. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.05.007>
- CARRILLO J. S., RIZZA C., ÁLVAREZ B. E., HERNÁNDEZ D., ÁLVAREZ J. G. y DOMENECH R. G. 2017. Aplicación de la topología molecular en la búsqueda de nuevos compuestos basados en azaaunonas derivados de las aunonas naturales como potenciales antimaláricos. *Nereis Rev. Iberoam. Interdiscip. Métodos, Model. Simulación*. 9: 49–62.
- CHATTERJEE M. & ROY K. 2023. *Chapter 1 - Quantitative structure-activity relationships (QSARs) in medicinal chemistry* (K. B. T.-C. Roy QSAR and Machine Learning Applications for Novel Drug Development (ed.); pp. 3–38). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18638-7.00029-3>
- CLARK D. E. 2011. What has polar surface area ever done for drug discovery?. *Future Med. Chem.* 3(4): 469–484. <https://doi.org/10.4155/fmc.11.1>
- COHEN J. P., STURGEON G. & COHEN A. 2014. Measuring progress in neglected disease drug development. *Clin. Ther.* 36(7): 1037–1042. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clinthera.2014.06.007>

- p>doi.org/10.1016/j.clinthera.2014.05.004
- 10.1016/j.ijpharm.2008.07.003
- DE P., KAR S., AMBURE P. & ROY K. 2022. Prediction reliability of QSAR models: an overview of various validation tools. *Arch. Toxicol.* 96(5): 1279–1295. <https://doi.org/10.1007/s00204-022-03252-y>
- FAIRHURST R. M. & DONDORP A. M. 2016. Artemisinin-resistant *Plasmodium falciparum* malaria. *Microbiol. Spectr.* 4(3): 10–1128. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.ei10-0013-2016>
- FOLEY M. & TILLEY L. 1998. Quinoline Antimalarials: Mechanisms of Action and Resistance and Prospects for New Agents. *Pharmacol. Ther.* 79(1): 55–87. [https://doi.org/10.1016/S0163-7258\(98\)00012-6](https://doi.org/10.1016/S0163-7258(98)00012-6)
- FRISCH M. J., TRUCKS G. W., SCHLEGEL H. B., SCUSERIA G. E., ROBB M. A., CHEESEMAN J. R., SCALMANI G., BARONE V., MENNUCCI B., PETERSSON G. A., NAKATSUJI H., CARICATO M., LI X., HRATCHIAN H. P., IZMAYLOV A. F., BLOINO J., ZHENG G., SONNENBERG J. L., HADA M. y FOX D. J. 2009. *Gaussian 09 Revision A.2*.
- GÁLVEZ J., GLÁVEZ-LLOMPART M. & GARCÍA-DOMENECH R. 2012. Molecular topology as a novel approach for drug discovery. *Expert Opin. Drug Discov.* 7(2): 133–153. <https://doi.org/10.1517/17460441.2012.652083>
- GARCÍA-DOMENECH R., LÓPEZ-PEÑA W., SANCHEZ-PERDOMO Y., SANDERS J. R., SIERRA-ARAUJO M. M., ZAPATA C. & GÁLVEZ J. 2008. Application of molecular topology to the prediction of the antimalarial activity of a group of uracil-based acyclic and deoxyuridine compounds. *Int. J. Pharm.* 363(1): 78–84. <https://doi.org/https://doi.org/>
- GOLBRAIKH A. & TROPSHA A. 2002. Beware of q²! *J. Mol. Graph. Model.* 20(4): 269–276. [https://doi.org/10.1016/S1093-3263\(01\)00123-1](https://doi.org/10.1016/S1093-3263(01)00123-1)
- GOLUB G. H., HEATH M. & WAHBA G. 1979. Generalized cross - validation as a method for choosing a good ridge parameter. *Technometrics.* 21(2): 215–223. <https://doi.org/10.1080/00401706.1979.10489751>
- HANSCH C., HOEKMAN D., LEO A., WEININGER D. & SELASSIE C. D. 2002. Chem-bioinformatics: comparative QSAR at the interface between chemistry and biology. *Chem. Rev.* 102(3): 783–812. <https://doi.org/10.1021/cr0102009>
- IBEZIM E., DUCHOWICZ P. R., ORTIZ E. V. & CASTRO E. A. 2012. QSAR on aryl-piperazine derivatives with activity on malaria. *Chemom. Intell. Lab. Syst.* 110(1): 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2011.10.002>
- ISERT C., ATZ K. & SCHNEIDER G. 2023. Structure-based drug design with geometric deep learning. *Curr. Opin. Struct. Biol.* 79: 102548. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sbi.2023.102548>
- KIRMANI S. A. K., ALI P. & AZAM F. 2021. Topological indices and QSPR/QSAR analysis of some antiviral drugs being investigated for the treatment of COVID-19 patients. *Int. J. Quantum Chem.* 121(9): e26594. <https://doi.org/doi.org/10.1002/qua.26594>
- KUJAWSKI J., POPIELARSKA H., MYKA A., DRABIŃSKA B. & BERNARD M. K. 2012. The log p parameter as a molecular

- descriptor in the computer aided drug design - an overview. *Comput. Methods Sci. Technol.* 18(2): 81–88. <https://doi.org/10.12921/cmst.2012.18.02.81-88>
- LEE C., YANG W. & PARR R. G. 1988. Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density. *Phys. Rev. B.* 37(2): 785. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.37.785>
- LEE Y. & CHOI S. Q. 2019. Quantitative analysis for lipophilic drug transport through a model lipid membrane with membrane retention. *Eur. J. Pharm. Sci. Off. J. Eur. Fed. Pharm. Sci.* 134: 176–184. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2019.04.020>
- LEWANDOWSKI W., LEWANDOWSKA H., GOLONKO A., SWIDERSKI G., SWISOCKA R. & KALINOWSKA M. 2020. Correlations between molecular structure and biological activity in «logical series» of dietary chromone derivatives. *PLoS One.* 15(8): e0229477. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0229477>
- LEZAMA J., MÁRQUEZ E., MORA J. R., CÓRDOVA T. & CHUCHANI G. 2009. Theoretical calculations on the mechanisms of the gas phase elimination kinetics of chlorocyclohexane, 3-chlorocyclohexene and 4-chlorocyclohexene. *J. Mol. Struct. THEOCHEM.* 916(1–3): 17–22. <https://doi.org/10.1016/J.THEOCHEM.2009.08.029>
- LIPINSKI C. A., LOMBARDO F., DOMINY B. W. & FEENEY P. J. 2001. Experimental and computational approaches to estimate solubility and permeability in drug discovery and development settings. *Adv. Drug Deliv. Rev.* 46(1–3): 3–26. [https://doi.org/10.1016/S0169-409X\(00\)00129-0](https://doi.org/10.1016/S0169-409X(00)00129-0)
- LÓPEZ Á. D., GÓMEZ I. I., MOREIRA L. R., ÁLVAREZ J. G. & DOMENECH R. G. 2013. Aplicación de la topología molecular en la predicción de la actividad antiprotozoaria de derivados del benzimidazol. *Nereis. Interdiscip. Ibero-American J. Methods, Model. Simulation.* 5: 9–17.
- MALAVÉ J. A., MÁRQUEZ BRAZÓN E. A., ROSAS F. O., LEZAMA J. A. y CABARCAS F. 2016. Estudio computacional de flavonoides con actividad anti-VIH1: aproximación QSAR a partir de descriptores moleculares, electrónicos, termodinámicos y topológicos. *Av. En. Química* 11(3): 113–122. <https://www.researchgate.net/publication/317028702>
- MALAVÉ J. A., MÁRQUEZ E. & LEZAMA J. A. 2015. Cálculo de descriptores moleculares topológicos en flavonoides con actividad anti-VIH-1. *Saber.* 27(1): 102–109. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622015000100013&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- MARÍN A., MOREIRA LIMA L., SOLANO B., VICENTE E., PÉREZ SILANES S., MAUREL S., SAUVAIN M., ALDANA I., MONGE A. & DEHARO E. 2008. Antiplasmodial structure–activity relationship of 3-trifluoromethyl-2-arylcarbonylquinoxaline 1,4-di-N-oxide derivatives. *Exp. Parasitol.* 118(1): 25–31. <https://doi.org/10.1016/J.EXPPARA.2007.05.009>
- MCQUARRIE D. 1986. *Statistical Mechanics.* Harper & Row.
- MELO-FILHO C. C., DANTAS R. F., BRAGA R. C.,

- NEVES B. J., SENGER M. R., VALENTE W. C. G., REZENDE-NETO J. M., CHAVES W. T., MURATOV E. N., PAVELEY R. A., FURNHAM N., KAMENITSKY L., CARPENTER A. E., SILVA-JUNIOR F. P. & ANDRADE C. H. 2016. QSAR-Driven Discovery of Novel Chemical Scaffolds Active against *Schistosoma mansoni*. *J. Chem. Inf. Model.* 56(7): 1357–1372. <https://doi.org/10.1021/acs.jcim.6b00055>
- NGO HANNA J., NZIKO V. DE P. N., NTIE-KANG F., MBAH, J. A. & TOZE F. A. A. 2021. The use of minimal topological differences to inspire the design of novel tetrahydroisoquinoline analogues with antimalarial activity. *Heliyon.* 7(5): e07032 <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.>
- PALM K., STENBERG P., LUTHMAN K. & ARTURSSON P. 1997. Polar molecular surface properties predict the intestinal absorption of drugs in humans. *Pharm. Res.* 14(5): 568–571. <https://doi.org/10.1023/A:1012188625088>
- PERKINELMER INFORMATICS. 2018. *Chem. Bio. Office Professional* 18.1.
- PHILLIPS M. A., BURROWS J. N., MANYANDO C., VAN HUIJSDUIJNEN R. H., VAN VOORHIS W. C. & WELLS T. N. C. 2017. Malaria. *Nat. Rev. Dis. Prim.* 3(1): 17050. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2017.50>
- ROY K., KAR S. & DAS R. 2015. Chemical information and descriptors. in *understanding the basics of QSAR for Applications in Pharmaceutical Sciences and Risk Assessment* (pp. 47–80). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801505-6.00002-8>
- SANTOS J. L. F., KAUFFMANN A. C., DA SILVA S. C., SILVA V. C. P. & DE SOUZA G. L. C. 2020. Probing structural properties and antioxidant activity mechanisms for eleocarpanthraquinone. *J. Mol. Model.* 26(9): 233. <https://doi.org/10.1007/s00894-020-04469-3>
- SATO S. 2021. Plasmodium-a brief introduction to the parasites causing human malaria and their basic biology. *J. Physiol. Anthropol.* 40(1) : 1. <https://doi.org/10.1186/s40101-020-00251-9>
- SLATER A. F. G. 1993. Chloroquine: Mechanism of drug action and resistance in plasmodium falciparum. *Pharmacol. Ther.* 57(2): 203–235. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0163-7258\(93\)90056-J](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0163-7258(93)90056-J)
- SOLIMAN K., GRIMM F., WURM C. A. & EGNER A. 2021. Predicting the membrane permeability of organic fluorescent probes by the deep neural network based lipophilicity descriptor DeepFl-LogP. *Sci. Rep.* 11(1): 6991. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86460-3>
- TEKIN H. O., ALMISNED G., ISSA S., KAPÝKÝ E., AROOJ M., ENE A., AL-BURIAHI M., KONUK M. & ZAKALY H. 2022. Molecular polar surface area, total solvent accessible surface area (sasa), heat of formation, and gamma-ray attenuation properties of some flavonoids. *Front. Phys.* 838725 <https://doi.org/10.3389/fphy.2022.>
- TODESCHINI R., CONSONNI V. & GRAMATICA P. 2009. Chemometrics in QSAR. In S. D. Brown, R. Tauler, & B. B. T.-C. C. Walczak (Eds.), *Comprehensive Chemometrics* (129–172). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-044452701-1.00007-7>
- TROPSHA A. & GOLBRAIKH, A. 2007. Predictive QSAR modeling workflow, model

applicability domains, and virtual screening. *Curr. Pharm. Des.* 13(34): 3494–3504.

VICENT E., CHARNAUD S., BONGARD E., VILLAR R., BURGUETE A., SOLANO B., ANCIZU S., PÉREZ-SILANES S., ALDANA I., VIVAS L. & MONGE A. 2008. Synthesis and antiplasmodial activity of 3-furyl and 3-thienylquinoxaline-2-carbonitrile 1,4-Di-N-oxide derivatives. *Mol.* 13. 13(1): 69–77. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES13010069>

WARD K. E., FIDOCK D. A. & BRIDGFORD J. L. 2022. Plasmodium falciparum resistance to artemisinin-based combination therapies. *Curr. Opin. Microbiol.* 69: 102193. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mib.2022.102193>

WHO 2022. *World Malaria Report 2022*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240064898>

WICHT K. J., MOK S. & FIDOCK D. A. 2020. Molecular mechanisms of drug resistance in *Plasmodium falciparum* malaria. *Annu. Rev. Microbiol.* 74(1): 431–454. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-020518-115546>

ZANNI R., GALVEZ-LLOMPART M., GARCIA-DOMENECH R. & GALVEZ J. 2020. What place does molecular topology have in today's drug discovery *Expert Opin. Drug Discov.* 15(10): 1133–1144. <https://doi.org/10.1080/17460441.2020.1770223>

ZARRANZ B., JASO A., LIMA L. M., ALDANA I., MONGE A., MAUREL S. & SAUVAIN M. 2006. Antiplasmodial activity of 3-trifluoromethyl-2-carbonylquinoxaline di-N-oxide derivatives. *Rev. Bras. Ciências Farm.* 42(3): 357–361. <https://doi.org/10.1590/S1516-93322006000300005>

Análisis automático del tamaño de partículas hasta el rango nanométrico: imbatible, sencillo y asequible

ANALYSETTE 22 NeXT Nano: *Mide partículas sólidas en seco y húmedo*



El nuevo ANALYSETTE 22 NeXT Nano. Completamente revisado y equipado con un sistema de detección adicional, este equipo ofrece un rango de medición extra amplio de 0,01 a 3800 μm para una precisión y sensibilidad máxima en la caracterización de partículas pequeñas. Además, su diseño de medición inteligente hace que el **ANALYSETTE 22 NeXT** sea compacto y ocupe poco espacio.

Ventajas

- Medición del tamaño de partícula en un rango de medición extra amplio de 0,01 - 3800 μm .*
- Tiempos de medición cortos y precisión excepcional.*
- Equipo robusto y de bajo mantenimiento con pocas partes móviles.*
- Fácil mantenimiento.*
- Registro de temperatura y valor de pH.*
- Un láser para mediciones más rápidas.*
- Ajuste rápido y automático del haz.*
- Análisis completamente automático.*
- Cumple y supera los requisitos de la norma ISO 13320.*
- Soporte excepcional.*

¡Optimice sus análisis de partículas con el ANALYSETTE 22 NeXT Nano!
Obtén resultados precisos y confiables en un equipo compacto y de fácil mantenimiento.

ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE COLORANTES NATURALES EN HIDROGELES DE POLIACRILATO DE SODIO (PacNA)

(STUDY OF THE ABSORPTION CAPACITY OF NATURAL DYES IN SODIUM POLYACRYLATE HYDROGELS (PACNA))

RITA TENÍA¹, CARLOS NÚÑEZ², SHAILILI MORENO³, JOSÉ BENÍTEZ¹, EDGAR CATARÍ⁴, ALEXANDER GARCIA⁵.

¹Departamento de Química, Escuela de Ciencias, Núcleo de Sucre, Universidad de Oriente, ²Empresa Química del Pacífico. Santiago de Chile, Chile. ³Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas, Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), ⁴Laboratorio de Polímeros. Centro de Química Dr. Gabriel Chuchani. I.V.I.C., ⁵Departamento de Procesos Químicos. U.P.T.O.S., Clodosbaldo Russian, Cumaná, Venezuela.

Correo electrónico: rtenia@gmail.com.

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la capacidad de absorción de colorantes naturales en hidrogeles comerciales a base de poliacrilato de sodio (PacNa), los colorantes naturales se obtuvieron a partir de diversas fuentes naturales flor de (*B. oleracea*,) flor de (*C. ternatea*) y la hoja de (*J. secunda*) empleando métodos de extracción convencionales sólido-líquido los cuales mostraron rendimientos de extracción de moderados a altos. Los hidrogeles comerciales exhibieron una gran capacidad de absorción de agua pura (> 15.000,00%), sin embargo, al exponerlos a las soluciones contentivas de los colorantes naturales, esta capacidad de absorción se redujo a valores de 6001,00 % para el HG/*B. oleracea*, 9551,00 % para el HG/*C. ternatea* y de 4043,00% para el HG/*J. secunda* denotando un efecto de restricción del acceso a los sitios de contención en el hidrogel, esto puede atribuirse al gran tamaño de las moléculas de ciertos componentes de los colorantes naturales, tales como saponinas, flavonoides, polifenoles y cumarinas.

Palabras clave: hidrogeles, poliacrilato de sodio, colorante natural, hinchamiento, saponinas, flavonoides, polifenoles, cumarinas

ABSTRACT

In the present work, the absorption capacity of natural dyes in commercial hydrogels based on sodium polyacrylate (PacNa) was evaluated. The natural dyes were obtained from various natural sources (*B. oleracea* flower, *C. ternatea* flower, and the leaf of *J. secunda*) using conventional solid-liquid extraction methods which showed moderate to high extraction yields. Commercial hydrogels exhibited a high absorption capacity for pure water (> 15000,00%), however, when exposed to the contained solutions of the natural dyes, this absorption capacity was reduced to values of 6001,00% for HG/

B. oleracea, 9551,00% for HG/*C. ternatea* and 4043,00% for HG/*J. secunda* denoting an effect of restriction of access to the containment sites in the hydrogel. This decreased of absorption capacity can be attributed to the large size of the molecules of certain components of natural dyes, such as saponins, flavonoids, polyphenols, and coumarins

Keywords: hydrogels, sodium polyacrylate, natural dye, swelling, saponins, flavonoids, polyphenols, coumarins

INTRODUCCIÓN

Las antocianinas son colorantes o pigmentos naturales, tóxicos, extraíbles y solubles en agua. Estas sustancias forman un grupo de compuestos fenólicos que pertenecen a la familia de los flavonoides, que además actúan como moléculas responsables de los diferentes colores de plantas, flores, frutas y verduras, específicamente de los tonos rojos, morados y azules. (CHAUHAN ET AL. 2016; POURJAVAHER ET AL. 2017; MAFTOONAZADA Y RAMASWAMY 2019; WU ET AL. 2019; CELIK ET AL. 2020; KUSWANDI ET AL. 2020; CHEN ET AL. 2021; HIDAYATI ET AL. 2021; NETRAVATI ET AL. 2022).

Las antocianinas son compuestos relativamente inestables. En un ambiente acuoso, dependiendo del pH de una solución, sufren transformaciones reversibles e irreversibles, que conducen a cambios visibles en el color de la solución ((PLISZKA ET AL. 2009). Han sido utilizadas ampliamente en compuestos inteligentes para envases de alimentos y sensores colorimétricos como colorantes halocrómicos, compuestas de la estructura glicosilada de las antocianidinas delfinidina, peonidina, cianidina, malvidina, pelargonidina y petunidina (KUSWANDI ET AL. 2020; ABEDI-FIROOZJAH ET AL. 2022; NETRAVATI ET AL. 2022).

Muchos alimentos de consumo con valores nutritivos son fuente rica de antocianinas, junto con otros metabolitos secundarios (KUSWANDI ET AL. 2020; ABEDI-FIROOZJAH ET AL. 2022; NETRAVATI ET AL. 2022), entre los que se encuentra la *Brassica oleracea* (col o repollo morada), *Clitoria ternatea* (flor de campana)

y *Justicia secunda* (conocida como sanguinaria en Venezuela).

Las antocianinas del extracto de *Brassica oleracea* son una de las fuentes naturales de colorantes comunes para los alimentos, de bajo costo porque son abundantes en comparación con otras fuentes (KUSWANDI ET AL. 2020).

Pertenece a la familia Brassicaceae, una verdura crucífera de estación fresca, conocida como repollo morado. Es una planta herbácea, con hojas de color rojo o morado y normalmente se consumen como ensalada de col, ensalada y bebida (CHAUHAN ET AL. 2016; RAJAMANI 2018; PLISZKA ET AL. 2019; ABEDI-FIROOZJAH ET AL. 2022; AYADI ET AL. 2022).

Además, *B. oleracea* contiene compuestos metabólicos como flavonoides, los cuales son compuestos químicos producidos por las plantas, que funcionan para protegerse a sí mismas, para la supervivencia de estas plantas y actúan como antioxidantes, aumentando la actividad de la vitamina C y de los compuestos de glutamina, que son aminoácidos no esenciales que ayudan a regenerar más rápidamente las células dañadas de la piel (BR TARIGAN ET AL. 2022).

Por otro lado, *Clitoria ternatea*, es la única especie de la familia Fabaceae a la que se le otorga la presencia de ciclótida. Se conoce como guisante mariposa, alas de paloma asiática, campanilla azul y guisante cordofán, y se encuentra predominantemente como una hierba leguminosa. Su extracto es muy colo-

rído, después de la purificación se utiliza como colorante natural o tinte natural en diversas industrias alimentarias (DAS ET AL. 2020; JEYARAJ ET AL. 2020; NIRANJAN ET AL. 2020; JIJI Y MURALIDHARAN 2021; NETRAVATI ET AL. 2022).

Se han realizado varios estudios de investigación sobre las raíces, semillas, flores y hojas de *C. ternatea*, en los cuales se reportan sus posibles beneficios para la salud, también indican su uso como fuente natural de antioxidantes y/o como posible complemento en la industria alimentaria o farmacéutica (JEYARAJ ET AL. 2020; GHUZALI ET AL. 2021). Los extractos de antocianinas de las flores de *C. ternatea* tienen similitudes características con las antocianinas, que son fácilmente solubles en agua, no tóxicas, pero se dañan fácilmente a altas temperaturas (HIDAYATI ET AL. 2021).

Adicionalmente, Justicia secunda pertenece a la familia de las Acanthaceae, es una planta herbácea tropical nativa originaria de América del Sur, comúnmente conocidas como "sanguinaria" en Venezuela (KOFFI ET AL. 2013; ONOJA ET AL. 2017; ANYASOR ET AL. 2019; AROGBODO 2020; ODOKWO Y ONIFADE 2020; UMOH ET AL. 2020; PÉREZ LINO Y RUIZ CASTRO 2021). Al someter a altas temperaturas (hervor) a las hojas frescas de la planta, pueden tornar una coloración rosada, rojizas o púrpura intenso (YAMOAH ET AL. 2020; PÉREZ LINO Y RUIZ CASTRO 2021). En la medicina popular, las hojas de *J. secunda* se utilizan para el tratamiento de heridas, anemia y dolor en la región abdominal, su decocción se consume en algunas partes con el fin de mejorar el recuento de hematocritos; además se ha demostrado que las hojas poseen actividades antifalcofórmes, antimicrobianas, antihipertensivas, hematócicas y un potencial antiinflamatorio ((ONOJA ET AL. 2017; ANYASOR ET AL. 2019; AROGBODO 2020; AYODELE ET AL. 2020 UMOH ET AL. 2020; YAMOAH ET AL. 2020).

En este sentido, la siguiente investigación tiene como finalidad estudiar de la capacidad de

absorción de colorantes naturales, obtenidos de flor de *B. oleracea*, flor de *C. ternatea* y la hoja de *J. secunda*, en hidrogeles tipo esfera de poliacrilato de sodio (PACNA), utilizando las técnicas de grado de hinchamiento, espectroscopia infrarroja (FTIR) y UV-visible.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo e identificación del material vegetal

Las flores frescas de *B. oleracea* utilizadas en este estudio fueron obtenidas de un supermercado local. Las flores frescas de *C. ternatea* se recolectaron en un sector de la parroquia Altagracia. Las hojas frescas de *J. secunda* se obtuvieron de la parroquia Santa Inés. Todas las muestras vegetales se encontraron en la ciudad de Cumaná, estado Sucre, Venezuela; y fueron identificadas y autenticadas por el MSc. Jesús Bello, profesor del departamento de Biología, escuela de Ciencias, Universidad de Oriente, Venezuela. También, se utilizó un poliacrilato de sodio (PACNa) obtenido en un establecimiento comercial, cuya característica es de forma esférica y una masa promedio de $12,00 \pm 0,10$ mg.

Obtención de los extractos

Las flores de *C. ternatea* y las hojas de *J. secunda* se aislaron de materiales no deseados y se secaron al aire, a la sombra y a temperatura ambiente, en el laboratorio de productos naturales y lípidos (EC-310) de la Universidad de Oriente. Luego, se pulverizaron con un molino eléctrico una vez secas y el material en polvo se almacenó en un recipiente de vidrio hermético a temperatura ambiente en un sitio oscuro y seco. Por su parte, la muestra de *B. oleracea* se utilizó un procesamiento previo.

La extracción se realizó con el método convencional de extracción sólido-líquido

(RAJAMANI 2018; DAS *ET AL.* 2020; GHUZALI *ET AL.* 2021; NETRAVATI *ET AL.* 2022, TARIGAN *ET AL.* 2022). Los extractos fueron obtenidos mediante el método de maceración, utilizando etanol al 95,00 %. Las muestras se sumergieron durante varios días protegidas de la luz solar, posteriormente se filtraron con algodón blanco limpio seguido de papel de filtro Whatman, para eliminar los residuos no deseados. Los macerados se concentraron con un rotaevaporador marca Heidolph a 50,00 °C y al vacío, para obtener un extracto crudo.

Análisis químico preliminar

Para detectar la posible presencia de las diferentes familias de compuestos presentes en los extractos vegetales, se llevaron a cabo pruebas químicas específicas, siguiendo la metodología de análisis fitoquímico estándar y reportada (MARCANO Y HASEGAWA 2002; MURILLO Y MÉNDEZ 2007; MOSTAFA KAMAL *ET AL.* 2015; OSIOMA Y HAMILTON- AMACHREE 2017; TARIGAN *ET AL.* 2022). El estudio fitoquímico cualitativo de los metabolitos presente en cada extracto se basó en la reacción de formación de color utilizando reactivos indicadores. (AHMED *ET AL.* 2012; AROGBODO 2020; AYODELE *ET AL.* 2020; AJURU *ET AL.* 2021; AJURU *ET AL.* 2022). Entre los metabolitos ensayados se encuentran: alcaloide, flavonoide, esteroide, tanino, fenólicos, glucósido y la formación de espuma (saponina).

Grado de hinchamiento

El estudio de absorción o grado de hinchamiento se llevó a cabo en agua destilada o en la respectiva solución acuosa del extracto en estudio (*B. oleracea* al 23,00 % m/v, *C. ternatea* al 16,00 % m/v y *J. secunda* al 18,00% m/v) a temperatura constante, midiendo gravimétricamente la ganancia de agua, por parte del PAcNa en estado seco, a intervalo de tiempo de inmersión. Para esto, se sumer-

gió una esfera del PAcNa de $12,00 \pm 0,10$ mg en un recipiente con 25,00 mL de agua destilada o de solución de extracto. Se extrajo el PAcNa en un intervalo de tiempo constante, secando la superficie con un papel de filtro, y registrando la masa hidratada posteriormente. El hidrogel se pesó cada 5 minutos hasta los 20 minutos, luego cada 10 minutos hasta la primera hora, seguidamente cada 20 minutos hasta llegar a 140 minutos, continuamente cada media hora hasta los 260 minutos y finalmente cada hora hasta los 380 minutos. El procedimiento fue realizado por triplicado para cada muestra de extracto, y los valores que se reportan son los valores promedio de las tres mediciones. Luego, con los datos obtenidos se calculó el grado de hinchamiento y se graficó la curva de absorción, mediante la siguiente ecuación (ROJAS DE GASCUE *ET AL.* 2007; ROJAS DE GASCUE *ET AL.* 2010; BENÍTEZ *ET AL.* 2015):

$$\text{Grado de hinchamiento} = \left(\frac{m_t - m_0}{m_0} \right) \times 100$$

donde m_0 y m_t son las masas del hidrogel seco y del hidrogel hinchado en el tiempo t , respectivamente.

Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FT-IR) y reflectancia total atenuada (ATR)

Los extractos se disolvieron en etanol y se colocaron en un portamuestra y se analizaron en un equipo marca Perkin-Elmer, modelo Frontier, del cual fueron obtenidos los espectros IR. Por su parte, para el análisis de los hidrogeles se utilizó un accesorio de muestra universal ATR corriendo todas las muestras en un rango de número de onda de 700,00 a 4000,00 cm^{-1} , acumulándose 24 barridos, con una resolución de 2,00 cm^{-1} ; en un equipo de Infrarrojo marca Thermo Scientific modelo Nicolet iS10, el cual se usó para técnica de transmisión el accesorio smart OMNI-Transmission.

Espectroscopia ultravioleta-visible (UV-VIs)

Los hidrogeles se colocaron en 25,00 mL de cada solución de extracto por 3 horas. Transcurrido el tiempo, se extrajeron y se sumergieron en agua destilada hasta observar la liberación del indicador. Todas las soluciones de *C. ternatea* fueron analizadas en un espectrofotómetro UV-Visible, mini 1240V SHIMADZU; en un rango espectral comprendido entre 400,00 nm hasta 700,00 nm. Las soluciones de *B. oleracea* y *J. secunda*, fueron analizadas en un espectrofotómetro UV-Visible marca JENWAY, modelo 6405; en un rango espectral de 200,00 nm hasta 1000,00 nm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento porcentual de los extractos obtenidos

El procedimiento de extracción de materiales vegetales es un paso importante. Existen varios procedimientos de extracción disponibles, entre los que se encuentran métodos de extracción convencionales y no convencionales que tienen ventajas respectivas entre sí, por lo que se debe evaluar una selección cuidadosa del método dependiendo de la idoneidad de las muestras y los objetivos que se deben alcanzar. Antes de la extracción, los materiales vegetales generalmente se reducen de tamaño para aumentar el área de superficie para mezclar con el solvente las muestras utilizadas son frescas, secas, molidas o en polvo (JEYARAJ ET AL. 2020). La extracción de plantas es un método para obtener ciertos componentes químicos presentes en las plantas (SHOFI UDDIN ET AL. 2022). Luego del proceso de extracción, se obtuvo un rendimiento porcentual por encima del 50,00% para todos los extractos (**Tabla 1**). Con base en esta observación, se puede sugerir que la polaridad de los compuestos extraídos en la flor de *B. oleracea*, *C.*

ternatea y hoja de *J. secunda* es similar a la del etanol, o que muchos de los compuestos que sintetizan las plantas ensayadas son de naturaleza polar y poseen una excelente afinidad por el etanol (GHUZALI ET AL. 2021).

Análisis químico preliminar

Los fitoquímicos confieren color, sabor y olor a las plantas, las protegen contra insectos y vertebrados herbívoros, hongos, patógenos y parásitos y forman parte del sistema de defensa natural de las plantas (AJURU ET AL. 2021). Los estudios fitoquímicos cualitativos preliminares se realizaron para probar la posible presencia de los diferentes grupos químicos. Se reveló la existencia de varios compuestos naturales o metabolitos secundarios en todos los extractos, los cuales se resumen en la **Tabla 2**, obteniendo resultado positivo para flavonoides y polifenoles para todas las especies de plantas utilizadas. Además, se encontró la presencia de cumarinas solo en el extracto de *C. ternatea*, y de saponinas solo en *B. oleracea*.

Los resultados concuerdan con algunos metabolitos secundarios reportados por varios autores para las especies de *B. oleracea*, *C. ternatea* y *J. secunda*, aunque algunos compuestos fitoquímicos están ausentes en comparación a otras muestras, lo que puede deberse a la presencia de otras sustancias en el extracto que reaccionan con el compuesto y lo hacen invisible (CHAUHAN ET AL. 2016; RAJAMANI 2018; KITADI ET AL. 2019; AYODELE ET AL. 2020; DAS ET AL. 2020; JEYARAJ ET AL. 2020; JIJY Y MURALIDHARAN 2021; AJURU ET AL. 2022; TARIGAN ET AL. 2022).

Caracterización de los extractos por Espectroscopia FTIR y UV-visible

La *B. oleracea* es un tipo de repollo, conocido como repollo morado, cuyas hojas son de color rojo o morado (CHAUHAN ET AL. 2015, es

Tabla 2. Análisis químico preliminar de los extractos de *B. oleracea*, *C. ternatea* y *J. secunda*.

Familia de compuestos	<i>B. oleracea</i>	<i>C. ternatea</i>	<i>J. secunda</i>
Saponinas	+	-	-
Flavonoides	+	+	+
Polifenoles	+	+	+
Cumarinas	-	+	-

una excelente fuente de rica en una serie de sustancias bioactivas, incluidas las antocianinas (RAJAMANI 2018). Todas las especies conocidas contienen cianidina como aglicón, glicosilados principalmente con glucosa y/o soforosa (diglucósido) (ARAPITSAS *ET AL.* 2008; ARIF KHAN Y FAROOQUI 2011; DEVARAYANB Y KIM 2015; HALÁSZ Y CSÓKA 2018; BALBINOT-ALFARO *ET AL.* 2019; CELIK *ET AL.* 2020; ABEDI-FIROOZJAH *ET AL.* 2022). Aproximadamente veinte derivados de glucósidos de cianidina se han determinados mediante HPLC-DAD-MS/MS, reportándose como estructura base la cianidina-3-diglucósido-5-glucósido (RAJAMANI 2018).

La *C. ternatea* se conoce en muchas partes del mundo como campanilla azul, y el extracto de la flor es colorido, utilizándose como colorante natural o tinte natural en diversas industrias alimentarias, ya que tiene una variedad de colores que van desde el azul oscuro hasta el azul claro y el blanco (DAS *ET AL.* 2020; NIRANJAN *ET AL.* 2020; GHUZALI *ET AL.* 2021; JIJY Y MURALIDHARAN 2021; NETRAVATI *ET AL.* 2022). Se ha reportado que la *C. ternatea* contiene una concentración densa y alta de antocianina, estables en comparación con otras fuentes y con una tendencia a tener mayor estabilidad, siempre y cuando se mantenga alejado del contacto directo con la luz a baja temperatura ambiente, lo que permite su aplicación como indicador de cambio de pH (HIDAYATI *ET AL.* 2021).

Los compuestos que se han encontrado en las flores son antocianinas de ternatina y varios glucósidos de flavanol de kaempferol, quercetina y miricetina, siendo la ternatina la responsable del color azul y asociada a una base delfinidina ((JEYARAJ *ET AL.* 2020; NIRANJAN *ET AL.* 2020).

J. secunda es una planta perteneciente a la familia Acanthaceae, que se conoce en Venezuela como "Sanguinaria", y que hace referencia al color rojo del agua que se observa cuando se hierve la planta ŚWIATEK *ET AL.* 2023. Está constituida por una gran variedad de flavonoides como antocianinas, antocianidinas, flavanonas, flavonas, catequinas y chalconas chalconas (MPIANA *ET AL.* 2010; OFFI *ET AL.* 2013; OSIOMA *ET AL.* 2017; KITADI *ET AL.* 2019; AYODELE *ET AL.* 2020, AJURU *ET AL.* 2021; AJURU *ET AL.* 2022;) Además, se han reportados en el estudio de los compuestos responsables de la actividad colorante de especies de uso tradicional como la *J. secunda*, polifenoles asociados con compuestos tipo flavonoides y posiblemente antocianinas como derivados de luteolina (KOFFI *ET AL.* 2013; KITADI *ET AL.* 2019; DOMINGUEZ 2020; PÉREZ LINO Y RUIZ CASTRO 2021).

Los grupos funcionales de los compuestos naturales o metabolitos secundarios detectados en todos los extractos se determinaron mediante análisis FTIR. En la **Figura 1** se

muestran, en todos los espectros, señales que confirman la presencia de grupos funcionales correspondientes a los metabolitos detectados como saponinas y diversos compuestos fenólicos como flavonoides y cumarinas. La banda ancha e intensa entre 3600,00 y 3100,00 cm^{-1} se relaciona con el estiramiento O-H de alcoholes y fenoles, a 2983,00 y 2890,00 cm^{-1} se encuentran las señales asignables al estiramiento C-H de alcanos, una banda pronunciada entre 1770,00 y 1600,00 cm^{-1} atribuible al estiramiento C=O y C=C de sistemas aromáticos, la señal en 1400,00 y 1390,00 cm^{-1} se atribuye a la flexión del enlace O-H del tipo R-OH y del grupo funcional fenol, indicando la presencia de compuestos como flavonoides. Además,

las bandas a 1095,00 cm^{-1} y 1050,00 cm^{-1} corresponden al estiramiento C-O de fenoles y alcoholes primarios respectivamente; también se observa una señal 880,00 cm^{-1} que se atribuye a la flexión C-H fuera del plano correspondiente a un anillo aromático p-disustituido de las antocianinas (GHUZALI 2021; YAN 2021). Por su parte, en el espectro FTIR del extracto de *B. oleracea* (línea morada de la figura anterior) las señales entre 1460,00 cm^{-1} y 1350,00 cm^{-1} son asignables a la tensión asimétrica y simétrica respectivamente del enlace C-H, sobretonos de cadenas hidrocarbonadas posiblemente asociadas a la estructura de las saponinas.

En la **Figura 2** se muestran los espectros UV-

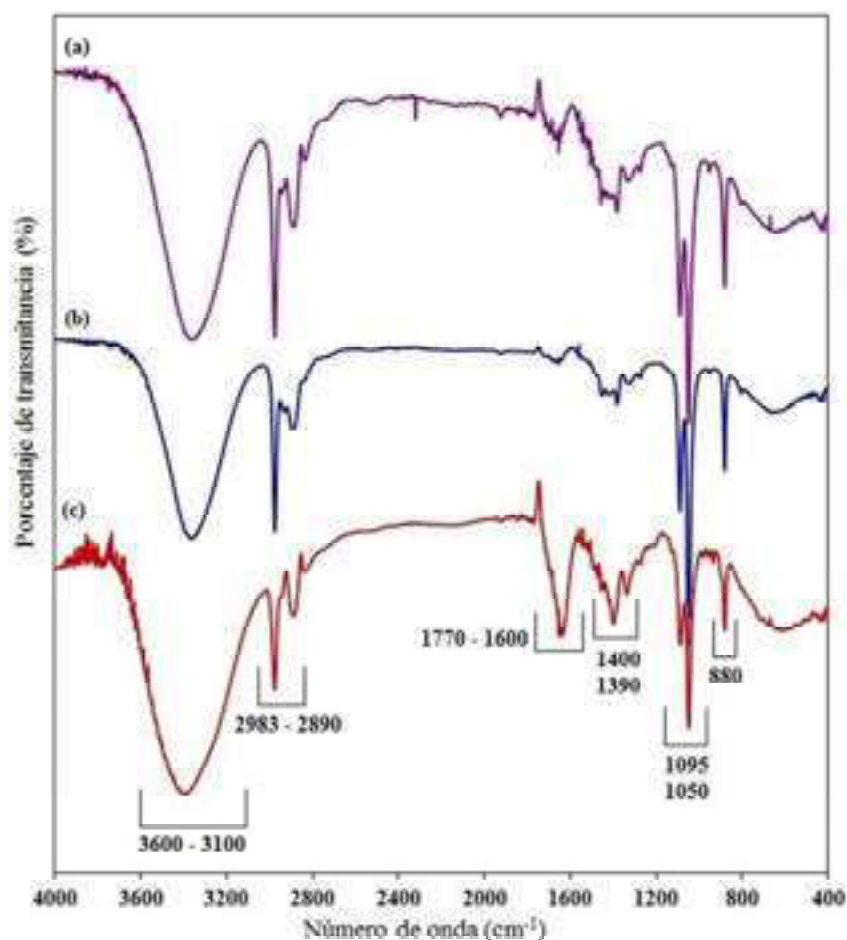


Figura 1. Espectros FTIR de los extractos de: (a) flor de *B. oleracea* (–%), (b) flor de *C. ternatea* (–%) y (c) la hoja de *J. secunda* (Vahl) (–%), y de la en etanol.

visible de las soluciones originales (solución madre) para *B. oleracea*, *C. ternatea* y *J. secunda*, observándose señales de máxima absorción. En el caso de la solución de *B. oleracea* se apreciaron dos máximos de absorción a 285,00 y 545,00 nm, siendo este último el que se asigna a la antocianidina, denominada cianidina y sus formas glicosiladas (ARAPITSAS *ET AL.* 2008). Por su parte, la solución de *C. ternatea* presentó dos bandas de absorción a 575,00 y 618,00 nm, las cuales se deben a la presencia de los dos tautómeros de bases quinonoidales de color azul (LEE Y ABDULLAH 2001); además, en la **Figura 2** se aprecia una pequeña señal a 534,00 nm, la cual se atribuye a las mezclas de equilibrio de cationes de flavilio (GUIMARÃES *ET AL.* 2012). En la solución de *J. secunda* se encontró una banda principal de absorción a 290,00 nm, que ha sido reportada para compuestos polifenólicos, los cuales muestran una estructura química de tipo flavona, señal que pueden ser atribuida a la luteolina y sus formas glicosiladas (KOFFI *ET AL.* 2013).

Grado de hinchamiento

Para el grado de hinchamiento se utilizó la técnica de gravimetría con la finalidad de determinar la cantidad de agua y solución acuosa existente en un hidrogel como el PAcNa cuando este se pesa, conociendo la masa inicial del xerogel. Con esta técnica se determinó la capacidad de absorción de los hidrogeles, manifestado por su hinchamiento (BENÍTEZ *ET AL.* 2015; BENÍTEZ 2019). El procedimiento más simple consistió en la introducción de la muestra en el disolvente (o solución de extracto) y la medida de la variación de su masa con el tiempo hasta los 380 minutos. **La Figura 3** muestra las curvas de hinchamiento del hidrogel en agua destilada y en las soluciones acuosas de extractos naturales. Cuando un hidrogel seco se coloca en contacto con el agua, ésta se difunde dentro del hidrogel y éste se hincha (BENÍTEZ 2019). Se aprecia que el HG de PAcNa presentó un grado de hinchamiento mayor (15419,00%), lo cual se debe a su composición (poliacrilato de sodio), ya que con-

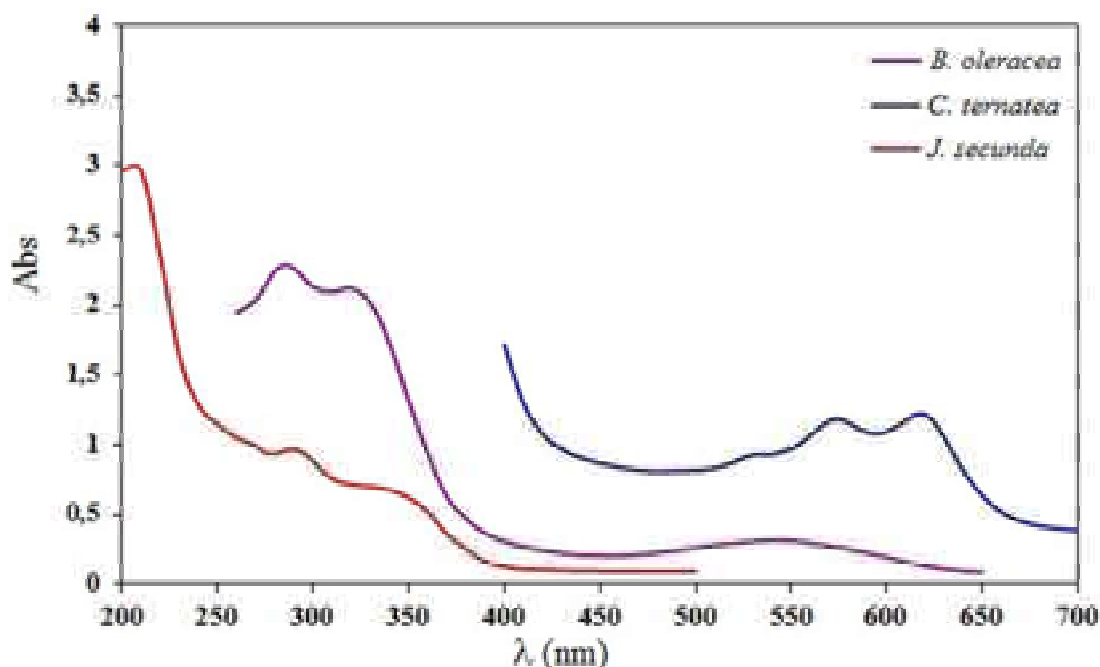


Figura 2. Espectro de UV-Visible para la solución madre de la especie: flor de *B. oleracea* (—), flor de *C. ternatea* (—) y la hoja de *J. secunda* (Vahl) (—)

tiene un gran número de grupos carboxilatos capaces de establecer una mayor cantidad de interacciones de tipo puente de hidrógeno con el agua (MATSUYAMA ET AL. 1997; ARAPITSAS ET AL. 2008). Los hidrogeles comerciales son en su mayoría de poliacrilato de sodio (PACNa) (CAÑAMERO Y GÓMEZ 2011); el cual es un polielectrolito conformado por acrilatos. La capacidad de absorción del PACNa es consecuencia de su estructura, debido a que al entrar en contacto con el agua se libera una gran cantidad de iones sodio al medio, conservando en la cadena los iones carboxilo libres de naturaleza aniónica, los cuales se repelen gracias a sus cargas negativas extendiendo la cadena del polímero y provocando un aumento en su volumen (MOSQUERA 2012).

En la **Figura 3**, además, se aprecia una menor capacidad de absorción de los HG/solución de extractos en comparación con el agua (6001,00% para el HG/*B. oleracea*, 9551,00% para el HG/ *C. ternatea* y 4043,00% para el HG/ *J. secunda*), lo cual indica que los componentes presentes en cada uno de los extrac-

tos interaccionan con los grupos funcionales presentes en el HG, limitando así la entrada de moléculas de agua. También, se visualiza el proceso de captación del colorante en cada extracto por parte del HG-comercial, ya que el HG adquirió el color morado de *B. oleracea*, azul intenso de *C. ternatea* y rojo sangre de *J. secunda*, en cada experiencia. Se ha reportado que la capacidad de hinchamiento de algunos hidrogeles se ve bastante afectada por la presencia de ciertas sustancias (iones o compuestos) en el medio de hinchamiento (MATSUYAMA ET AL. 1997).

Caracterización de los HG/extracto s por espectroscopia FTIR

En la **Figura 4** a se muestra el espectro de FTIR por ATR del PACNa, observando señales características para poliacrilato de sodio. La banda ancha entre 3680,00 y 2970,00 cm^{-1} corresponde a las vibraciones de estiramiento del enlace O-H, ya que el PACNa fue sin tratamiento previo. Las señales en 2918,00 y

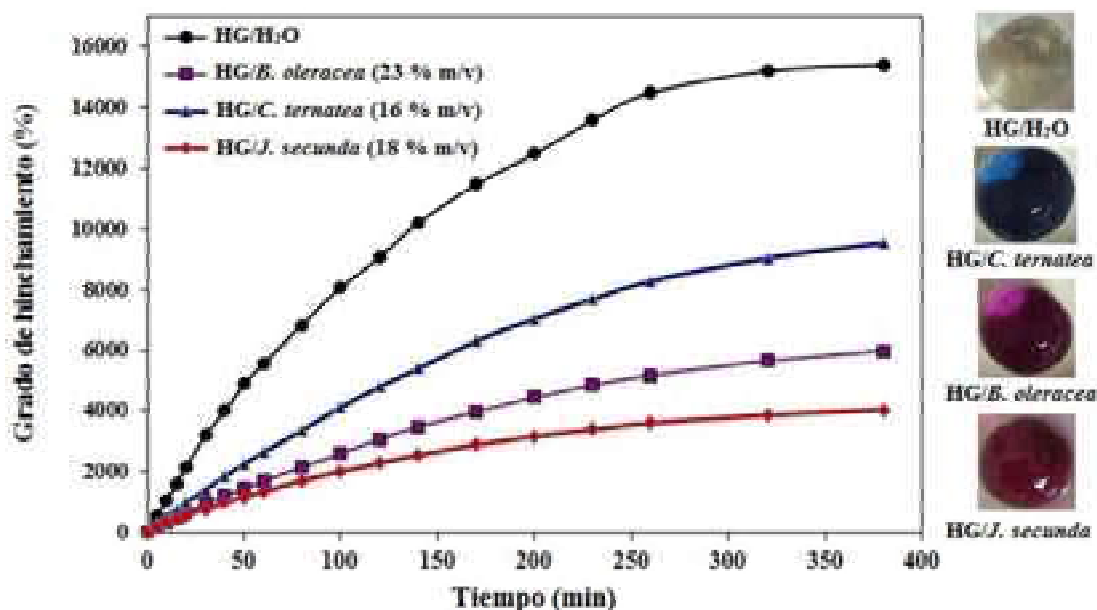


Figura 3. Curva de hidratación en: (a) agua, (b) solución *B. oleracea* (23,00 % m/v), (c) *C. ternatea* (16,00 % m/v) y (d) *J. secunda* (18 % m/v)

2848,00 cm^{-1} característica del estiramiento simétrico y asimétrico del enlace C-H alifático del CH_2 . La vibración de estiramiento C=O para un grupo carboxilato protonado es desplazada mediante enlaces de hidrógeno. Cuando ocurre la ionización, generando iones COO^- , es posible el equilibrio de resonancia entre los dos átomos de oxígeno unidos al átomo de carbono en estos iones (LEE *ET AL.* 1996).

Como resultado, la banda de absorción de carbonilo característica asociada con una es-

pecie de carboxilato protonado desaparece, y es reemplazada por las dos bandas de absorción que se observan en las regiones 1650,00-1535,00 y 1415,00-1395,00 cm^{-1} , que corresponden a las vibraciones de estiramiento de C-O asimétrico y simétrico, respectivamente, para los iones COO^- (LEE *ET AL.* 1996; BEJARANO *ET AL.* 2008).

Todos los espectros HG/extracto mostraron las señales características del hidrogel de PAAC. En la **Figura 4b** se muestra el espectro FTIR-

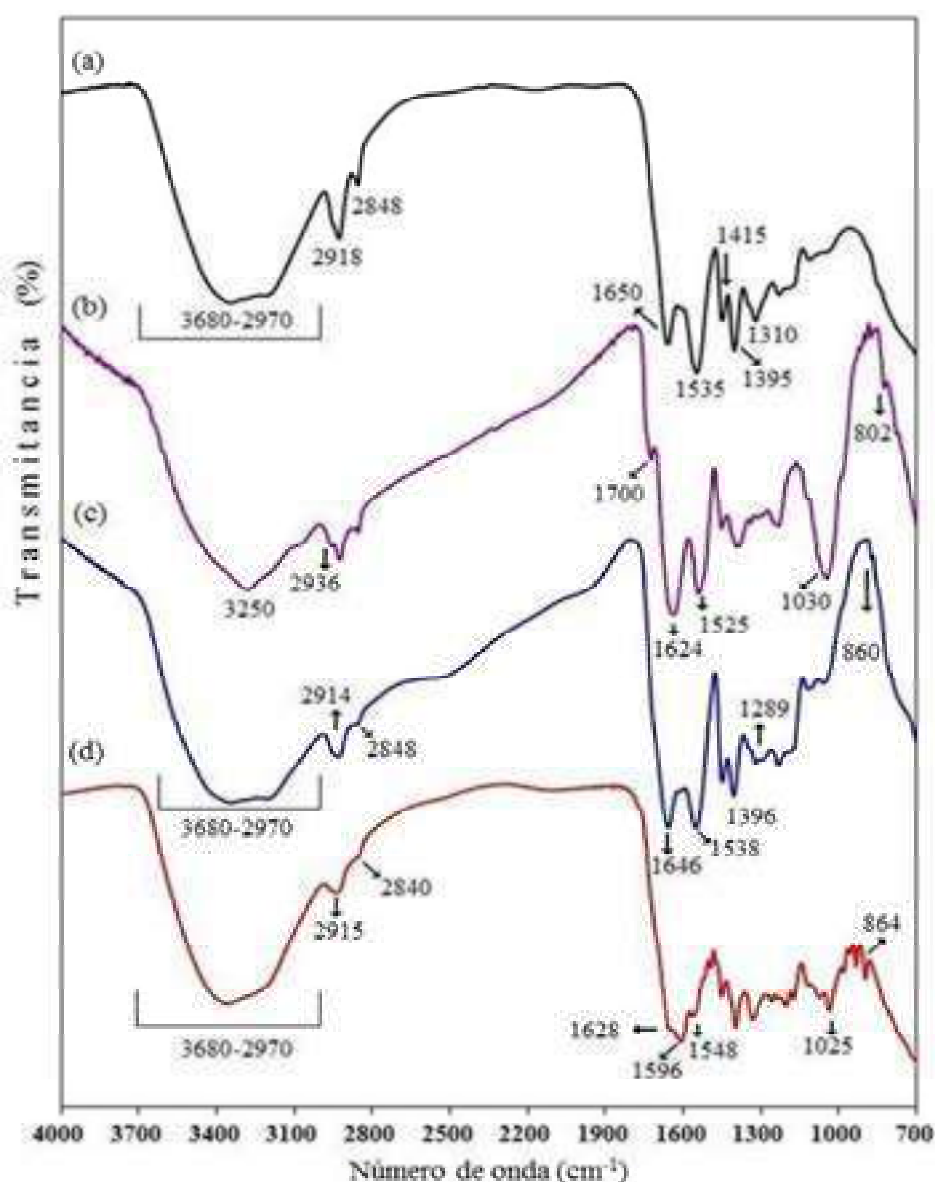


Figura 4. Espectro FTIR por ATR de: (a) PAcNa, (b) HG/*B. oleracea*, (c) HG/*C. ternatea* y (d) HG/*J. secunda*

ATR del hidrogel cargado con *B. oleracea* al 23 % m/v (HG/*B. oleracea*). Se confirma la interacción del hidrogel con el extracto de *B. oleracea*, al comparar el espectro del HG-PAAC con el HG/*B. oleracea*, encontrándose un claro cambio de intensidad en algunas bandas de absorción. La disminución de la intensidad de la banda ancha entre 3680,00 y 2970,00 cm^{-1} y la presencia de una señal a 3250,00 cm^{-1} , se atribuye a la vibración OH en el PAAC cuando interactúa con la antocianina del colorante (POURJAVAHER ET AL. 2017; KUSWANDI ET AL. 2020); al igual que el desplazamiento de la señal de 1650,00 a 1624,00 cm^{-1} ; y de 1535,00 a 1525,00 cm^{-1} , indicando que la interacción ocurre por el ion carboxilato. La disminución de la absorción de estiramiento de C-H a 2918,00 y 2848,00 cm^{-1} también muestra cambios claros en el hidrogel, asociados con la formación de nuevos enlaces entre el PAAC y los anillos aromáticos de la *B. oleracea*. La aparición de las señales en 2936,00, 1030,00 y 802,00 cm^{-1} , corresponden a estiramiento C-H de alcanos, estiramiento C-O de fenoles y alcoholes primarios, y la flexión C-H fuera del plano correspondiente a un anillo aromático p-disustituido, respectivamente, evidencian la presencia del indicador. Una señal importante es la que aparece en 1700 cm^{-1} en el HG/*B. oleracea*, característica del modo de estiramiento C=O para grupos carboxilatos protonados que forman dímeros cíclicos (LEE ET AL. 1996). Por último, la desaparición de la señal en 1310,00 cm^{-1} correspondiente a la vibración de estiramiento de C-O simétrico, corrobora que la interacción ocurre por el ion COO^- .

Generalmente, las antocianinas son catiónicas debido a su oxígeno cargado positivamente en el anillo central de pirano (POURJAVAHER ET AL. 2017; KUSWANDI ET AL. 2020), y el PAAC puede considerarse aniónico cuando está en solución debido a que al entrar en contacto con el agua

se libera una gran cantidad de iones sodio al medio, conservando en la cadena los iones carboxilo libres de naturaleza aniónica (MOSQUERA 2012). Al sumergir el HG-PAAC en una solución de antocianinas, las moléculas de antocianina son absorbidas por el HG debido a las interacciones polares entre el ion oxonio en la antocianina y el COO^- (o COOH) en el PAAC.

Por su parte, no se observaron desplazamientos apreciables en las señales de los espectros FTIR-ATR entre el HG-PAAC y el hidrogel cargado con solución de *C. ternatea* 16,00% m/v (**Figura 4c**), lo que sugiere que la introducción de la *C. ternatea* en el HG no tuvo influencia en la estructura molecular de este. No obstante, las bandas a 1051,00 y 882,00 cm^{-1} indican la presencia del indicador en el hidrogel. Además, es posible que el desplazamiento de la señal de 1310,00 cm^{-1} a número de onda más alto (1289,00 cm^{-1}) sea un indicativo de la interacción de los componentes de la *C. ternatea* con los grupos carboxilatos del PAAC. En este estudio no se detectaron desplazamiento de bandas, probablemente atribuyéndose a la superposición de bandas adyacentes; no obstante, el estudio de gravimetría confirmó que el colorante azul presente en la *C. ternatea* se encuentra presente, de manera estable mediante la formación de enlaces de hidrógeno (CHEN ET AL. 2021).

En la **Figura 4d** se muestra el espectro FTIR-ATR del hidrogel cargado con *J. secunda* al 18,00% m/v (HG/*J. secunda*). Aunque, en el método gravimétrico se apreció un cambio en la característica física cuando se sumergió la esfera de PAAC en la solución de *J. secunda*, durante la caracterización de la estructura química no se observó cambio de forma y desplazamiento en algunas bandas, como por ejemplo la ancha absorción que se observa entre 3680,00 y 2970,00 cm^{-1} . Sin embargo, la reducción considerable de la intensidad de

los picos 2915,00 y 2840,00 cm^{-1} , lo que indica una posible formación de extensos enlaces de hidrógeno intermoleculares (HAMZAH ET AL. 2021). El análisis de las señales entre 1630,00 y 1400,00 cm^{-1} confirma la interacción del indicador con el hidrogel, ya que se aprecia un desplazamiento fuerte de las bandas de 1660,00 y 1547,00 cm^{-1} a 1628,00, 1596,00 y 1548,00 cm^{-1} , se ha reportado que estos resultados son consistentes a la presencia de flavonoides (MAFTOONAZADA Y RAMASWAMY 2019). Esto indica que la interacción ocurre nuevamente por el ion carboxilato. La aparición de las señales entre 1100,00-860,00 cm^{-1} , confirman nuevamente la presencia del extracto de *J. secunda* dentro del hidrogel, porque pueden estar relacionados con la vibración de estiramiento C-O-C, la vibración de estiramiento del alquil aril éter C-O-C-O-C y a la deformación del anillo aromático C-H H (PEREIRA JUNIOR ET AL. 2015; ABEDI-FIROOZJAH ET AL. 2022).

Evaluación de la liberación de los extractos

Varios estudios se han centrado en la inmovilización de antocianinas en películas inteligentes mediante polímeros y/o biopolímeros aniónicos (ZHANG ET AL. 2014; DEVARAYANB Y KIM 2015; WU ET AL. 2019; MOHAMMADALINEJHAD ET AL. 2020; RAWDKUEN ET AL. 2020). No obstante, son pocos los reportes que demuestran la manera en que el colorante se encuentra dentro del hidrogel. A continuación, se presentan los estudios realizados en la liberación de los extractos cuando están interactuando con la estructura interna del PAcNa.

Para la evaluar la liberación de los extractos, los hidrogeles PAcNa se sumergieron por 3 h en las soluciones de extractos de *B. oleracea*, *C. ternatea* y *J. secunda*. Terminado el tiempo, los HG/extractos se colocaron en agua destilada por 24 horas.

Método Gravimétrico

En la **Figura 5** se observa el porcentaje de hinchamiento de los hidrogeles sumergidos en la solución de *B. oleracea* (23,00% m/v), *C. ternatea* (16,00% m/v) y *J. secunda* (18,00% m/v) y, el porcentaje de hinchamiento de los hidrogeles colocados en agua destilada. Se aprecia un aumento en el grado de hinchamiento cuando el HG que estuvo inmerso después de 3 horas en las soluciones de extractos, discutido anteriormente, con valores de 3843,00, 6774,00 y 332,00%, respectivamente.

En la figura también se aprecia un aumento en el grado de hinchamiento luego que los HG-PAcNa/extractos fueron sumergidos en agua destiladas por 24 h, de 3843,00 a 16483,00% para el HG/ *B. oleracea*, de 6774,00 a 16743,00% para el HG/ *C. ternatea* y de 3321,00 a 19417,00% para el HG/*J. secunda*.

Estos resultados se deben a que la presión osmótica permite el paso de agua hacia el interior del hidrogel, y a la fuerza hidrostática que provoca la salida del extracto fuera del mismo, alcanzando un equilibrio entre ambas fuerzas, en donde la presión osmótica no permita el paso de agua hacia el interior del gel (SÁENZ ET AL. 2003). Se debe considerar que la capacidad de absorción de un hidrogel depende de su grado de hinchamiento, el cual es un proceso de expansión del polímero donde las fuerzas osmóticas permiten el ingreso de agua a la red tridimensional, logrando que el hidrogel pueda absorber cierta cantidad de agua hasta llegar al punto donde las fuerzas cohesivas poseen resistencia al proceso de expansión (el polímero llega a su estado de saturación) sin perder la forma original (ESPINOZA Y JIMÉNEZ 2016).

Espectroscopía UV-visible

Las soluciones con el extracto liberado por el hidrogel después de estar en contacto con agua destilada por 24 horas se analizaron por es-

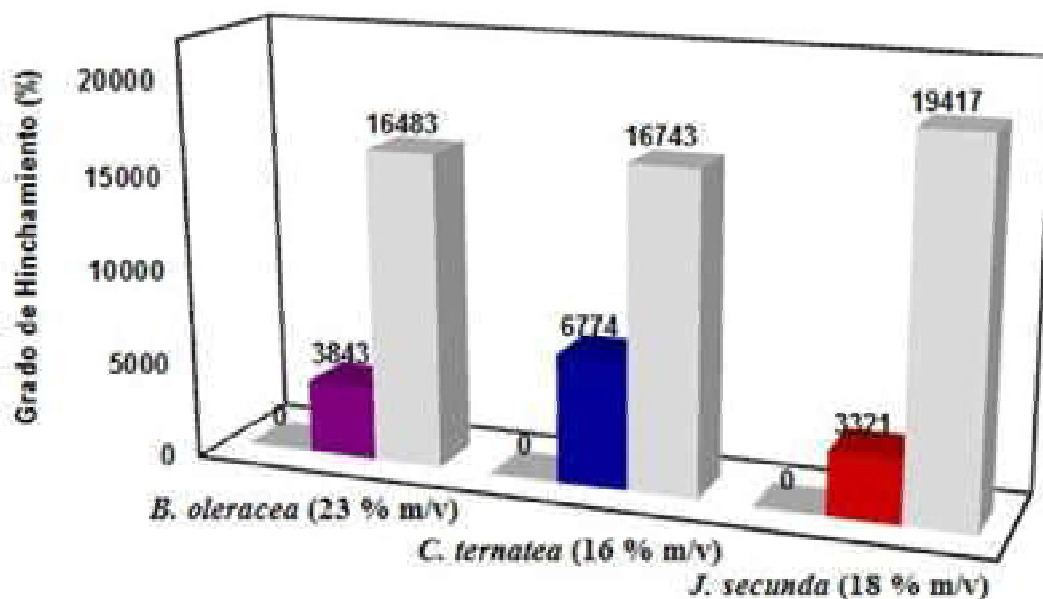


Figura 5. Variación de la absorción-liberación de los extractos de *B. oleracea* (23,00 % m/v), *C. ternatea* (16,00 % m/v) y *J. secunda* (18,00 % m/v) en el HG-PaNa

pectroscopia UV-visible. En la **Figura 6** se muestra los espectros UV-visible de las soluciones originales (solución inicial) las soluciones liberadas por el HG para *B. oleracea*, *C. ternatea* y *J. secunda*.

Para cada una de las soluciones iniciales se observaron señales de máxima absorción. En el caso de la *B. oleracea* se apreciaron dos máximos de absorción a 285,00 y 545,00 nm, siendo este último el que se asigna a la antocianidina denominada cianidina y sus formas glicosiladas, ya que son los compuestos reportados en mayor proporción para esta especie vegetal (ARAPITSAS ET AL. 2008). Por su parte, la solución de *C. ternatea* presentó dos bandas de absorción a 575,00 y 618,00 nm, las cuales se deben a la presencia de los dos tautómeros de bases quinonoidales de color azul (LEE Y ABDULLAH 2001; además, en la **Figura 6b** se aprecia una señal débil a 534,00 nm, la cual se atribuye a las mezclas de equilibrio de cationes de flavilio (GUIMARÃES ET AL. 2012).

Para el caso de la *J. secunda*, se encontró una banda principal de absorción a 290,00 nm, que

ha sido reportada para compuestos polifenólicos, los cuales muestran una estructura química de tipo flavona, señal que puede ser atribuida a la luteolina y sus formas glicosiladas (KOFFI ET AL. 2013). Estos resultados demuestran que los extractos se han inmovilizados de la estructura interna del HG. (WU ET AL. 2019) indicaron que debido a la alta hidrofiliidad de las antocianinas, su estabilidad disminuye al migrar a la superficie de la película inteligente, en condiciones de humedad, pero con la inmovilización de antocianinas en películas inteligentes mediante biopolímeros aniónicos, se puede superar este inconveniente.

Espectroscopia FTIR

Después de realizado el estudio de la liberación de los extractos en agua destilada, se dejaron secar los HG a temperatura ambiente para su posterior análisis de FTIR-ATR. En la **Figura 7** se presenta los espectros FTIR-ATR de HG-PAAc y del hidrogel luego de la liberación de los tres extractos, respectivamente.

En los tres casos, los espectros de los HG/extractos-liberación presentan las mismas ban-

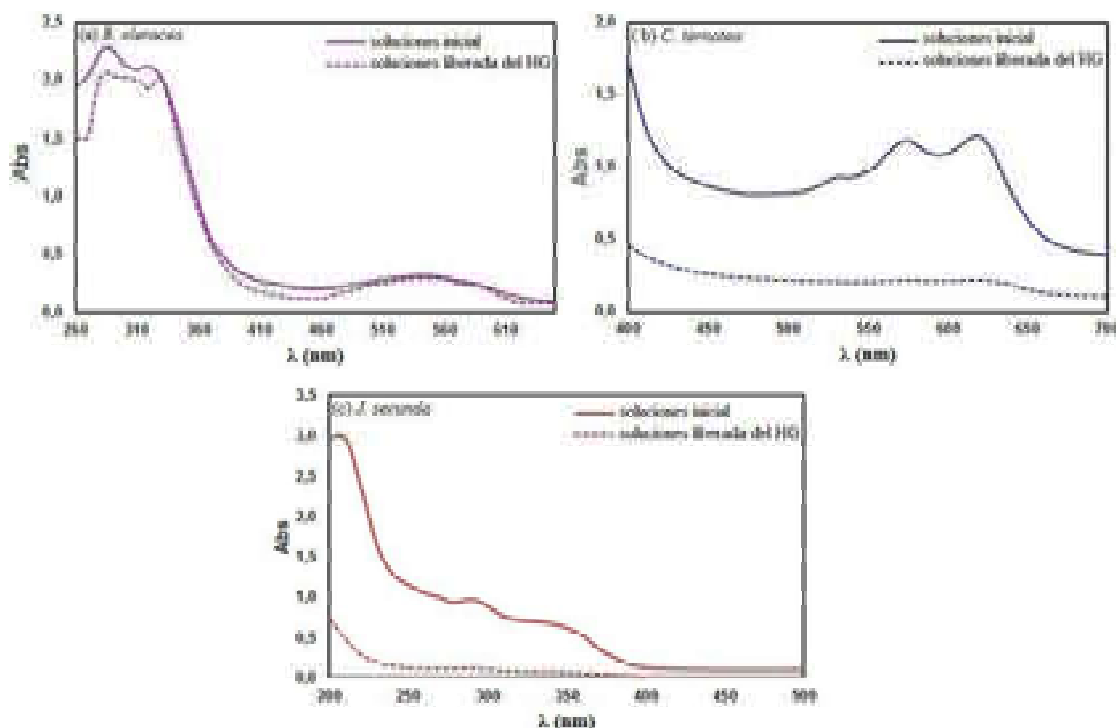


Figura 6. Espectros de UV-Visible de las soluciones originales y liberadas por HG: (a) *B. oleracea*, (b) *C. ternatea* y (c) *J. secunda*.

das de absorción que los espectros HG/extracto, lo que implica que la composición química y la estructura de los HG/extractos y el HG de PAcNa (como control) son consistentes. En el espectro para HG/*B. oleracea*-liberado se puede observar una banda a $1700,00\text{ cm}^{-1}$ que corresponden a los flavonoides presentes en el extracto de *B. oleracea* (Figura 7a), también, las señales en las regiones $1650,00\text{--}1535,00\text{ cm}^{-1}$. En el espectro del HG/*C. ternatea*-Liberado aparece las bandas a $1051,00$ y $882,00\text{ cm}^{-1}$ indican la presencia del indicador, al estiramiento de C-O de fenoles y a los compuestos aromáticos sustituidos (Figura 7b). En la Figura 7c se muestra el espectro FTIR-ATR para HG/*J. secunda*-Liberación, donde se observa el mismo comportamiento que en las otras muestras, espectro es bastante similar al del HG/extracto. Las bandas que aparecen entre $1200,00$ y $1400,00\text{ cm}^{-1}$ y las que se muestran entre $800,00$ y $1000,00\text{ cm}^{-1}$ correspondientes a

enlaces de compuestos aromáticos.

En general, los espectros FTIR de los HG/extractos después de la liberación en agua destilada de los extractos indican que aún existen moléculas de los metabolitos secundarios presentes en los extractos, que no fueron liberadas por el hidrogel en medio acuoso. Los resultados de los espectros UV-visible y FT-IR confirmaron que los colorantes naturales que se encuentran en los extractos de *B. oleracea*, (b) *C. ternatea* y (c) *J. secunda* se inmovilizaron de manera estable en la matriz del hidrogel de PAcNa mediante la formación de enlaces probablemente de hidrógeno, que son más débiles que los enlaces químicos covalentes y tienen poco o ningún efecto sobre las propiedades halocrómicas de los extractos (SILVA-PEREIRA ET AL. 2015; WU ET AL. 2019; ABEDI-FIROOZJAH ET AL. 2022), conocido como un sistema híbrido (MAFTOONAZADA Y RAMASWAMY 2019; ABEDI-FIROOZJAH ET AL. 2022) interconectado debido a la fuerte interacción entre los

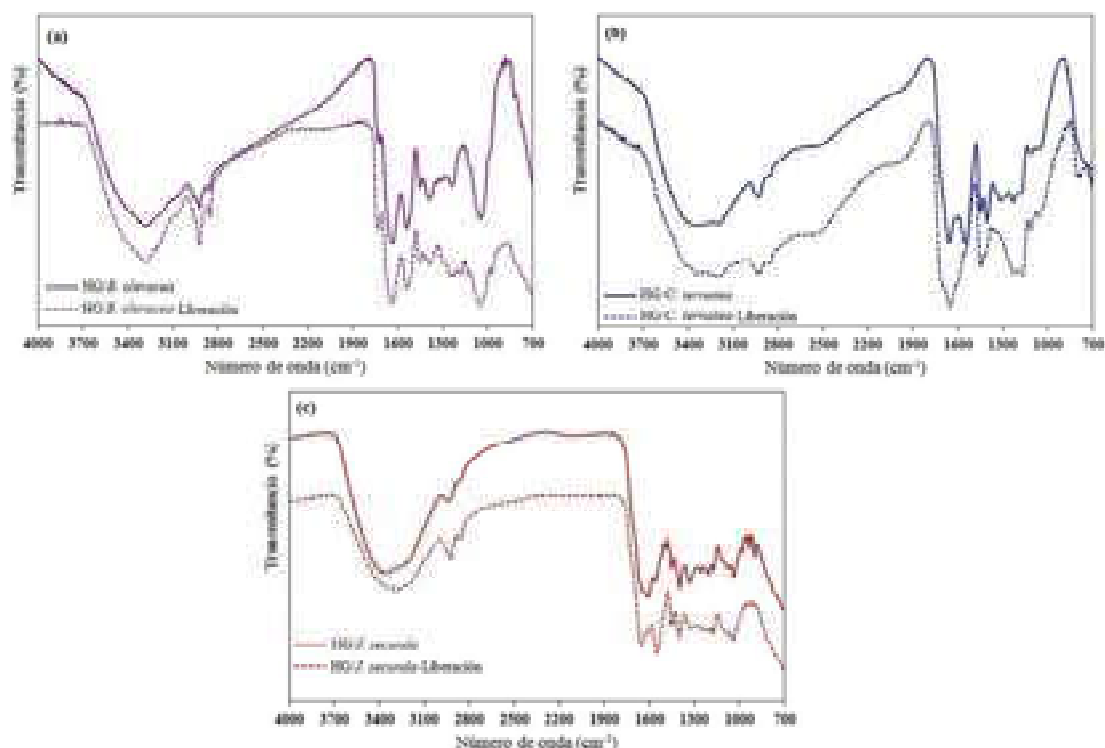


Figura 7. Espectros FTIR-ATR de los HG/extractos e HG/extractos después de la liberación en agua destilada. (a) *B. oleracea*, (b) *C. ternatea* y (c) *J. secunda*

grupos COO⁻ del PAAcNa con los grupos OH en los tres extractos.

CONCLUSIONES

El método de extracción convencional utilizado en la investigación arrojó un rendimiento porcentual por encima del 50,00% para todos los extractos, sugiriendo que la polaridad de los compuestos extraídos en la flor de *B. oleracea*, *C. ternatea* y hoja de *J. secunda* es similar o que poseen una excelente afinidad por el etanol. El estudio fitoquímico reveló resultado positivo para flavonoides y polifenoles para todas las especies de plantas utilizadas; además de la presencia de cumarinas solo en el extracto de *C. ternatea*, y de saponinas solo en *B. oleracea*. Por FTIR se confirmó la presencia de grupos funcionales correspondientes a los metabolitos detectados como saponinas y diversos compuestos fenólicos como flavonoides y cumarinas. La

capacidad de absorción de los HG/solución de extractos fue menor que la del agua, lo que indica que los componentes presentes en cada uno de los extractos interaccionan con los grupos funcionales presentes en el HG, observándose durante el hinchamiento el proceso de captación del colorante en cada extracto por parte del HG-comercial. Por FTIR se confirma la interacción del hidrogel con el extracto de *B. oleracea*; sin embargo no se observaron desplazamientos apreciables en las señales de los espectros FTIR-ATR entre el HG-PAAcNa, el hidrogel cargado con solución de *C. ternatea* y con en la solución de *J. secunda*. Varios estudios se han centrado en la inmovilización de antocianinas en películas inteligentes mediante polímeros y/o biopolímeros aniónicos; no obstante, son pocos los reportes que demuestran la manera en que el colorante se encuentra dentro del hidrogel. Los resultados de los espectros UV-visible y FT-

IR de la investigación confirmaron que los colorantes naturales que se encuentran en los extractos de *B. oleracea*, (b) *C. ternatea* y (c) *J. secunda* se inmovilizaron de manera estable en la matriz del hidrogel de PAcNa mediante la formación de enlaces probablemente de hidrógeno.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al M.Sc. Jesús Bello, profesor del Departamento de Biología, Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente, Venezuela por su ayuda en la identificación y autenticación del material vegetal utilizado. También agradecen la ayuda obtenida del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente por el financiamiento del Proyecto N° CI-02-010200-1998-18.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEDI-FIROOZJAH R., YOUSEFI S., HEYDARI M., SEYEDFATEHI F., JAFARZADEH S., MOHAMMADI R., ROUHI M. & GARAVAND F. 2022. Application of red cabbage anthocyanins as pH-sensitive pigments in smart food packaging and sensors. *Polymers*. 14: 1-21. DOI:10.3390/polym14081629.
- AHMED M. F., SRINIVASA RAO A., AHMED S. R. & IBRAHIM M. 2012. Phytochemical studies and antioxidant activities of *Brassica oleracea* L.var.capitata. *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.* 4(S3): 374-378.
- AJURU M.G., KPEKOT A. K., OMUBO J. & MORRISON I. 2021. Comparative study of proximate and phytochemical analysis of the roots of *justicia carnea* Lindl. and *Justicia secunda* Vahl. *Niger Ann. Pure Appl. Sci.* 4 (1): 22-33. DOI: 10.46912/napas.217.
- AJURU M.G., KPEKOT A. K., ROBINSON G. E. & AMUTADI M. C. 2022. Proximate and phytochemical analysis of the leaves of *Justicia carnea* Lindl. and *Justicia secunda* Vahl and its taxonomic implications. *J Biomed. Biosens.* 2(1): 1-12.
- ANYASOR G. N., OKANLAWON A. A. & OGUNBIYI B. 2019. Evaluation of anti-inflammatory activity of *Justicia secunda* Vahl leaf extract using in vitro and in vivo inflammation models. *Clin. Phytosci.* 5(1): 49. DOI: 10.1186/s40816-019-0137-8.
- ARAPITSAS P., SJÖBERG PER J.R. & TURNER C. 2008. Characterisation of anthocyanins in red cabbage using high resolution liquid chromatography coupled with photodiode array detection and electrospray ionization-linear ion trap mass spectrometry. *Food Chem.* 109: 219-226.
- ARIF KHAN P. M. & FAROOQUI M. 2011. Analytical applications of plant extract as natural pH indicator: A Review. *J. Adv. Sci. Res.* 2(4): 20-27.
- AROGBODO J. O. 2020. Evaluation of the phytochemical, proximate and elemental constituents of *Justicia secunda* M. Vahl LEAF. *Int. J. Innovative Sci.* 5(5): 1262- 1268.
- AYADI J., DEBOUBA M., RAHMANI R. & BOUAJILA J. 2022. *Brassica* genus seeds: A review on phytochemical screening and pharmacological properties. *Molecules*. 27: 1-34. DOI: 10.3390/molecules27186008.
- AYODELE A. E., ODUSOLE O. I. & ADEKANMBI A. O. 2020. Phytochemical screening and in-vitro antibacterial activity of leaf

- extracts of *Justicia secunda* Vahl on selected clinical pathogens. *MicroMed.* 8(2): 46-54. DOI: 10.5281/zenodo.3985136.
- BALBINOT-ALFARO E., VIEIRA CRAVEIRO D., OLIVEIRA LIMA K., LEÃO GOUVEIA COSTA H., RUBIM LOPES D. & PRENTICE C. 2019. Intelligent packaging with pH indicator potential. *Food Eng. Rev.* 235-244. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09198-9>.
- BEJARANO L., ROJAS B., PRIN J., MOHSIN M., GARCÍA A., MOSTUE M., ROJAS L., RAMÍREZ M. Y KATIME I. 2008. Síntesis y estudio de hidrogeles obtenidos a partir de acrilamida, poli(ácido acrílico) y ácido maléico como potenciales remediadores de contaminantes metálicos en aguas residuales. *Rev. Iberoam. Polymer.* 9(3): 307-312.
- BENÍTEZ J. L. 2019. Diseño de hidrogeles como herramienta para la absorción de metales presentes en aguas residuales, fuentes hidrotermales y otros fluidos de interés. [Tesis Doctoral presentada como requisito parcial para Optar al Título de Doctor en Ciencia de los Materiales. Universidad de Oriente], Cumaná, Venezuela.
- BENÍTEZ J. L., LÁREZ VELÁSQUEZ C. Y ROJAS DE GÁSCUE B. 2015. Cinética de absorción y transporte del agua en hidrogeles sintetizados a partir de acrilamida y anhídrido maleico. *Rev. LatinAm. Metal.* 35(2): 242-253.
- BR TARIGAN L. D., LISTER I. N. E., FACHRIAL E. & ARMANSYAH A. 2022. Phytochemical of ethanolic extract of cabbage (*Brassica oleracea*) collected from medan, Indonesia. *J. Chem. Nat. Resources.* 4(1):37-41.
- CAÑAMERO A. Y GÓMEZ M. 2011. Juguetes y polímeros superabsorbentes. *REurEDC.* 8: 460-465.
- CELIK C., ILDIZ N., KAYA M.Z., KILIC A.B. & OCSOY, I, 2020. Preparation of natural indicator incorporated media and its logical use as a colorimetric biosensor for rapid and sensitive detection of methicillin resistant *Staphylococcus aureus*. *Anal. Chim. Acta.* 1128: 80-89. DOI: 10.1016/j.aca.2020.06.005.
- CHAUHAN E. S., TIWARI A. & SINGH A. 2016. Phytochemical screening of red cabbage (*Brassica oleracea*) powder and juice-A comparative study. *J. Med. Plants Stud.* 4(5): 196-199.
- CHEN M., YANA T., HUANG J., ZHOUA Y. & HU Y. 2021. Fabrication of halochromic smart films by immobilizing red cabbage anthocyanins into chitosan/oxidized-chitin nanocrystals composites for real-time hairtail and shrimp freshness monitoring. *Int. J. Biol. Macromol.* 179: 90–100.
- DAS A., SHANMUGA PRIYA G., SOUNDARIYA S., DEEPESH P., EDWIN A. R., VIHASHINEE E., RUBIGA A., MEGAVARTHINI S., ESWARAN R. & BINDHU J. 2020. Antibacterial and in vitro Anticancer Study of Methanol Extracts of *Clitoria ternatea* Leaves. *J. Nat. Remedies.* 20(2): 96-102. DOI: 10.18311/jnr/2020/24381.
- DEVARAYANB K. & KIM B-S. 2015. Reversible and universal pH sensing cellulose nanofibers for healthmonitor. *Sens. Actuators B.* 209: 281–286.
- DOMINGUEZ ARAGÓN I. M. 2020. *Justicia secunda* Valh, especie utilizada en la medicina indígena colombiana. [Trabajo Fin de Grado. Grado de Farmacia. Uni-

- versidad de Sevilla], Colombia.
- ESPINOZA C. Y JIMÉNEZ L. 2016. Desarrollo de una propuesta para la obtención de hidrogeles. [Trabajo de Grado. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería Química. Fundación Universidad de América], Bogotá, Colombia.
- GHUZALI N. A. M., CHE MOHD NOOR M. A. A., ZAKARIA F. A., HAMIDON T. S. M. & HUSIN H. 2021. Study on *Clitoria ternatea* extracts doped sol-gel coatings for the corrosion mitigation of mild steel. *Appl. Surf. Sci. Adv.* 6: 100177. DOI: 10.1016/j.apsadv.2021.100177.
- GUIMARÃES W., RIBEIRO M. & ANTONIOSI N. 2012. Antocianinas em extratos vegetais: Aplicação em titulação ácido-base e identificação via Cromatografia Líquida/Espectrometria de massas. *Quim. Nova.* 35: 1-3.
- HALÁSZ K. & CSÓKA L. 2018. Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) pomace extract immobilized in chitosan for colorimetric pH indicator film application. *Food Packag. Shelf Life.* 16: 185–193.
- HAMZAH N. H. C., SHAIID N. A. M., MERAIS M. S. & KHAIRUDDIN N. 2021. Smart food packaging from sago starch incorporated with anthocyanin from *Brassica oleracea*. *International Conference on Green Agro-industry and Bioeconomy*. IOP Conf. Series: *Earth Environ. Sci.* 733: 012030. DOI:10.1088/1755-1315/733/1/012030.
- HIDAYATI N.A., WIJAYA M.W., BINTORO V.P., MULYANI S. & PRATAMA Y. 2021. Development of biodegradable smart packaging from chitosan, polyvinyl alcohol (PVA) and butterfly pea flower's (*Clitoria ternatea* L.) anthocyanin extract. *Food Res.* 5(3): 307-314. DOI: 10.26656/fr.2017.5(3). 537.
- JEYARAJ E. J., LIM Y. Y. & CHOO W. S. 2020. Extraction methods of butterfly pea (*Clitoria ternatea*) flower and biological activities of its phytochemicals. *J. Food Sci. Techn.* 2054-2067 DOI: 10.1007/s13197-020-04745-3.
- JIJI K. N. & MURALIDHARAN P. 2021. Identification and characterization of phytoconstituents of ethanolic root extract of *Clitoria ternatea* L. utilizing HR-LCMS analysis. *Plant Sci. Today.* 8(3): 535–540. DOI: 10.14719/pst.2021.8.3.1141.
- KITADI J.M., LENGBIYE E.M., GBOLO B.Z., INKOTO C.L., MUANYISHAY C.L., LUFULUABO G.L., TSHIBANGU D.S.T., TSHILANDA D.D., MBALA B.M., NGBOLUA K. & MPIANA P.T. 2019. Justicia secunda Vahl species: Phytochemistry, pharmacology and future directions: A mini-review. *Discov. Phytomed.* 6(4): 157-171. DOI:10.15562/phytomedicine.2019.93.
- KOFFI E., LE GUERNAVÉ C., LOZANO P., MEUDEEC E., ADJÉ F., BEKRO Y. & LOZANO Y. 2013. Polyphenol extraction and characterization of *Justicia secunda* Vahl leaves for traditional medicine uses. *Ind. Crops Products.* 49: 682-689.
- KOOSHA M. & HAMED S. 2019. Intelligent Chitosan/PVA nanocomposite films containing black carrot anthocyanin and bentonite nanoclays with improved mechanical, thermal and antibacterial properties. *Prog. Org. Coat.* 127: 338–347.
- KUSWANDI B., ASIH N. P., PRATOKO D. K., KRISTININGRUM N. & MORADI M. 2020.

- Edible pH sensor based on immobilized red cabbage anthocyanins into bacterial cellulose membrane for intelligent food packaging. *Packag Technol. Sci.* :1–12. DOI:10.1002/pts.2507.
- LEE D., CONDRATE R. & REED J. 1996. Infrared spectral investigation of polyacrilate adsorption on alumina. *J. Mat. Sci.* 31: 471-478.
- LEE P. & ABDULLAH R. 2001. Thermal degradation of blue anthocyanin extract of *Clitoria ternatea* flower. *Second International Conference on Biotechnology and Food Science IPCBEE*. 7: 49-53.
- MAFTOONAZADA N. & RAMASWAMY H. 2019. Design and testing of an electrospun nanofiber mat as a pH biosensor and monitor the pH associated quality in fresh date fruit (*Rutab*). *Polym. Test.* 75: 76–84.
- MARCANO D. Y HASEGAWA M. 2002. Fitoquímica Orgánica. Segunda edición. Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Caracas, Venezuela.
- MATSUYAMA H., TERAMOTO M. & URANO H. 1997. Analysis of solute diffusion in poly(vinil alcohol) hydrogel membrane. *J. Membr. Sci.* 126(1): 151-160.
- MOHAMMADALINEJHAD S., ALMASI H. & MORADI M. 2020. Immobilization of Echinium amoenum anthocyanins into bacterial cellulose film: A novel colorimetric pH indicator for freshness/spoilage monitoring of shrimp. *Food Control*. 113: 107169. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107169.
- MOSQUERA D. 2012. Estudio del aprovechamiento de subproductos de poliacrilato de sodio y celulosa provenientes de la industria pañalera en procesos de perforación petrolera. [Trabajo de Grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química], Bogotá, Colombia.
- MOSTAFA KAMAL A.T.M., AHMED CHOWDHURY K. A., SHILL L. K., HOSSAIN M. R., ISLAM N., ANAYTULLA AMIN I. & FORHADUL HASSAN M. 2015. Phytochemical screening, cytotoxic and thrombolytic activity of extract of *Brassica oleracea* Flower (Cauliflower). *Global J. Pharmacol.* 9(1): 115-120.
- MPIANA P. T., NGBOLUA K. N., BOKOTA M., KASONGA T. K., ATIBU E. K., TSHIBANGU D. S. & MUDOGO V. 2010. In vitro effects of anthocyanin extracts from *Justicia secunda* Vahl on the solubility of haemoglobin S and membrane stability of sickle erythrocytes. *Blood Transfus.* 8: 248-254 DOI 10.2450/2009.0120-09.
- MURILLO E. Y MÉNDEZ J. 2007. Guía metodológica para la detección rápida de algunos metabolitos secundarios. [Trabajo de grado. Departamento de Química. Facultad de Ciencias. Universidad de Tolima], Colombia.
- NETRAVATI GOMEZ S., PATHROSE B., RAJ N., MEAGLE J. P. & KURUVILA B. 2022. Comparative evaluation of anthocyanin pigment yield and its attributes from Butterfly pea (*Clitoria ternatea* L.) flowers as prospective food colorant using different extraction methods. *Future Foods*. 6: 100199. DOI: 10.1016/j.fufo.2022.100199.
- NIRANJAN M., VAISHNAV V. & MANKAR P. 2020. *In-vitro* analysis of antioxidant and antimicrobial properties of *Garcinia*

- mangostana* L. (pericarp) and *Clitoria ternatea* (flower). *Pharm Innov. J.* 9(3): 468-472.
- ODOKWO E. O. & ONIFADE M. S. 2020. Volatile constituents of the leaves and stem of *Justicia secunda* Vahl. *Commun. Phys. Sci.* 6(2): 827-834.
- OGUNBAMOWO P. O., OLANIYI M. B., AWOTEDU O. L. & LAWAL I. O. 2020. Assessment of the foliar micromorphology, phytochemical and mineral composition of *Justicia secunda* Vahl leaves. *An. Biol.* 42: 183-192. DOI: 10.6018/analesbio.42.20.
- ONOJA S. O., EZEJA M. I., OMEH Y. N. & ONWUKWE B. C. 2017. Antioxidant, anti-inflammatory and antinociceptive activities of methanolic extract of *Justicia secunda* Vahl leaf. *Alexandria J. Med.* 53: 207-213.
- OSIOMA E. & HAMILTON-AMACHREE A. 2017. Comparative study on the phytochemical and in vitro antioxidant properties of methanolic leaf extract of *Justicia secunda* Vahl. *Nigerian J. Sci. Environ.* 15(1): 111-117.
- PEREIRA JUNIOR V.A., DE ARRUDA I.N.Q. & STEFANI R. 2015. Active Chitosan/ PVA films with anthocyanins from *Brassica oleraceae* (Red Cabbage) as time-temperature indicators for application in intelligent food packaging. *Food Hydrocoll.* 43: 180-188 DOI: 10.1016/j.foodhyd.2014.05.014.
- PÉREZ LINO J. P. Y RUIZ CASTRO E. R. 2021. Estudio etnobotánico, químico y antioxidante de *Justicia secunda* Vahl. [Trabajo de Titulación Presentado como Requisito Previo para optar por el Grado de Químicos y Farmacéuticos. Universidad de Guayaquil], Ecuador.
- PLISZKA B., HUSZCZA-CIO³KOWSKA G., MIELESZKO E. & CZAPLICKI S. 2009. Stability and antioxidative properties of acylated anthocyanins in three cultivars of red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata L. f. rubra). *J. Sci. Food Agric.* 89: 1154-1158. DOI 10.1002/jsfa.3565.
- POURJAVAHER S., ALMASI H., MESHKINI S. PIRSA S. & PARANDI E. 2017 Development of a colorimetric pH indicator based on bacterialcellulose nanofibers and red cabbage (*Brassica oleraceae*) extract. *Carbohydr. Polym.* 156: 193-201.
- RAJAMANI L. 2018. Phytochemical and GC-MS analysis of *Brassica oleracea* var. capitata f. rubra. *World J. Pharm. Res.* 7(3): 1392 - 1400. DOI: 10.20959/wjpr20183-10902.
- RAWDKUEN S., FASEHA A., BENJAKUL S. & KAEWPRACHU P. 2020. Application of anthocyanin as a color indicator in gelatin films. *Food Biosci.* 36: 100603. DOI:10.1016/j.fbio.2020.100603.
- ROJAS DE GASCUE B., RAMÍREZ M., AGUILER R., GARCÍA A., PRIN J. L., LIAS J. TORRES C. & KATIME I. 2007. Hidrogeles obtenidos a partir de acrilamida, ácido maleico, ácido acrílico y monoitaconato de octilo: síntesis, capacidad absorbente y variaciones de pH en soluciones de sulfato de cobre. *RTI-LUZ.* 30(1): 74-84.
- ROJAS DE GÁSCUE B., RAMÍREZ M., PRIN J. L., TORRES C., BEJARANO L., VILLARROEL H., ROJAS L., MURILLO M. y KATIME I. 2010. Hidrogeles de acrilamida/ácido acrílico y de acrilamida/poli(ácido acrílico): Estudio de su capacidad de remediación en efluentes industriales. *Rev. LatinAm. Metal.* 30(1): 28-39.

- SÁENZ V., HERNÁNDEZ E. Y SANZ E. 2003. Liberación controlada de fármacos en hidrogeles. *Rev. Iberoam. de Polím.* 4(1): 21-91.
- SILVA-PEREIRA M. C., TEIXEIRA J. A., PEREIRA-JÚNIOR V. A. & STEFANI R. 2015. Chitosan/corn starch blend films with extract from *Brassica oleraceae* (red cabbage) as a visual indicator of fish deterioration. *LWT. Food Sci. Techn.* 61(1): 258-262. DOI:10.1016/j.lwt.2014.11.041.
- SHOFI UDDIN A. N. M., CHAKMA B., MONDAL B., RAMPROSHAD S., ANISUZZMAN M. D., BOKSHI B. & SADHU S. K. 2022. Phytochemical screening and pharmacological assessment of *Justicia aurea* grown in Bangladesh. *Int. J. Pharm. Sci. Rev. Res.* 75(2): 130-134.
- ŚWIATEK Ł., SIENIAWSKA E., SINAN K.I., ZENGİN G., BOGUSZEWSKA A., HRYC B., BENE K., POLZ-DACEWICZ M. & DALL'ACQUA S. 2023. Chemical characterization of different extracts of *Justicia secunda* Vahl and determination of their anti-oxidant, anti-enzymatic, anti-viral, and cytotoxic properties. *Antioxidants*. 12: 509. DOI: 10.3390/antiox12020509
- TARIGAN L. D., BR. LISTER I N. E., FACHRIAL E. & ARMANSYAH A. 2022. Phytochemical of ethanolic extract of cabbage (*Brassica oleracea*) collected from medan, Indonesia. *J. Chem. Nat. Resour.* 4(1):37-41.
- UMOH R. A., IMOH I. J., UMOH O. T., UDOH A. E., ANAH V. U. & OBAH-ENI L. C. 2020. Pharmacognostic evaluation of the leaves and stems of *Justicia secunda* VAHL. (Acanthaceae). *World J. Pharm. Res.* 9(11): 5-18.
- WU C., LI Y., SUN J., LU Y., TONG C., WANG L., YAN Z. & PANG J. 2019. Novel konjac glucomannan films with oxidized chitin nanocrystals immobilized red cabbage anthocyanins for intelligent food packaging. *Food Hydrocoll.* 98: 105245. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.105245.
- YAMOAH A., ADOSRAKU R.K., AMENU J.D., BAAH M.K. & ABAYE D.A. 2020. Evaluation of the haematinic activities of extracts of *Justicia secunda* Vahl leaves in red blood cells of laboratory rats. *J. Biosci. Med.* 8: 48-57. DOI: 10.4236/jbm.2020.83006.
- YAN J., CUI R., QIN Y., LI L. & YUAN M. 2021. A pH indicator film based on chitosan and butterfly pudding extract for monitoring fish freshness. *Int. J. Biol. Macromol.* 177: 328–336.
- ZHANG J., ZOU X., ZHAI X., HUANG X.W., JIANG C. & HOLMES M. 2019. Preparation of an intelligent pH film based on biodegradable polymers and roselle anthocyanins for monitoring pork freshness. *Food Chem.* 272: 306-312. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.08.041.
- ZHANG X., LU S. & CHEN X. 2014. A visual pH sensing film using natural dyes from *Bauhinia blakeana* Dunn. *Sens. Actuators B: Chem.* 198: 268-273. DOI:10.1016/j.snb.2014

Obtenga resultados precisos de manera rápida y sencilla



Este innovador equipo te ofrece la caracterización de materiales de manera rápida, fácil y exhaustiva. Diseñado para las exigencias más complejas, la 209 F1 Libra® es una microbalanza térmica estanca al vacío que garantiza resultados precisos en un amplio rango de temperatura.

Termobalanza 209 F1 Libra® de NETZSCH para ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO

- Doble de rapidez gracias a la función BeFlat®: no es necesario determinar previamente la línea base, ya que el equipo compensa automáticamente factores externos que podrían influir en las mediciones. Ahorre tiempo y optimice tu trabajo en el laboratorio.
- Veinte veces más rápida la velocidad de calentamiento con relación a los sistemas actuales: el micro horno cerámico de altas prestaciones permite alcanzar temperaturas de hasta 1100°C y un calentamiento de hasta 200K/min. Obtenga resultados en pocos minutos, incluso en altas temperaturas.
- Caracterización exhaustiva y rápida con el sistema patentado c-DTA®: el cual mide directamente la temperatura de la muestra, detectando y mostrando reacciones endotérmicas y exotérmicas, como el punto de fusión. Obtenga información del comportamiento de sus muestras sin requerir determinaciones adicionales.
- Materiales cerámicos de alta calidad para mayor durabilidad: el horno cerámico especialmente diseñado ofrece una vida útil superior, incluso trabajando con materiales corrosivos. Analiza polímeros fluorados o clorados sin problemas. Además, el diseño del horno previene la condensación de gases, evitando efectos de memoria y aumentando la durabilidad del equipo.

¡No pierda la oportunidad de contar con la última novedad en TGA de NETZSCH en tu laboratorio! Contáctenos para más información

ESTRATEGIAS DE GESTIÓN PARTICIPATIVA EN LA UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS DE LA SALUD "HUGO CHÁVEZ FRÍAS", NÚCLEO SUCRE, AÑO 2022

(PARTICIPATORY MANAGEMENT STRATEGIES AT THE "HUGO CHÁVEZ FRÍAS" UNIVERSITY OF HEALTH SCIENCES, NÚCLEO SUCRE, YEAR 2022)

ERSI VARGAS DÍAZ¹; DAMARIS ZERPA DE MÁRQUEZ^{1,2}

¹Universidad de las Ciencias de la Salud Hugo Chávez Frías, Núcleo Sucre. ²Departamento de Administración, Escuela de Administración, Núcleo de Sucre, Universidad de Oriente

Dzerpa2@gmail.com

RESUMEN

La gestión participativa es una estrategia para desarrollar los servicios de calidad y optimizar los niveles de eficiencia y productividad de las instituciones; motivo por el cual el objetivo del presente estudio es definir estrategias de gestión participativa en la universidad de las ciencias de la salud "Hugo Chávez Frías" (UCS "HChF"), núcleo Sucre, año 2022. Es un estudio descriptivo, de corte transversal, con una población de 58 personas y se aplicó un cuestionario, previo consentimiento informado. Resultando que la mayoría consideró que el desarrollo de modelos de gestión, formación, generación y socialización de saberes, son necesarios para responder al encargo social de la UCS, la cual se encuentra en articulación con todas las formas organizativas del sistema público nacional de salud, principalmente con las áreas de salud integral comunitaria (ASIC) y con el sistema de misiones y grandes misiones. Internamente la UCS pone en práctica la buena política de comunicación, logrando cambios progresivos con mejoras permanente, fundamentada en una visión democrática de la gestión, orientada al talento humano y caracterizada por trabajo colaborativo entre sociedad y gobierno, con mecanismos de vinculación basados en la mejora de la calidad académica con pertinencia social, triangulación y análisis participativo de la información y el alcance del proceso de integración que predominó fue aumento del compromiso y la responsabilidad de los trabajadores. Se definió una estrategia de combinación a lo interno y externo, como: gerencia de procesos de gestión participativa y alianzas estratégicas con todas las formas de organización de pueblo, respectivamente.

Palabras clave: Estrategias, gestión participativa, articulación, formas organizativas, visión democrática.

ABSTRACT

Participatory management is a strategy to develop quality services and optimize the levels of efficiency and productivity of institutions; for this reason, the objective of this study is to define participatory management strategies at the university of health sciences

"Hugo Chávez Frias" (UCS "HChF"), nucleo Sucre, year 2022. This is a descriptive, cross-sectional study with a population of 58 people and a questionnaire was applied, with prior informed consent. As a result, the majority considered that the development of models of management, training, generation and socialization of knowledge are necessary to respond to the social mandate of the UCS, which is in articulation with all the organizational forms of the national public health system, mainly with the areas of comprehensive community health (ASIC) and with the system of missions and great missions. Internally, the UCS puts into practice the good communication policy, achieving progressive changes with permanent improvements, based on a democratic vision of management, oriented to human talent and characterized by collaborative work between society and government, with linkage mechanisms based on the improvement of academic quality with social relevance, triangulation and participatory analysis of information and the scope of the integration process that predominated was an increase in the number of students. Commitment and responsibility of workers. A strategy of combination of internal and external aspects was defined, such as: management of participatory management processes and strategic alliances with all forms of village organization, respectively.

Key: Strategies, participatory management, articulation, organizational forms, democratic vision.

INTRODUCCIÓN

La gestión participativa es un modelo sustentado en la autoridad compartida, donde los directivos tienen responsabilidades con los subordinados, en cuanto a la autoridad, permitiendo que estos últimos se involucren en la toma de decisión a través del trabajo en equipo (TORRES 2007). Constituye una de las mejores formas de afrontar la complejidad, dada por las múltiples interacciones con sistemas externos y elementos internos de carácter impredecible; donde la comunicación es un factor determinante ((McDANIEL Y ASHMOS 1980). Este proceso permite fomentar la interrelación entre los miembros de la organización, generar conocimiento, difundir y transferir saberes (TORRES . 2011) y favorecer acciones colectivas orientadas a cambiar una situación o satisfacer ciertos objetivos tales como mejorar las condiciones de vida, sumarse a otros procesos sociales o concretar un proyecto común (COLMENARES Y SÁNCHEZ 2017).

.El diseño, uso y aplicación de estrategias de

gestión participativa proporcionan la fortaleza requerida para comprender las distintas dificultades sobre las cuales recae la responsabilidad social de las universidades y solucionarlas, asumiéndolas como organizaciones productoras del conocimiento en cuyo seno se realizan importantes actividades de investigación dirigidas hacia lo interno y el entorno (TORRES . 2011).

Existe una gran variedad de estudios y posturas que resaltan la necesidad de enfoques de carácter más participativo en la gestión (GARCÍA 2005), especialmente en la gestión del sector público (BARBOZA 2009). Propuestas como la de VELASCO (2000), muestran un modelo que resalta la participación del docente, como el eje clave para buscar la mejora de la calidad educativa, con un fuerte piso teórico en los círculos de calidad total nacidos en Japón y la teoría Z de la administración. La novedad de este modelo, está en que la participación se conceptualiza como el involucramiento de los actores, así como en el llamado

a definir los criterios de calidad.

En este panorama teórico, la gestión participativa tiene una serie de características dentro de las que se pueden resaltar: la coherencia con las aproximaciones de investigación tipo acción, acción participativa y liberadoras, que potencian la coproducción de conocimiento; el involucramiento de diversos actores (VELASCO 2000), incluso en los procesos de evaluación, favoreciendo la inclusión de temas y estrategias acordes a las necesidades y aumentando la comprensión del programa y mayor reconocimiento de la realidad local (RIVERA ET AL. 2013); favorecimiento de procesos de transformación, fortaleciendo la capacidad de gestión local (INSTITUTO INTERNACIONAL DE PLANEAMIENTO DE LA EDUCACIÓN [IIPPE], 1998); fomento del ejercicio de la democracia (participativa); triangulación constante y análisis participativo de la información; refuerzo de la estructura social e intensificación de la capacidad local; conformación de grupos de discusión por parte de los subordinados y la estructura de trabajo son "formas más eficientes de trabajo colaborativo entre sociedad y gobierno" (RIVERA ET AL. 2013).

Organismos mundiales, como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), y las asociaciones internacionales de quienes imparten la educación superior, se han ocupado en impulsar, al interior de los países, políticas públicas que deriven en estrategias institucionales, todo para garantizar la calidad y mayores niveles de eficiencia de la educación superior. En este caso, la estrategia de participación exige de la comunidad universitaria, promover e instrumentar políticas activas dirigidas a la indagación y búsqueda de soluciones a su propio funcionamiento y dar respuestas a la sociedad en general, considerando la adquisición de nuevas capacidades para actuar en forma rápida y eficaz en las políticas de desarrollo y en las innovaciones que se dan en las

instituciones (ESTRADA ET AL 2017).

El encuentro entre la universidad y el entorno social, parte de la capacidad o fortaleza para gestionar las variables educación e investigación y que, a partir de ellas, se produzca una dinámica de valor agregado en ciencia con pertinencia social, para responder a las necesidades y problemas del entorno social, cultural, a nivel del estado y del propio sector educativo. Los conocimientos pueden llegar a estos sectores en forma de proyectos para ser incorporados en procesos y productos nuevos o mejorados, con repercusiones en la productividad y la calidad de vida de la población (TORRES ET AL. 2011).

En el caso de la universidad de las ciencias de la salud "Hugo Chávez Frías" (UCS "HChF"), nace en Venezuela el ocho de octubre del año 2014, mediante decreto de creación en la Gaceta Oficial 40.514 y es una de las 10 universidades especializadas planteadas en la misión alma mater, que se deben constituir como redes nacionales, con núcleos y conexiones con las universidades territoriales, desarrollando fortalezas en determinadas áreas del conocimiento, en este caso la salud, concentrando el talento humano para fortalecer los programas de formación y conformación de comunidades de investigación y apropiación del conocimiento (UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS DE LA SALUD [UCS] 2017).

Esta universidad fue creada para construir colectivamente estrategias dirigidas a crear condiciones objetivas para la transformación universitaria, la consolidación y gestión de sistemas y redes de atención de base popular, la producción, socialización y apropiación de saberes populares, científicos-humanísticos y tecnológicos para la independencia y soberanía, mediante la formación profesional, técnica y comunitaria integral, pertinente, dialógica, emancipadora y con capacidad resolutoria, y con base en el trabajo mancomunado con

el poder popular en salud (UCS 2017). Un proceso de gestión distinto, que apunte a la transformación universitaria bajo un sistema de formación con producción de conocimiento pertinente y eficacia en la acción, con múltiples características que dependen del espacio de aplicación y de la perspectiva de los actores intervinientes (UCS 2017).

En el núcleo Sucre de la UCS "HChF", no existen estrategias para lograr la operacionalización de esta red de vinculación armónica, razón por la cual surge la necesidad de realizar esta investigación que tiene como propósito definir las estrategias de gestión participativa requeridas en la UCS "HChF", núcleo Sucre.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio de esta investigación fue el núcleo de Sucre de la UCS "HChF", ubicado en el municipio Sucre, del estado Sucre. Se efectuó en el período comprendido de marzo 2022 a marzo del año 2023.

En este estudio se aplicó el método cuantitativo (CORTÉS E IGLESIAS 2004), en el cual centro de su proceso de investigación fueron mediciones numéricas, utilizando la recolección de datos mediante el uso de un cuestionario y el

posterior análisis de resultados para llegar a responder sus preguntas de investigación. Se registraron los datos, según se fue recogiendo la información. Tomando en cuenta el período y secuencia del estudio, se clasificó como una investigación transversal, debido a que se estudiaron variables simultáneamente, en determinado momento haciendo un corte en el tiempo (PINEDA ET AL. 1994). En relación al análisis y alcance de los resultados, se consideró como un estudio descriptivo, porque se describen las características de la realidad del fenómeno estudiado (BAVARESCO 2001)

En la presente investigación se utilizó como técnica, la encuesta (MUÑOZ 1998). El instrumento utilizado para recolección de los datos fue el cuestionario (BAVARESCO ET AL 2001), el cual se envió a los informantes clave de esta investigación, vía correo electrónico, WhatsApp y además se entregó personalmente en formato impreso a las autoridades de salud y del CTU. El instrumento fue previamente validado por tres expertos en el área de estudio y contenía el consentimiento informado.

La información fue ingresada a un computador Pentium 4, mediante la utilización de la herramienta Excel 2013, el tratamiento de los datos se realizó de la siguiente manera:

La muestra estuvo conformada por 58 personas, como se aprecia en la tabla 1.

Cargo	Muestra
Directores de línea- UCS "HChF" núcleo Sucre	2
Jefes de división en la UCS "HChF" núcleo Sucre	5
Coordinadores del PNF/ PNFA	8
Coordinadores de docencia asistencia e investigación(CADI)	18
Directores de las ASIC	18
Autoridad de salud	1
Autoridades del consejo territorial universitario (CTU)	5
Autoridad del sistema de misiones y grande misiones	1
Total	58

Se recolectaron los datos a través de un instrumento: Cuestionario.

Se tabularon los datos, reconociendo los aportes, referencias e informaciones de las unidades analíticas.

Se presentaron los resultados de los datos obtenidos en figuras, con números absolutos y porcentaje.

Se analizó la información obtenida y se comparó con otras investigaciones en el área de conocimiento

Se realizó la matriz DOFA para la obtención de las estrategias de gestión participativa y por último se elaboraron las conclusiones y recomendaciones.

La investigación se realizó sobre las bases éticas necesarias para su desarrollo, aplicando los principios bioéticos, se notificó a los informantes sobre las implicaciones científicas y la confidencialidad de la información, por lo cual se le solicitó a cada participante su consentimiento informado a través de un do-

cumento de voluntariedad expresa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sistemas externos

Respuesta a las necesidades y problemas del entorno social, cultural, a nivel del estado y del sector universitario

En la **figura 1**, se muestra la respuesta a las necesidades y problemas del entorno social, cultural, a nivel del estado y del sector universitario. Se aprecia que el 98,28% de los encuestados opinan que existe vinculación entre el sector universitario y las necesidades o problemas del entorno social, cultural, a nivel del estado. Estos resultados coinciden con lo señalado por TORRES ET ALL. (2011), en el trabajo titulado: Las estrategias participativas como fundamento de la gestión en organizaciones universitarias, donde los investigadores se centran en el análisis de las estrategias participativas como mecanismo de apoyo a la gestión organizacional en la universidad y su

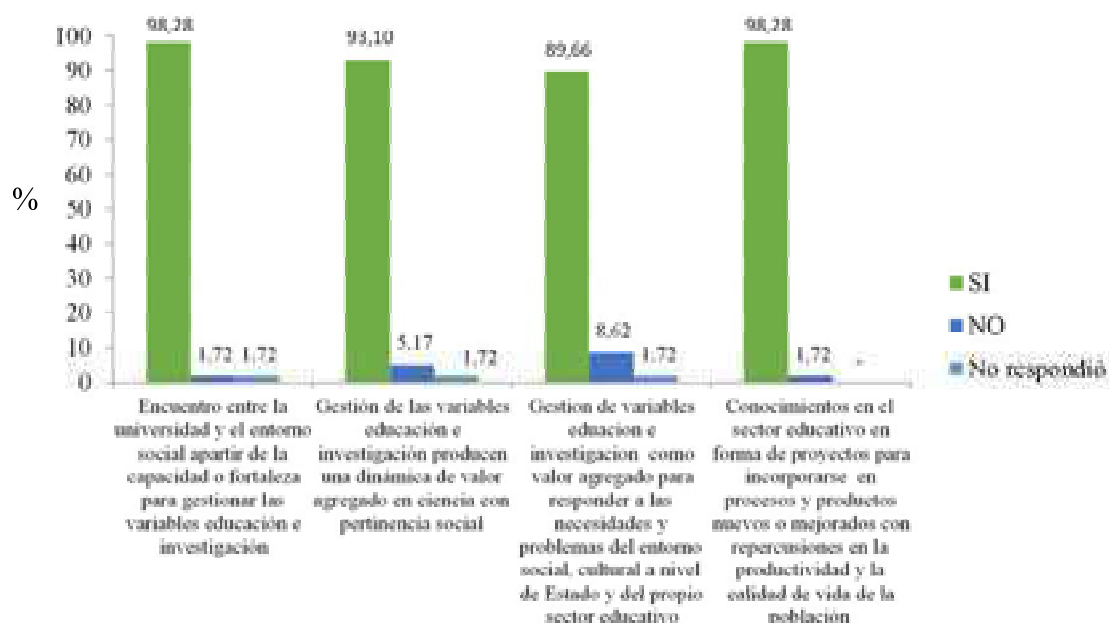


Figura 1. Respuesta a las necesidades y problemas del entorno social, cultural, a nivel del estado y del sector universitario.

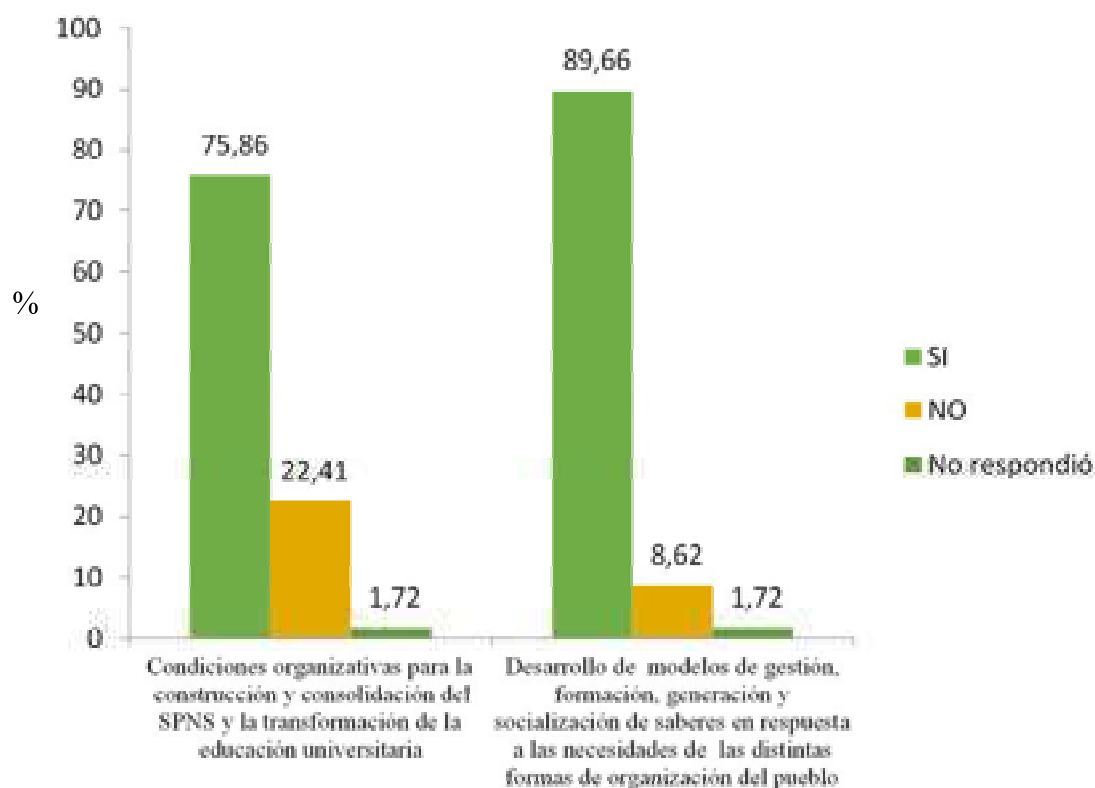


Figura 2. Formas de organización del pueblo, según la organización y funcionamiento de la UCS "HChF".

vinculación con el entorno social, evidenciando la necesidad de orientar los proyectos y concretar una agenda universitaria, que fortalezca la relación entre la academia, la sociedad y la producción. En contraste con el 8,62% de los encuestados que consideraron que no es necesaria la gestión de variables educación e investigación como valor agregado para responder a los problemas del entorno social, cultural a nivel de estado y del propio sector educativo, lo cual pudiera sugerir una desvinculación entre el sector salud y el universitario.

Formas de organización del pueblo.

En cuanto a las formas de organización del pueblo, según la organización y funcionamiento de la UCS "HChF", en la **figura 2**, se evidencia que la mayoría de los informantes del presente estudio (89,66%), consideraron que

el desarrollo de modelos de gestión, formación, generación y socialización de saberes, son necesarias para responder a su encargo social, y a las necesidades que presenten las distintas formas de organización del pueblo; esto concuerda con los lineamientos rectores de la UCS "HChF" (2017). A diferencia del 22,41% de la muestra, respondieron que no conocen las condiciones organizativas requeridas para la construcción y la consolidación del SPNS, y la transformación de la educación universitaria, por tanto, debe ser una tarea de la UCS "HChF" dar a conocer un proceso de gestión distinto, que apunte a la transformación universitaria bajo un sistema de formación con dirección política, producción de conocimiento pertinente y con eficacia en la acción, con múltiples características que dependen del espacio de aplicación y de la perspectiva de los actores intervinientes. Para

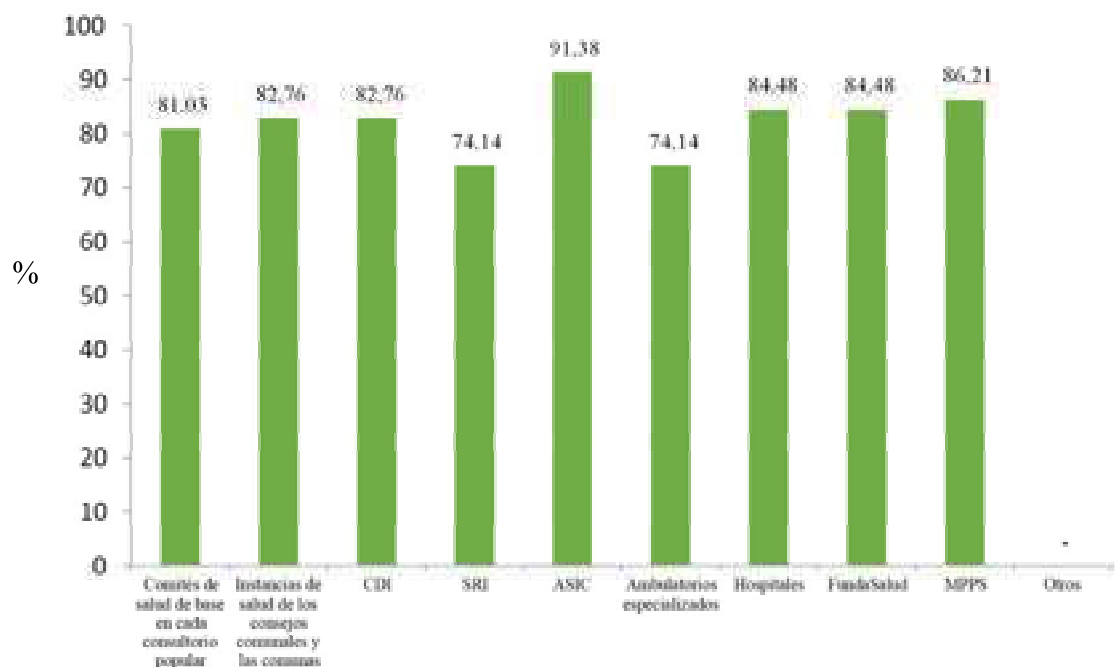


Figura 3. Formas de organización del pueblo en articulación con la UCS "HChF".

el caso que ocupa un talento humano en salud formado en revolución para garantizar el derecho a la salud en el fiel cumplimiento de la CRBV (UCS 2017).

La **figura 3**, muestra que más del 74,14% de los encuestados afirman que la UCS "HChF" tiene buena articulación con las instancias del SPNS y con las diferentes formas de organización del pueblo, resaltando con 91,38% la vinculación de la universidad con las áreas de salud integral comunitaria (ASIC), que constituyen la unidad básica de integración del SPNS conformada dentro de un territorio social, incluyendo a todas las instituciones que forman parte de la red de salud comunal, sean sociales, asistenciales, docentes e investigativas tecnológicas, entre otras, a través de las cuales se promueven las transformaciones de las condiciones de vida de la población. El ASIC representa una instancia de gestión participativa que garantiza respuestas integrales sobre la salud, mediante un modelo de atención y un modo de gestión, acorde a las con-

diciones existentes en cada lugar, con un enfoque integral, interinstitucional e intersectorial, con la participación activa y protagónica de la comunidad, quien ejerce el poder popular (MPPS 2017). En concordancia con el encargo social de la UCS "HChF" que garantiza los procesos de contraloría social del poder popular comunal, estudiantil y de las organizaciones de trabajadoras y trabajadores de la salud, bajo un enfoque que facilite el trabajo cooperativo, solidario y articulado con otras instituciones (Ucs 2017).

Políticas públicas sobre participación ciudadana.

En lo que respecta a las políticas públicas, en la **figura 4**, se aprecia que el 93,10% de los participantes de este estudio coinciden con la investigación realizada por SALGADO ET AL. (2017), en una comunidad de México, donde lograron identificar que los actores gubernamentales y sociedad civil organizada pueden incidir en mejorar los vínculos para la resolu-

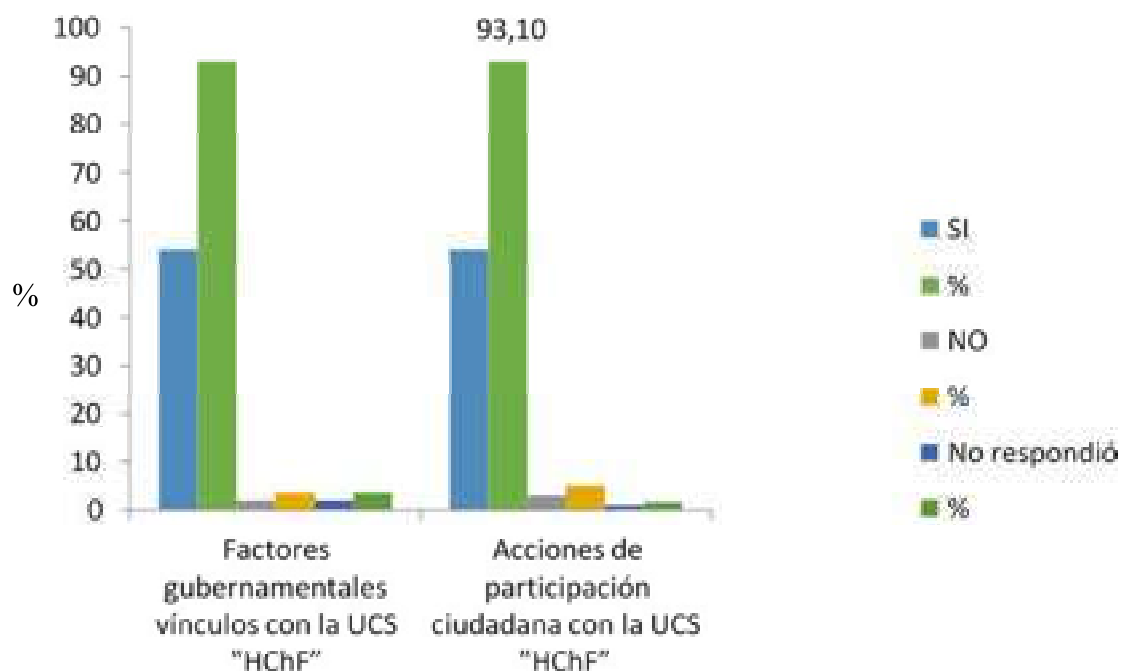


Figura 4. Políticas públicas sobre participación ciudadana.

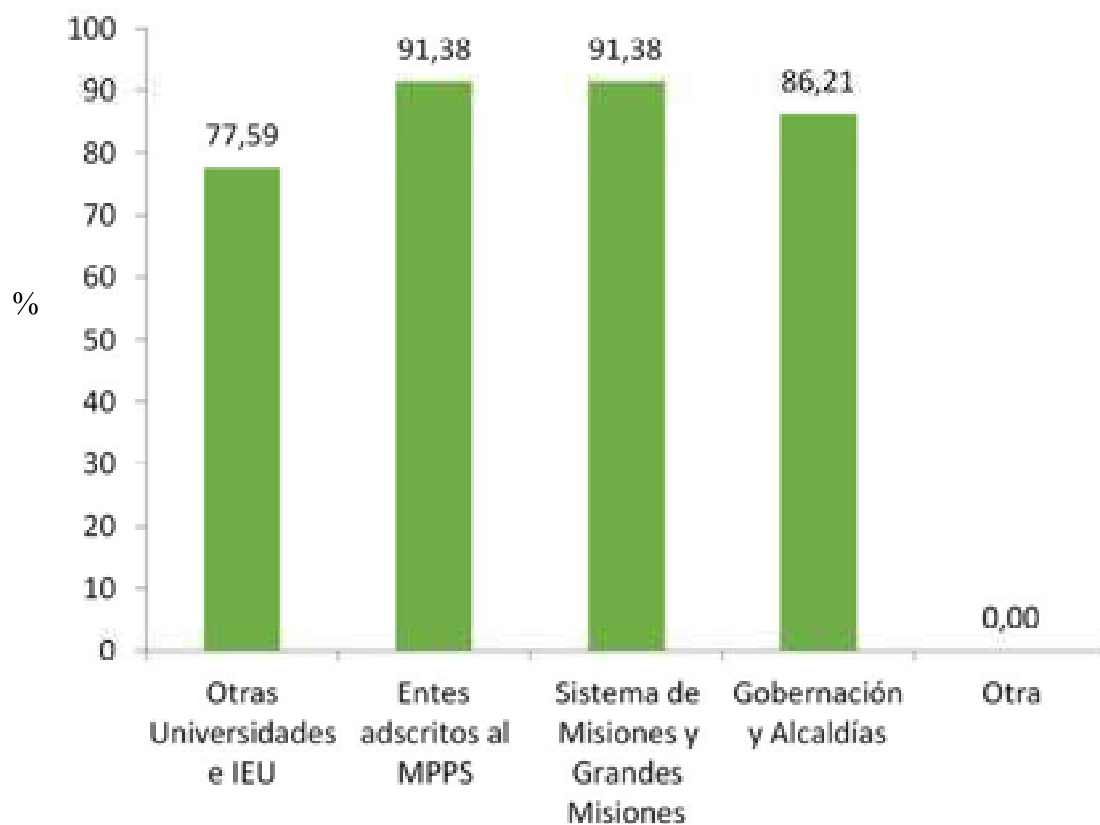


Figura 5. Red de vinculación entre universidad e instituciones de la administración pública.

ción de problemas a través de la participación ciudadana y voluntad política. Asimismo, el 93,10 coincide en que existen acciones de participación ciudadana con la UCS "HChF".

La **figura 5**, muestra que el 86,21%, reconoce la vinculación que existe entre la UCS "HChF" núcleo Sucre con otras instituciones de la administración pública, tal como lo establece la naturaleza y rol de esta universidad en la sociedad, la cual se encuentra adscrita a los ministerios con competencia en materia de salud y en materia de educación universitaria, en trabajo articulado y en conjunto con las misiones y grandes misiones socialistas, para contribuir con la garantía del derecho a la salud y a la educación universitaria, en el ideario bolivariano de la suprema felicidad social

(Ucs 2017).

Entre todas las instituciones de la administración pública, la que tuvo menor porcentaje (77,59%), en la apreciación de vinculación con la UCS "HChF" fueron las otras universidades en instituciones de educación universitaria, es decir, que la mayoría de las personas encuestadas aprecian mayor integración con el sector salud que con el sector universitario, este último incluso con menor vinculación que el gobierno regional y municipal. Lo cual hace necesario construir colectivamente estrategias dirigidas a crear condiciones objetivas y subjetivas para la integración universitaria.

El 86,21% de los participantes considera que la producción, socialización y apropiación de saberes populares, científicos-humanísticos y tecnológicos para la independencia y soberanía

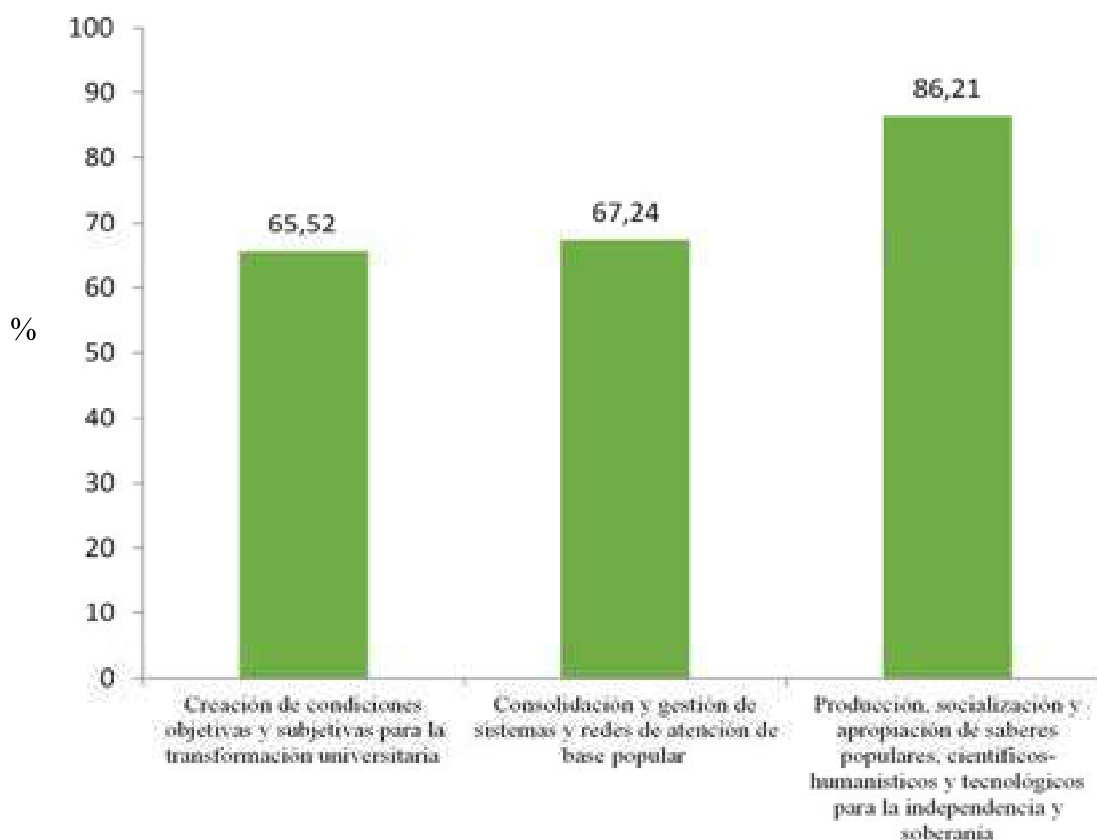


Figura 6. Estrategias que contribuyen colectivamente a la operacionalización de una red de vinculación armónica de la UCS HChF con otras instituciones.

nía, constituye la principal estrategia para lograr la construcción colectiva y operacionalizar una red de vinculación armónica entre la UCS "HChF" y otras instituciones (**figura 6**). De igual modo, más del 65,00% piensan que simultáneamente deben incorporarse otras estrategias como la creación de condiciones objetivas y subjetivas para la transformación universitaria, así como la consolidación y gestión de sistemas y redes de atención de base popular. Todo eso mediante la formación profesional, técnica y comunitaria integral, pertinente, dialógica, emancipadora y con capacidad resolutoria, y con base en el trabajo mancomunado con el poder popular en salud, tal como lo establece el documento rector de la universidad (UCS 2017)

Elementos internos

Para PÉREZ (2006), la comunicación es fundamental para la gestión participativa como modelo de mejora organizativa, lo cual coincide con los resultados de la **figura 7**, donde

el 81,03% de los informantes considera que la UCS "HChF", pone en práctica la buena política de comunicación interna, además estructura y canaliza los mensajes que se intercambian entre los diferentes equipos o individuos que forman parte de la institución. Así mismo, 72,41% opinan que se facilitan, evalúan y aplican las iniciativas de mejora mediante los canales de comunicación, tanto individual como colectivamente. Incluso, las instituciones deben fomentar la articulación con buenas políticas de comunicación para lograr la participación activa y compromisos de cada uno, con miras a generar desarrollo y objetivos comunes (CÓRDOVA Y DELGADO 2020).

Pueden encontrarse variadas posturas en cuanto a la participación del docente, como el eje clave para buscar la mejora de la calidad educativa. Se evidencia en la figura 8, que el 93,10% de los encuestados conceptualizan la participación como un enfoque de corresponsabilidad entre los estudiantes y los docentes, entre los pacientes y el equipo de salud, entre

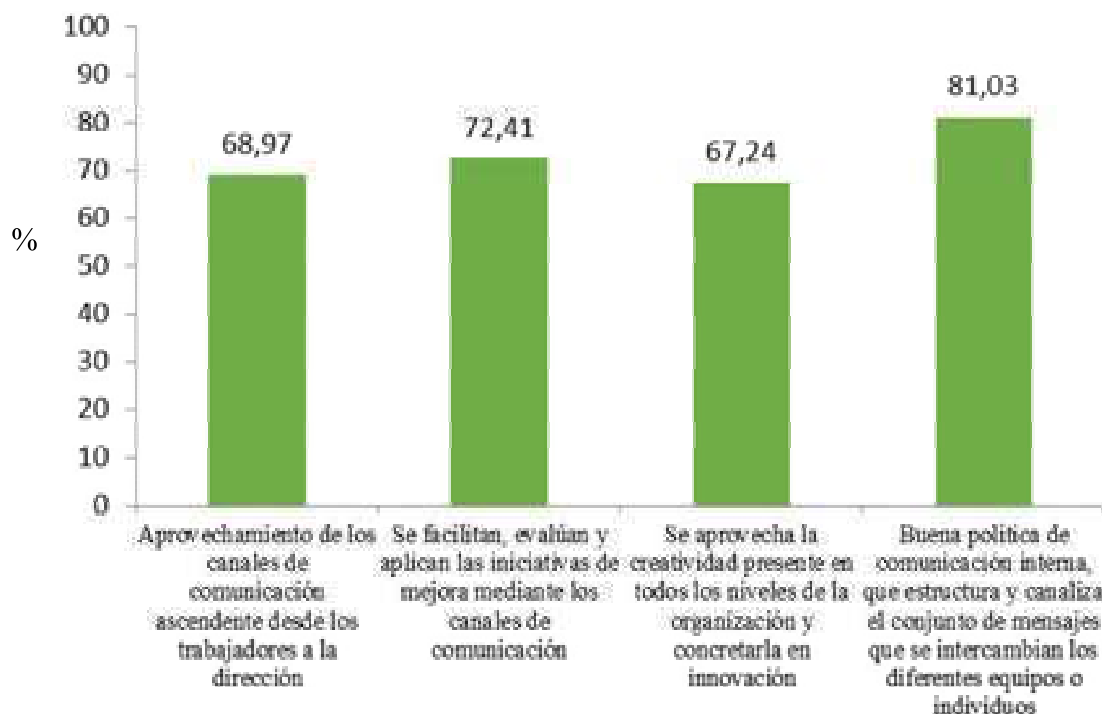


Figura 7. La gestión participativa como modelo de mejora organizativa.

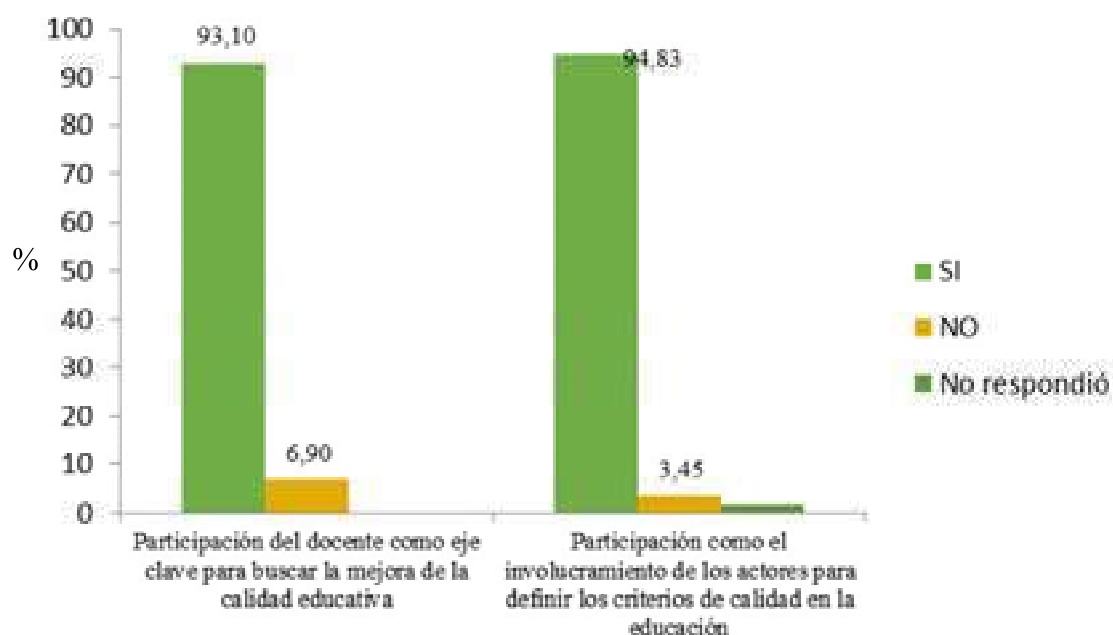


Figura 8. Conceptualización de la participación como involucramiento de los actores.

el educador y los educandos. Lo que concuerda con VELASCO (2000), que resalta la participación del docente, como el eje clave para buscar la mejora de la calidad educativa, con una fuerte base teórica en los círculos de calidad total. De igual manera, el 94,83% coincide con

este novedoso modelo, donde la participación se conceptualiza como el involucramiento de los actores, así como en el llamado a definir los criterios de calidad.

En la **figura 9** se aprecia que la mayoría (93,10%), valora positivamente la toma de

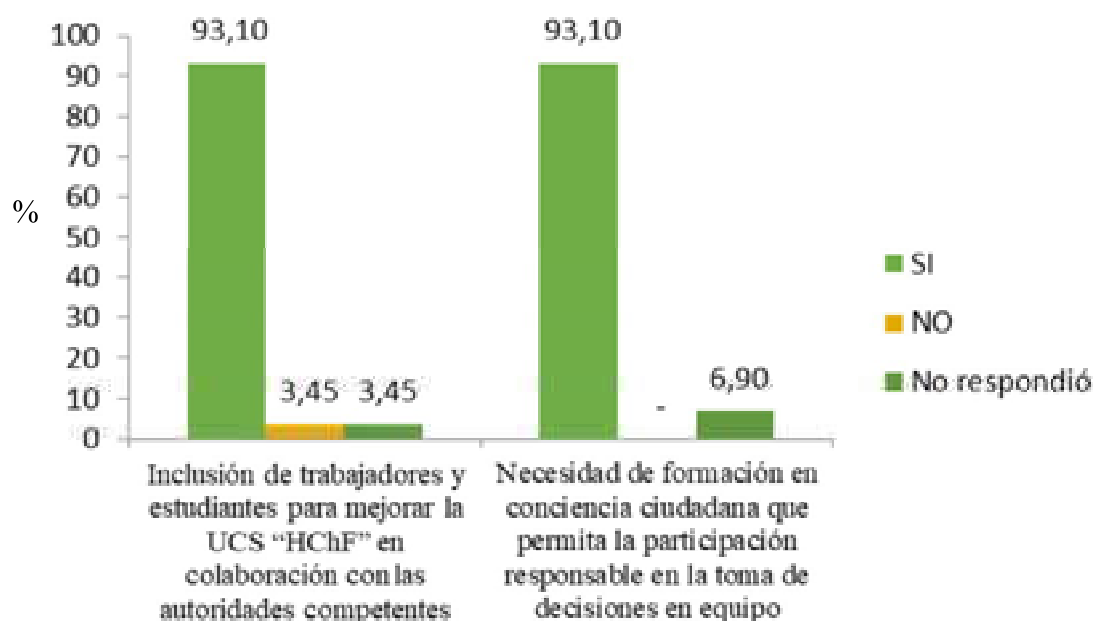


Figura 9. Toma de decisiones en equipo.

decisiones de manera consensuada, considerando la opinión de los trabajadores y los estudiantes, también cree necesaria la formación de conciencia ciudadana que permita la participación responsable y franca del personal, en colaboración con las autoridades de la UCS "HChF" en el núcleo Sucre. Similares apreciaciones fueron referidas por SALGADO, FLO-

RES Y GUEVARA (2017), en la investigación que realizaron en una comunidad urbana de México, donde una facultad de la universidad autónoma de Puebla, logró la participación de los habitantes con las autoridades competentes para resolver un problema social.

El 86,21% de los participantes indicaron que

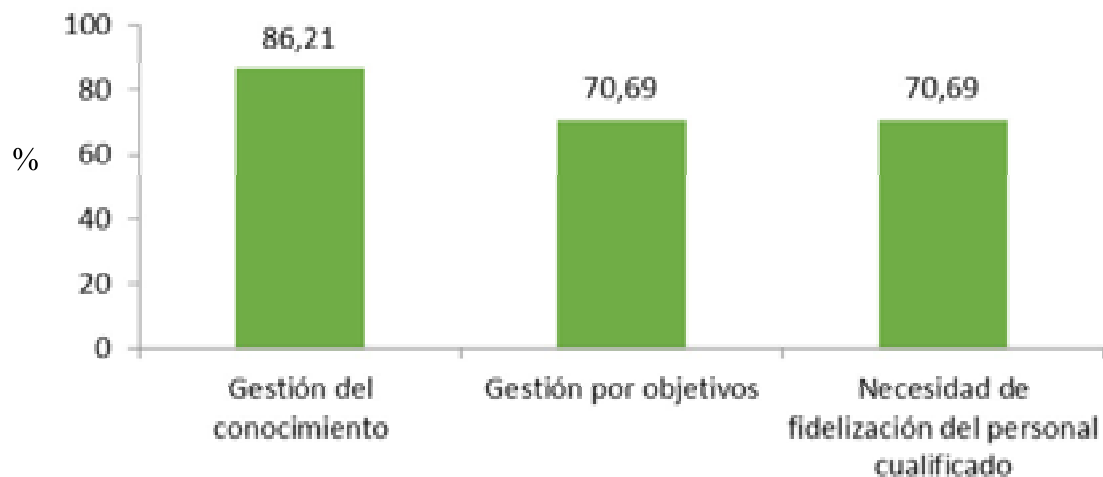


Figura 10. Características de la gestión participativa en el marco laboral en la Universidad.

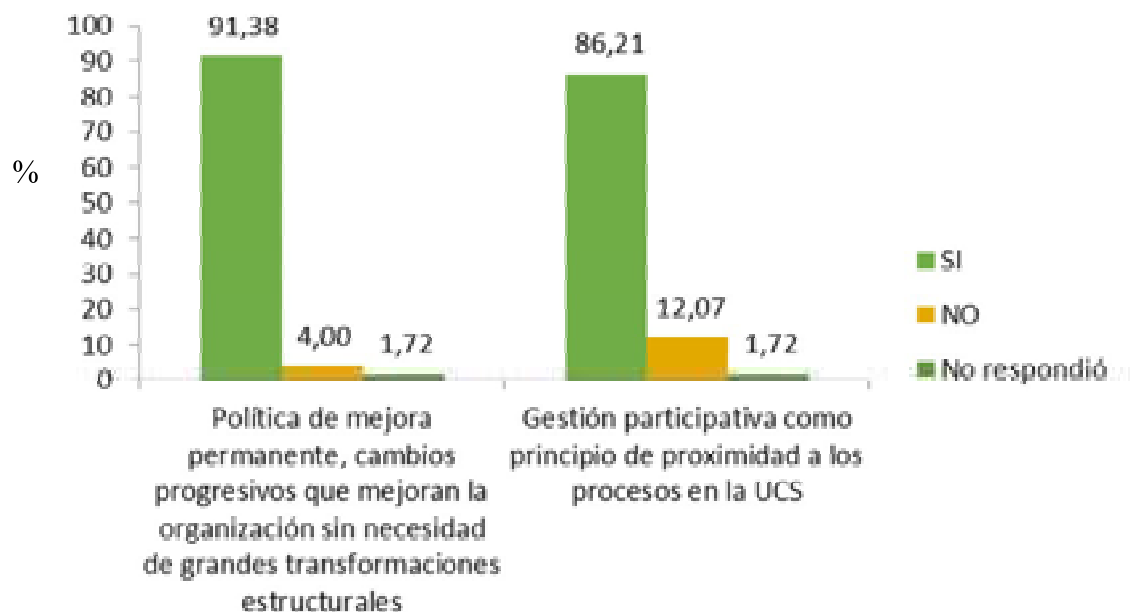


Figura 11. Política de mejora permanente.

la característica predominante en la UCS "HChF" en el marco laboral, es la gestión del conocimiento (**figura 10**), lo cual puede deberse a una asociación de terminología entre el conocimiento y una institución de educación universitaria. También se observa que el 70,69%, indicó otras características del marco laboral de la universidad, como lo son, la gestión por objetivos y la necesidad de fidelización del personal. En contraste con la perspectiva de PÉREZ (2006), que considera igual de importantes las tres opciones para lograr la mejora permanente de la gestión participativa.

La **figura 11**, muestra que el 91,38 y el 86,21%, comparten la misma opinión que PÉREZ (2002), sobre las políticas de mejora permanente, progresivo y el principio de la proximidad, es decir, el que está más cerca de una tarea es el que mejor la conoce y puede mejorar la gestión de la institución, que en esta investigación se trata de la UCS "HChF", núcleo Sucre.

Sin embargo, los demás efectos positivos de la gestión participativa están presentes en la institución, como refuerzo a la implicación del personal en los objetivos de la organización, así lo indicó el 84,48%. Asimismo, un 81,03% considera el aumento del compromiso y la responsabilidad de los trabajadores, tal como lo menciona PÉREZ (2006).

Diseño, uso y aplicación de estrategias de gestión participativa que fortalecerán a la UCS "HChF", núcleo Sucre.

Estrategias de gestión participativa

El 100,00% opinó que la UCS "HChF" núcleo Sucre, está fundamentada en una visión democrática de la gestión, orientada al talento humano. Coincidiendo con CASASSUS (2000), que resalta el carácter altamente comunicativo de los enfoques más democráticos en la gestión participativa.

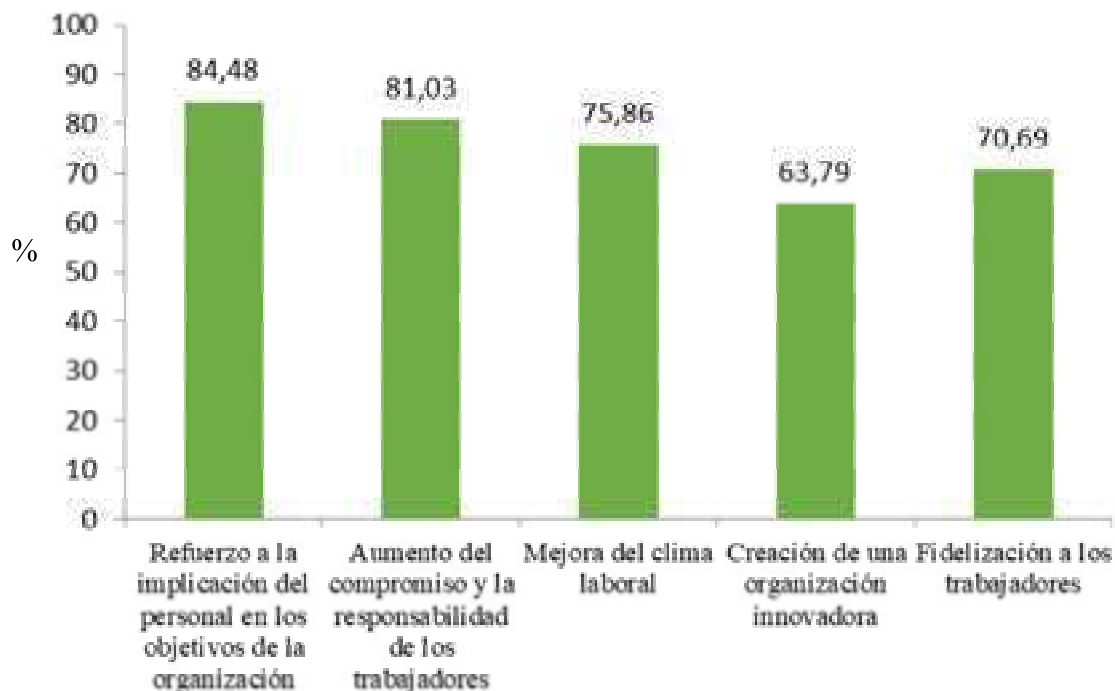


Figura 12. Efectos positivos presentes en la UCS "HChF".

La **figura 13**, muestra que el 94,84% de los encuestados consideró que existe una estrecha vinculación entre UCS "HChF" y las demás instituciones que conforman el sistema público nacional de salud, cuyo ente rector lo constituye el ministerio del poder popular para la salud y a nivel regional está representado por Fundasud Sucre. Conforme a la naturaleza y rol esta universidad se encuentra adscrita al ministerio del poder popular para la salud, con competencia en materia de salud (UCS 2017). Al respecto, se observa concordancia con lo planteado por INGRAN *ET AL.* (2022), quienes lograron posicionar el enfoque de intersectorialidad a partir de los niveles de información, coordinación, cooperación e integración en el sistema de salud en Cuba, que derivó un conjunto de acciones

concatenadas para mejorar el bienestar de la población.

La **figura 14**, muestra que la característica de gestión participativa que se consideró que primordialmente debe estar presente en la UCS "HChF" núcleo Sucre, fue la estructura de trabajo colaborativo de formas más eficientes entre sociedad y gobierno con 95,00%, conforme lo refirió RIVERA *ET AL.* (2013). Similar a lo indicado por CORDOVA Y DELGADO (2020), quienes concluyeron que para lograr la articulación de los diferentes actores depende mucho de la decisión política de los gobernantes o decisores de las instituciones, y los miembros de la comunidad con vocación de servicio.

Los encuestados opinaron que la conformación

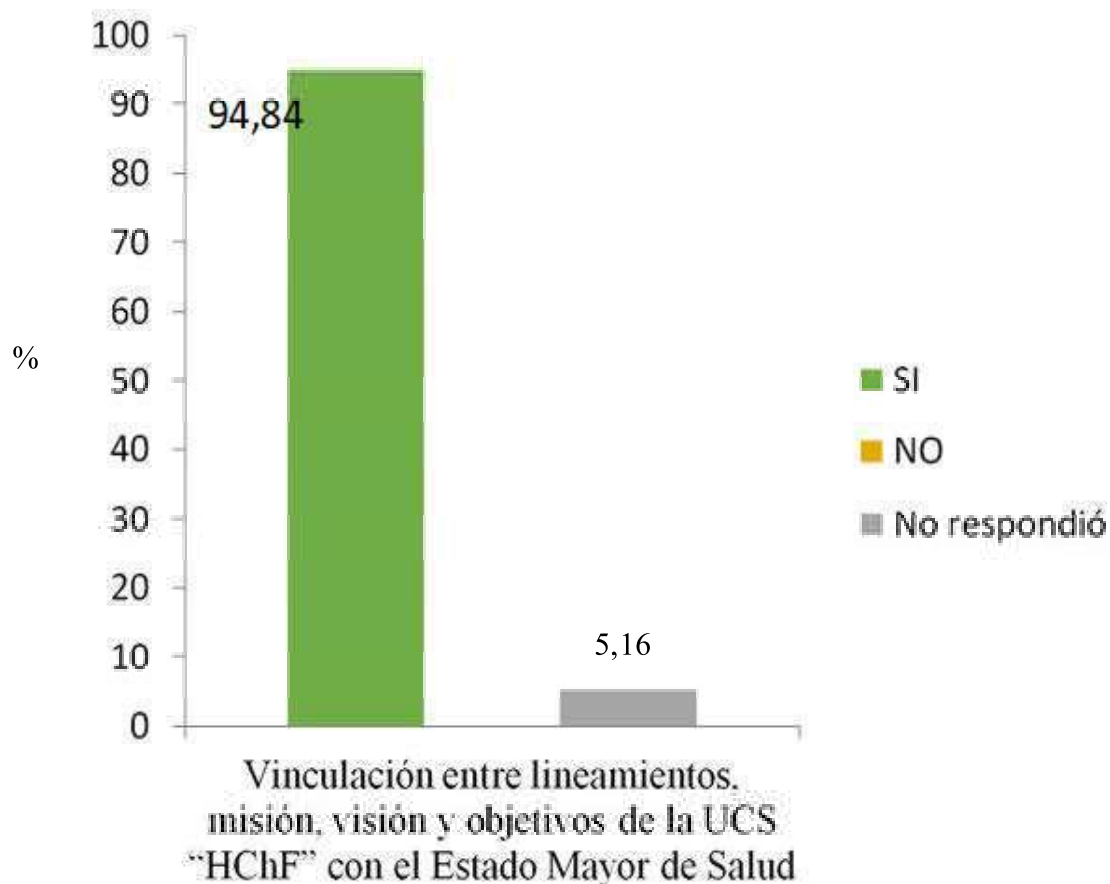


Figura 13. Vinculación de la UCS "HChF" con otras Instituciones de Salud.

de grupos de discusión por parte de los subordinados (24,14%) y el reforzamiento de la estructura social e intensificación de la capacidad local (31,03%), fueron las características que pueden estar presentes con menor frecuencia en la UCS "HChF" (**figura 14**), por el contrario, RIVERA ET AL (2013), quienes plantearon que es importante favorecer el proceso de transformación, fortaleciendo la capacidad de gestión local. La presencia en la UCS "HChF" de todas las demás características de gestión participativa, coincide con lo argumentado por RIVERA ET AL (2013), resaltando: estructuras de trabajo con formas más eficientes de trabajo colaborativo entre sociedad y gobierno, inclusión de temas y estrategias acordes a las necesidades que aumentan la comprensión de los programas de formación y coherencia con las investigaciones que potencian la coproducción de conocimiento.

La presentación de propuestas y recomendaciones fue el elemento estratégico de mayor

importancia en el proceso estratégico de la UCS "HChF" con un 82,76%, seguido de la elaboración de un diagnóstico particular (**figura 15**), tal como lo aseguran SALGADO ET AL (2017). Sin embargo, se aprecia como débil, el hecho que menos del 50,00% considere los instrumentos jurídicos relacionados con los procesos y los actores involucrados en la definición de planes estratégicos, como parte del proceso de gestión participativa, lo que es contradictorio con el modelo de SALGADO ET AL (2017).

Mecanismos de vinculación académica, educativa e institucional que viabilicen los procesos de integración y participación de los miembros de la UCS "HChF", núcleo Sucre en las transformaciones intra e interinstitucionales.

Se aprecia que el 81,03%, considera la mejora de la calidad académica, pertinencia social e internacionalización, como un mecanismo de vinculación académica, educativa e

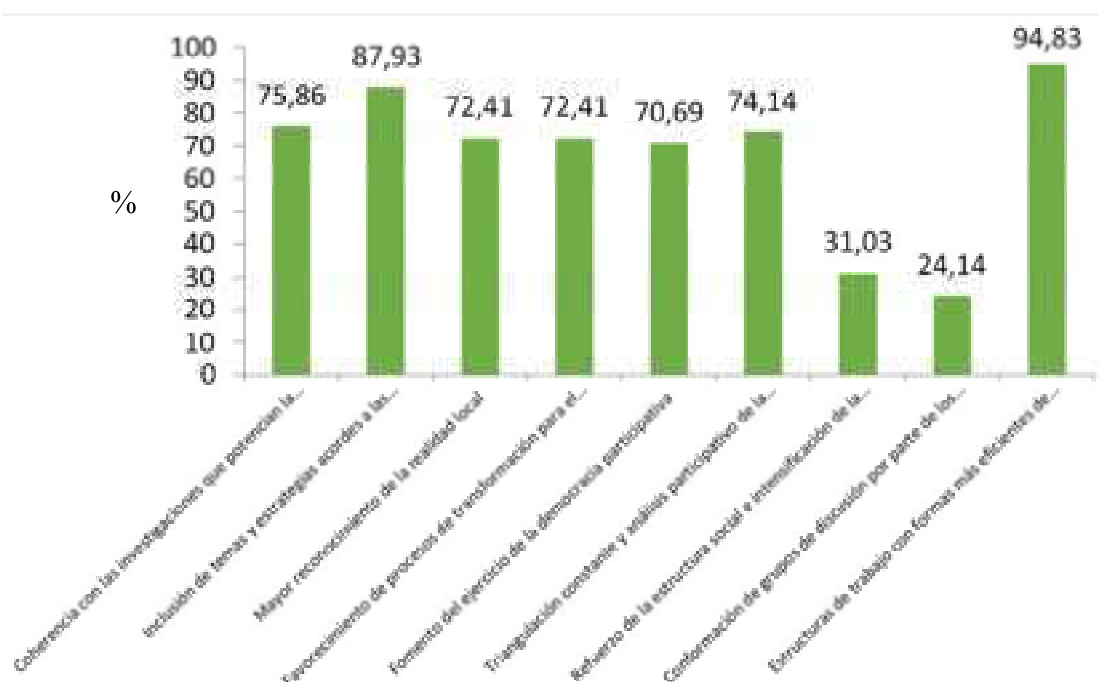


Figura 14. Características de gestión participativa presentes en la UCS "HChF".

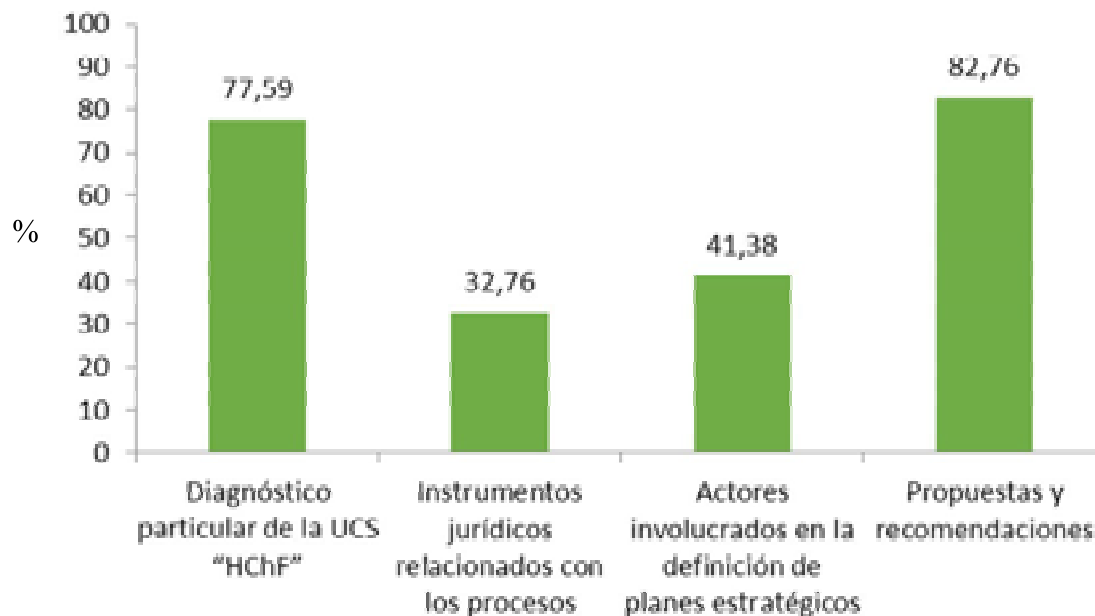


Figura 15. Elementos estratégicos que forman parte del proceso de gestión participativa.

institucional (**gráfico 16**) y en más del 70,69%, considera mejoras de estructuras, procesos y métodos gerenciales, enfoques de carácter participativo en la gestión, definición de criterios de calidad educativa, coherencia con la investigación tipo acción, acción participativa y liberadoras y la producción de conocimientos, lo que favorece los procesos de

integración y participación de los miembros de las universidades en las transformaciones intra e interinstitucionales, en correspondencia con la sociedad global (TORRES *ET AL.* 2011). Es tarea inaplazable de la educación universitaria atender los requerimientos de la institución productiva, estructurar y emprender un proceso de gestión académica que se oriente

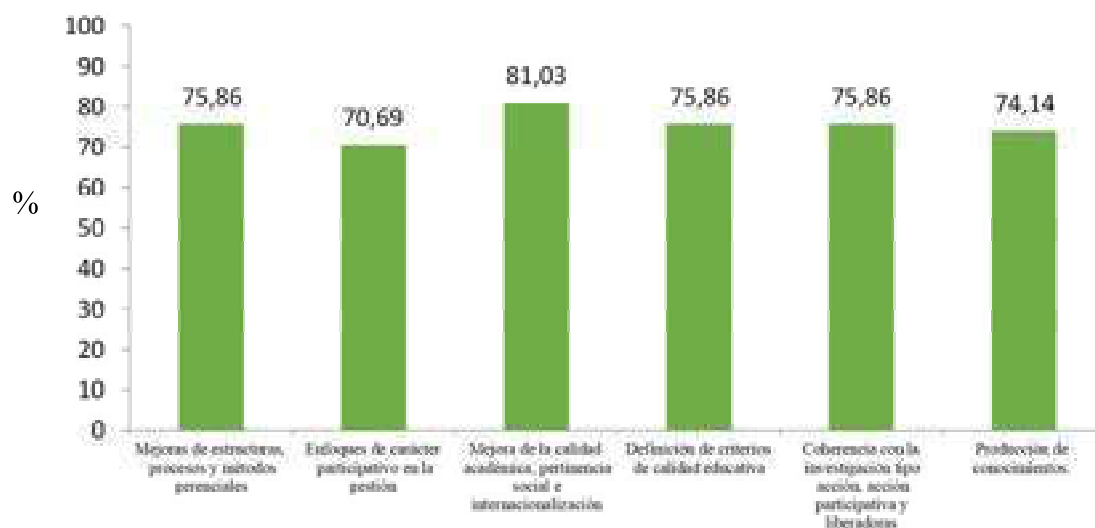


Figura 16. Mecanismos de vinculación académica, educativa e institucional.



Figura 17. Elementos del proceso de integración y participación.

a la optimización del recurso humano a través de estrategias participativas para instrumentar políticas.

Procesos de integración y participación

El 81,03%, considera el plan de trabajo y la organización integral como elementos que viabilizan la integración y participación y más del 68,97% de los participantes consideraron

indispensables a todos los elementos que viabilizan el proceso de integración y participación en la UCS "HChF", para lograr la gestión participativa en el núcleo Sucre, a excepción de la asesoría técnica (33,00%) que fue apreciada con menor importancia (**figura 18**), contrastando con SALGADO ET AL. (2017).

Con respecto a los alcances de los procesos de integración y participación para lograr las

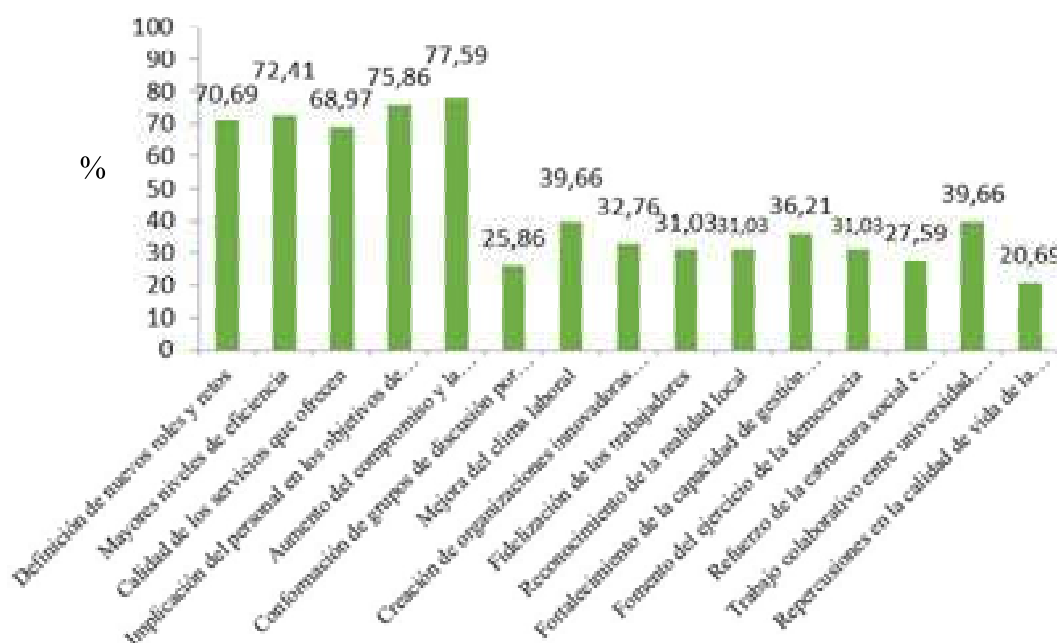


Figura 18. Transformaciones intra e interinstitucionales.

transformaciones intra e interinstitucionales en la UCS "HChF", el 77,59% consideró en primer lugar aumentar el compromiso y la responsabilidad de los trabajadores, seguido por la implicación del personal en los objetivos de la organización. Mientras que el menor porcentaje (20,69%) fue para las repercusiones en la calidad de vida de la población, mediante proyectos (figura 18).

Definición de estrategias de gestión participativa en la UCS "HChF", núcleo

Sucre.

Como se indicó en la metodología, se realizó la matriz DOFA con los elementos de análisis obtenidos de los resultados y discusión, lo que implicó determinar fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (D'ALESSIO 2008; DAVID 2008), mostradas en la hoja de trabajo contenida en la **figura 19**.

Una vez cotejadas las estrategias, FO, FA, DO y DA resultantes y en atención a que la estrategia se concibe como las acciones potencia-

OPORTUNIDADES	AMENAZAS
O1 Respuesta a necesidades y problemas del entorno y del sector universitario. O2 Formas de organización del pueblo. O3 Articulación con las instancias del SPNS. O4 Políticas Públicas sobre participación ciudadana. O5 Red de vinculación entre universidad e instituciones del Sistema Público de Salud. O6 Estrategia para lograr la construcción colectiva y operacionalizar una red de vinculación. O7 Creación de condiciones objetivas y subjetivas para la transformación universitaria.	A1 Variables educación e investigación como valor agregado A2 Condiciones organizativas A3 Red de vinculación entre universidad e instituciones del Sistema Público de Salud A4 Estructura social y capacidad local.
FORTALEZAS	DEBILIDADES
F1 La gestión participativa como modelo de mejora organizativa. F2 Iniciativas de mejora F3 Conceptualización de la participación como involucramiento de los actores. F4 Toma de decisiones en equipo. F5 Formación de conciencia ciudadana F6 Marco laboral predominante F7 Política de mejora permanente. F8 Efectos positivos de la gestión participativa. F9 Compromiso F10 Visión, misión, objetivos. F11 Vinculación de la UCS con las demás instituciones del SPNS F12 Estructuras de trabajo eficientes F13 Comprensión de los programas de formación F14 Elementos estratégicos. F15 Diagnósticos F16 Mecanismos de Vinculación Académica, Educativa e Institucional F17 Estructuras, procesos y métodos gerenciales. F18 Procesos de Integración y Participación. F19 Transformaciones Intra e Interinstitucionales.	D1 Efectos positivos la creación de una organización innovadora. D2 Grupos de discusión para la gestión participativa como estrategia D3 Investigaciones y producción de conocimientos D4 Instrumentos jurídicos como parte del proceso de gestión participativa. D5 Asesoría técnica D6 Repercusiones en la calidad de vida de la población, mediante proyectos

Figura 19. Hoja de trabajo.

les que provienen de las decisiones de la gerencia y que conducen a la organización hacia la visión de futuro ((D'ALESSIO 2008), se enuncia para la universidad de las ciencias de la salud "Hugo Chávez Frías", núcleo Sucre una estrategia de gestión participativa de combinación ((DAVID 2008), generada mediante un proceso participativo, de consulta y consenso, producto de un proceso analítico. Estas estrategias tienen visión de futuro, con proceso de revisión, evaluación y retroalimentación para asegurar sus alcances y permanencia en el tiempo.

La estrategia de combinación está impulsada por estrategias externas e internas ((D'ALESSIO 2008). Las externas permitirán desarrollar la organización para alcanzar la visión establecida y está soportada en alianzas estratégicas, considerando los niveles de dirección de la UCS y las formas de organización del pueblo, estas alianzas estratégicas deben ser elevadas a los órganos de decisión de la universidad. En el caso de las estrategias internas, se propone una estrategia de gerencia de procesos de gestión participativa, que la UCS "HChF" podrá desarrollar, al interior de sí misma, para mejorar aspectos que requiere sean hechos antes, o en paralelo, de la implementación de las estrategias externas; de lo contrario se podría poner en peligro el proceso de implementación de éstas.

A continuación, se muestra el despliegue de estrategias:

- Estrategia externa: Alianzas estratégicas.
- Acciones externas:

Procurar un enfoque integral, interinstitucional e intersectorial, con la participación activa y protagónica de la comunidad, la cual ejerce el poder popular.

Mejorar los vínculos para la resolución de problemas a través de la participación ciudadana y voluntad política.

Crear, en la UCS "HChF", condiciones para la transformación universitaria, consolidación, gestión de sistemas y redes de atención de base popular.

Fomentar la articulación con políticas de comunicación para lograr participación activa y compromisos y generar desarrollo y objetivos comunes.

Favorecer los procesos de integración y participación de los miembros de las universidades en las transformaciones intra e interinstitucionales.

Mantener vínculos con los niveles de información, coordinación, cooperación e integración del sistema de salud para mejorar el bienestar de la población.

- Estrategia interna: Gerencia de procesos de gestión participativa.
- Acciones internas:

Crear las condiciones para lograr la gestión de procesos de participación interna.

Definir acciones participativas como mecanismo de apoyo a la gestión organizacional en la UCS "HChF".

Generar un proceso de gestión interna, que apunte a la transformación universitaria bajo un sistema de formación con dirección política, producción de conocimiento pertinente y eficacia en la acción, con múltiples características que dependen del espacio de aplicación y de la perspectiva de los actores intervinientes.

Incentivar la participación del docente, como el eje clave para buscar la mejora de la calidad educativa, con una fuerte base teórica para el logro de la calidad total.

Construir colectivamente estrategias dirigidas a crear condiciones objetivas y subjetivas para la integración universitaria.

Fomentar la innovación y creatividad

como efectos positivos en la UCS "HChF".

Consultar permanentemente los instrumentos jurídicos relacionados con los procesos y los actores involucrados en la definición de planes estratégicos, como parte del proceso de gestión participativa.

Orientar los proyectos y concretar una agenda universitaria, que fortalezca la relación entre la academia, la sociedad y SPNS.

Promover la organización innovadora mediante el desarrollo de la ciencia e innovación tecnológica en salud.

Estructurar y emprender un proceso de producción y gestión académica que se oriente a la optimización del talento humano a través de estrategias participativas para instrumentar políticas.

Diseñar un plan de asesoría académica en torno a la gestión participativa como necesidad institucional y del equipo de trabajo.

- Estrategia combinada, de efectos conjuntos: externo-interno
- Acciones combinadas:

Mejorar permanentemente la gestión participativa, mediante la gestión del conocimiento, gestión por objetivos y fidelización del personal.

Mantener el carácter comunicativo de los enfoques democráticos, favoreciendo la gestión participativa en la gestión de procesos.

Favorecer el trabajo articulado y en conjunto con las misiones y grandes misiones socialistas, para contribuir con la garantía del derecho a la salud y a la educación universitaria, en el ideario bolivariano de la suprema felicidad social.

Favorecer el proceso de transformación, fortaleciendo la capacidad de gestión local.

Garantizar los procesos de contraloría social del poder popular comunal, estudiantil y de las organizaciones de trabajadoras y trabajadores de la salud, bajo un enfoque que facilite el trabajo cooperativo, solidario y articulado con otras instituciones.

Procurar la participación de la ciudadanía con las autoridades universitarias para atender problemas que puedan presentarse en las comunidades.

Garantizar la conducción hacia respuestas integrales, mediante modelos de atención y gestión, acorde a las condiciones existentes en cada lugar del sistema de salud.

Finalmente se propone seguir un proceso iterativo, retroalimentado, interactivo, y factible de ser revisado en todo momento, donde se logre la participación de todas las personas clave en la UCS "HChF", que tengan un conocimiento de las principales características de la universidad y los comités de salud de base en cada consultorio popular, instancias de salud de los consejos comunales y las comunas, espacios de participación en los centros diagnóstico integrales (CDI), salas de rehabilitación integral (SRI), áreas de salud integral comunitarias (ASIC), ambulatorios especializados, hospitales, instancias de las direcciones regionales de salud (FUNDASALUD) y ministerio del poder popular para la salud; en la búsqueda de desarrollar capacidades en torno a la gestión participativa.

CONCLUSIONES

■ El 98,28%, opina que existe vinculación entre el sector universitario y las necesidades o problemas del entorno social, cultural, a nivel del estado.

■ El 89,66%, considera que el desarrollo de modelos de gestión, formación, generación y socialización de saberes, son necesarias para

responder a su encargo social, y a las necesidades que presenten las distintas formas de organización del pueblo.

■ El 74,14 % opina que la UCS "HChF" tiene buena articulación con las instancias del SPNS y con las diferentes formas de organización del pueblo y el 91,38%, considera que la principal vinculación de la universidad es con las áreas de salud integral comunitaria (ASIC).

■ El 93,10% opina que los actores gubernamentales y sociedad civil organizada pueden incidir en mejorar los vínculos para la resolución de problemas a través de la participación ciudadana y voluntad política. Asimismo, el 93,10 coinciden en que existen acciones de participación ciudadana con la UCS.

■ El 86,21% reconocen la vinculación que existe entre la UCS "HChF" núcleo Sucre con otras instituciones de la administración pública.

■ El 77,59%, aprecia la vinculación de la UCS con otras instituciones de educación universitaria.

■ El 86,21% considera que la producción, socialización y apropiación de saberes populares, científicos-humanísticos y tecnológicos para la independencia y soberanía, constituye la principal estrategia para lograr la construcción colectiva y operacionalizar una red de vinculación armónica entre la UCS "HChF" y otras instituciones

■ El 81,03% de los informantes considera que la UCS "HChF" pone en práctica una buena política de comunicación interna, además estructura y canaliza los mensajes que se intercambian entre los diferentes equipos o individuos que forman parte de la institución y que se facilitan, evalúan y aplican las iniciativas de mejora mediante los canales de comunicación, tanto individual como colectivamente.

■ El 93,10% señala que conceptualizan la participación con un enfoque de corresponsabilidad entre los estudiantes y los docentes, entre los pacientes y el equipo de salud, entre el educador y los educandos.

■ El 94,83% coincide con el modelo de participación, que se conceptualiza como el involucramiento de los actores, así como en el llamado a definir los criterios de calidad.

■ El 93,10% valora positivamente la toma de decisiones de manera consensuada, tomando en consideración la opinión de los trabajadores y los estudiantes, también cree necesaria la formación de conciencia ciudadana que permita la participación responsable y franca del personal en colaboración con las autoridades de la UCS "HChF" en el núcleo Sucre.

■ El 86,21% de los participantes indicaron que el marco laboral característico predominantemente a la UCS "HChF" es la gestión del conocimiento.

■ El 91,38 opina que en la UCS se aplican las políticas de mejora permanente, progresivas y el principio de la proximidad, que quién está más cerca de una tarea es el que mejor la conoce y quién mejor puede mejorar la gestión de la institución.

■ El 63,79% indicó que el efecto positivo que se presenta en menor proporción en la UCS "HChF", fue la creación de una organización innovadora o con creatividad aplicada.

■ Un 84,48% indica que los efectos positivos de la gestión participativa están presentes en la institución, como refuerzo a la implicación del personal en los objetivos de la organización.

■ El 100,00% opinó que la UCS "HChF" núcleo Sucre, está fundamentada en una visión democrática de la gestión, orientada al talento humano.

■ El 94,83% consideró que existe una es-

trecha vinculación entre UCS "HChF" y las demás instituciones que conforman el sistema público nacional de salud.

■ La característica de gestión participativa que se consideró que primordialmente debe estar presente en la UCS "HChF" núcleo Sucre, fue la estructura de trabajo colaborativo de formas más eficiente entre sociedad y gobierno con un 94,83%.

■ La presentación de propuestas y recomendaciones fue el elemento estratégico de mayor importancia en el proceso estratégico de la UCS "HChF" con un 82,76%.

■ El 81,03% considera la mejora de la calidad académica, pertinencia social e internacionalización, como un mecanismo de vinculación académica, educativa e institucional.

■ El 81,03%, considera el plan de trabajo y la organización integral como elementos que viabilizan la integración y participación.

■ Con respecto a los alcances de los procesos de integración y participación para lograr las transformaciones intra e interinstitucionales en la UCS "HChF", el 77,59% consideró, en primer lugar, aumentar el compromiso la responsabilidad de los trabajadores.

■ En atención al objetivo general se definió una estrategia de combinación, soportada en las alianzas estratégicas a lo externo y la gerencia de procesos de gestión participativa, a lo interno.

RECOMENDACIONES

Implementación de la estrategia de combinación, impulsada por estrategias externas e internas, que permitirán desarrollar la organización para alcanzar la visión establecida. A lo externo, soportada en alianzas estratégicas, y en el caso de las estrategias internas, una estrategia de gerencia de procesos de gestión participativa.

Monitoreo permanente de la implementación de las estrategias, mediante un proceso iterativo, retroalimentado, interactivo, y factible de ser revisado en todo momento, donde se logre la participación de todas las personas clave en la UCS "HChF", que tengan un conocimiento de las principales características de la universidad y las formas de organización del pueblo, en la búsqueda de desarrollar capacidades en torno a la gestión participativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIAS F. 2004. El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. 4ª edición. Editorial Episteme, Venezuela.
- BARBOSA L. 2009. Gestión y evaluación participativa de políticas públicas: el caso de los presupuestos participativos. *Prismas: Dir. Pol. Publ. Mundial. Brasília*. 6(2): 251-264. jul./dez. 2009
- BAVARESCO A. 2001. Proceso metodológico en la investigación (Cómo hacer un diseño de investigación). 4ª edición. Editorial de la Universidad del Zulia, Venezuela, 230p.
- CASASSUS J. 2000. Problemas de la gestión educativa en América latina (la tensión entre los paradigmas de tipo A y el tipo B). Unesco, México.
- CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA. 1999. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- CÓRDOVA E. Y DELGADO J. 2020. Gestión participativa en el desarrollo de las instituciones públicas. *Ciencia Latina*. 4(2):

- Disponible https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v4i2.160
- COLMENARES S. Y SÁNCHEZ E. 2017. Modelo gerencial participativo desde un abordaje de la nueva gestión pública. [Trabajo Mimeografiado para optar al título de Especialista en Gerencia Pública de la Universidad de Carabobo]. Venezuela. 90p.
- D'ALESSIO F. 2008. El proceso estratégico: Un enfoque de gerencia. Pearson educación de México, S.A. de C.V. México. 444p.
- DAVID F. 2008. Conceptos de administración estratégica. Educación, 11ª edición. México. 416p
- DECRETO DE CREACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS DE LA SALUD (Nº 1.3171 8-10-2014. Gaceta Oficial 40.514).
- ESTRADA M., ROMERO F. Y PÉREZ A. 2017. Planeación participativa universitaria: Estrategia organizacional de desarrollo y calidad, para cumplimiento de políticas públicas de la Secretaría de Educación Pública. Revista RAITES (antes Panorama Administrativo). *Estrategias de Gestión Implementadas en las Organizaciones Educativas*. 3(6): 21.
- FONTAINES T. 2012. Metodología de la investigación, pasos para realizar el proyecto de investigación. Júpiter Editores CA., Venezuela. 182p.
- GARCÍA O. 2005. Gestión tecnológica como modelo de la universidad emprendedora. En: Revista Ágora. Trujillo. Venezuela. Año 8 Nº 16, Julio-Diciembre. [http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/omairag/artic/MODELO%20DE%20%GESTION%20\(AGORA\).pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/omairag/artic/MODELO%20DE%20%GESTION%20(AGORA).pdf). Consultado: abril 25, 2008.)
- GÓMEZ J. Y OLIVES J. 2015. Estrategia de gestión participativa para el fortalecimiento organizativo del barrio Valle de Santa Elena, cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena Año 2015- [Tesis de Organización y Desarrollo Comunitario]. Disponible en <http://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/3103>
- HURTADO A. 2018. La gestión universitaria: Una praxis educativa consustanciada con los planes nacionales de desarrollo. *Revista Arbitrada del Centro de Investigación y Estudios Gerenciales*. 28: 33-51. Venezuela. ISSN: 2244-8330. Depósito legal: ppi201002la3492
- INGRAN, M., SANABRIA G., MARRERO O. Y BRUZON, L. 2022. Proyecto I+D gestión participativa comunitaria en la atención primaria de salud, Jesús Menéndez, Las Tunas. Convención Internacional de Salud, Cuba Salud 2022.
- JOHNSON G., SCHOLES K. Y WHITTINGTON R. 2006. Dirección estratégica. 7º edición. Pearson Educación, España. 685p.
- MCDANIEL R. Y ASHMOS D. 1980. Participatory management: an executive alternative for human service organizations. Human Resource Management, Spring, USA.
- MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA SALUD (MPPS). 2017. Lineamientos rectores para la gestión de la red de atención comunal en el área de salud integral comunitaria. Inversiones PrintPress, CA., Caracas, Venezuela. 101p.
- MUÑOZ B. 1998. Proceso de investigación. Fundación UPEL, Caracas, Venezuela.
- NAVARRO M. Y SÁNCHEZ I. 2007. Transformación mundial de la educación superior.

- Universidad Iberoamericana de Puebla, Puebla, México.
- OLAZABAL J. Y GUEVARA D. 2016. Estrategias de gestión educativa participativa para mejorar el estilo de trabajo cooperativo en los docentes de la especialidad de primaria, escuela profesional de educación, facultad de ciencias histórico sociales y educación; universidad nacional «Pedro Ruiz Gallo» Lambayeque; 2015". [Trabajo mimeografiado, presentado para optar el grado académico de Maestro en ciencias de la educación con mención en docencia y gestión universitaria], Perú, 105p.
- PÉREZ J. 2016. La gestión participativa: Unidad de conocimiento. Disponible en https://factorhumano.org/attachments_secure/article/8303/participativa_cast.pdf.
- PINEDA E., ALVARADO E. Y DE CANALES F. 1994, Metodología de la investigación: Manual para el desarrollo de personal de salud. 2^{da}. Edición Organización Panamericana de la Salud. Serie PALTEX, USA, 225p.
- RIVERA S., KIRKAND A. Y BERUMEN M. 2013. Instrumentos de gestión participativa en la administración pública: Propuesta de un sistema de indicadores para la planeación estatal en baja California. Revista Internacional Administración & Finanzas. 6 (2).SALGADOS, FLORES M, GUEVARA M. 2017.Nova Scientia ISSN 2007 - 0705, N° 18 Vol. 9 (1). pp: 568 – 587.Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052017000100568
- TORRES Y. 2007. La gestión participativa en el desarrollo integral de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador. IMPM, Caracas, Venezuela.
- TORRES Y., BUSTAMANTE S. Y COLINA L. 2011. Las estrategias participativas como fundamento de la gestión en organizaciones universitarias. *Encuentro Educativo*. 18(3): 495.
- UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS DE LA SALUD «HUGO CHÁVEZ FRÍAS». 2017. Documento Rector: Fundamentación ético-epistemológica. (Versión Electrónica), Venezuela. 156p.
- VEGAS H. 2017. Participación y gestión pública: un enfoque reflexivo desde el contexto local venezolano. *Investig. Adm.* 46: 119. Méxicoene./jun.
- VELASCO J. 2000. La participación de los profesores en la gestión de calidad en educación. Edición Universidad de Navarra, España.
- VELÁSQUEZ A. 2006. Planificación estratégica participativa basada en evidencias. Guía metodológica. PRAES, GHS-I-00-03-00039-00, 93p.

Analizador Rock Eval 7S

¡Descubre el Rock-Eval 7S de Vinci!

Este instrumento automatizado es ideal para análisis geoquímicos de muestras de roca con kerógeno. Con su pirólisis de alta temperatura y oxidación, el Rock-Eval 7S determina parámetros críticos y cinéticos, como el contenido de carbono orgánico total (COT), contenido de carbono mineral (CMIN), tipo de kerógeno y correlaciones de registros de pozos. Además, puede medir el contenido de azufre de las muestras. Con un diseño compacto e inteligente, el Rock-Eval 7S ocupa poco espacio y ofrece resultados precisos y confiables. Los datos obtenidos se pueden ingresar en el software Vinci GEOWORKS para calcular parámetros de caracterización de rocas.



- ▼ Amplio rango de temperaturas para la pirólisis y oxidación.
- ▼ Velocidades de temperatura ajustables para un control preciso.
 - ▼ Material de crisol duradero y resistente.
- ▼ Cantidad del muestreador automático de alta capacidad.
- ▼ Detectores especializados para diferentes componentes.
 - ▼ Compatible con diferentes gases portadores.
 - ▼ Fácil conexión a corriente eléctrica.

Optimice sus análisis geoquímicos con el Rock-Eval 7S. Obtén resultados precisos y confiables en un instrumento compacto y eficiente.

SOBRE LA ESTRUCTURA DEL ESPACIO-TIEMPO CUÁNTICO CANTORIANO: UNA POSIBILIDAD HACIA LA EXISTENCIA DE SISTEMAS ATEMPORALES

ON THE STRUCTURE OF CANTORIAN QUANTUM SPACE-TIME: A POSSIBILITY TOWARDS THE EXISTENCE OF TIMELESS SYSTEMS

MARÍA T. MALAVÉ-RAMÍREZ

Departamento de Matemáticas, Escuela de Ciencias, Núcleo de Sucre, Universidad de Oriente

E-mail: dayenu25@gmail.com

RESUMEN

Se realiza un análisis sobre la naturaleza del tiempo desde el punto de vista filosófico. Se estudia el concepto de tiempo fractal y de espacio-tiempo cuántico cantoriano, proponiendo diversas alternativas para su empleo en experimentos numéricos y científicos, específicamente; los que se realizan a nivel microscópico. Finalmente, se plantea la conjetura acerca de la existencia de sistemas atemporales, los cuales son sistemas que como su nombre lo indica, carecen de dimensión temporal. Este hallazgo permitiría grandes avances en el campo de la neurociencia.

Palabras clave. Conjuntos de Cantor, tiempo fractal, espacio-tiempo, filosofía, física, procesos cognitivos.

ABSTRACT

An analysis is carried out on the nature of time from a philosophical point of view. The concept of fractal time and cantorlian quantum space-time is studied, proposing various alternatives for their use in numerical and scientific experiments, specifically; those that are carried out at a microscopic level. Finally, the conjecture is raised about the existence of timeless systems, which are systems that, as their name indicates, lack a temporal dimension. This finding would allow great advances in the field of neuroscience.

Keywords. Cantor sets, fractal time, space-time, philosophy, physics, cognitive processes.

INTRODUCCIÓN

El espacio-tiempo es el modelo matemático que combina el espacio y el tiempo en un único continuo como dos conceptos inseparablemente relacionados. En este continuo espacio-

temporal se representan todos los sucesos físicos del universo, de acuerdo con la teoría de la relatividad y otras teorías físicas. Los estudios sobre la estructura del espacio tiempo surgieron en el siglo XVII, durante el de-

sarrollo temprano de la mecánica clásica. Según Isaac Newton, el tiempo es absoluto en el sentido de que su fluir es continuo, regular, (fluye uniformemente) real e incondicionado como el espacio era absoluto, en el sentido de que era permanente y existía independientemente de la materia (NIÑO 2001). En 1905, Albert Einstein publicó un documento sobre una teoría de la relatividad especial, en el cual proponía que el espacio y el tiempo se combinaban en una única construcción conocida como espacio-tiempo. En esta teoría, la velocidad de la luz en el vacío es la misma para todos los observadores. En los diez años siguientes Einstein trabajó en una teoría general de la relatividad, la cual describe cómo la gravedad interactúa con el espacio-tiempo. En vez de ver la gravedad como un campo de fuerzas actuando en el espacio-tiempo, Einstein sugirió que ella modifica la estructura geométrica de este. De acuerdo con la teoría general, el tiempo marcha más despacio en lugares con menor potencial gravitatorio y los rayos de luz se desvían en presencia de un campo gravitatorio (EINSTEIN 1916).

En los siglos XIX y XX, los matemáticos comenzaron a examinar la geometría no euclidiana, cuyo espacio puede decirse que es curvo, más que plano. El trabajo de Minkowski probó la utilidad de considerar el tiempo como un ente matemático único y continuo, que se puede entender desde una perspectiva pseudoeuclidiana, la cual considera al universo como un "espacio de cuatro dimensiones" formado por tres dimensiones espaciales físicas observables y por una "cuarta dimensión" temporal. Así un modelo simple de espacio tiempo es el espacio-tiempo de Minkowski:

$$\mathcal{M} = \{(t, x, y, z) \mid (t, x, y, z) \in \mathbb{R}^4\},$$

donde t es la coordenada temporal medida por un cierto observador, y x, y, z las coordenadas cartesianas espaciales medidas por el mismo observador. Todas estas ideas en torno a la

geometría del espacio tiempo provenían de la física clásica, vista como una estructura de cuatro dimensiones. Más con la llegada de la física cuántica, se pudo observar que a grandes escalas el espacio tiempo podía verse como un espacio continuo y diferenciable de cuatro dimensiones, pero que a pequeñas escalas el comportamiento no era suave sino fractal. Más precisamente, EL NASCHIE (1991) introdujo la teoría E-infinito, estudiando el experimento de dos rendijas visto con la geometría del conjunto de Cantor. Este planteamiento permitió dar una nueva solución al experimento de dos rendijas: según esta teoría la dualidad onda-partícula es simplemente una expresión de la topología y geometría no clásica del espacio-tiempo cuántico, cuando se proyecta en un espacio euclidiano de cuatro dimensiones (EL NASCHIE 2005). El punto de la teoría es el hecho de que todo lo que se ve o se mide depende de la resolución. De aquí, se obtuvo una nueva manera de percibir el espacio-tiempo desde el punto de vista de la geometría fractal. A partir de la construcción de este espacio se han encontrado grandes hallazgos en la física de altas energías y en otras áreas como la Cosmología. Aquí se emplea esta construcción para modificar el eje temporal en los experimentos científicos que se realizan a nivel microscópico. Además, se plantea la conjetura de la existencia de sistemas que carecen de dimensión temporal y se extrae un ejemplo del campo de la neurociencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión bibliográfica del concepto de tiempo y espacio-tiempo a lo largo de la historia, desde el punto de vista físico y filosófico. Para la síntesis del material consultado se emplearon los métodos de la lógica, el razonamiento y la argumentación. De igual manera, se estudiaron las tres teorías existentes (ORD 1983; EL NASCHIE 1991;

NOTTALE 1992) sobre espacio- tiempo fractal, prestando particular atención a la teoría E-infinito propuesta por EL NASCHIE (1991), la cual presenta la estructura del espacio-tiempo como un conjunto de Cantor de dimensión infinita. En base a estas consideraciones, se propone la creación de un eje temporal denominado eje cantoriano compuesto de aproximaciones numéricas de puntos en el conjunto ternario de Cantor, para ser empleado en experimentos numéricos científicos realizados a nivel microscópico. En esta fase de la investigación se aplicó el método analítico-descriptivo. Finalmente, se empleó el método hipotético-deductivo para validar la conjetura sobre la existencia de sistemas atemporales y la creación de un ejemplo sencillo en el campo de la neurociencia y los procesos cognitivos.

Marco teórico y metodológico

Génesis filosófica del concepto de tiempo

Idealismo, realismo y relacionismo

Al describir el mundo, los científicos tienden a suponer una comprensión de los conceptos de temporalidad como la medida temporal, la sucesión en el tiempo o la relación anterior/posterior en sus cuentas. El tiempo también puede ser considerado como un sistema de coordenadas, además, está relacionado con el cambio. El cambio implica algo que tiene diferentes propiedades en diferentes momentos. Se dice, por ejemplo, que el futuro se acerca y el pasado retrocede. A lo largo de los siglos, las teorías sobre la naturaleza del tiempo se han clasificado en tres categorías principales: idealismo, realismo y relacionismo (BARDON 2013).

Los idealistas creen que el tiempo es un asunto meramente subjetivo y nada en realidad le corresponde. Los realistas sostienen que el tiempo es real, un tipo de matriz subyacente

para los eventos. Los relacionistas toman algo de un camino medio; creen que el tiempo es solo una forma de relacionar los acontecimientos entre sí, pero las relaciones que describe son reales. Los eruditos griegos antiguos estaban divididos entre estos tres conceptos básicos. Una de esas influyentes escuelas del pensamiento, conocida como la "escuela eleática" (porque sus proponentes procedían de la colonia griega de Elea en la costa italiana) negó la realidad del cambio. La escuela de pensamiento eleática incluía dos de los más grandes primeros filósofos de la naturaleza, Parménides y Zenón, ellos compartieron una creencia central que podría parecer radical: que todo cambio es una ilusión, que en realidad, todo el mundo es una unidad inmutable atemporal. El tiempo es simplemente una especie de idea en la mente, en lugar de un objeto que se puede atribuir genuinamente a la naturaleza.

Para responder a estas teorías, Aristóteles sostiene que el tiempo es una unidad de medida utilizada para describir cambios; como tal, es una cantidad que pertenece más a lo matemático que al reino material. El tiempo mismo existe sólo en el sentido de que es un sistema de unidades usado para contar, ordenar o medir. Parménides sostiene que cualquier conversación sobre el cambio implica hablar sobre el pasado o el futuro como real y como no real. Si el futuro y los eventos pasados fueran reales ahora, ¡entonces serían presentes! El cambio real también sugeriría que los eventos pueden pasar fuera de la existencia presente a la nada del pasado. Para Parménides, el cambio es una ilusión, una cuestión de mera apariencia subjetiva. En la medida en que la sensación conduce a aceptar la realidad del cambio, los sentidos humanos son fundamentalmente engañosos. La experiencia de movimiento, cambio y el paso del tiempo es una proyección de la propia y limitada perspectiva de la realidad de la mente humana. En efecto, el filósofo del siglo XVIII Immanuel Kant

sostuvo que espacio y tiempo no son objetos en sí mismos, más bien, son meras "formas de experiencia" (es decir, la manera de registrar las percepciones y experiencias es espacial/temporal). La idea de sucesión temporal está presente de manera innata en la estructura cognitiva, a través de un conjunto de principios organizativos. Pensar en términos de una sucesión de experiencias depende de relacionar esas experiencias con sucesiones de eventos. Así es como se llega a tener la idea de sucesión: es un patrón correspondiente al propio concepto de objetividad que la mente humana le impone a los datos de los sentidos para que cuenten una historia coherente. Esto explica la experiencia de la sucesión como un principio organizador de la mente en el contexto de una realidad intrínsecamente atemporal (Sús2016).

De manera simultánea a la teoría idealista del tiempo, en el siglo XVII de la "Revolución Científica", con el renacimiento de las ciencias experimentales y matemáticas en Europa, nace la teoría realista del tiempo. Uno de los más influyentes sobre esta teoría fue el físico Isaac Newton. El mayor logro de Newton fue su ejecución de la idea (anteriormente concebida por Galileo) de que podría haber leyes de movimiento matemáticamente descriptibles. Estas leyes serían cuantificables, invariables e universales, e implicarían sólo interacción mecánica y gravitacional. Newton describe la medida científica del movimiento absoluto en términos de los únicos valores por los cuales tal movimiento podría ser medido: espacio absoluto y tiempo absoluto. Es decir, el movimiento absoluto es el movimiento a través del espacio absoluto, con la velocidad de movimiento dada en términos de tiempo absoluto. Introduce estos conceptos justo antes de la declaración de sus tres famosas leyes del movimiento. Esto significa que, el tiempo mismo con su inexorable "fluir" no depende de los acontecimientos, lo cual tiene sentido

sólo si se acepta que el tiempo permanece en un universo desprovisto de cualquier movimiento u otro cambio. De este modo la misma noción de tiempo absoluto es un repudio a la comprensión aristotélica del tiempo. Según el punto de vista relacionista de Aristóteles, el tiempo es una mera medida abstracta del cambio; es decir, el tiempo depende del cambio. El rechazo de Newton al enfoque aristotélico tiene que ver con la utilidad del tiempo como métrica para describir el movimiento y las fuerzas involucradas en el movimiento. Su razón para abrazar los conceptos de espacio, tiempo y movimiento absolutos fue que pensó que las leyes del movimiento sólo podían describirse en tales términos. Si las leyes del movimiento hicieran referencia a meros movimientos relativos no podrían aplicarse universalmente, porque el movimiento relativo está determinado por los movimientos contingentes de otros cuerpos (EBISON 1993).

Uno de los investigadores contemporáneos de Newton fue el notable austriaco lógico, teólogo y erudito Gott Fried Wilhelm Leibniz, quien tenía sus propias ideas muy diferentes sobre la física y criticó las conclusiones de Newton. La alternativa de Leibniz es una concepción del tiempo y el espacio como un conjunto de relaciones entre eventos y objetos. Él no era realista, en cuanto niega que el tiempo exista en sí mismo. Piensa que la relación con el tiempo es una categoría legítima para explicaciones científicas y matemáticas del universo. Así se clasifica a Leibniz como un relacionista, al igual que Aristóteles. La teoría de Newton siguió siendo universalmente aceptada hasta finales del siglo XIX, cuando comenzó a ser cuestionada por los físicos experimentales. Más precisamente, para esta época Einstein propone que todas las leyes de la naturaleza son las mismas para cualquier observador independientemente de su velocidad. Esta propuesta simple tiene profundas

consecuencias para la comprensión del tiempo y la realidad. Una vez que se examinan las consecuencias, se hace evidente que el extraordinario hecho de que la velocidad de la luz en el vacío es una constante, descarta la noción del tiempo absoluto newtoniano. La teoría de la relatividad de Einstein, equivale a una explicación simplificada del tiempo y el espacio, que no se preocupa por la masa y la gravedad. Su posición, al igual que Newton, es hacia el realismo del tiempo.

Se podría decir aún más sobre estas teorías; sin embargo el presente estudio pretende dar un esbozo de los distintos puntos de vista presentados en torno al tiempo y al espacio.

Interpretación sobre el paso del tiempo

Clásicamente, la propiedad definitiva del tiempo es que pasa o fluye. El supuesto paso del tiempo está íntimamente ligado a la noción de un pasado, presente y futuro reales, porque el paso del tiempo es el cambio que ocurre cuando los eventos pasan de ser futuros a ser presentes y posteriormente a ser pasados (PROSSER 2007). ¿Es esta característica esencial del tiempo (o de tales eventos) en el tiempo real? Según McTaggart, las tablas de verdad de la lógica matemática demuestran que dichas determinaciones temporales son incompatibles (DUMMETT 1960; MCTAGGART 1908). En efecto, sea P un evento futuro: por ejemplo,

P: copa mundial de fútbol de 2026.

Entonces, esta aseveración permite suponer que la copa mundial se llevará a cabo, por lo que la declaración "P sucederá" es cierta, pero "P sucederá" no siempre es cierta. De hecho, después de 2026 P habrá pasado, por lo que "P sucederá" no será cierta. ¿Cuando "P sucederá" es verdadera? Es verdadera, cuando "P es futuro en el presente" ¿Y cuando "P es futuro en el presente" es verdad? La respuesta

es que "P es futuro en el presente" es verdad en el presente. Ahora el problema surge una vez más en el siguiente nivel: se debe especificar cuando la afirmación "P es futuro en el presente es verdadera en el presente" es verdadera y así sucesivamente. Lo cual dará como resultado una regresión infinita, que es conceptualmente incoherente. Por otro lado, si se define un evento pasado por ejemplo: la pandemia de COVID-19 inició en 2020; este evento siempre antecederá al evento de la copa mundial de fútbol de 2026, esto quiere decir, según la teoría estática, que el orden del tiempo existe pero el cambio dinámico o paso del tiempo no. El cambio en la teoría estática, debe entenderse de la siguiente manera: el mundo es atemporalmente de una manera en un momento y atemporalmente de otra manera en un momento posterior. Todos los eventos existen atemporalmente en un orden eterno e inmutable: esta visión es frecuentemente llamada eternismo. La ventaja de la teoría eternista es que evita las contradicciones inherentes a la noción de propiedades temporales que cambian y conserva el sentido de que los eventos están ordenados en el tiempo. El eternismo trae consigo una inherente visión de la persona humana. Desde el punto de vista eternista un ser humano no está completamente presente en cualquier momento del tiempo, más bien está extendido en el espacio-tiempo como una especie de gusano de cuatro dimensiones, con sólo una parte de él existente en cualquier punto del espacio-tiempo. Más aún, si el pasado y el futuro no existen, y lo único que existe es el presente entonces lo que es conocido como presente es simplemente el punto de la historia donde está ubicada una persona en específico (ROMERO 2020). Si se le pregunta a una persona cuya ubicación en la historia es distinta, ¿cual es el presente? ella hablará de que el presente es el momento de la historia que está viviendo, pero la realidad es que todos los sucesos son presentes y coexisten de manera simultánea. Frases como "el pasa-

do ya pasó" podrían ponerse en duda ante tal aseveración. Por ejemplo, la teoría estática implica que un ser fallecido está "siempre vivo" en un momento anterior; refiriéndose a esto Albert Einstein habló en el funeral de su amigo Michele Besso, donde dijo:

"...ahora Besso ha partido de este extraño mundo un poco antes que yo. Eso no significa nada: gente como nosotros que creemos en la física, sabemos que la distinción entre pasado, presente y futuro es sólo una ilusión obstinadamente persistente..."

(BARDON 2013). Normalmente se piensa en términos de causas que traen sus efectos. Considere por ejemplo, la tercera ley de movimiento de Newton: *"Para cada acción hay una reacción igual y opuesta"*. Sin cambio dinámico ni paso del tiempo, sólo queda una relación antes-después eterna y estática entre las llamadas causas y sus efectos. El término "reacción", en la ley de Newton, parece implicar un cambio dinámico cuando la acción produce una reacción que le sigue. Sin embargo, en la teoría estática, el efecto simplemente existe atemporalmente más tarde que su causa.

A pesar de todos los argumentos de los filósofos y físicos, la noción de renunciar al cambio dinámico y al paso del tiempo parece no sólo errónea sino imposible. La razón principal es porque el presente, pasado y futuro están envueltos en actitudes psicológicas y emocionales profundamente arraigadas en los seres humanos.

TIEMPO FRACTAL

El tiempo cronológico es una magnitud física con la que se mide la duración o separación de los acontecimientos, este tiempo es lineal. Como se acostumbra medir el tiempo a intervalos mecánicos regulares, se cree que el tiempo es una línea recta dividida en fragmentos de idéntica longitud. MANDELBROT (1982) propuso el término fractal para referirse a un ob-

jeto geométrico cuya estructura básica, fragmentada o aparentemente irregular, se repite a diferentes escalas. El exponía lo siguiente: *... "Las nubes no son esferas, las montañas no son conos, las líneas costeras no son círculos, y la corteza no es suave, ni los rayos viajan en línea recta"*. El ejemplo clásico y más sencillo en la geometría fractal lo constituye el conjunto ternario de Cantor. Para construirlo, se divide el intervalo $I=[0,1]$ en tres intervalos de igual longitud y se elimina el subintervalo abierto que se encuentra ubicado en el medio, esto es $J(1) = \left(\frac{1}{3}, \frac{2}{3}\right)$. Se

definen, $F_{11} = \left[0, \frac{1}{3}\right]$ y $F_{12} = \left[\frac{2}{3}, 1\right]$ como los intervalos restantes. Luego $C_1 = F_{11} \cup F_{12}$, representa la primera etapa en la construcción del conjunto ternario de Cantor. Procediendo de manera recursiva se excluyen los dos intervalos abiertos del medio de los conjuntos

F_{11} y F_{12} , respectivamente

$$J_2(1) = \left(\frac{1}{9}, \frac{2}{9}\right), J_2(2) = \left(\frac{6}{9}, \frac{7}{9}\right)$$

y se conservan los cuatro intervalos restantes

$$F_{21} = \left[0, \frac{1}{3^2}\right], F_{22} = \left[\frac{2}{3^2}, \frac{3}{3^2}\right], F_{23} = \left[\frac{6}{3^2}, \frac{7}{3^2}\right], F_{24} = \left[\frac{8}{3^2}, 1\right].$$

Sea $C_2 = F_{21} \cup F_{22} \cup F_{23} \cup F_{24}$,

representa la segunda etapa en la construcción del conjunto de Cantor. Procediendo inductivamente, $C_n = F_{n1} \cup \dots \cup F_{n2^n}$

representa la n-ésima etapa en dicha construcción. Finalmente, el conjunto ternario de Cantor se define como $C = \bigcap_{n=1}^{\infty} C_n$, este conjunto

es no vacío, compacto (cerrado y acotado), no contiene intervalos, todos sus puntos son puntos de acumulación y posee la misma cantidad de elementos del intervalo $[0,1]$ y de $\mathbb{R}$; es decir, su cardinalidad es la misma. Una construcción análoga puede realizarse en dimensión dos, tres, cuatro y así sucesivamente. En dimensión uno, los elementos del conjunto de Cantor suelen llamarse "arenas de

Cantor". Para dimensión dos en adelante, sus elementos suelen llamarse "polvo de Cantor". La noción de conjunto de Cantor será de utilidad de la próxima sección.

Según VROBEL (2011), el tiempo fractal es un tiempo multidimensional cualitativo, que depende de la percepción, es no uniforme e impredecible. El cuerpo humano está lleno de relojes internos: el del sueño, el del metabolismo, entre otros. Cada reloj enciende o apaga una actividad inconsciente. Ninguno de ellos funciona a intervalos idénticos. Un reloj vital, el corazón, no se acompasa como un reloj: sus latidos tienen fluctuaciones, de la misma manera funciona el tiempo en el día a día. Según la teoría del tiempo fractal, el nivel de concentración y enfoque que se tiene en una actividad, detiene el tiempo localmente y permite que sea mejor aprovechado. Dicha perspectiva sostiene que no se necesita más tiempo sino un tiempo pleno.

La densidad de la textura del tiempo fractal depende del número de nuevas contextualizaciones; es decir, anidamientos realizados. La monotonía da como resultado una serie de momentos sucesivos con poca o ninguna simultaneidad. Los eventos, por otro lado, crean un alto grado de simultaneidad y exhiben un alto grado de complejidad; ya que se percibe una gran cantidad de detalles en paralelo. El hecho de que la duración subjetiva surja de la interacción de ambas estructuras anidadas internas y externas, a menudo se pasa por alto por teorías de espacio tiempo, que no tienen en cuenta la experiencia humana del tiempo y así como su perspectiva encarnada. Incluso, se puede argumentar que todas las teorías físicas son antropocéntricas, porque han sido desarrolladas bajo las limitaciones impuestas sobre los humanos por la forma en que sus cuerpos y mentes han evolucionado y funcionan.

La concepción del espacio-tiempo fractal es un espacio-tiempo no diferenciable que bus-

ca reconciliar la mecánica clásica con la mecánica cuántica. Las leyes de la física cuántica encuentran su origen mismo en la geometría fractal del espacio-tiempo. A partir de estas ideas, recientemente surgieron tres versiones acerca de la teoría del espacio-tiempo fractal,

- La primera es la de ORD (1983), quien ha trabajado en términos de modelos probabilísticos, en el marco de la mecánica estadística de caminatas aleatorias binarias.

- La segunda versión se debe a NOTTALE (1992), quien desarrolló una geometría fundamentalmente continua del espacio-tiempo, restringida por los principios del movimiento y la relatividad de escala, donde la velocidad de la luz es reemplazada por la longitud de Planck.

- La tercera versión se debe a EL NASCHIE (1991), la cual se deriva de la geometría del espacio-tiempo y descubre que no es cualquier tipo de fractal, sino un conjunto de Cantor aleatorio de dimensión infinita, el cual no es ni continuo ni diferenciable. Dicha teoría se conoce como teoría E-infinito o espacio-tiempo cantoriano y es la que se desarrolla aquí.

ESPACIO-TIEMPO CUÁNTICO CANTORIANO

Usualmente, cuando se crea una nueva teoría se piensa en un nuevo conjunto de ecuaciones diferenciales que satisfacen ciertas condiciones iniciales o de frontera. En contraste, la teoría E-infinito es mucho más que comprender una nueva ecuación. El punto principal de esta teoría es el hecho de que todo lo que se ve y se mide depende de la resolución. Consecuentemente un espacio puede parecer tener dimensión 4, 5, 10 o 26 y nada de esto es contradictorio, todo depende de la resolución (EL NASCHIE 2005).

La noción de dimensión es fundamental para la geometría fractal. Aproximadamente, la dimensión indica cuánto espacio ocupa un con-

junto cerca de cada uno de sus puntos. A continuación se enuncia la definición de espacio-tiempo cantoriano, en términos de dimensiones.

Definición. El espacio cantoriano E-infinito es un conjunto de Cantor infinito dimensional gobernado por tres dimensiones principales: la dimensión formal $n_F = \infty$, la dimensión topológica $n_T=4$ y la tercera y más importante, la dimensión de Hausdorff, dada por:

$$\langle n \rangle = 4 + \phi^3 \approx 4.236067977,$$

donde $\phi = \frac{\sqrt{5}-1}{2}$ es el número áureo.

Otra manera de definir el espacio-tiempo cantoriano es como la intersección infinita de los conjuntos ternarios de Cantor en todas las dimensiones. Es decir, que para El Naschie el espacio-tiempo está conformado por "polvo de Cantor", entendiéndose por polvo de Cantor la unidad más pequeña de la materia. En este sentido, el espacio-tiempo no es más que "polvo de Cantor" distribuido en todo el universo.

Como consecuencia de la definición de este espacio, se han obtenido diversos hallazgos en muchas áreas, una de ellas la cosmología. Particularmente, HE MAREK-CRNJAC (2013) y MAREK-CRNJAC (2013) reescribieron la ecuación de la relatividad especial de Einstein, como la suma de dos ecuaciones:

$$E = MC^2 = \frac{1}{22} MC^2 + \frac{21}{22} MC^2,$$

donde E es la energía, M la masa y C la velocidad de la luz, además $K_1=1/22$ representa la densidad de la energía del cosmos y $K_2=21/22$ es la densidad de la energía oscura faltante en el universo, la cual representa el 95,45% de la energía total, este resultado abre un nuevo camino al enfoque de la física y a la interpretación de muchos de los resultados obtenidos hasta el momento, en torno a dicha ecuación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Uso del tiempo fractal en experimentos científicos

A partir de la construcción del conjunto ternario de Cantor y de la definición del espacio-tiempo cuántico cantoriano, se propone en el presente trabajo un nuevo punto de vista para abordar los experimentos científicos que son modelados a escalas microscópicas: ya sean los modelados a nivel celular, atómico y de partículas, entre otros. En la mayoría de estos experimentos la escala temporal utilizada es el conjunto de los números reales. En muchos otros casos se utiliza la escala logarítmica. Dado que el conjunto ternario de Cantor posee la misma cantidad de elementos de R es posible crear un algoritmo que arroje una sucesión de aproximaciones numéricas de puntos pertenecientes al conjunto ternario de Cantor y utilizar dichas aproximaciones como eje temporal en los experimentos microscópicos. Ciertamente, dicha escala temporal estará contenida en el intervalo $[0,1]$, más si se desea que esté contenida en otro intervalo cerrado, pueden obtenerse sucesiones de puntos pertenecientes a la construcción de un conjunto aleatorio de Cantor, los cuales son también clásicos en la literatura. A partir de esta escala, establecer semejanzas y diferencias en cuanto a los resultados obtenidos con el eje real y con el eje cantoriano.

El eje cantoriano básicamente hará un "zoom" en los experimentos realizados y posiblemente se puedan visualizar fenómenos que con la escala real pasan desapercibidos. En este sentido, el empleo del eje cantoriano podría dar un nuevo enfoque a la naturaleza de los resultados obtenidos y abrir paso a nuevos descubrimientos en áreas como la física, química, biología, medicina, y todas aquellas áreas cuyos experimentos involucren elementos microscópicos.

Conjetura: Existencia de sistemas atemporales

En esta sección se plantea, por primera vez, la conjetura de la existencia de sistemas atemporales. La motivación principal surge de todo lo estudiado hasta este punto sobre la naturaleza del tiempo. A lo largo de este escrito se pueden diferenciar diversos tiempos: el tiempo cronológico, el tiempo en la filosofía, los tiempos biológicos y cíclicos, el tiempo fractal, el tiempo subjetivo que yace en la mente humana, por mencionar algunos. Específicamente, a los procesos cognitivos es que se desea hacer referencia en este apartado CORREA ET AL. (2006); BUONOMANO & ROVELLI (2023). No es un secreto que en cada palabra o en cada movimiento que el hombre ejecuta existe antes un proceso cerebral que emite la orden para que esa acción se lleve a cabo. En tal sentido, todos los descubrimientos realizados a lo largo de la historia estuvieron antes en el cerebro de alguien en forma de pensamiento o idea. Sin embargo, los seres humanos prestan atención más a las consecuencias que a las causas que originaron esas consecuencias. Si los físicos y matemáticos se avocaran un poco más al estudio de los procesos cognitivos, podrían crear teorías físicas y matemáticas más acertadas. Aquí se pretende crear e iniciar una base para la incursión de la física y la matemática en el campo de la neurociencia. Se comienza este proceso definiendo que es un sistema atemporal:

Definición. Un sistema se dice que es atemporal si carece de dimensión temporal. Es un sistema donde todo está establecido y no existen cambios. Además, puede ser observado con una perspectiva de simultaneidad.

Un ejemplo sencillo de un sistema atemporal ha sido sustraído precisamente del campo de la neurociencia: el recuerdo del día de ayer. Observe que cuando se recuerda el día de ayer, no hay ningún orden establecido; es decir, para recordar lo que se hizo a las seis de la tarde,

no se debe recordar primero lo que se hizo a las seis de la mañana. Los eventos pueden ordenarse en el orden que se desee e incluso se pueden recordar de manera simultánea. Además, resulta impresionante como en no más de treinta segundos es posible recordar lo que se realizó en diez horas por mencionar un tiempo. Otra característica de este ejemplo es que no existen cambios; es decir, no se puede cambiar nada de lo que se hizo en el día de ayer, por tal motivo todo ya está establecido.

Esto no significa que este tipo de sistemas sólo existan en la mente humana, pero es un ejemplo sencillo que permite ilustrar la definición de atemporalidad. Es un desafío de ahora en adelante estudiar el campo de los pensamientos vistos como sistemas atemporales, pero antes de esto, es preciso crear la teoría matemática de los sistemas atemporales para luego ser aplicada. Por todo lo expuesto se conjetura:

Conjetura: Existen sistemas atemporales.

CONCLUSIONES

El presente estudio permitió tener un enfoque más general acerca de la naturaleza del tiempo y sus implicaciones en la vida diaria y la cotidianidad. Se pone en duda la existencia de los tiempos pasados y futuros así como la del paso real del tiempo. Se analizaron las diversas perspectivas y teorías del tiempo desde el punto de vista filosófico, permitiendo a cada quien tener su enfoque personal en cuanto al idealismo, realismo y relacionismo del tiempo. Se estudió el tiempo fractal y el espacio-tiempo cuántico cantoriano y se propuso una nueva alternativa del uso de dicho tiempo en los experimentos científicos microscópicos, utilizando un eje temporal cantoriano. Se planteó la conjetura sobre la existencia de sistemas atemporales y se expuso un ejemplo en el campo de la neurociencia, abriendo la brecha al inicio de la creación de un nuevo cam-

po de investigación en esta área.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARDON A. 2013. A brief history of the philosophy of time. Oxford University Press, New York.
- BUONOMANO D. & ROVELLI C. 2003. Bridging the neuroscience and physics of time. *Time and Science*. 2 (10): 267-282. DOI: https://doi.org/10.1142/9781800613751_0010.
- CORREA A., LUPIAÑEZ J. & TUDELA P., 2006. La percepción del tiempo: una revisión desde la neurociencia cognitiva. *Cognitiva*. 18(2): 145-168. DOI: <https://doi.org/10.1174/021435506778148667>.
- DUMMETT M. 1960. A defense of McTaggart's proof of the unreality of time. *Philos. Rev.* (69): 497-504. DOI: <https://doi.org/10.2307/2183483>.
- EBISON M. G. 1993. Newtonian in mind but Aristotelian at heart. *Sci. Educ.* 2: 345-362. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00488171>.
- EINSTEIN A. 1916. Los fundamentos de la teoría general de la relatividad. (Die Grundlage der allgemeinen relativitäts theorie). *Ann. Phys.* 769-822.
- EL NASCHIE M. 1991. Quantum mechanics and the possibility of a cantorion space-time. *Chaos Solit. Fractals*. 1: 485-487. DOI: [https://doi.org/10.1016/0960-0779\(91\)90019-6](https://doi.org/10.1016/0960-0779(91)90019-6).
- EL NASCHIE M. 2005. A guide to the mathematics of E-infinity cantorion spacetime theory. *Chaos Solit. Fractals*. 25: 955-964. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2004.12.033>.
- EL NASCHIE M. 2005. A new solution for the two-slit experiment. *Chaos Solit. Fractals*. 25: 935-939. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2005.02.029>.
- HE J. H. & MAREK-CRNJAC L. 2013. Mohamed El Naschie's Revision of Albert Einstein's $E=m_0 c^2$: A definite resolution of the mystery of the missing dark energy of the cosmos. *Int. J. Mod. Nonlinear Theory Appl.* 2: 55-59. DOI: [10.4236/ijmnta.2013.21006](https://doi.org/10.4236/ijmnta.2013.21006).
- MANDELBROT B. 1982. The Fractal Geometry of Nature. W. H. Freeman and Co, New York.
- MAREK-CRNJAC L. 2013. Modification of Einstein's $E=mc^2$ to $E=1/22 mc^2$. *Am. J. Mod. Phys.* 2: 255-263. DOI: [10.11648/j.ajmp.20130205.14](https://doi.org/10.11648/j.ajmp.20130205.14).
- MCTAGGART J.M.E 1908. The unreality of time. *Mind*. 17: 457-474. DOI: <https://doi.org/10.1093/mind/XVII.4.457>.
- NIÑO V. 2001. El tiempo en la mecánica de Newton, la relatividad especial y la mecánica cuántica. *Rev. Colomb. Filos. Ciencia*. 2(5): 25-34.
- NOTTALE L. 1993. Fractal space-time and microphysics. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.
- ORD G.M. 1983. Fractal space-time: a geometric analogue of relativistic quantum mechanics. *J. Phys. A: Math. Gen.* 16: 1869-1884. DOI: [10.1088/0305-4470/16/9/012](https://doi.org/10.1088/0305-4470/16/9/012).
- PROSSER S. 2007. Could we experience the passage of time. *Ratio*. 20: 75-90. DOI: [10.1111/j.1467-9329.2007.00348.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-9329.2007.00348.x).
- ROMERO G. E. 2020. La naturaleza del tiempo. Editorial Laetoli, Navarra, España.

SÚS A. 2016. Categorías, intuiciones y espacio-tiempo kantiano. *Rev. Humanid. Valpso.* 8: 223-249. DOI: 10.22370/rhv.2016.8.505.

VROBEL S. 2011. Fractal time. Why a watched kettle never boils?. World Scientific Publishing Co. Pte. Inglaterra.

SLK-200 ESPECTRÓMETRO RMN



Características destacadas:

Analice simultáneamente el porcentaje de humedad, aceite-grasa, proteína, ácido oleico y principales ácidos grasos en todo tipo de muestras.

Resultados precisos en segundos: 04" para Aceite y Humedad, 12" para Proteínas y 20" para Ácidos Grasos.

Sin necesidad de preparación de la muestra.

**Software intuitivo y fácil de usar.
Realice sus propias mediciones con
solo una breve formación.**

**Descubre la
innovación
en medición de
contenido de aceite
o grasa, humedad,
ácidos grasos
y proteínas en
semillas, aceites y
alimentos.**

El equipo SLK-200 utiliza tecnología de resonancia magnética de sobremesa para realizar determinaciones simultáneas, no destructivas y automatizadas.