

BISTUA

Revista de la Facultad de Ciencias Básicas

ISSN: 0120-4211 • ISSN-e: 2711-3027

Volumen 21 - No. 2 Año 2023



Publicado: Junio - Diciembre/ 2023



<http://ojs.unipamplona.edu.co/ojsviceinves/index.php/bistua>

BISTUA es la revista de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad de Pamplona-Colombia, cuyo fin primordial es la difusión de trabajos originales que contribuyan a ampliar los conocimientos en ciencias naturales y exactas. BISTUA es una publicación científica de acceso abierto, arbitrada por pares, un volumen anual de dos números, desde 1982 edición en papel ISSN:0120-4211 y desde 2004 edición electrónica e-ISSN:2711-3027. La edición electrónica está alojada en la plataforma *Open Journal Systems* (OJS).

BISTUA publica artículos de investigación científica y tecnológica, artículos de revisión y cartas al editor. Las áreas de interés son las siguientes:

Biología Física Geología Química Matemáticas Ciencias Básicas Aplicada

Información de la Revista

BISTUA, ISSN:0120-4211, Impreso, 2711-3027, electrónico, publicada por la Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Pamplona – Colombia, con periodicidad semestral.

Información de contacto

E-mail: Bistua.RevistaFCB@unipamplona.edu.co

Dirección: Revista BISTUA, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad de Pamplona, Campus Principal, Pamplona – Colombia.

Teléfono: (57) 5685303 Ext: (232)

© Copyright. Universidad de Pamplona.

Se permite la reproducción completa o parcial para fines educativos, garantizando que se cite la fuente indicada en el sitio web de cada artículo.



Nota:

Todas las declaraciones, métodos, instrucciones e ideas que contienen los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente representan la visión de la Universidad de Pamplona. El Editor o la Universidad de Pamplona no se hacen responsables de ninguna lesión y/o daño por el uso del contenido de esta revista. Los conceptos y opiniones expresados en los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores.

Indexación y Bases de datos

BISTUA está admitida en:

PUBLINDEX, Sistema Nacional de Indexación y Homologación de Revistas Especializadas CT+I, Categoría C (2023)



Contacto Editorial

Jorge Enrique Rueda - PhD

Editor / Profesor Titular

Departamento de Física

Facultad de Ciencias Básicas

Universidad de Pamplona

e-mail:

bistua.revistafcb@unipamplona.edu.co

BISTUA

Revista de la Facultad de Ciencias Básicas



Equipo Editorial

Editor

Jorge Enrique Rueda Parada / Dr. en Ciencias-Física
Departamento de Física
Facultad de Ciencias Básicas
Universidad de Pamplona, Colombia

Comité Editorial

Ángel Rodrigo Salazar Martínez / Dr. en Ciencias -Física
Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

Luis Alberto Nuñez / Dr. en Ciencias
Universidad Industrial de Santander, Colombia

Pierre Pellat Finet / Dr. Sciences
Université de Bretagne Sud, Francia

Diana Alexandra Torres / Dr. en Ciencias - Química
Universidad de Pamplona, Colombia

Comité Científico

Antonio Carlos Hernandes /Dr. em Física
Universidade de São Paulo, Brazil

Javier Mateo Oyagüe / Dr. en Ciencias y Tecnología de Alimentos
Universidad de León, España

Nelson Humberto Hurtado / Dr. en Ciencias Químicas
Universidad de Nariño, Colombia

Hernando García / Applied Physics Ph.D.
Southern Illinois University, EE.UU.

Carlos Alberto Ríos Reyes / Dr. en Ciencias Aplicadas
Universidad Industrial de Santander, Colombia

Giovanni Orlando Cancino / Dr. en Ciencias-Biotecnología Vegetal
Universidad de Pamplona, Colombia

Diagramación y Diseño

Jorge Enrique Rueda, Departamento de Física, Universidad de Pamplona

Alfredo Ramírez Parra, Diseño de Portadas, CIADTI - Universidad de Pamplona



Pares Evaluadores

Dr. Javier Mateo Oyagüe

Universidad de León, España

Dr. Hernando Gonzalez Sierra

Universidad Surcolombiana, Colombia

Dra. Adriana Ordoñez Vásquez

Instituto de Genética Humana Facultad de Medicina
Pontificia Universidad Javeriana-Colombia

Dr. José Eduardo Sanabria

Universidad de Sucre-Colombia

Dr. Victor Saul Basto Gonzalez

Universidad del Quindío-Colombia

Dra. Alejandra Eugenia Mejía Molina

Universidad de Pamplona, Colombia

Dr. Carlos José Torres López

Universidad del Trujillo, Trujillo, Perú

Dr. Ana Ramírez

Universidad Industrial de Santander, Colombia

Dr Freddy Rafael Pérez

Universidad Pontificia Bolivariana – Medellín,
Colombia

Dr Alvaro Eduardo Uribe Gil

Universidad de Santander, Colombia

Msc William Eduardo Atehortúa Alarcón

Universidad Francisco de Paula de Santander,
Colombia

Dr German Eduardo Orozco Peñaloza

Gobernación de Putumayo, Colombia

Dr. Antistio Anibal Alviz Amador

Universidad de Cartagena, Colombia

Dr. Luis Parmenio Suescún Bolívar

Universidad de Santiago de Cali, Colombia

Dr. Arnaldo de la barrera correa

Universidad de Pamplona, Colombia

MSc. Iván Meléndez Gélvez

Universidad de Pamplona, Colombia

Dr. Oscar M. Castellanos A.

Universidad de Pamplona, Colombia

Dra. Liliana Solano Flórez

Universidad de Sucre, Colombia

Dra. Yesika Rojas Savogal

Universidad del Atlántico, Colombia

Dr. José Fernando Solanilla Duque

Universidad del Cauca, Colombia

Dra. Steffanny Sanchez Potillo

Universidad Autónoma de Coahuila, México

Mgs. Nelson Javier Cely Calixto

Universidad Francisco de Paula de Santander,
Colombia

Dr Luis Parmenio Suescun

Universidad de Santiago de Cali, Colombia

Dr. Jeysson Fabián Sánchez Suárez

Universidad de La Sabana, Colombia



Contenido / BISTUA, Vol. 21, N^o. 2 (2023)

CUANTIFICACIÓN DE GLUCOSA Y CORTISOL COMO INDICADOR DE ESTRÉS EN EL PEZ BRYCON AMAZONICUS (YAMÚ) MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE CHOQUE TÉRMICO Y ANESTESIA

Glucose and cortisol quantification as an indicator of Stress in the fish Brycon amazonicus (Yamú) after Use of thermal shock and anesthesia

Sandra Liliana Martínez Castillo, Germán Giovany León Romero, Diana Agudelo Castro, Emily A Lugo, Natali Riveros. Páginas 9-12

OBTENCIÓN DE ENSILAJE BIOLÓGICO A PARTIR DE FERMENTACIÓN LÁCTICA DE RESIDUOS PESQUEROS

Obtaining biological silage from lactic fermentation of fish waste

Margarita Del Rosario Salazar Sánchez, Ingris Yohana Hernández-Martínez, Rodrigo Rene Cuello-Marín, Iris Karine Martínez Quintero, Jeannie Vilardy-Naranjo. Páginas 13-17

CITOTOXICIDAD DE LA OCRATOXINA A SOBRE LA PROPAGACIÓN CELULAR DE HEPG2

Ochratoxin A cytotoxicity on HepG2 cell propagation

Contreras-Altahona, Jaimes-Méndez, Gil-Durán, Rojas-Contreras. Páginas 18-23

FACTORES DE RIESGO DETERMINANTES EN LA TRANSMISIÓN DE LA INFECCIÓN POR EL VIRUS DE ZIKA EN EL MUNICIPIO DE CÚCUTA Y SU ÁREA METROPOLITANA.

Determining risk factors in the transmission of ZIKA virus infection in the Cúcuta municipality and its metropolitan area

Jenny Fernanda Espinosa, Edwar Alfredo Jaramillo, Omar Geovanny Perez Ortiz. Páginas 24-33

ASOCIACIÓN ENTRE FORMACIÓN VIRTUAL DURANTE CONFINAMIENTO COVID-19 Y SÍNTOMAS DE DEPRESIÓN, ANSIEDAD Y ESTRÉS EN ESTUDIANTES DE MEDICINA EN PRÁCTICAS CLÍNICAS POST PANDEMIA 2023

Association between virtual training during COVID-19 confinement and symptoms of depression, anxiety and stress in medical students in clinical practices post pandemic 2023

Maritza Lizbeth Maldonado Llizcano, Jorge Ivan Castaño Gutiérrez, Sherlyn Willougby Diaz. Páginas 34-42

CRONOLOGÍA DE LA FORMACIÓN SHALE DE BAMBUCÁ Y SU POTENCIAL COMO ROCA GENERADORA, SECTOR OCCIDENTAL SUBCUENCA DE NEIVA – HUILA, COLOMBIA

Analysis of hydraulic sectorization in water distribution networks implementing Epanet and iDistritos Shale formation and its potential as source rock, western sector of the Neiva sub-basin – Huila, Colombia

Cora Salazar, Alejandra Mejía-Molina, Ingrid Muñoz. Páginas 43-52

Q-IDEALES Y Q-ALGEBRA NEUTROSÓFICA CUADRIPARTICIONADA

Quadripartitioned Neutrosophic Q-Ideals of Q-Algebra

Carlos Granados, Rakhal Das, Suman Das. Páginas 53-60

ANÁLISIS DE SECTORIZACIÓN HIDRÁULICA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA IMPLEMENTANDO EPANET E IDISTRITOS

Analysis of hydraulic sectorization in water distribution networks implementing Epanet and iDistritos

Aura Liliana Flórez Sepúlveda, Carlos Alexis Bonilla Granados, Johnathan Celeita Molina. Páginas 61-67



Cuantificación de glucosa y cortisol como indicador de estrés en el pez *Brycon amazonicus* (Yamú) luego de la utilización de choque térmico y anestesia

*Glucose and cortisol quantification as an indicator of Stress in the fish *Brycon amazonicus* (Yamú) after Use of thermal shock and anesthesia*

Sandra L Martínez ^a; German G León^a ; Diana Agudelo Castro^b, Emily A-Lugo; Natali Riveros^b

^a Corporación Educativa Nacional, Grupo de Nutrición y Producción Animal, Colombia

^b Estudiantes auxiliar en clínica veterinaria; Corporación Educativa Nacional Grupo de Nutrición y Producción Animal, Colombia

Correspondencia: s.martínez@cen.edu.co

Recibido: Abril 12, 2023. Aceptado: Julio 29, 2023. Publicado: Septiembre 24, 2022

Resumen

Este estudio se enfocó en la mejora del manejo de peces *Brycon amazonicus* durante su captura y manipulación, centrándose en la evaluación de los niveles de glucosa y cortisol generados en respuesta a diferentes técnicas. Para llevar a cabo este análisis, se seleccionó una población total de 24 peces procedentes de un cultivo. Estos peces fueron divididos equitativamente en tres grupos, cada uno compuesto por 8 individuos.

Cada grupo fue sometido a un tratamiento específico para observar las respuestas fisiológicas. En primer lugar, el grupo 1 experimentó un choque térmico al reducir la temperatura del agua de 25 a 7 °C. En el caso del grupo 2, se aplicó anestesia utilizando MS-222 a una dosis de 2 gramos por cada 20 litros de agua. Por último, el grupo 3 fue anestesiado utilizando benzocaína disuelta en etanol, aplicando una dosis de 2.5 gramos por cada 2 litros de agua. La elección de estos tratamientos permitió comparar y contrastar las respuestas fisiológicas de los peces ante diferentes técnicas de manejo. Los niveles de glucosa y cortisol fueron monitoreados en el momento de la captura y manipulación. Los resultados de este estudio ofrecerán información valiosa para mejorar las prácticas de manejo de peces *Brycon amazonicus*, contribuyendo así a la conservación y bienestar de esta especie en entornos de cultivo y estudio.

Abstract

This study focused on improving the management of *Brycon amazonicus* fish during their capture and handling, focusing on the evaluation of glucose and cortisol levels generated in response to different techniques. To carry out this analysis, a total population of 24 fish from one culture was selected. These fish were equally divided into three groups, each consisting of 8 individuals.

Each group underwent a specific treatment to observe the physiological responses. First, group 1 experienced a thermal shock by reducing the water temperature from 25 to 7 °C. In the case of group 2, anesthesia was applied using MS-222 at a dose of 2 grams per 20 liters of water. Finally, group 3 was anesthetized using benzocaine dissolved in ethanol, applying a dose of 2.5 grams per 2 liters of water. The choice of these treatments allowed comparing and contrasting the physiological responses of the fish to different management techniques. Glucose and cortisol levels were monitored at the time of capture and handling. The results of this study will offer valuable information to improve management practices for *Brycon amazonicus* fish, thus contributing to the conservation and well-being of this species in culture and study environments.

Keywords: Stress, Handling, *Brycon amazonicus*.

Palabras clave: Estrés, Manipulación, *Brycon amazonicus*.

1. Introducción

Los estudios hematológicos en peces nativos de Colombia son escasos y puntuales [13]. De gran importancia para el tratamiento médico, la evaluación zootécnica, la realización diagnóstica de posibles patologías generadas por contaminaciones como, por ejemplo, por nitratos y estrés por amonio [5] y determinar el estado general del pez para una adecuada comprensión de su fisiología, han generado un creciente interés investigativo con las especies propias de Colombia, sobre todo en las que se

consideran promisorias para el cultivo y consumo humano [6]. El *Brycon amazonicus* (Yamú), es una especie nativa de los Llanos Orientales, que fue incorporada con gran expectativa a los sistemas de producción piscícola y en la actualidad es ampliamente usada. Esta especie tiene gran importancia económica al ser su carne muy apetecida, de alta demanda, obteniéndolo de manera artesanal o deportiva y actualmente en cultivo [8].

En los sistemas de cultivo la manipulación de los peces es frecuente en las actividades básicas del manejo como son el

pesaje para control de peso, toma de muestras y registros sanitarios. Por tal motivo, se espera que producto de dicha interacción, los animales presenten indicadores de estrés, lo cual puede estar asociado a una baja en los indicadores productivos, reproductivos o, incluso, de calidad de la carne. por esto la importancia del uso de anestesia y sedación para dichos manejos [9].

Unos de los parámetros mayormente evaluados son el cortisol como respuesta primaria y la glucosa como respuesta secundaria [12].

La glucosa es el principal sustrato para algunos órganos como retina, cerebro, medula adrenal, células rojas sanguíneas, como fuente de energía. Además, se puede sintetizar fácilmente desde fuentes que no son carbohidratos [1] Por otro lado, el cortisol es la principal hormona que el organismo segrega en respuesta al estrés, en los peces un aumento puede afectarse el sistema inmune [10].

El objetivo de esta investigación fue cuantificar la glucosa y cortisol como indicadores de estrés en la manipulación de peces bajo anestesia y choque térmico.

2. Metodología

Para el desarrollo del trabajo, se tomó una muestra representativa del 10% animales de un cultivo de 240 peces con un peso entre 200g y 300 g ubicado en Cumaral Meta, trasladados dos días antes del experimento a la ciudad de Villavicencio a la estación piscícola la Terraza, los cuales fueron dejados en piletas para su mejor manejo. Se evalúan los niveles de glucosa y cortisol generados por estrés en pez *Brycon amazonicus* (Yamú), utilizando como métodos de extracción la anestesia y el choque térmico.

Para la anestesia: Se prepararon dos recipientes cada uno con 2 litros de agua a temperatura ambiente, en el primer montaje se agregó anestésico MS222 (Tricaina metanol-sulfato) con una dosis de 2gr por cada 20 litros, y en el segundo Benzocaína (Etil aminobenzoato) disuelto en etanol con una dosis de 2.5 gr por cada 2 litros, seguidamente se utiliza un grupo de 8 peces para cada anestésico.

Para el choque térmico: Se preparó un recipiente con 2 litros de agua a temperatura de 25°C en la cual se adiciono hielo, bajando su temperatura hasta los 7°C. Se introdujeron los peces 1.5 minutos tiempo que se demoraron los animales en quedar en estado de adormecimiento por baja en el metabolismo producido por la hipotermia. Para las muestras se tomaron 3 ml de sangre de cada pez en cada uno de los montajes a partir de punción en la vena caudal, de los cuales 1.5 ml se utilizaron para analizar hematocrito, proteínas y glucosa, para la determinación de hematocrito, con anticoagulante, el cual se llenó hasta el 75% de su volumen total. Se selló uno de los extremos en una placa de cera y se colocó en una centrifuga por 5 minutos a 10.000 rpm. la lectura de los resultados se realiza manualmente con el ábaco establecido para peces. Se enrasa el capilar a nivel 0 con el límite y con una línea recta se coloca al 100 con el final de la muestra y se lee dónde termina la capa eritrocitaria.

El volumen restante fue centrifugado, obteniendo a partir de este procedimiento el suero de la sangre (sobrenadante), y se realiza su posterior almacenamiento a una temperatura de 4° centígrados

en hielo, para evitar su alteración en el transporte hacia el laboratorio clínico de pequeños animales de la Universidad Nacional sede Bogotá, donde se llevó a cabo el análisis del suero sanguíneo para el análisis del cortisol.

Durante el proceso se mantuvo la observación a las respuestas fisiológicas del pez teniendo en cuenta los Criterios para la evaluación de los estados de inducción a la anestesia. Estas respuestas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Estados anestésicos; tomado de Gonzales mantilla jf. asociación de veterinarios de vida silvestre (vvs) issn 2011 9348

Estado anestésico	Plano	Categoría	Respuesta fisiológica o actividad del pez
0	Normal		Nado activo, respuesta a estímulos externos, equilibrio normal. tono muscular normal
I	2	Narcosis ligera	Fase de excitación puede preceder a un incremento en la tasa respiratoria, pérdida de equilibrio, esfuerzo por recuperar el eje de nado, tono muscular disminuido.
II	2	Narcosis profunda	Cesa la respuesta a los cambios en posición inducidos, descenso en frecuencia respiratoria, pérdida total de equilibrio, alguna reacción ante estímulos fáciles fuertes. Apropiado para muestreos externos y biopsias de branquias y aletas.
III	1	Anestesia ligera	Pérdida total del tono muscular, respuestas a estímulo fuerte de presión, descenso adicional en frecuencia respiratoria, apropiado para cirugía menor.
III	2	Anestesia quirúrgica	Pérdida total de reacción a estímulos, frecuencias respiratorias y cardíacas muy bajas.
IV	Colapso medular		Pérdida total de movimientos branquiales seguidos de paro cardíaco.

3. Resultados y Discusión

En las tablas 2, 3 y 4 se presentan los resultados obtenidos luego de la medición de los componentes hemáticos para cada tratamiento.

Tabla 2. Resultados obtenidos en laboratorio para choque térmico

IDENTIFICACION	PESO gr	CHOQUE TERMICO			
		GLUCOSA mg/dl	HEMATOCRITO %	PROTEINA g/dl	CORTISOL nmol/L
PEZ 1	230,50	71,00	55,00	3,50	1243
PEZ 2	231,50	55,00	56,00	5,30	1590
PEZ 3	223,00	69,00	48,00	4,40	1316
PEZ 4	223,00	82,00	39,00	4,70	1020
PEZ 5	467,50	57,00	64,00	7,60	1637
PEZ 6	244,50	70,00	56,00	6,40	1547
PEZ 7	264,50	77,00	45,00	5,20	1480
PEZ 8	246,70	72,00	50,00	6,10	1454
PROMEDIO	278,20	71,17	50,33	5,73*	1409
Desviación	0,82	0,96	0,77	1,20	206
Desviación %	0,29	1,35	1,53	20,93	14,65

Nota: Resultados obtenidos para: Peso (gr), Glucosa (mg/dl), Hematocrito (%), Proteína (g/dl) y Cortisol (nmol/L) en cada una de las 8 muestras obtenidas en sangre, utilizando choque térmico.

El análisis de los resultados se realiza comparando las muestras según los niveles de glucosa, mg/dl; 70 a 110. Hematocrito %; 40 a 50. Proteína g/dl; 2 a 6 y considerados normales reportados por otros estudios [3] y cortisol por los rangos del laboratorio de la Clínica Veterinaria de la Universidad Nacional de Colombia, en donde se realizó los análisis Cortisol nmol/L; 689.75 a 827.7. Por lo anterior se puede deducir que todos los valores, salvo el cortisol, presentaron niveles dentro de los parámetros convencionales. Dado que el cortisol es un indicador de la

respuesta primaria del estrés [11]. se puede considerar que todos los grupos experimentales presentaron esta condición en ese nivel.

Tabla 3. Resultados obtenidos en laboratorio para anestesia con MS222

ANESTESIA MS222					
IDENTIFICACIÓN	PESO gr	GLUCOSA mg/dl	HEMATOCRITO %	PROTEINA g/dl	CORTISOL nmol/L
PEZ9	215	89	65	4,2	1215
PEZ 10	177,7	101	61	4	1142
PEZ 11	147,4	87	65	5,9	1523
PEZ 12	293,8	74	47	5,3	1419
PEZ 13	285,7	77	45	4,4	1416
PEZ 14	195,7	79	44	4,6	1450
PEZ 15	200,2	112	61	4,9	813,9
PEZ 16	132	93	40	3,4	1168
PROMEDIO	209,13	87,00	50,33	4,75	1298
Desviación	58,54	12,88	10,45	0,78	232
Desviación %	27,99	14,81	20,76	16,44	17,89

Nota: Resultados obtenidos para: Peso (gr), Glucosa (mg/dl), Hematocrito (%) Proteína (g/dl) y Cortisol (nmol/L) en cada una de las 8 muestras obtenidas en sangre, utilizando anestesia con MS222.

Tabla 4. Resultados obtenidos en laboratorio para anestesia con Benzocaína

ANESTESIA BENZOCAINA					
IDENTIFICACION	PESO gr	GLUCOSA mg/dl	HEMATOCRITO %	PROTEINA g/dl	CORTISOL nmol/L
PEZ 17	229,5	91	37	3,8	1473
PEZ 18	289,4	72	45	4	1101
PEZ 19	245,3	100	48	4,7	1008
PEZ 20	268	99	49	4,7	1020
PEZ 21	260,3	127	41	4,1	1346
PEZ 22	236,3	101	46	4,1	1411
PEZ 23	269,3	86	48	4,7	1363
PEZ 24	188,5	115	46	4,1	749
PROMEDIO	244,62	104,67	46,33	4,40	1150
Desviación	31,04	16,93	4,07	0,37	253
Desviación %	12,69	16,18	8,79	8,31	21,99

Nota: Resultados obtenidos para: Peso (gr), Glucosa (mg/dl), Hematocrito (%) Proteína (g/dl) y Cortisol (nmol/L) en cada una de las 8 muestras obtenidas en sangre, utilizando anestesia con benzocaína.

3.1 ANOVA

Los resultados de las comparaciones entre medias se obtuvieron gracias al software SPSS® y se muestran en la tabla 5. Se puede observar que, a un α de 0,05, solamente la glucosa presentó diferencia estadística significativa. Al analizar las pruebas post hoc, en este caso Tukey, se concluye que el tratamiento 1 fue diferente del 2 y 3, aunque entre ellos no se encontró diferencias estadísticas significativas. En todos los demás resultados no se presentaron diferencias estadísticas significativas.

3.2 Estrés en peces y alteraciones

Las alteraciones del estrés en peces se pueden evidenciar y diagnosticar desde diferentes espectros, como lo son las mediciones de bioquímica molecular, alteraciones en parámetros reproductivos, técnicas histopatológicas y de bioquímica hormonal [2]. Es en estas últimas donde el presente estudio se centra. Las alteraciones secundarias del estrés se presentan en una amplia gama. Dentro de ellas se espera, por ejemplo, hiperglicemia, hiperlactatemia, por la disminución del glicógeno hepático y el catabolismo de la proteína muscular, entre otros. Toda vez que el estímulo generador del estrés desaparece, estos cambios permanecen solo un par de días. Caso contrario, las afectaciones se evidenciarán en efectos terciarios, como lo

pueden ser las alteraciones de los parámetros productivos y reproductivos, reducción del crecimiento y mayor presentación de enfermedades debido a que se baja la resistencia del pez a las mismas. [7]

Tabla 5. Resultados obtenidos del análisis de varianza ANOVA

	Anova				
	Peso	Glucosa	Hematocrito	Proteína	Cortisol
<i>Tratamiento</i>					
1	266.4 ± 82.4 ^a	69.1 ± 9.1 ^b	51.6 ± 7.7 ^a	5.4 ± 1.2 ^a	1410.8 ± 206.4 ^a
2	205.94 ± 58.5 ^a	89 ± 12.8 ^a	53.5 ± 10.4 ^a	4.5 ± 0.7 ^a	1268.3 ± 232.3 ^a
3	248.33 ± 31 ^a	98.8 ± 16.9 ^a	45 ± 4 ^a	4.2 ± 0.3 ^a	1183.8 ± 252.7 ^a

Tabla 5. Valores promedio y diferencias entre grupos. ^a Letras distintas entre columnas representan diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

Esta idea es resaltada por quienes categorizan las tres respuestas posibles del estrés, desde la aparición de cortisol hasta la afectación a la población. [5] Además, es de esperarse que, como respuesta al estrés, los niveles de glucosa en sangre se incrementen, básicamente para generar una liberación energética inmediata. Los niveles altos de glucosa, como respuesta al estrés, han sido reportados sin presentar diferencias en el rendimiento zootécnico final de los animales [14]. los resultados elevados de glucosa tampoco presentaron alteraciones en los índices o indicadores, sometiendo a peces a diferentes densidades de cultivo, que podrían generar estrés crónico. [11]

Adicional a esto, los niveles de glucosa en sangre pueden estar relacionados con los niveles de glucógeno, relacionados con los niveles en hipotálamo, cerebro y plasma [1]. [14] La relación entre los niveles de hiperglicemia en peces y los niveles de glucosa en el cerebro, presentan incremento en estas condiciones. El cerebro usa mayor cantidad de glucosa por unidad de peso, respecto a los demás tejidos analizados en ese estudio [4].

4. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se concluye que el tratamiento más adecuado para la extracción de los peces es la Benzocaína (acetil-benzoato) teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las pruebas experimentales, para las condiciones ambientales que se presentaron. Además, en la referenciación se encuentra correspondencia en sus compuestos activos y sus propiedades como anestésico. Adicionalmente se compara los precios entre anestésicos, lo cual se deduce que MS222 además de producir estrés, la adquisición por parte de pequeños productores de alevinos es muy limitada. Se sugiere, en consecuencia, de lo presentado anteriormente, el uso de Benzocaína (acetil-benzoato) para la manipulación; únicamente en las condiciones ambientales de esta zona, y exclusivamente para esta especie de pez *Brycon amazonicus* (Yamú). Los niveles de glucosa después de la administración de los tratamientos, aunque no generan pérdidas económicas posteriores, debido a la relación que tiene este nutriente con la energía disponible, podría generar un nivel de recuperación más rápido o lento en el pez. Es decir, al encontrarse en niveles de hiperglicemia, los peces están mejor preparados para reactivar sus cuerpos y vías metabólicas posterior a la desaparición del

estímulo estresante. Además, si los niveles de glucosa en cerebro se incrementan posterior a la hiperglicemia, es de esperarse que las funciones vitales como la secreción de compuestos en el organismo. Esto sugeriría que los peces con niveles de hiperglicemia, después de una situación estresante aguda, no crónica, podrían tener un proceso de recuperación un tanto mejor, dado que cuentan con un mayor nivel de glucosa plasmática, con respecto a los animales con el tratamiento por choque térmico. Sin embargo, es necesario realizar más estudios que validen esta hipótesis.

Reconocimientos

A los laboratorios de la de la estación piscícola la Terraza y a el laboratorio clínico de pequeños animales de la Universidad Nacional sede Bogotá por la gestión en la realización de pruebas. A todos los y las estudiantes que participaron en el proceso de experimentación y a todas las y los docentes de la Corporación Educativa Nacional, cuerpo administrativo y directivos.

Referencias

- [1] A. J. J. Aguilar, «Efecto del tratamiento con leptina sobre la actividad del sistema glucosensor y la expresión de neuropéptidos implicados en la regulación de la ingesta de alimento en trucha arcoíris (*Onchorhynchus mykiss*)», Encuentro, n.º 93, pp. 78–100, dic.
- [2] A. de Ocampo Ana & Ocampo Camberos Luis, “Diagnóstico del Estrés en Peces”, Veterinaria México, 30, vol. 4, pp. 337-344., 1999.
- [3] Arias Castellanos, Jose ,Benavides Bustos, M,Hernández Arévalo, G,Eslava Mocha, P.R, “Valoracion hemtologica y sanguinea del yamu Brycon siebenthale”, Revista Orinoquia, 2003.
- [4] B. S. Washburn, M. L. Bruss, E. H. Avery, y R. A. Freedland, “Effects of estrogen on whole animal and tissue glucose use in female and male rainbow trout”, Am. J. Physiol., vol. 263, núm. 6 Pt 2, pp. R1241-7, 1992.
- [5] C. P. Alarcos, “Estrés en acuicultura: una visión actualizada para mejorar el bienestar animal en especies de interés comercial”, Universidad de Cádiz, España, 2020.
- [6] F. N. Zuluaga Tobon, “La piscicultura, una industria promisoría”, Rev. colomb. cienc. pecu., vol. 19, no. 2, pp. 123–124, Jul. 2016.
- [7] I. Jerez Cepa, I. Ruiz-Jarabo, y J. M. Mancera, “Animal welfare in fish aquaculture: Stress attenuation through the diet and the use of anesthetics during transport”, Derecho Anim. Forum Anim. Law Stud., vol. 10, núm. 4, p. 85, 2019.
- [8] J. Arias, El cultivo del Yamú. Villavicencio: Unillanos-Aill-lioc, 2001.
- [9] J. F. G. Mantilla, “Farmacología,terapeutica y anestesia en peces”, asociacion de veterinarios d evida silvestre, vol. 6, núm. 1, pp. 50–62, 2010
- [10] J. I. Briones García, “Evaluación del efecto del cortisol provocado por hipoxia sobre algunos parámetros inmunológicos de tilapias de comercialización de la ciudad de Sucúa – Ecuador”, ConcienciaDigital, vol. 4, n.º 1.2, pp. 446–456, marzo de 2021. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i1.2.1611>
- [11] L E. Soberón-minchán, F W. Chu-koo y f. Alcantara-bocanegra, “parámetros hematológicos, crecimiento y composición corporal de juveniles de gamitana colossoma macropomum {cuvier, 1818) cultivados en tres densidades”, Folia Amazónica, vol. 16, n.º 1-2, p. 35, diciembre de 2007. Accedido el 11 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.24841/fa.v16i1-2.286>
- [12] Lilian M. Barandica C.* & Luis Tort B, “kasidskdkoeje,” Revista Academia Colombiana Ciencias, pp. 337-344., 1999.
- [13] P. Eslava, C. Hernández, “Hematología básica de la cachama blanca, Piaractus Brachypomus”, Rev. M.V. Z. Univ. Llanos. Villavicencio, vol. 1, n.º 1, pp. 3–5, 1995.
- [14] Rodrigo Roubach, Edsandra Chagas, Alzira Miranda de Oliveira y Congress of the Biology of fish., en Aquaculture tampaqui its vitamin c requirement., Manaus, Brazil, 3 de agosto de 2002.
- [15] T. J. McCormack y W. R. Driedzic, “The impact of hypoxia on in vivo glucose uptake in a hypoglycemic fish, *Myoxocephalus scorpius*”, Amer. J. Physiology-Regulatory, Integrative Comparative Physiol., vol. 292, n.º 2, pp. R1033—R1042, febrero de 2007. Accedido el 11 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00308.2006>



Obtención de ensilaje biológico a partir de fermentación láctica de residuos pesqueros

Obtaining biological silage from lactic fermentation of fish waste

Margarita del Rosario Salazar-Sánchez^a, Ingris Yohana Hernández-Martínez^b, Rodrigo Rene Cuello-Marín^c, Iris Karine Martínez Quintero^d, Jeannie Vildary-Naranjo^d

^aDoctora en Ciencias Agrarias y Agroindustriales; ^bMédico Veterinario y Zootecnista; ^cIngeniero pesquero; ^dIngeniera Agroindustrial. Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica. Aguachica, Colombia.

Correspondencia: mdelrosariosalazar@unicesar.edu.co

Recibido: Junio 26, 2023. Aceptado: Julio 31, 2023. Publicado: Agosto 30, 2023.

Resumen

Los desechos del pescado como materia prima, aprovechando estos se consideran como un subproducto valioso por ser fuente de nutrientes que con procesos de transformación pueden llegar a evitar problemas de contaminación ambiental. Los residuos provenientes de la pesca no tienen un tratamiento adecuado referente su disposición final, siendo un factor contaminante del ambiente, además no son utilizados de manera racional, debido al desconocimiento de los procesos tecnológicos aplicables para la utilización de los co-productos que genera esta actividad diariamente, con la caracterización y aprovechamiento agroindustrial de estos residuos en la elaboración de un ensilado biológico. El objetivo de este trabajo fue obtener un ensilaje biológico con residuos de pesca en Gamarra (Cesar). Para la elaboración se utilizó un diseño experimental factorial 2 x 3, el primer factor la fuente de carbono (melaza) con dos niveles de 12% y 18%; y un segundo factor, fermento utilizando yogurt, con 3 niveles de 6%, 11%, y 15%; los cuales se evaluaron a un nivel de confianza del 95% ($P < 0,05$), obteniendo 6 tratamientos con 4 repeticiones cada uno (24 unidades experimentales); las mezclas obtenidas fueron introducidas en unos reactores plásticos, por 15 días a temperatura ambiente, monitoreando las variables pH y acidez durante el ensayo, pasado este tiempo el ensilado fue sometido a secado por aire caliente. Logrando obtener un producto con niveles de proteína entre 32 y 43% y grasa con un porcentaje entre 19 y 33%. Los análisis microbiológicos ubican al producto obtenido como un pienso inocuo siendo un producto apto para consumo animal.

Palabras clave: Acuicultura; Biotecnología; Nutrición; Pez.

Abstract

Fish waste, when used as raw material, is considered a valuable byproduct due to its nutrient content, and through transformation processes, it can help prevent environmental pollution. The waste generated from fishing activities is not adequately treated in terms of its final disposal, which contributes to environmental contamination. Additionally, these waste materials are not used rationally due to a lack of knowledge regarding the applicable technological processes for utilizing the byproducts generated on a daily basis. This study aims to characterize and utilize these agro-industrial waste materials in the production of biological silage. The objective of this research was to obtain biological silage using fish waste in Gamarra (Cesar). An experimental factorial design of 2 x 3 was employed, with the first factor being the carbon source (molasses) at two levels of 12% and 18%, and the second factor being the fermenting agent, which utilized yogurt at three levels of 6%, 11%, and 15%. These factors were evaluated at a confidence level of 95% ($P < 0.05$), resulting in six treatments with four replications each (24 experimental units). The mixtures obtained were placed in plastic reactors and kept at room temperature for 15 days, with pH and acidity levels monitored throughout the experiment. After this period, the silage was subjected to hot air drying. The final product exhibited protein levels ranging from 32% to 43% and fat content ranging from 19% to 33%. Microbiological analysis confirmed the product's safety as animal feed, making it suitable for consumption.

Keywords: Aquaculture; Biotechnology; Nutrition; Fish.

1. Introducción

La industria pesquera a nivel mundial alcanzó un récord de 96,4 millones de toneladas [1], afectando el ambiente con la generación de residuos (aproximadamente 59 x 10⁹ ton), y pérdidas en el manejo del cultivo, almacenamiento, distribución y comercialización de desechos. En Colombia se cultiva alrededor de 97 ton de bocachico, nicuro, bagre, capaz y entre otros [2], que ocasionan con 50% de sobrantes como: partículas de carne, espinas, piel, cabeza, generando entre el 5-11% de vísceras [3,4], sin embargo, se ha reportado

que el aprovechamiento más razonable de este desecho se encuentra la producción de ensilado de pescado para la elaboración de alimentos en las producciones bovinas, porcinas, avícolas y acuícolas, entre [5-8].

El ensilaje de pescado es una alternativa para conservar los desechos o subproductos del pez por medio de la acidificación directa de estos con ácidos orgánicos, inorgánicos o mezcla de ambos (ensilado químico), o por fermentación de azúcares (ensilado biológico (EB)) que

producen ácido láctico [9], este último es una opción viable debido a su fácil elaboración y bajo costo, que por medio de fermentación controlada con bacterias lácticas y carbohidratos, se obtiene un producto acidificado estable, con cualidades nutritivas. Cabe destacar que el ensilaje de pescado se utiliza actualmente para alimentos en el sector pecuario como fuente de proteína, por ende, el aprovechamiento de estos residuos genera una mejora en los costos de la alimentación animal, asimismo disminuye la contaminación en el medio ambiente. Por tal motivo el objetivo del presente estudio fue caracterizar y aprovechar los residuos generados por la actividad pesquera en la elaboración de un EB.

2. Método y materiales

El experimento fue realizado en las instalaciones del laboratorio de química de la facultad de Ingenierías y Tecnologías de la Universidad Popular del Cesar, Seccional Aguachica. Se utilizó como materia prima (MP) los residuos de *Prochilodus reticulatus magdalenae* (Steindachner, 1878); *Leporinus muyscorum* (Steindachner, 1902); *Curimata (Acuticurimata) mivartii* (Steindachner, 1878) y *Pseudoplatystoma fasciatum* (Linnaeus, 1766) provenientes de la Pesquera la Pacora ubicada a las orillas del río Magdalena en el municipio de Gamarra (Cesar).

Elaboración del ensilado. El ensilado de los residuos de pescado se realizó siguiendo el diagrama de procesos con un diseño completamente aleatorio mediante un arreglo factorial, tomando como primer factor la fuente de carbono constituida por melaza (Me) con dos niveles de 12% y 18%; y como segundo factor, el fermento que consistió en una mezcla fermentada con yogurt comercial Bilife®, que contenía *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* y *Bifidobacterium* spp. [10], con 3 niveles de 6%, 11%, y 15%, interactuando con la fuente de carbono y de fermento, para el cual se realizaron 4 repeticiones, la fermentación se realizó en reactores de 3L.

Caracterización fisicoquímica y microbiológica. Se determinaron unidades formadoras de colonias de *Escherichia coli*, *Estafilococos coagulasa* positivo, Esporas *Clostridium sulfito* reductoras, *Salmonella* spp., y *Vibrio colerae* siguiendo la metodología de [11]. Así mismo, se realizó un análisis de composición bromatológica para el material determinado cenizas [12], fibra [13], grasas [14], humedad [15], proteínas y valor calórico en la materia prima de pescado, se midió el pH utilizando un pH-metro Wimcom (modelo PH8418) y la acidez titulable durante 15 días cada 24 horas en el ensilaje mediante el método descrito por [16,17].

3. Resultados y discusión

Caracterización del ensilado. La elaboración de ensilados biológicos permite aprovechar los residuos generados del procesamiento de pescado [18]. Este estudio presenta un método económico para el aprovechamiento y recuperación de componentes de alto valor nutricional presentes en las especies

pisicolas, contribuyendo a la disminución de la contaminación del ambiente [19], puesto que al usar las vísceras y escamas del pescado se optimiza la MP debido a que forman una porción importante del peso animal (15% de su peso) [20]. En la producción del ensilaje, como en este estudio, se ha reportado que los *Lactobacillus* convierten en ácido láctico (presente en el yogurt) preserva pescado [21, 22], además del ácido algunos tipos de lactobacilos producen otras sustancias (antibióticos) que aumentan su efecto de conservación [23], dado que se ha considerado que estos bacilos impiden la oxidación de las grasas [24].

Tabla 1. Resultados de los análisis fisicoquímicos del ensilado

Parámetro	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Humedad (%)	5,51	6,52	4,96	5,69	4,77	8,13
Cenizas (%)	15,36	6,50	10,06	7,77	12,03	14,82
Proteína (%)	34,26	43,82	32,96	39,28	42,58	39,60
Grasa (%)	33,05	23,63	25,54	24,21	22,11	19,11
Fibra (%)	0,00	0,19	0,18	0,16	0,33	0,71
Carbohidratos (%)	11,42	19,35	26,30	22,89	18,18	17,64
Valor Calórico (Kcal 100g ⁻¹)	480	465	467	467	442	401

De acuerdo a la composición proximal (Tabla 1), se obtuvo un subproducto con amplio potencial para la nutrición animal con un porcentaje de proteína que osciló entre 32 y 43%, este resultado es similar al reportado por [25] que uso residuos de *Pleuonectes platessa*, *Solea* y *Platichthys flesus* para ensilaje y con [26] que uso *Oreochromis niloticus* que obtuvo un contenido proteico total de 30,6%.

El contenido graso fue de 33,05% para el T1, similares a los reportados [27], en el cual oscilaron entre 12 y 15,5%, con este resultado el ensilaje puede ser utilizado para mejorar la inmunidad animal dado que es uno de los contenidos más importante en la dieta, asimismo como el suplemento de triglicéridos, fosfolípidos, ésteres de cera y éteres de glicerol [28,29].

En el caso de las cenizas se obtuvo un máximo de 15,36% (T1) y un mínimo de 6,50% (T2), las cuales están relacionadas con la cantidad de carbono presente en las muestras por aporte de trazas o presencia de huesos en los residuos del pescado ensilado [30], se obtuvo un máximo de 15,36% (T1) y un mínimo de 6,50% (T2), estos resultados son similares a los obtenidos por [31] de 8.85% usando vísceras de *Oreochromis spp.*

Los porcentajes de fibra en los 6 tratamientos oscilaron entre 0,16% y 0,71% datos similares a lo reportado por [32], de 0-6%, teniendo en cuenta que las vísceras están constituidas por tejido conjuntivo y fibroblasto [33], que al ser fermentados se degradan y por lo tanto no aportan fibra al ensilado, los resultados encontrados pueden deberse a residuos de quitina presentes en los residuos colectados, producto de la ingesta de los peces [34].

Tabla 2. pH y acidez del ensilado de vísceras de pescado

Tratamiento*		pH (Unidades de pH)	Acidez (mmol L ⁻¹)
T1	Me 12% - F 6%	4.77±0.5	8.0 ± 1.15
T2	Me 12% - F 11%	4.54 ± 0.12	8.0 ±1.15
T3	Me 12% - F 15%	4.57 ± 0.10	8.0 ±1.15
T4	Me 18% - F 6%	4.46 ± 0.11	8.0±1.15
T5	Me 18% - F 11%	4.47 ± 0.12	8.0±1.15
T6	Me 18% - F 15%	4.33 ± 0.10	8.0±1.15

*Me: Melaza; F: Fermento. Valor ± DS. Fuente: Autores.

El pH y la acidez son considerados como variables críticas para proceso de elaboración de ensilado, debido a que afectan directamente el crecimiento y actividad enzimática de los microorganismos adicionados como las bacterias ácido lácticas (*Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* y *Bifidobacterium* spp.) [35]. En este estudio se presentó un pH inicial promedio de 6,10 y acidez promedio de 4,32mmol g⁻¹ en la fermentación de los residuos de pescado, que disminuyó después de 360 horas a un pH y acidez final promedio respectivamente de 1,0 y 15,0 mmol g⁻¹ (Tabla 2), además que esta disminución incidió en la eliminación del contenido de patógenos gramnegativos como *Salmonella* spp., y otros patógenos como *Escherichia coli*, *Estafilococo coagulasa* y *Clostridium sulfito* (Tabla 3) similar a lo reportado por [36-38] quien utilizó como inóculo cereales pre-fermentados con *Pediococcus acidilactici* y *Lactobacillus plantarum* sobre residuos de pescado encontrando un descenso del pH por debajo de 4,5 en 30h, afectando la proliferación de *Aeromonas salmonicida*. También se encontró para los tratamientos T4, T5 y T6, que estaban compuestos por diferentes porcentajes de fermento y melaza que propiciaron el crecimiento de mohos y levaduras, en los que el pH se mantuvo ligeramente ácido [39].

Los parámetros analizados de las vísceras se encuentran dentro de los requisitos microbiológicos establecidos según la resolución 776 de 2008, por la cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos que deben cumplir los productos de la pesca, en particular pescados, moluscos y crustáceos para consumo humano, emanado del Ministerio de la Protección Social y se encuentran dentro de los parámetros establecidos según las Normas Técnicas Colombiana (NTC) (Tabla 3). Los reportes indican ausencia de *Salmonella* spp., ya que es una variable importante en el momento de evaluar un producto como materia prima en la elaboración de alimento para animales indicando un nivel de buena calidad y apto para consumo animal.

Tabla 3. Resultados de los análisis microbiológicos del ensilado.

Microorganismo	Tratamiento					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
<i>Escherichia coli</i> (UFC g ⁻¹)	<10	<10	<10	<10	<10	<10
<i>Staphylococcus aureus</i> coagulasa positivo (UFC g ⁻¹)	<100	<100	<100	<100	<100	<100
<i>Salmonella Spp.</i> (g)	Neg/25	Neg/25	Neg/25	Neg/25	Neg/25	Neg/25
Esporas de <i>Clostridium Sulfito reductor</i> (UFC g ⁻¹)	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Mohos y levaduras (UFC g ⁻¹)	<10	<10	<10	10	10	10

Fuente: Autores.

A partir de vísceras como materia prima, que es considerada un desecho, es posible elaborar un producto a costos de producción razonables (COL \$2904 kg⁻¹) comparado con el producto terminado, debido a que puede catalogarse como un suplemento proteico (proteína >20%), en que se necesitaría una cantidad menor de MP aportante de proteína en la mezcla con otros ingredientes en la elaboración de una dieta para diferentes animales, además una producción en una escala semi-industrial o industrial del ensilado, ayudaría a reducir costos, mantener producción constante y estandarizar el proceso. Por tal motivo los residuos de pescado se pueden considerar una fuente rica en proteínas, pero limitada en hidratos de carbono [40], cabe resaltar que este estudio tuvo similitud al desarrollado por [41]. En cuanto a la melaza se destaca como suplemento efectivo o fuente de carbono, de fácil adquisición y económico que resulta ser un factor incidente positivamente como fuente de energía para el desarrollo de diversos microorganismos fermentadores [42].

4. Conclusiones

La elaboración de ensilados biológicos permite aprovechar los residuos generados del procesamiento del pescado, utilizando un método económico para así recuperar los componentes de alto valor nutricional presentes en estos y contribuir a la disminución de la contaminación del ambiente, ya que las vísceras del pescado forman una porción importante del peso del animal (15%), formadas principalmente por tejido conjuntivo y quitina. La composición proximal evidenció que el ensilaje obtenido es un subproducto de gran importancia para la nutrición animal (Contenido de proteína mínimo 32.96% T3 y máximo 43.8% en T2), los análisis microbiológicos realizados a las vísceras demuestran que si se aplica una técnica de conservación adecuada estas pueden utilizarse sin la aplicación de ninguna operación de control que frene su deterioro por bacterias, y poder ser utilizadas como MP en la elaboración de subproductos para alimentación animal. En la elaboración del

EB seco se logra un rendimiento promedio de $5,3\% \pm 1,24$. Con referencia al análisis organoléptico: en el color, se pudo observar que existen diferencias entre los tratamientos, notándose pequeños cambios durante los 15 días de almacenamiento, en el tratamiento 4 se evidenció el color más oscuro, elaborado con 18% de Me y 6% de fermento esto pudo ocasionarse debido a las características colorimétricas de la Me empleada la cual es de un color marrón oscuro, teniendo en cuenta que en este tratamiento, a diferencia de los demás se utilizó mayor porcentaje de melaza con el menor porcentaje de yogurt..

Reconocimientos

Los autores agradecen a la Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica por el préstamo de instalaciones para llevar a cabo la investigación.

Referencias

- [1] FAO. (2020). The State of World Fisheries and Aquaculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [2] Minagricultura. (2021). Sector Pesquero y Acuicola en Colombia. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- [3] García-Sifuentes, C., et al. (2020). "Characterization of Fish Waste for the Development of Sustainable Aquafeed." *Journal of Aquaculture Research and Development*, 11(3), 1-5.
- [4] Lúquez-Pérez, Y., & Hleap-Zapata, J. (2020). "Fishery Waste in Colombia: Status and Potential Uses." *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 15(1), 23-31.
- [5] Afreen, M., & Ucak, İ. (2021). "Use of Fish Silage in Animal Feed: A Review." *Journal of Agricultural and Veterinary Sciences*, 4(1), 13-17.
- [6] Gomez, J., et al. (2014). "Evaluation of Different Silage Additives in Ensilaging Sardine Wastes for Animal Feed." *Animal Feed Science and Technology*, 188, 65-72.
- [7] Lúquez, Y., & Hleap, J. (2020). "Fish Silage: An Alternative to Manage Fishery Waste in Colombia." *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 15(2), 46-54.
- [8] Yamada, Y., et al. (2000). "Silage Fermentation Characteristics of Fish Waste." *Journal of Applied Microbiology*, 88(3), 445-449.
- [9] Perea, S. (2017). "Elaboración de ensilado de pescado: Una alternativa para la conservación de desechos o subproductos del pez." *Revista de Ciencia y Tecnología*, 3(2), 50-60.
- [10] Abimorad, E. G., Naves, L. P., & Oliveira, R. P. (2009). Caracterização de iogurtes com culturas probióticas comerciais. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, 64(6), 371-377.
- [11] Carreño, A. L., & Hurtado, A. F. (2017). Métodos de análisis microbiológicos para alimentos. Pontificia Universidad Javeriana.
- [12] NTC 282:2002. (2002). Productos alimenticios. Determinación de nitrógeno (método de kjeldahl) y cálculo del contenido de proteína.
- [13] NTC 529:2009. (2009). Alimentos para animales. Determinación de humedad.
- [14] NTC 668:1973. (1973). Alimentos. Determinación de la fibra cruda. Método gravimétrico.
- [15] McGrath, J. M., Naem, A., & Coleman, J. G. (2016). The effect of fermenting corn with *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus buchneri*, and *Lactobacillus fermentum* on feed intake, digestibility, and weight gain in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 99(5), 3712-3720.
- [16] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. McGraw-Hill.
- [17] De Arruda, L.F.; Borghesi, R.; Oetterer M. 2007. Use of fish waste as silage - A review. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50(5): 879-886. DOI: 10.1590/s1516-89132007000500016
- [18] Alfio, V.G.; Manzo, C.; Micillo, R. 2021. From fish waste to value: An overview of the sustainable recovery of omega-3 for food supplements. *Molecules* (Basel, Switzerland), 26(4):1002. DOI: 10.3390/molecules26041002
- [19] He, C.; Cao, J.; Bao, Y.; Sun, Z.; Liu, Z.; Li, C. 2021. Characterization of lipid profiling in three parts (muscle, head and viscera) of tilapia (*Oreochromis niloticus*) using lipidomics with UPLC-ESI-Q-TOF-MS. *Food Chemistry*, 347(58):129057. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129057
- [20] Nilsson, R.; Rydin, C.; Stewart, J.W.; Takahashi, M. 1963. Fermentation as a means of preserving organic materials. En *Acta Chemica Scandinavica*:Vol.17.supl:174-179. DOI:10.3891/acta.chem.scand.17s-0174.
- [21] Olsen, R. L.; Toppe, J. 2017. Fish silage hydrolysates: Not only a feed nutrient, but also a useful feed additive. *Trends in Food Science and Technology*, 66:93-97. DOI: 10.1016/j.tifs.2017.06.003
- [22] Arason, S. 1994. Production of fish silage. In: Martin A.M. (eds) *Fisheries Processing*. Springer, Boston, MA. 244-272p. DOI: 10.1007/978-1-4615-5303-8_11
- [23] De Vuyst, L.; Vandamme, E.J. 1994. Antimicrobial potential of lactic acid bacteria. En *Bacteriocins of Lactic Acid Bacteria*. USA. Ed. Springer. 91-142p. DOI: 10.1007/978-1-4615-2668-1_3
- [24] Van 'T Land, M.; Vanderperren, E.; Raes, K. 2017. The effect of raw material combination on the nutritional composition and stability of four types of autolyzed fish silage. *Animal Feed Science and Technology*, 234(October): 284-294. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2017.10.009
- [25] Oliveira Cavalheiro, J.M.; Oliveira De Souza, E.; Bora, P.S. 2007. Utilization of shrimp industry waste in the formulation of tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus) feed. *Bioresource Technology*, 98(3):602-606. DOI: 10.1016/j.biortech.2006.02.018
- [26] Holguín, M.; Caicedo, L.; Velloza, L. 2009. Estabilidad de almacenamiento de ensilados biológicos a partir de residuos de pescado inoculados con bacterias ácido-lácticas. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 56(II):95-104.
- [27] Goosen, N.J.; De Wet, L.F.; Görgens, J.F.; Jacobs, K.; De Bruyn, A. 2014. Fish silage oil from rainbow trout processing waste as alternative to conventional fish oil in formulated diets for Mozambique tilapia *Oreochromis mossambicus*. *Animal Feed Science and Technology*, 188:74-84.
- [28] Afreen, M.; Ucak, I. 2020. Fish processing wastes used as feed ingredient for animal feed and aquaculture feed. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, 6(2):55-64. DOI: 10.18331/SFS2020.6.2.7
- [29] Ramírez Ramírez, J.; Loya Olguín, J.; Ulloa, J.; Gutiérrez-Leyva, R.; Silva Carrillo, Y. 2020. Aprovechamiento de desechos de pescado y cáscara de piña para producir ensilado biológico. *Abanico Veterinario*, 10:1-12. DOI: 10.21929/abavet2020.29
- [30] Gaviria G, Y. S., Londoño F, L. F., & Zapata M, J. E. 2020. Effects of chemical silage of red tilapia viscera (*Oreochromis* spp.) as a source of protein on the productive and hematological parameters in isa-brown laying hens (*Gallus gallus domesticus*). *Heliyon*, 6(12), p. e05831. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e05831
- [31] Viana, M. T. 2000. Nutrición de abulón. pp 33-41 En: Civera-Cerecedo, R., Pérez-Estrada, C.J., Ricque-Marie, D. y Cruz-Suárez, L.E. (Eds.) *Avances en Nutrición Acuicola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición. Acuicola*. Ed: La Paz B.C.S. (Ciudad de México). 15-18p.
- [32] Sierra, E.; Espinosa, A.; Real, F.; Herráez, P.; Castro, P.; Fernández, A. 2011. Histología y patología de los peces. Parte I: Biología y necropsia de los peces. *Revista Canaria de las ciencias veterinarias*, 44-51.
- [33] Sandbol, P. 1993. Nueva tecnología en la producción de harina de pescado para piensos: implicaciones sobre la evaluación de la calidad. IX Curso de especialización FEDNA, Barcelona, 1-28p.
- [34] Suarez, L.M.; Montes, J.R.; Zapata, J. E. 2018. Optimización del contenido de ácidos en ensilados de vísceras de tilapia roja (*Oreochromis* spp.) con análisis del ciclo de vida de los alimentos derivados. *Información tecnológica*, 29(6):83-94. DOI: 10.4067/S0718-07642018000600083
- [35] Lindgren, S.; Pettersson, K.; Kaspersson, A.; Jonsson, A.; Lingvall, P. 1985. Microbial dynamics during aerobic deterioration of silages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 36(9):765-774. DOI: 10.1002/jsfa.2740360902

- [36] Lindgren, S.; Pleje, M. 1983. Silage fermentation of fish or fish waste products with lactic acid bacteria. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34(10):1057-1067. DOI: 10.1002/jsfa.2740341005
- [37] Torres De Oliveira, A.L.; Oliveira Sales, R.; Sales Bruno, F.; Batista Santiago, J. 2013. Avaliação microbiológica da silagem biológica de resíduos de pescado das indústrias de filetagem de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal*, 07(2):68-85. DOI: 10.5935/1981-2965.20130011
- [38] Coblenz, W.K.; Akins, M.S. 2018. Silage review: Recent advances and future technologies for baled silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 4075-4092. DOI: 10.3168/jds.2017-13708
- [39] Tacon, A.G.J. 2020. trends in global aquaculture and aquafeed production: 2000–2017. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture*, 28(1):43-56. DOI: 10.1080/23308249.2019.1649634
- [40] Mayta, A.C.; García, I.; Dabrowski, K.; Jiménez, R. (2021). Bacterial diversity analysis and evaluation proteins hydrolysis during the acid whey and fish waste fermentation. *Microorganisms*, 9(1):100. DOI: 10.3390/microorganisms9010100
- [41] Lakhali, D.; Bahlaouan, B.; Boutaleb, N.; Bennani, M.; El Antri, S. 2020. Agricultural valorization by biotransformation of fish wastes combined with grape marc and molasses. *Mediterranean Journal of Chemistry*, 10(7):723. DOI: 10.13171/mjc1070200807144



Citotoxicidad de la ocratoxina A sobre la propagación celular de HepG2

Ochratoxin A cytotoxicity on HepG2 cell propagation

Francisco J Contreras-Altahona¹; Nancy Jaimes-Méndez^{2*}; Manuel A Gil-Durán³; Olga L Rojas-Contreras⁴

¹Est. de Biol, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia. e-mail: francisco.contreras@unipamplona.edu.co;

²Lic. M.Sc, Ph.D, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia. e-mail: njaimes@unipamplona.edu.co;

³Ing. Sist, Universidad de Pamplona, Pamplona Colombia. e-mail: manuel.gil@unipamplona.edu.co;

⁴Microb, M.Sc, Ph.D, Universidad de Pamplona, Pamplona Colombia. e-mail: olrojas@unipamplona.edu.co;

Correspondencia: njaimes@unipamplona.edu.co

Recibido: Septiembre 22, 2023. Aceptado: Octubre 10, 2023. Publicado: Noviembre 20, 2023.

Resumen

La ocratoxina A (OTA) es un metabolito secundario producido por hongos de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, con efecto tóxico para diversos seres vivos. OTA se encuentra en una gran diversidad de alimentos y piensos para animales, por esta razón radica la importancia de estimar los efectos tóxicos de la OTA en la línea celular HepG2 mediante la inhibición de la proliferación celular, además, determinar los cambios morfológicos en las células y su correlación con la apoptosis. La línea celular HepG2 se expuso durante 48 y 72 horas a concentraciones de 1,0; 2,5; 10 y 15 μM de OTA liofilizada; a continuación, la actividad antiproliferativa de la micotoxina se calculó aplicando el método colorimétrico MTT (bromuro de 3-(4,5-dimetil-2-tiazolil)-2,5-difeniltetrazolio). Posteriormente, en células HepG2 tratadas con 10 μM de OTA por 48 horas se analizaron los cambios morfológicos relacionados con la muerte celular apoptótica por microscopía electrónica de transmisión. La propagación de las células HepG2 se afecta desde la concentración de 2,5 μM de OTA, en contraste con el control. Después, se realizó la medición de la concentración inhibitoria media (CI₅₀) de OTA sobre las células HepG2, esta fue de 9,19 μM DE \pm 0,68 y de 9,98 μM DE \pm 0,4, a las 48 y 72 horas, respectivamente. Se evidenciaron alteraciones morfológicas relacionadas con la muerte celular por apoptosis en las células HepG2, como la fragmentación del núcleo (cariorrexis), fragmentación celular y formación de los cuerpos apoptóticos.

Palabras clave: Ocratoxina A, proliferación, citotoxicidad.

Abstract

Ochratoxin A (OTA) is a secondary metabolite produced by fungi of the *Aspergillus* and *Penicillium* genera, with a toxic effect on various living beings. OTA is found in a wide variety of foods and animal feed, for this reason lies the importance of estimating the toxic effects of OTA on the HepG2 cell line by inhibiting cell proliferation, in addition, determining the morphological changes in the cells. and its correlation with apoptosis. The HepG2 cell line was exposed for 48 and 72 hours at concentrations of 1.0; 2.5; 10 and 15 μM lyophilized OTA; Next, the antiproliferative activity of the mycotoxin was calculated using the MTT colorimetric method (3-(4,5-dimethyl-2-thiazolyl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide). Subsequently, in HepG2 cells treated with 10 μM OTA for 48 hours, the morphological changes related to apoptotic cell death were analyzed by transmission electron microscopy. The propagation of HepG2 cells is affected from the concentration of 2.5 μM of OTA, in contrast to the control. Then, the measurement of the mean inhibitory concentration (IC₅₀) of OTA on HepG2 cells was carried out, this was 9.19 μM SD \pm 0.68 and 9.98 μM SD \pm 0.4, at 48 and 72 hours, respectively. Morphological alterations related to cell death by apoptosis in HepG2 cells were evidenced, such as fragmentation of the nucleus (karyorrhexis), cell fragmentation and formation of apoptotic bodies.

Keywords: Ochratoxin A, proliferation, cytotoxicity.

1. Introducción

La ocratoxina A (OTA), es una toxina sintetizada por diversos hongos pertenecientes a los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, es nociva y está extendida en la naturaleza, con efecto tóxico para los seres vivos, y está distribuida desde alimentos cultivados y procesados hasta en organismos que los consumen. La OTA es un metabolito secundario, formada por una molécula que posee un anillo de 3,4-dehidro-metil-isocumarina unido por medio del grupo carboxilo y un enlace

tipo amida a una molécula de fenilalanina, con fórmula molecular C₂₀H₁₈ClNO₆ y peso molecular de 403,813g/mol, también, es un sólido cristalino blanco, inodoro, termoestable, con escasa solubilidad en agua (Figura 1) [1, 2, 3]. Se describen cinco tipos de ocratoxinas: A, B, C, α , β , siendo la más tóxica la ocratoxina A [4].

Debido a la ubicuidad de los hongos ocratoxigénicos, se informa que la OTA es uno de los contaminantes más comunes de los alimentos, como cereales, granos, frutas, verduras, huevos, vino, cerveza, así como productos derivados de la carne, lácteos y

cereales; igualmente se encuentra en piensos, entre otros. La distribución generalizada en la cadena alimenticia de OTA favorece la exposición significativa para los seres humanos y animales. Además, existen prácticas agrícolas y condiciones medioambientales (humedad y temperatura) que durante el almacenamiento y el transporte contribuyen a la presencia de esta micotoxina en los alimentos [1, 2, 3, 5, 6, 7].

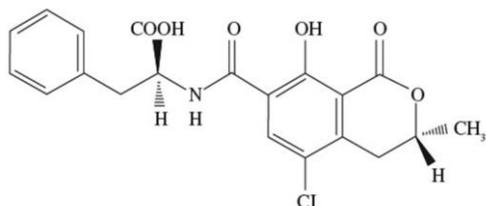


Figura 1. Estructura química de OTA. (Tao, et al. 2018)

La presencia de micotoxinas como la OTA en los alimentos y piensos tiene efectos adversos tanto en la salud humana como animal, ya que pueden estar expuestos por inhalación, ingestión o contacto con la piel. La OTA fue clasificada como posible carcinógeno humano en el grupo 2B por la Agencia Internacional para la investigación del Cáncer, además, es nefrotóxica, hepatotóxica, neurotóxica, mutagénica, teratogénica, embriotóxica e inmunotóxica [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13]. El hígado es el principal órgano responsable de la biotransformación de OTA donde se pueden formar metabolitos tóxicos, lo que provoca la hepatotoxicidad. La OTA demostró que es hepatotóxica, por esta razón, en varios estudios se utilizan las células HepG2 que derivan del carcinoma hepatocelular humano [9, 13].

Estudios tanto *in vitro* como *in vivo*, sugieren que la toxicidad de la OTA puede estar relacionada con la estimulación del estrés oxidativo. Los daños oxidativos mediados por OTA a nivel celular, se relacionan con la peroxidación lipídica, daño a las proteínas, también daño al ADN, que incluye principalmente roturas de las cadenas simple y doble, lesiones en las bases, como es la formación de 8-hidroxideoxiguanosina (8-OHdG), así como inhibición de la síntesis de RNA y proteínas [2, 12, 13]. La inhibición de la síntesis de proteínas provoca una disminución de la proliferación celular y apoptosis. Investigaciones sobre el mecanismo de apoptosis sugieren que OTA ingresa a las células a través de transportadores OAT1 y OAT3 y que puede desencadenar la apoptosis por vía mitocondrial y retículo endoplasmático [2, 7, 10].

En relación a estudios de la citotoxicidad de OTA *in vitro*, se muestra el empleo de diferentes metodologías en las pruebas citotóxicas, al igual que tiempos de exposición de 24, 48 y 72 horas y rangos de concentraciones de OTA, que van desde 0; 0,1; 2,5; 5; 10; 20; 40; 50; 64 μM hasta 128 μM , así como la utilización de diversas líneas celulares como HepG2, NRK-52E (células del túbulo proximal renal de rata), Vero-E6 (células de riñón del mono verde), hPBMC (células mononucleares de sangre periférica, GCs (células granulosa

de ovario porcino), GC-2 (células germinales masculinas), SH-SY5Y (células del neuroblastoma humano), Caco-2 (células de colon humano), evidenciándose en las líneas celulares probadas una disminución de la viabilidad celular menor del 50 % a mayor concentración OTA en comparación con el control [2, 11, 12, 13, 15, 16, 17].

Así mismo, se reportan concentraciones inhibitorias (CI_{50}) de OTA para HepG2 de $52,62 \mu\text{M} \pm 0,04$ a las 48 horas y de $36 \mu\text{M} \pm 0,09$ a las 72 horas de tratamiento; en otros estudios se registran CI_{50} de $21,16 \mu\text{M}$ y de $25 \mu\text{M}$ durante 24 horas de tratamiento para esta línea celular, mientras que para otras líneas celulares como Caco-2 la CI_{50} fue de $7,63 \mu\text{M}$ con 72 horas de tratamiento [10, 11, 18]. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue estimar los efectos tóxicos de la OTA en la línea celular HepG2 mediante la inhibición de la proliferación celular y determinar los cambios morfológicos en las células y su correlación con la apoptosis.

2. Métodos y Materiales

Micotoxina. A partir del estándar de la Ocratoxina A suspendida en metanol (HPLC-OTA), Micotox Ltda, Colombia, se procedió a la liofilización por 24 horas. En síntesis, consistió en la diálisis de la micotoxina OTA en tampón Tris a 25 mM por 24 horas, a continuación, el contenido se transfirió a un tubo Falcon, se congeló por 4 horas y se finalizó con la liofilización.

Células HepG2. A partir de viales congelados de la línea celular HepG2 (carcinoma de hepatoblastoma humano), se realizaron cultivos hasta alcanzar una confluencia del 80%. Seguidamente, se disociaron los cultivos con tripsina 0,25% y se sembraron en placas a una concentración de 20.000 células/100 μl por pozo de RPMI-1640 complementado con suero fetal bovino al 10 % y con una solución de antibiótico al 0,05 %, las placas se incubaron por 24 horas para la adhesión celular; finalizado este tiempo se agregó la micotoxina OTA diluida DMSO (dimetilsulfóxido) a concentraciones de 1; 2,5; 5,0; 10 y 15 μM [19].

Propagación de las células HepG2. La citotoxicidad de la micotoxina OTA, se calculó por el método colorimétrico MTT (bromuro de 3-(4,5-dimetil-2-tiazolil)-2,5-difeniltetrazolio) para determinar la viabilidad celular. Después de intervalos de 48 y 72 horas de tratamiento con OTA, se añadió 100 μl de MTT (0,5 mg/ml) y se incubó por 4 horas con las siguientes condiciones de cultivo: 37 $^{\circ}\text{C}$, 5 % CO_2 y 95 % de humedad. A continuación, los cultivos se lavaron con tampón fosfato salino (PBS), y seguidamente, se agregaron 100 μl de isopropanol ácido en agitación suave por 5 minutos para solubilizar los cristales de Formazán durante 15 minutos. Por último, se procedió a medir la densidad óptica a 570 nm (espectrofotómetro Tecan Spectra classic) de la solución solubilizada [20] y se determinó el porcentaje de

viabilidad celular. La citotoxicidad de OTA sobre las células HepG2, se trabajó como porcentaje de inhibición [19].

Para calcular la concentración inhibitoria (CI_{50}), se analizaron las curvas de inhibición de porcentaje y de concentración, es decir, la concentración de OTA necesaria para inhibir el 50% del crecimiento en las células de HepG2. Usando el método de regresión no lineal tomando como variable de respuesta la dosis inhibitoria y como variable de regresión la concentración de OTA [21].

Microscopía electrónica de transmisión. Se inició con un cultivo a una concentración de 3×10^6 células HepG2 por 24 horas para permitir la adhesión celular, se trató $10 \mu\text{M}$ de OTA por un periodo 48 horas. Transcurrido el tiempo de tratamiento, el monocapa celular se disoció con tripsina al 0,25%, inmediatamente se lavó la suspensión celular con PBS y se centrifugó por 10 minutos a 2.000rpm. A continuación, en una mezcla 3:3 de glutaraldehído-formaldehído al 3% en tampón cacodilato 0,1M y pH 6,3, se fijó el precipitado celular por un periodo máximo de 2 horas, después, se centrifugó a 2.000 rpm por 10 minutos y se lavó con tampón cacodilato y se postfijó por un intervalo de tiempo de 3 a 12 horas en una solución de tetraóxido de osmio al 1% en tampón cacodilato. Terminado el lapso, nuevamente se lavó con solución tampón y se deshidrató en concentraciones ascendentes de alcohol etílico finalizando con óxido de propileno; en seguida, se infiltró e incluyó en resina epoxídica. De las células incluidas se realizaron cortes de secciones ultrafinas de 90 nm de espesor, las cuales fueron contrastadas con citrato de plomo y acetato de uranilo para la observación de las características morfológicas de la apoptosis en el microscopio electrónico de transmisión (H-7000, Hitachi) [19].

Análisis estadístico. Se efectuó empleando el programa GraphPad Prism, los datos se analizaron con análisis de varianza (ANOVA) de una vía y utilizando el método de Dunnett's. Esto con el fin de comparar las diferencias significativas entre el control y los grupos de células HepG2 tratada con las distintas concentraciones de OTA a las 48 y 72 horas. Se realizaron 3 ensayos independientes, cada concentración de OTA y su respectivo control se trabajaron por triplicado.

3. Resultados y Discusión

Citotoxicidad de OTA sobre la propagación de las células HepG2. Para estimar la inhibición de la proliferación en las células HepG2 por parte de la OTA, las células HepG2 fueron tratadas a diferentes concentraciones de 1; 2,5; 5,0; 10 y $15 \mu\text{M}$ de OTA, a dos intervalos de tiempo de 48 y 72 horas. Con el tratamiento por 48 horas, se evidenció disminución de la proliferación celular en las células HepG2 desde la concentración de $2,5 \mu\text{M}$ hasta los $15 \mu\text{M}$. La disminución de la proliferación celular estuvo marcada por una dependencia

de la concentración, por lo que, al aumentar la concentración de OTA, la proliferación celular se redujo significativamente desde un 89,74 % $DE \pm 1,7$ hasta 31,99 % $DE \pm 0,0$, en contraste con el control (97,88 % $DE \pm 0,4$), con un valor $p < 0,0001$. Así mismo, en las concentraciones de 10 y $15 \mu\text{M}$ de OTA la proliferación de las células HepG2 se registró por debajo del 50 % (Figura 2).

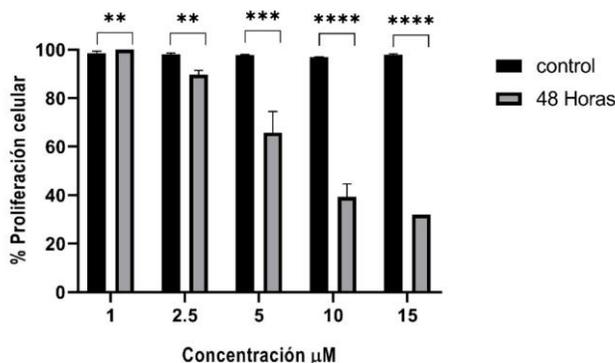


Figura 2. Efecto de la OTA sobre proliferación celular en las células HepG2. La proliferación se evaluó por el método de reducción de MTT, con distintas concentraciones de OTA (1; 2,5; 5,0; 10 y $15 \mu\text{M}$) por 48 horas, Cada barra representa la media $DE \pm$ ($n=3$) **** $p < 0,0001$ versus el control usando ANOVA.

De forma similar, se observó una disminución significativa en la proliferación celular de HepG2 con el tratamiento con OTA por 72 horas a partir de la concentración de $2,5 \mu\text{M}$ hasta los $15 \mu\text{M}$ de OTA (Figura 3). La proliferación celular se redujo significativamente con dependencia de la concentración desde un 90,42 % $DE \pm 2,6$ hasta 24,23 % $DE \pm 0,1$ a diferencia del control (97,07 % $DE \pm 1,87$), respectivamente ($p < 0,001$). Lo mismo que en el intervalo de 48 horas, se halló que la proliferación celular disminuyó por debajo del 50 % a las concentraciones de 10 y $15 \mu\text{M}$ de OTA. Por otro lado, se encontró que la citotoxicidad de OTA también es dependiente del tiempo de exposición. La CI_{50} a las 48 horas de exposición a OTA mostró un resultado de $9,19 \mu\text{M}$ $DE \pm 0,68$ y a las 72 horas de exposición a OTA la CI_{50} fue de $9,98 \mu\text{M}$ $DE \pm 0,43$. Por lo tanto, la concentración mínima para inhibir el 50 % de las células HepG2 a las 72 horas fue mayor que la de 48 horas de tratamiento con OTA.

Teniendo en cuenta los resultados de citotoxicidad anteriores, se evidenció que disminuye la propagación de las células HepG2 de hasta el 31,99 % $DE \pm 0,0$ y hasta 24,23 % $DE \pm 0,1$ a la concentración de $15 \mu\text{M}$ de OTA a las 48 y 72 horas de tratamiento, respectivamente. Este reporte coincide con estudios en que se observó una dependencia del tiempo y de la concentración de OTA en un rango de 0,1 a $10 \mu\text{M}$ [13] también se registró reducción de la viabilidad de estas células en comparación con el control a concentraciones de 25, 30, 50 y $75 \mu\text{M}$ OTA durante 24 horas [9,16,18]. Otros estudios que utilizaron un rango de concentración de OTA desde los $5 \mu\text{M}$ hasta los $100 \mu\text{M}$ para evaluar el estrés oxidativo,

encontraron un aumento de las especies reactivas de oxígeno en las células HepG2 de una manera dependiente del tiempo [2,13].

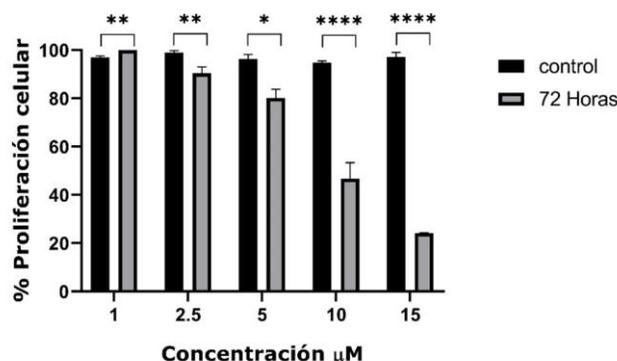


Figura 3. Efecto de la OTA sobre proliferación celular en las células HepG2, con distintas concentraciones de OTA (1; 2,5; 5,0; 10 y 15 μM) por 72 horas. Cada barra representa la media $\text{DE} \pm (n=3)$ **** $p < 0,0001$ versus el control usando ANOVA.

En cuanto a la inhibición del 50 % de la población celular, los valores de la CI_{50} de 9,19 μM $\text{DE} \pm 0,68$ y 9,98 μM $\text{DE} \pm 0,43$ a las 48 y 72 horas de exposición de las células HepG2, indican que son dependientes del tiempo. Estos resultados difieren de investigaciones donde la CI_{50} es de 21,16 μM hasta 210 μM para células HepG2 con un tiempo de 72 y 24 horas de tratamiento con OTA, respectivamente [8,10]. Así mismo, otras investigaciones obtienen una CI_{50} de 52,62 μM y 36 μM de OTA sobre células HepG2 a las 48 y 72 horas [11] y de 25 μM a las 24 horas de tratamiento de estas células con OTA [18].

En estudios anteriores, se demostró que la propagación de las células HepG2 se redujo con el tratamiento de la OTA con dependencia del tiempo de exposición y de la concentración de OTA, coincidiendo con los resultados obtenidos en este trabajo. Como también se describe que es posible que la OTA interfiera significativamente con el metabolismo energético de las células, puesto que el ensayo colorimétrico MTT mide la función de enzimas mitocondriales que participan en la producción del ATP; conforme a esto, estudios en otras células como del epitelio gástrico humano (GES-1) reveló aumento en la producción de especies reactivas del oxígeno, pérdida del potencial de membrana en las mitocondrias y decrecimiento en la concentración de ATP, y su posible activación de la apoptosis [22]. Finalmente, cabe anotar que los estudios sobre la toxicidad de la OTA en líneas celulares pueden presentar diferencias en los valores de proliferación celular y CI_{50} por los procedimientos experimentales, el metabolismo celular que está asociado a la naturaleza de la célula y los tiempos de exposición de las células a la OTA; es claro que la OTA genera disminución de la proliferación celular como lo muestran los resultados obtenidos, por lo tanto, se requiere realizar estudios que analicen otras características más específicas de las células que conlleven

a esclarecer los mecanismos que alteran la proliferación y viabilidad celular.

Cambios morfológicos de las células HepG2. Al analizar por microscopía electrónica de transmisión las características morfológicas propias del proceso de apoptosis en las células HepG2 tratadas con 10 μM de OTA por 48 horas, se observaron cambios morfológicos en estas células en comparación con el control (Figura 4A y B). En las células HepG2 sometidas al tratamiento con OTA se presentó alteración en la morfología celular, además fragmentación nuclear, celular y formación de cuerpos apoptóticos características de la apoptosis (Figura 4B), mientras que en las células HepG2 sin tratamiento, se distinguen células con morfología epitelial delimitada por su membrana plasmática en contacto con otras células, con el núcleo redondeado delimitado por su membrana nuclear y la presencia de nucléolos (Figura 4A). Estos resultados mostraron que la citotoxicidad de OTA sobre las células HepG2, se puede relacionar con la muerte celular apoptótica. Además, estas evidencias concuerdan con estudios donde la OTA induce apoptosis con los respectivos cambios morfológicos que ocurren en las células. Así, la investigación sobre células de riñón porcino PK-15 arrojó un aumento significativo de las células apoptóticas con una dependencia de las dosis de OTA en un rango de concentración de 2 a 8 μM de OTA durante 48 horas [23]. Otros estudios en células HepG2 y línea celular de epitelio de riñón canino MDCK reportan que al aumentar la concentración hasta 50 μM de OTA durante 24 horas, el número de células disminuyó y se mostró una desorganización de las estructuras intracelulares que sugieren el inicio del proceso apoptótico en MDCK [24]. Así mismo, en células GC-2, línea celular similar a un espermatozoido, se observaron cambios morfológicos relacionados con la apoptosis y que el número de células apoptóticas incrementó con el aumento de la concentración de OTA [14]. Además, diversos estudios sobre los efectos de OTA exhibieron un aumento de células HepG2 apoptóticas [25].

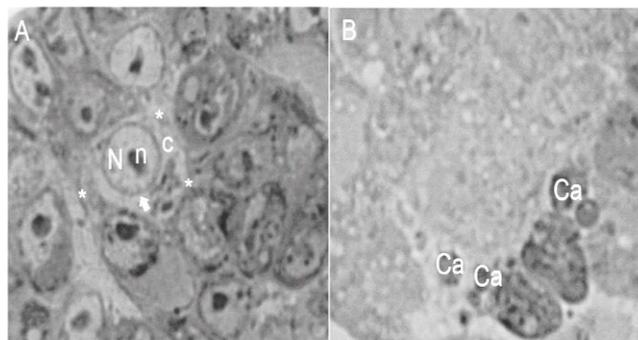


Figura 4. Microscopía electrónica de transmisión de las células HepG2, expuestas por 48 horas a 10 μM de OTA. A. control negativo, B. Células expuestas a 10 μM de OTA. Aumento 4.000X. *: Membrana plasmática, c: Contenido celular, N: Núcleo, n: nucléolo, Ca: Cuerpos apoptóticos, flecha: membrana nuclear.

4. Conclusiones

En este estudio, se observaron efectos tóxicos de la micotoxina OTA en la proliferación de la línea celular HepG2, incluso a concentraciones inferiores a 15 μM . Los resultados revelan una inhibición de la proliferación celular del 50% a una concentración inhibitoria de 9.58 μM de OTA, acompañada de notables cambios en la morfología celular. Estos cambios morfológicos, que incluyen la fragmentación tanto nuclear como celular, culminan en la formación de cuerpos apoptóticos, sugiriendo un proceso de muerte celular por apoptosis inducido por OTA.

Es importante destacar que en los estudios de toxicidad de la micotoxina OTA en líneas celulares, es común observar variaciones en los valores de proliferación celular y CI_{50} debido a las diferencias en los procedimientos experimentales, el metabolismo celular asociado a la naturaleza de las células y los tiempos de exposición a la OTA. Los resultados obtenidos claramente indican que la OTA provoca una disminución significativa en la proliferación celular.

Sin embargo, para comprender completamente los mecanismos que subyacen a esta alteración en la proliferación y viabilidad celular, es necesario llevar a cabo investigaciones adicionales que analicen aspectos específicos de las células. Estos estudios futuros pueden arrojar luz sobre los detalles fundamentales de cómo la OTA afecta a las células, lo que en última instancia contribuirá a una comprensión más completa de su impacto en la modificación de la fisiología celular.

5. Agradecimientos.

A Vicerrectoría de investigaciones de la Universidad de Pamplona por la subvención del proyecto. Asimismo, al CME (Centro de Microscopía Electrónica) "Dr. Ernesto Palacios Prú" y al IDIC (Instituto de Inmunología Clínica), Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, por su apoyo y colaboración en el desarrollo de la investigación.

Conflictos de intereses: El manuscrito fue desarrollado, preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

Financiación: Este estudio fue financiado por la Universidad de Pamplona. Norte de Santander. Colombia.

Referencias

[1] A. Ravelo, C. Rubio Armendáriz, and A. J. Gutiérrez Fernández, "La ocratoxina A en alimentos de consumo humano: revisión," *Nutrición Hospitalaria*, vol. 26, no. 6, pp. 1215-1226, 2011. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3305/nh.2011.26.6.5381>

[2] Y. Tao, S. Xie, F. Xu, A. Liu, Y. Wang, D. Chen, Y. Pan, L. Huang, D. Peng, X. Wang, and Z. Yuan, "Ochratoxin A: Toxicity, oxidative stress and metabolism," *Food and Chemical Toxicology*, vol. 112, pp. 320-

331, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.01.002>

[3] W. Chen, C. Li, B. Zhang, Z. Zhou, Y. Shen, and X. Liao, "Advances in Biodetoxification of Ochratoxin A-A Review of the Past Five Decades," *Frontiers in Microbiology*, vol. 9, p. 1386, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01386>

[4] H. A. Serrano and N. Cardona, "Micotoxicosis y micotoxinas: generalidades y aspectos básicos," *Revista CES Medicina*, vol. 29, no. 1, pp. 143-152, 2015.

[5] X. Zhang, C. Boesch, Y. Lou, S. Wolfram, P. Huebbe, and G. Rimbach, "Ochratoxin A induces apoptosis in neuronal cells," *Genes & Nutrition*, vol. 4, no. 1, pp. 41-48, 2009. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s12263-008-0109-y>

[6] A. H. Heussner and L. E. H. Bingle, "Comparative Ochratoxin Toxicity: A Review of the Available Data," *Toxins*, vol. 7, no. 10, pp. 4253-4282, 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/toxins7104253>

[7] X. Qi, L. Zhu, B. Yang, H. Luo, W. Xu, X. He, and K. Huang, "Mitigation of cell apoptosis induced by ochratoxin A (OTA) is possibly through organic cation transport 2 (OCT2) knockout," *Food and Chemical Toxicology*, vol. 121, pp. 15-23, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.08.026>

[8] L. Gayathri, R. Dhivya, D. Dhanasekaran, V. S. Periasamy, A. A. Alshatwi, and M. A. Akbarsha, "Hepatotoxic effect of ochratoxin A and citrinin, alone and in combination, and protective effect of vitamin E: In vitro study in HepG2," *Food and Chemical Toxicology*, vol. 83, pp. 151-163, 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.06.009>

[9] A. C. A. González, S. Marín, A. E. Rojas-García, V. Sanchis, and A. J. Ramos, "UPLC-MS/MS analysis of ochratoxin A metabolites produced by Caco-2 and HepG2 cells in a co-culture system," *Food and Chemical Toxicology*, vol. 109, pp. 333-340, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.09.011>

[10] C. S. Madalena, M. A. Faria, S. C. Cunha, and I. M. P. L. V. Ferreira, "Toxicological interactions between mycotoxins from ubiquitous fungi: Impact on hepatic and intestinal human epithelial cells," *Chemosphere*, vol. 202, pp. 538-548, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.122>

[11] G. A. Juan, J. Tolosa, C. Juan, and M. J. Ruiz, "Cytotoxicity, genotoxicity and disturbance of cell cycle in HepG2 cells exposed to OTA and BEA: Single and combined actions," *Toxins*, vol. 11, no. 6, p. 341, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/toxins11060341>

[12] T.-Y. Zhang, L. Kong, J.-X. Hao, H. Wang, Z.-H. Yan, X.-F. Sun, and W. Shen, "Effects of Ochratoxin A exposure on DNA damage in porcine granulosa cells in vitro," *Toxicology Letters*, vol. 330, pp. 167-175, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.05.011>

[13] P. E. García, D. Ryu, C. Lee, and H. Lee, "Ochratoxin A Induces Oxidative Stress in HepG2 Cells by Impairing the Gene Expression of Antioxidant Enzymes," *Toxins*, vol. 13, no. 4, p. 271, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/toxins13040271>

[14] R. Chen, L. Deng, X. Yu, X. Wang, L. Zhu, T. Yu, Y. Zhang, B. Zhou, W. Xu, L. Chen, and H. Luo, "MiR-122 partly mediates the ochratoxin A-induced GC-2 cell apoptosis," *Toxicology in Vitro Journal*, vol. 30, pp. 264-273, 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2015.10.011>

[15] Y. Chen, H. Wang, N. Zhai, C. Wang, K. Huang, and C. Pan, "Nontoxic concentrations of OTA aggravate DON-induced intestinal barrier dysfunction in IPEC-J2 cells via activation of NF- κ B signaling pathway," *Toxicology Letters*, vol. 311, pp. 114-124, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2019.04.021>

[16] A.-M. Domijan, A. Marjanović Čermak, A. Vulić, I. Bujak Tartaro, I. Pavičić, J. Pleadin, K. Markov, and B. Mihaljević, "Cytotoxicity of gamma irradiated aflatoxin B1 and ochratoxin A," *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, vol. 54, no. 3, pp. 155-162, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/03601234.2018.1536578>

[17] G. A. Juan, S. Carbone, M. Ben-Mahmoud, G. Sagratini, and J. Mañes, "Beauvericin and ochratoxin A mycotoxins individually and combined in HepG2 cells alter lipid peroxidation, levels of reactive oxygen

- species and glutathione," *Food and Chemical Toxicology*, vol. 139, p. 111247, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111247>
- [18] J. Zhao, X. Qi, Q. Dai, X. He, H. Dweep, M. Guo, Y. Luo, N. Gretz, H. Luo, K. Huang, and W. Xu, "Toxicity study of ochratoxin A using HEK293 and HepG2 cell lines based on microRNA profiling," *Human and Experimental Toxicology*, vol. 36, no. 1, pp. 8-22, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1177/0960327116632048>
- [19] H. Garzón, N. Jaimes, S. Salmen, and M. Gil, "Efecto citotóxico de Deoxinivalenol sobre la proliferación de la línea celular HepG2," in *MVZ Córdoba, Colombia*, 2016, vol. 26, no. 3, pp. 1-7. [Online]. Available: <https://doi.org/10.21897/rmvz.2080>
- [20] L. Kupcsik, "Estimation of Cell Number Based on Metabolic Activity: The MTT Reduction Assay," in *Mammalian Cell Viability: Methods and Protocols*, United States, 2011, vol. 740, pp. 13-19. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-1-61779-108-6_3
- [21] N. Jaimes, S. Salmen, M. C. Colmenares, A. E. Burgos, L. Tamayo, R. V. Mendoza, and A. Cantor, "Efecto citotóxico de los compuestos de inclusión de paladio (II) en la beta-ciclodextrina," *Biomédica*, vol. 36, no. 4, pp. 603-611, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.7705/biomedica.v36i4.2880>
- [22] Q. Li, Z. Dong, W. Lian, J. Cui, J. Wang, H. Shen, W. Liu, J. Yang, X. Zhang, and H. Cui, "Ochratoxin A causes mitochondrial dysfunction, apoptotic and autophagic cell death and also induces mitochondrial biogenesis in human gastric epithelium cells," *Archives of Toxicology*, vol. 93, no. 4, pp. 1141-1155, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s00204-019-02433-6>
- [23] G. Qian, D. Liu, L. Hou, M. Hamid, X. Chen, F. Gan, S. Song, and K. Huang, "Ochratoxin A induces cytoprotective autophagy via blocking AKT/mTOR signaling pathway in PK-15 cells," *Food and Chemical Toxicology*, vol. 122, pp. 120-131, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.09.070>
- [24] N. Sali, S. Nagy, M. Poór, and K. Tamás, "Multiparametric luminescent cell viability assay in toxicology models: A critical evaluation," *Journal of Pharmacological and Toxicological Methods*, vol. 79, pp. 45-54, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.vascn.2016.01.004>
- [25] J. Capraro and F. Rossi, "The effects of ochratoxin A on liver metabolism," *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, vol. 5, pp. 177-185, 2012. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s12349-012-0101-3>



Factores de riesgo determinantes en la transmisión de la infección por el virus de zika en el municipio de Cúcuta y su área metropolitana

Determining Risk Factors in the Transmission of Zika Virus Infection in the Municipality of Cúcuta and Its Metropolitan Area

Jenny Fernanda Espinosa^a, Edwar Alfredo Jaramillo^a, Omar Geovanny Perez Ortiz^b.

^a Semillero de Investigación en enfermedades infecciosas; Departamento de Medicina. Universidad de Pamplona. Colombia.

^b Grupo de investigación en enfermedades parasitarias, tropicales e infecciosas; Departamento de Medicina. Universidad de Pamplona. Colombia.

Correspondencia: geopez@unipamplona.edu.co

Recibido: Mayo 05, 2023. Aceptado: Julio 31, 2023. Publicado: Julio 31, 2023

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo describir los factores de riesgo determinantes en la transmisión de la infección por el virus del ZIKA en el municipio de Cúcuta. Para el logro de este objetivo se establece una Línea Base con 50 preguntas sobre los conocimientos que presentan las familias con la enfermedad del Virus del ZIKA y los factores de riesgo que favorecen la presencia del vector transmisor en la zona de estudio. Los resultados permiten determinar que la gran mayoría de las familias entrevistadas conocen sobre la enfermedad producida por el Virus del ZIKA y saben muy bien son los factores de riesgo que son determinantes en la transmisión de la enfermedad. La presencia de larvas de *Aedes sp* en los tanques de almacenamiento de agua, es una constante en los hogares entrevistados. De igual forma, la presencia de basuras en los patios de las casas se presenta en la gran mayoría de estas familias, así como los comportamientos socioculturales que favorecen el riesgo de contagio en la zona de estudio.

Palabras clave: Virus del ZIKA; Factores de Riesgo; Transmisión de la Enfermedad

Abstract

The objective of this research is to describe the determining risk factors in the transmission of ZIKA virus infection in the municipality of Cúcuta. To achieve this objective, a Base Line is established with 50 questions on the knowledge presented by families with the ZIKA Virus disease and the risk factors that favor the presence of the transmitting vector in the study area. The results allow us to determine that the vast majority of the families interviewed know about the disease caused by the ZIKA Virus and are very well aware of the risk factors that are determinant in the transmission of the disease. The presence of *Aedes sp.* in water storage tanks, it is a constant in the households interviewed. In the same way, the presence of garbage in the patios of the houses occurs in the vast majority of these families, as well as the sociocultural behaviors that favor the risk of contagion in the study area.

Keywords : ZIKA Virus; Risk Factors; Disease Transmission

1. Introducción

Las enfermedades infecciosas transmitidas por vectores, son consideradas por la Organización Mundial Salud como uno de los principales problemas de salud pública a nivel mundial especialmente en los países ubicados en zonas tropicales. Dentro de este tipo de enfermedades se destacan algunas enfermedades emergentes que, en los últimos años, adquieren importancia dado el impacto que las mismas generan a nivel regional como son las producidas por la infección del virus del ZIKA y son transmitidas de humano a humano por la picadura de hembras hematófagas del género *Aedes* (*A. aegypti* y *A. albopictus*) [1], [2]. La infección causada por el virus del Zika [ZIKV], (arbovirus del género *Flavivirus*, familia *Flaviviridae*), es cercano filogenéticamente a otros virus como los del dengue, fiebre amarilla y fiebre del Nilo Occidental y aunque se transmite por la picadura

de mosquitos, se ha documentado de igual forma la transmisión vertical, sexual y por transfusión sanguínea [3].

Tras la picadura del mosquito infectado, los síntomas de la enfermedad aparecen generalmente después de un periodo de incubación de 3 a 12 días, dicha infección puede cursar de forma asintomática, o presentarse con una clínica moderada. Su sintomatología es similar a las del virus del dengue y del Chikungunya [4,5]. Los síntomas se establecen de forma aguda e incluyen fiebre de menos de 39°C, cefalea, mialgia, artralgia, astenia, exantema maculopapular que tiende a comenzar en el rostro y luego se extiende por todo el cuerpo, edema en miembros inferiores, conjuntivitis no purulenta, dolor retro orbitario, anorexia, vómito, linfadenopatía, diarrea y dolor abdominal [6,7]. Los síntomas duran entre 4 a 7 días y son autolimitados y aunque está lejos de ser una

enfermedad mortal, ha demostrado ser un peligro para la salud pública debido a su rápida forma de transmisión y al gran número de personas incapacitadas por la clínica que presenta [7]. En algunos casos se observa compromiso articular, habitualmente en forma de poliartralgia con edema periarticular, bilateral y simétrico [8]. A diferencia de los casos de infección por el virus del Chikungunya, el dolor en los casos de enfermedad por el virus del Zika tiende a ser menor y no es incapacitante. Las articulaciones de las manos y las muñecas son las afectadas con mayor frecuencia, seguidas de las rodillas y los tobillos [9,10].

A diferencia de otras enfermedades de origen viral, la epidemia presentada en los últimos años por el virus del ZIKA, genera nuevas connotaciones dada la posible asociación que presenta esta infección con la presencia de Síndromes Neurológicos (Síndrome de Guillain-Barré) y anomalías congénitas (microcefalia) en neonatos [11, 12, 13,14,15].

Para los años 2015 y 2016 se desarrolla el mayor brote de Zika registrado, presentándose en 45 países de Suramérica, que han confirmado transmisión vectorial autóctona del virus [16], siendo Brasil y Colombia, los países más afectados por esta patología. En Brasil para este periodo se presentaron 91.378 casos probables [tasa de incidencia 44,7/1000 habitantes], un total de 7.584 casos de mujeres embarazadas con Zika y 1.198 nacimientos con microcefalia [15, 17, 18]. En Colombia, el Instituto Nacional de Salud (INS) en su informe de fin de año del 2016 declaró mantener el estado de alerta en 32 departamentos, con órdenes de desarrollo de planes de contingencia para respuesta de un posible nuevo brote en el país. Para el periodo comprendido anteriormente, se reportaron 118.372 casos (2015:11.712., 2016:106.659) [19,20]. Se notificaron 12.802 mujeres embarazadas infectadas con el virus del Zika, pero solo 40 casos de nacimientos confirmados con microcefalia [8, 21]. De igual forma, se notificaron 628 pacientes infectos por el virus que desarrollaron síndromes neurológicos [SGB] con una prevalencia de 55,9% en adultos masculinos mayores de 65 años [20].

Sumando los casos confirmados y sospechosos, los departamentos que concentraron el mayor número de casos para estos años, con un 57,9% del total de los casos notificados fueron el Valle del Cauca, Norte Santander, Santander, Tolima y Huila, siendo Norte de Santander el segundo con un total 12.341 casos presentados para los años descritos anteriormente (2015 y 2016) [19, 20]. En los últimos 6 años se registra una reducción considerable del número de casos reportados desde el 2017 al 2022, registrándose en estos años a nivel nacional solo 3.580

casos (2017:1.901., 2018:857., 2019:425., 2020:165., 2021:94 y 2022:138) [21]. Para el departamento de Norte de Santander fue proporcional a la presentada a nivel nacional, registrándose para estos años solo 349 casos (2017:213., 2018:110., 2019:5., 2020:4., 2021:12., 2022:5casos) [21]. A nivel del municipio de Cúcuta y su área metropolitana, se han reportado a la fecha un total de 6.616 casos [8].

Por otra parte, al hablar de los factores riesgo predeterminantes en la transmisión de esta enfermedad, el mosquito *Aedes* sp se constituye como el principal factor de riesgo de infección por este virus. El vector transmisor del patógeno a los humanos son las hembras hematófagas del género *Aedes* [*A. aegypti* y *A. albopictus*] [23,24,] que son consideradas como el vector primario de una gran variedad de virus (dengue, chikungunya, zika, fiebre amarilla y Mayaro) que afectan a la mayoría de países del área tropical y subtropical [25,26]. Según la OMS, se estima que esta especie de mosquitos causa 50 millones de infecciones y 25 000 muertes por año [5,6], sin embargo, es necesario resaltar que, existe la posibilidad de la transmisión no vectorial de la infección por ZIKV y puede ocurrir verticalmente [transmisión de madre a hijo], sexualmente (tanto de individuos sintomáticos como asintomáticos), por transfusión, a través de trasplante de médula ósea o de órganos [26,27,28].

Los principales sitios de cría de *A. aegypti* en áreas urbanas son las albercas, los tanques de almacenamiento de agua para consumo, contenedores de basura, llantas, recipientes, floreros, botellas plásticas y de vidrio, latas, canales de desagüe en los techos, cisternas, cortezas de coco, sumideros de agua lluvia y los criaderos naturales como las axilas de las hojas de las plantas [29,30,31]. Hay algunos aspectos que condicionan y proporcionan hábitats para que los vectores colonicen exitosamente las áreas rurales: la falta de un suministro continuo de agua para consumo humano obliga a las personas a almacenarla en forma inadecuada, lo que facilita la cría del vector [30]., la inadecuada disposición de los residuos sólidos también facilita la aparición de criaderos potenciales para el mosquito y, aunque esta situación es común en diferentes poblaciones de nuestro país, se hace mucho más crítica en las áreas rurales [28]. Las vías de comunicación y de transporte han facilitado también la dispersión de *A. aegypti* al área rural [31].

Como se relaciona en el párrafo anterior, varios factores influyen en la transmisión de la enfermedad pero los relacionados a los cambios climáticos son los que principalmente generan un riesgo potencial para el contagio de la enfermedad, que asociado al calentamiento global, están cambiando considerablemente las

temperaturas promedios de las diferentes regiones, permitiendo que un lapso de 100 años, se haya incrementado la temperatura de 1,8 a 5,8 grados centígrados a escala global [5], generando un aumento considerable de temperatura en los países de la región ecuatorial, especialmente en las épocas de verano, lo que ha fortalecido la presencia de estos vectores en regiones donde anteriormente no existían [32]. Este aumento de temperatura ha permitido que especies tropicales como los mosquitos del género *Aedes* [*A. albopictus*, *A. aegypti*] prosperen en regiones donde antiguamente el clima no les permitía reproducirse [32,33].

Dada la importancia que estas enfermedades emergentes presentan para nuestra región, se realiza la presente investigación que permite determinar cuál son los factores de riesgo que favorecen la presencia de esta enfermedad en el municipio de Cúcuta.

3. Metodología

Para el cumplimiento del objetivo propuesto, se aplica una encuesta en los barrios de la ciudad que presentan la más alta prevalencia de la infección por este virus, previa investigación realizada sobre la prevalencia de estas enfermedades en el Municipio de Cúcuta, referenciada como una de las ciudades a nivel nacional con el mayor número de pacientes infectados de acuerdo a los registros del Instituto Nacional de Salud durante la pandemia presentada en los años 2015 y 2016. Se seleccionan 10 barrios del municipio de Cúcuta, donde se presenta la mayor tasa de infección por esta patología. Se toman 6 familias en cada uno de los diez barrios, en la cual, al menos un miembro de la misma haya sido hospitalizado por ZIKA en el hospital Universitario Erasmo Meoz de este municipio, encuestando un total de 60 familias que conforma la muestra total para la presente investigación.

Se realiza la aplicación de la línea base en cada una de las familias seleccionadas y se aplica la encuesta con preguntas relacionadas con los conocimientos que presentan estas familias sobre la enfermedad producida por el Virus de Zika y sobre los factores de riesgo que favorecen la transmisión de esta enfermedad, relacionadas con aspectos sociodemográficos que favorecen la presencia del vector y la transmisión de la infección. Se tienen en cuenta las condiciones generales de la vivienda, manejo de agua y basura, presencia del vector, condiciones ambientales de la zona, condiciones sanitarias, conocimientos básicos sobre la enfermedad [educación en salud] y las características sociales y culturales, así como la presencia o ausencia de servicios públicos en las zonas de estudio.

4. Resultados y Discusión

Se hace el levantamiento de una línea base en las familias de personas infectadas por el virus del ZIKA y que fueron atendidos en los diferentes servicios de consulta externa, urgencias y Hospitalización de la ESE Hospital Universitario Erasmo Meoz del Municipio de Cúcuta, Norte de Santander, durante los años 2015 y 2016, periodo con la mayor prevalencia de ZIKA en este municipio. Se aplica una encuesta con 50 preguntas sobre diferentes aspectos relacionados con el conocimiento que estas familias presentan sobre la enfermedad de ZIKA y los factores de riesgo que favorecen la presencia de esta de la enfermedad.

Al referirse al conocimiento que sobre la enfermedad del ZIKA presentan las familias encuestadas, el 65% de las familias manifiestan que no conocen o no tienen información sobre esta enfermedad, sin embargo, al consultarse sobre la sintomatología característica de esta infección, el 60% de los encuestados describen que tienen algún tipo de conocimiento sobre la misma [Tab.1]. De igual forma, al preguntar si conocen la forma como se transmite esta enfermedad, el 51.7% expresan que si conocen el mecanismo de transmisión y es a través de la picadura del mosquito patas blancas [*Aedes* sp]. Resultados similares fueron publicados en Barranquilla Colombia en 2018 por Ganem et al. [42] donde el 85% de los encuestados conocen la forma de transmisión de esta enfermedad a través del vector *Aedes aegypti*. A nivel internacional algunos trabajos realizados en Argentina y Brasil presentan resultados muy similares a los publicados en esta investigación [42]. Trabajos realizados en el 2004 en una comunidad del Rosario en Argentina por Liborio et al. [39], al consultar sobre el nivel de conocimiento que presentan estas familias sobre la sintomatología de la enfermedad, un alto porcentaje de los encuestados [46,35%] manifiestan no conocerla, al indagar sobre cómo se transmiten, el 52,08% confirman que estas enfermedades se transmiten por la picadura del mosquito *Aedes aegypti*. Resultados muy similares son presentados en investigaciones realizadas en Rio de Janeiro, donde un 74,4% de la comunidad entrevistada, conoce la forma de transmisión de estas patologías, sin embargo, al preguntarse cómo se previene la infección solo el 43,3% tiene algún tipo de conocimiento sobre los mecanismos de prevención de la misma [41]. Otro aspecto de importancia y que está relacionado con la prevención de la enfermedad, es la poca información que estas familias presentan sobre los factores de riesgo determinante en esta transmisión. Al consultarles si conocen estos mecanismos que favorecen la presencia de la enfermedad en la zona de estudio, el 75% de los encuestados manifiestan desconocer estos factores, lo que se constituye en uno de los principales problemas ya que no tienen claro los mecanismos de transmisión de la enfermedad [Tab.1]. Trabajos realizados por García et al. [43], en el 2019

en Machala Ecuador, determinan que un 86% de las familias entrevistadas conocen sobre las enfermedades vectoriales y la forma de transmisión de las mismas, sin embargo, existe un amplio desconocimiento del ciclo de vida del mosquito y la forma de prevenirlo [41].

Tabla 1. Conocimiento de la enfermedad del ZIKA

Preguntas realizadas sobre la enfermedad del ZIKA	Si	No
Sabe que es el zika	35%	65%
Sabe cómo se trasmite	51,7%	48,3%
Sabe cómo prevenirla	43,3%	56,7%
Conoce la sintomatología	60%	40%
Conoce los factores que favorecen la presencia de la enfermedad	25%	75%
Conocimiento de diferencias entre mosquito, larva, huevo	18,3%	78,7%

De igual, forma se consulta sobre el manejo de la sintomatología al inicio de la enfermedad. El 43% de las familias encuestadas manifiestan que se automedican, un 30% informan que esperan a que les pase los síntomas y solo un 27% confirman que van al médico [Fig. 1].

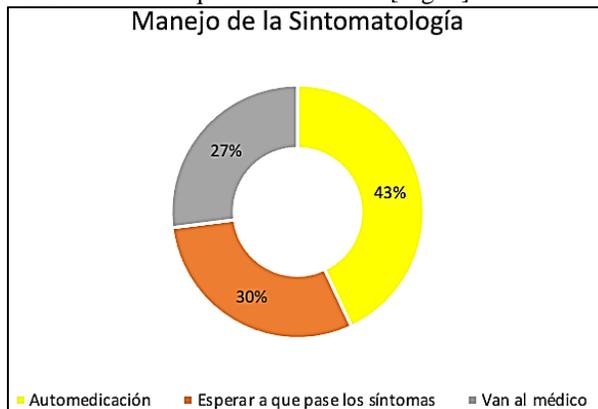


Figura 1. Manejo de la Sintomatología al inicio de la enfermedad.

Fuente: Autores

De igual forma, al revisar la información suministrada por cada una de las familias y relacionada con el conocimiento de los factores de riesgo que permite la presencia del vector transmisor y aumenta de la posibilidad de infección en la zona de estudio, el análisis de la información permite determinar que al consultarles sobre la presencia de plagas en cada uno de sus hogares, el 95% de las familias encuestadas informan sobre la presencia de mosquitos, lo que constituye un factor de riesgo importante que influye en la transmisión de la enfermedad y el aumento en el número de infectados que se presenta durante la época de estudio. También describen la presencia en sus viviendas de otros vectores como cucarachas [53,3%], roedores [53,3%] y moscas [50%] [Fig. 2]. Estos resultados son muy similares a los publicados por Barreto et al. [41], en el 2004, donde describen en los estudios realizados sobre conocimientos,

creencias y prácticas de salud pública en la Ciudad de Rio de Janeiro Brasil que, dentro de los principales problemas de salud señalados por la población en estas comunidades, lo constituye la presencia de ratas, y mosquitos, así como el suministro irregular de agua.

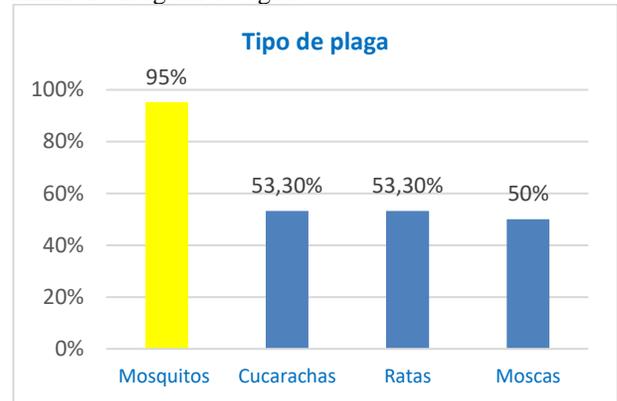


Figura 2. Presencia de plagas en los hogares encuestados. Fuente: Autores

Otro aspecto importante dentro de los factores de riesgo que favorecen la presencia del vector transmisor de la enfermedad es la presencia de basuras y la forma como se acumulan en los solares de cada uno de los hogares. El servicio de recolección es realizado por empresas públicas del municipio de Cúcuta y son recogidas tres veces por semana. Al consultarse sobre la forma como recogen y almacenan estas basuras en la gran mayoría de los hogares el manejo de la misma se hace a través de su recolección con bolsa plástica [69,9%]. En una menor proporción las basuras se almacenan en canecas [25%], baldes [1,7%] o cajas de cartón y madera [1,7%]. El 100% de los hogares encuestados manifiestan que la recolección de basuras se realiza por parte de la empresa de aseo con una periodicidad de tres veces por semana.

Al consultar sobre los tipos de elementos que se almacenan o se guardan en el solar de la casa y que pueden ser catalogados como basura y constituirse en depósitos de agua y posibles criaderos de mosquitos, el análisis de los resultados permite afirmar que en la totalidad de los hogares encuestados se almacena algún tipo de estos elementos. El 20% de las familias entrevistadas manifiestan que almacena en sus solares bloques o ladrillos, 13% describe que presentan en sus solares cajas de envases [plástico, vidrio o metal], un 10% de estas familias afirman que guardan llantas o neumáticos, un 10% almacenan recipiente de metal, 7% latas y un 40% confirma que se pueden tener en sus solares otros recipientes como juguetes viejos, botellas, bolsas, zapatos etc. [Tab.2]. Resultados muy similares son publicados en la ciudad de la Habana en el 2004 por Marquetti et al. [44]. Estos investigadores describen el almacenamiento de grandes cantidades de basura en los patios de las viviendas de los hogares encuestados. Estos

estudios describen esta situación como un factor importante que favorece la infestación de mosquitos por que se convierten en criaderos del vector cuando no existe un saneamiento adecuado [44]. Otras investigaciones realizadas por Shah et al. [30] y Dzul et al. [46], determinan que este comportamiento [almacenar recipientes, llantas viejas, botellas y latas entre otros] en los patios de las casas se constituye en un factor de riesgo porque estas estructuras almacenan agua y se convierten en criadero de mosquitos en sus casas.

Tabla 2. Presencia de materiales que pueden almacenar agua

Elementos que reciclan en solares o patios de las casas	Si	No
Bloques de ladrillos	20%	80%
Cajas con envases plásticos, vidrio, metal	13%	87%
Recipientes de metal, porcelana, ollas	10%	90%
Latas	7%	93%
Canecas	3%	97%
Otros [juguetes viejos, botellas, bolsas, zapatos etc.]	40%	60%

Con el objetivo de averiguar la periodicidad con que estas basuras son recolectadas de los solares de estas familias, se consulta sobre la limpieza de elementos de los patios traseros o solares. El 60% de las familias informan que la limpieza la hacen diariamente un 25% lo realiza de 2 a 4 veces por semana y un 13,3% describe que la limpieza de los mismos lo realiza mensualmente [Fig. 3]. Aunque en la información suministrada el porcentaje de almacenamiento de estos materiales es bajo y la periodicidad de la eliminación de esta basuras es frecuente, es necesario aclarar que al realizar una visualización directa de estos solares en el momento de la encuesta, el porcentaje de estos elementos aumenta considerablemente en relación a lo reflejado en las encuestas, la cultura del reciclaje se encuentra muy marcada en estos hogares en el hecho de que “para algo ha de servir”, situación que se constituye en un factor de riesgo importante ya que estos elementos son potenciales criaderos de larvas de mosquito y la eliminación de los mismos no se realiza con frecuencia. Una situación similar es presentada por Barreto et al. [41] en el 2004, al igual que los resultados de esta investigación, la eliminación de basuras muchas veces citada como medida de control, las familias no desechan botellas, llantas, latas, entre otros, porque son considerados como “cosas de utilidad”. Por otra parte, Shah et al. [30] en el 2021, en investigaciones realizadas sobre factores de riesgo que favorecen la presencia de enfermedades infecciosas en Nepal, describen que existe un comportamiento social general de mantener las llantas vacías y otros recipientes alrededor de las casas. En estas regiones, el riesgo de transmisión fue seis veces mayor que un área no expuesta. El vector transmisor de estas enfermedades, ha sido reportado reproduciéndose en casi todos los tipos de recipientes artificiales, especialmente en llantas, botellas o envases de vidrio, floreros, en cascaras de huevos, recipientes de

plástico, tachos de lata y otros recipientes de almacenamiento de agua al aire libre [39, 41,43,44,45].

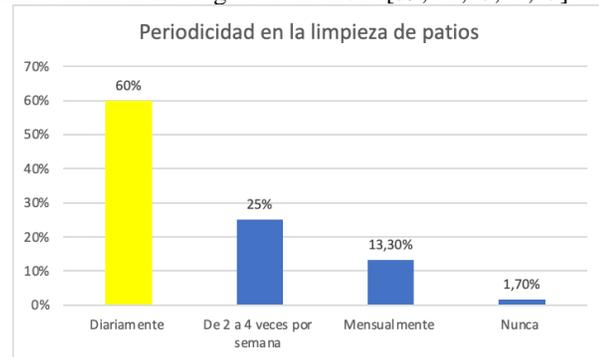


Figura 3. Periodicidad en la limpieza de desechos que se encuentran en los patios o solares de las casas entrevistadas. Fuente: Autores

Otro aspecto que se constituye como un factor de riesgo predominante en el aumento de larvas de mosquitos en estas regiones es la presencia de tanque o depósitos de agua. El análisis de los resultados permite determinar que más del 85% de los hogares encuestados presentan más de dos tanques para el almacenamiento de agua. Aspecto muy relacionado con la falta del servicio de agua potable en estos barrios, ya que este servicio se presta solo una o dos veces por semana lo que hace necesario la presencia de más de un tanque para el almacenamiento de agua. Por otra parte, otro factor asociado a la presencia de estos tanques de almacenamiento, está relacionado con la forma de protección (tanques protegidos o tapados durante la mayoría del tiempo), sin embargo, al realizar esta pregunta a las familias encuestadas, el 87% de los hogares manifiestan que estos tanques permanecen tapados. De igual forma, la presencia de otros depósitos que son utilizados para el almacenamiento de agua como lavaderos [70%], piletas de agua [43%], bebederos para animales [17%], canecas para el almacenamiento de agua [83%], se constituyen en un importante factor de riesgo, ya que generalmente se encuentran destapados, lo que se constituyen en grandes depósitos de criaderos de larvas [Tab.3].

Al preguntarles sobre la presencia de larvas en estos depósitos, solo el 37% de los encuestados manifestaron que se observan larvas en los mismos. Investigaciones realizadas en 2018 en la ciudad de Barranquilla, Colombia por Ganem et al. [42] describen que más de la mitad de las familias encuestadas [51%] tienen conocimiento sobre la presencia de larvas de mosquitos en agua limpia almacenada y un 77% conoce que la mejor prevención de la enfermedad es eliminar estas larvas, sin embargo, el 31% de las familias entrevistadas, al realizar una observación directa de los depósitos de agua, estos presentaban larvas, los tanques estaban mal tapado o sin tapa, y con un lavado poco frecuente. De igual forma en el 2018, trabajos realizados por Figueroa et al. [40] sobre estrategias de promoción y

prevención de la salud como una herramienta eficaz en la disminución de casos de dengue en las comunidades, describen la importancia de ejecutar actividades de vigilancia epidemiológica como limpieza y eliminación de criaderos. La irregularidad o carencia de la prestación del servicio de acueducto, conlleva a la necesidad de almacenar agua en las viviendas de manera no solo temporal sino permanente en recipientes lo suficientemente grandes para que la reserva dure varios días y hasta semanas, que se convierte por falta de lavados permanentes en hábitats del *Aedes aegypti* [42,46].

Tabla 3. Presencia de posibles criaderos de larvas en los solares de las casas

Depósitos para el almacenamiento de agua	Si	No
Mas de dos tanques que depositan agua	85%	15%
Tanques aéreos	97%	3%
Tanques bajos	85%	15%
Lavaderos	70%	30%
Piletas de agua	43%	57%
Bebedores para animales	17%	83%
Canecas para almacenamiento de agua	83%	83%
Tanques de agua tapados o protegidos	87%	83%
Presencia de larvas en los tanques	37%	63%

De igual forma, se consulta con las familias la periodicidad en el lavado de los tanques que permitan disminuir la carga de larvas de mosquitos presentes en estos. El análisis de los resultados permite concluir que esta costumbre no está muy arraigada en estas familias ya que la gran mayoría de las mismas la frecuencia de lavado lo realizan cada 30 días [33,3%], cada 15 días [28%] o cada 8 días [21,7%]. Así mismo algunas familias no tiene la cultura del lavado de los tanques, ya que solo lo realizan una vez al año [Fig. 4].

Situación que se constituye en un importante factor de riesgo que favorece la prevalencia de larvas en estos depósitos de agua tal como lo describen varias investigaciones realizadas sobre estos factores. Marquetti et al. [44] en el 2007, describen que los tanques, cisternas, tinas de piedra, vasijas de barro y bebederos de animales se constituyen en importantes criaderos de larvas de *Aedes* sp. Shah et al. [30] en el año 2021, presentan esta situación como un factor de riesgo grave en la transmisión de estas enfermedades en los hogares.

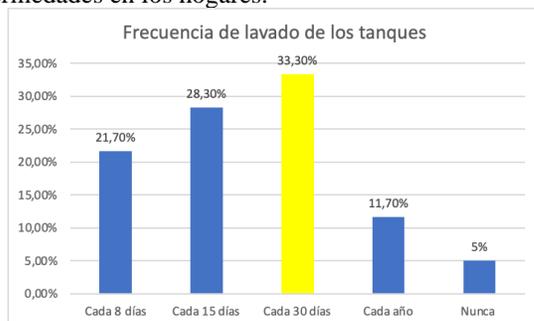


Figura 4. Periodicidad en el lavado de tanques. Fuente: Autores

Los tanques de almacenamiento de agua que se encuentran abiertos, aumentan de 3.9 a 6.3 veces más el riesgo de transmisión de la enfermedad [45]. El agua almacenada durante más de una semana, así como el uso de tanques y reservorios de agua son focos de proliferación del vector, si a esto se suma los deficientes sistemas de abastecimiento de agua que en la mayoría de los hogares encuestados son escasos o con un servicio intermitente, obliga a las familias a construir varios depósitos de almacenamiento de agua limpia para su consumo [43]. La conducta de almacenarla generalmente de manera inadecuada en tanques sin tapa, en donde el lavado y cepillado de paredes de los mismos no se realiza ni con la frecuencia necesaria ni de la manera correcta, convierten estas reservas en criaderos de mosquitos *Aedes aegypti*. [42].

Otros factores de riesgo asociado al contacto del mosquito transmisor con el huésped humano, está relacionado con la falta de medidas de prevención asociadas a disminuir el contacto del vector con el huésped, especialmente los relacionados con el uso de mosquiteros en puertas y ventanas en los momentos de mayor actividad de los mosquitos, a la presencia de más de un huésped en un mismo lugar o al uso de ropa adecuada que cubra la mayoría de su cuerpo. El análisis de la información que fue suministrada por las familias encuestadas permite determinar que son muy pocas los hogares que usan mosquiteros en sus casas, ya que solo el 6,7% de las familias expresan el uso de estos. De igual forma al preguntarles por el uso de ropa adecuada que cubra la mayor parte del cuerpo en los momentos de mayor actividad del mosquito, el 100% de las familias confirman que no lo utilizan especialmente de 5 pm. a 8 pm., donde se incrementa la actividad de estos mosquitos en la zona de estudio., las altas temperaturas que se presentan en la zona condicionan a estas personas a cubrirse lo menos posible.

De igual forma se consulta sobre el uso de puertas en las habitaciones, solo el 65% de las familias confirma que las habitaciones presentan puertas. De la misma manera, el 95% de los hogares confirma que las habitaciones se encuentran con ventilación adecuada, factor que se constituye con un factor de riesgo ya que como se observa la costumbre del uso de mosquiteros no se encuentra arraigada en estas familias, lo que presenta un riesgo ya que estas habitaciones con “ventilación adecuada” la constituyen grandes ventanas que permiten el ingreso a las habitaciones del mosquito vector [Tab.4]. Trabajos realizados por Marbán et al [10] en el 2021, sobre la infección por el virus del ZIKA en mujeres y niños, establecen las estrategias para prevenir la infección por virus, dentro de estas investigaciones, se describe que una de las medidas de prevención más importantes de la enfermedad especialmente asociadas a el ZIKV en el embarazo, lo constituye la prevención de las picaduras de mosquitos y el desarrollo de estrategias de control de

vectores. Estas medidas comprenden el uso de mosquiteros en camas, puertas y ventanas, el uso de repelentes de insectos (aplicado sobre la piel expuesta y ropa tratada con permetrina), vaciar y limpiar los recipientes que pueden contener agua estancada y usar camisas de manga larga y pantalones largos. Igualmente, estudios realizados por Cabrera et al. [38] en el 2017, establecen como medidas para reducir al mínimo el contacto del vector con el huésped, el uso de mosquiteros, de ropa que cubra las extremidades, repelentes que contengan Icaridina y la asistencia por parte de profesionales para el manejo de la sintomatología.

Tabla 4. Medidas de protección

	SI	NO
Uso de Ropa adecuada que proteja contra la picadura del mosquito	0%	100%
Habitación con ventilación adecuada	95%	5%
Habitación con puerta	65%	35%
Utilización de mosquitero	6,7%	93%

Al consultarse sobre el número de personas que duermen en una habitación, las familias confirman que en promedio más de 3 personas duermen en cada habitación. Aunque el número de habitaciones en muchos hogares es alto [más de 4 habitaciones] solo utilizan dos cuartos para dormir, aumentando la posibilidad de contagio por la aglomeración de más de una persona en estas habitaciones [Tab.5]. Investigaciones realizadas en Pakistán en el 2018 por Khan et al [49] determinan que a medida que aumenta el número de miembros de la familia de 2 a 5 en el hogar, el riesgo de contagio aumenta. En general, la alta densidad de población es un factor de riesgo para la transmisión de estos virus. El estudio encontró que los hogares hacinados con más de 2 ocupantes en una habitación estaban en riesgo de infección [48].

Tabla 5. Condiciones de la vivienda de los pacientes encuestados

Condiciones de la vivienda	Nº
Personas que duermen por habitación	3
Número de habitaciones	4
Número de cuartos para dormir	2

De igual forma, al consultarse a las familias sobre la permanencia del núcleo familiar en las horas de mayor actividad del mosquito [5 am. a 8 am. y 5 pm. a 8 pm.], el 81.7% de las familias encuestadas manifiestan que a estas horas toda la familia se encuentra en la casa. En relación a los sitios de reunión en estas horas, el 41,7% de las familias describen que se reúnen en el patio de la casa y un 33.3% manifiesta que se reúnen a ver televisión en la sala, considerándose como un factor de riesgo de importancia en la transmisión de la enfermedad, dado que tanto la aglomeración de personas, el uso de poca ropa que cubra las partes de su cuerpo y reunirse en las horas de mayor actividad de picadura del mosquito, hace que sean las condiciones propicias para que aumente el índice infección

[Fig. 5]. Estos resultados son similares a los desarrollados en el 2016 en Teconoapa México por Guerrero et al [23] sobre la distribución geográfica de *Aedes aegypti* y el riesgo de transmisión de ZIKA, determinan que en el 59,5% de las familias encuestadas refieren las horas nocturnas como los periodos de mayor actividad del mosquito, constituyéndose en un factor de riesgo importante para la transmisión del virus, teniendo en cuenta que en horas de la noche es donde más permanecen las personas en sus casas. Un solo mosquito puede picar decenas de veces antes de morir, su pequeño tamaño y la relativa inocuidad de su picadura provocan que con frecuencia el enfermo no recuerde el antecedente de contacto con el vector [48]. La alta densidad de población es un factor de riesgo para la transmisión de estas enfermedades, los hogares hacinados con más de 2 ocupantes en una habitación presentan un alto riesgo de infección [44, 45].

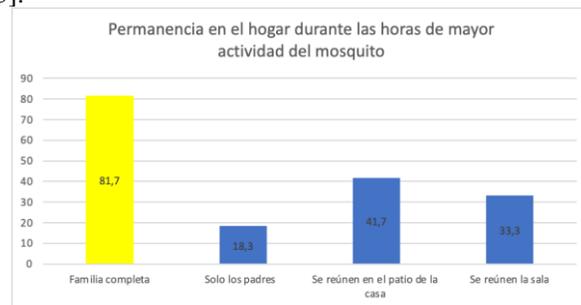


Figura 5. Permanencia en el hogar durante las horas de mayor actividad del mosquito. Fuente: Autores

De igual forma, se consulta con las familias que mecanismos utilizan para controlar la presencia del mosquito *Aedes* sp. en sus hogares. El 41.7% de las familias describen el uso de productos químicos para control de larvas [larvicida del Temefos] en los tanques de almacenamiento. Un 38.3% describen que el mecanismo de control utilizada para disminuir la población del mosquito es la fumigación y un 20% no realiza ningún tipo de mecanismos de control [Fig. 6]. El control de la población de mosquitos a través de productos químicos [fumigación y abatización] se constituye como una herramienta útil en la disminución de la población del vector [42,43].

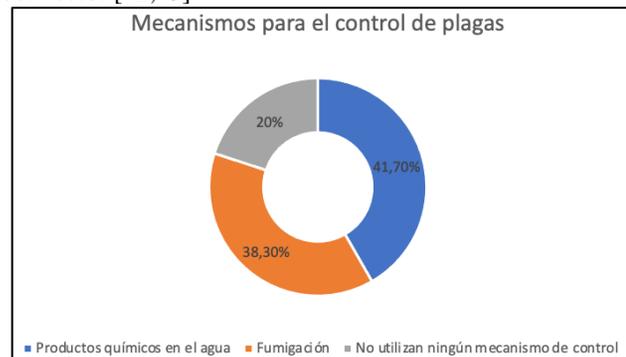


Figura 6. Mecanismos para el control de plagas. Fuente: Autores

La encuesta realizada de igual forma permite conocer las condiciones de las viviendas de las familias encuestadas. El análisis de la información permite determinar que en el 90% de los hogares, el material de construcción para el montaje del techo de las casas son láminas de Eternit. En un 8,3% de los hogares estos techos están contruidos en láminas de zinc y en un 1,7% de las familias describen otro material [no especificado, pero la observación visual de la zona permite determinar la presencia de algunos techos de plástico]. Al consultarse sobre el tipo de material de los pisos de las casas, el 100% confirma que es en cemento. Frente a los materiales en el que está contruidas las paredes, un 98,3% informa que es cemento y solo un 1,7% describe que las paredes están estructuradas en madera [Fig. 7].



Figura 7. Materiales de construcción de la vivienda. Fuente: Autores

5. Conclusiones

La dinámica de transmisión del virus del ZIKA, depende de las interacciones entre el ambiente, el agente, la población, el huésped y el vector, que permitan que ecológicamente se den cada uno de estos componentes y coexistir en un hábitat específico. Es necesario que se conjuguen ciertos factores ambientales [temperatura, brillo solar, humedad, pluviosidad, altitud], socioeconómicos [estrato social], culturales [costumbres, uso de ropa, toldillos, insecticidas], presencia o ausencia de políticas de salud pública [acueducto y alcantarillado, suministro de agua, manejos de basuras etc.], así como algunas características biológicas del virus [tipo de cepa], el vector [genero, resistencia a insecticida etc.] y la persona afectada [edad, sexo, estado inmunológico, etc.]. La magnitud e intensidad de esta interacción definirá la intensidad de transmisión de estas infecciones.

Otro factor predominante en la proliferación de este tipo de infecciones, es el desconocimiento o desinformación que presenta la población frente a la existencia de este virus y el vector que lo transmite [educación en salud], así como las conductas inadecuadas que presenta esta población para la prevención de desarrollo del vector [no tapar y lavar los recipientes de almacenamiento de agua,

inadecuada eliminación de residuos sólidos y limitada aceptación de las medidas de control, entre otros] se constituye como uno de los principales problemas de salud pública a la que se enfrentan este tipo de comunidades. La existencia de algunos factores económicos y culturales y la falta de políticas de salud pública relacionadas con el suministro de agua, aumentan la tendencia de acumular grandes cantidades de agua no protegida (presencia de más de dos tanques de almacenamiento de agua) y el almacenamiento de desechos sólidos que permiten la proliferación de criaderos. Si a esto se suma el hacinamiento debido a la alta densidad poblacional en estos sectores, generan que estos grupos sociales sean especialmente vulnerables a brotes masivos de este tipo de enfermedades.

La existencia de ciertas características inmunológicas que presentan estas poblaciones, susceptible a la presencia de nuevas enfermedades emergentes como la infección por el virus de ZIKA y CHICUNGUÑA (estas infecciones no son nativas de la región, por consiguiente en la población se encuentran ausentes los anticuerpos para el virus) y al crecimiento exponencial que se presentó en los primeros años de la epidemia, reflejada en una población altamente susceptible a la infección por el virus, permiten que una persona enferma lleve consigo la enfermedad desde un punto a otro.

Aunque existe un conocimiento general sobre la enfermedad y la forma de transmisión, se observa una gran cantidad de criaderos de mosquitos en los solares de estas familias encuestadas. Estos hogares son conscientes del riesgo de contagio de la enfermedad por la presencia del vector en sus hogares, sin embargo, son muy pocas las familias que desarrollan programas de prevención en los mismos. La existencia de una gran variedad de factores de riesgo se encuentra muy marcadas en estas zonas. Por consiguiente, la falta de concientización por parte de cada uno de los miembros de la familia sobre el control y eliminación de criaderos, así como la falta de políticas públicas adecuadas para estas regiones, permiten la presencia del mosquito transmisor e incrementan el riesgo de contagio y transmisión en la misma.

Reconocimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Hospital Universitario Erasmo Meoz, por el suministro de la información que permitió desarrollar de esta investigación

Referencias

- [1] Teixeira M.G., Costa M.C.N., De Oliveira W.K., Nunes M.L. y LC Rodrigues. The epidemic of Zika virus-related microcephaly in Brazil: detection, control, etiology, and

- future scenarios. Rev. Am J Public Health 106[4] (2016) 601-5. DOI: 10.2105/AJPH.2016.303113
- [2] Musso D., Gubler D.J., Zika virus. Rev. Clin Microbiol. 29[3] (2016) 487-524. DOI: 10.1128/CMR.00072-15
- [3] Parra B.M., Lizarazo J.M., Jimenez J.A.A., Zea-Vera A.F.M.D. Guillain Barré syndrome Associated with zika virus infection in Colombia. Rev. J Med 20.,375(16) (2016) 1513-1523.doi: 10.1056/NEJMoa1605564
- [4] Beltrán-Silva, S.L., Chacón-Hernández S., Moreno-Palacios S. E., Pereyra-Molina J.Á. Diagnóstico clínico y diferencial: dengue, chikunguña y zika. Rev Med Hosp Gen Méx. 81[3] (2018) 146-153. <https://doi.org/10.1016/j.hgmx.2016.09.011>
- [5] Piovezan R., de Azevedo, T.S., Faria E., Veroneze R., C. Von Zuben J., Von Zuben F. J., Sallum M.A.M. Assessing the effect of *Aedes [Stegomyia] aegypti* [Linnaeus, 1762] control based on machine learning for predicting the spatiotemporal distribution of eggs in ovitraps. Rev Dialogues in Health 1 (2022) 100003. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dialog.2022.100003>
- [6] PAHO. Guía para la vigilancia de la enfermedad por el virus del Zika y sus complicaciones. PAHO. 2016.
- [7] PAHO. Alerta epidemiológica infección por virus zika. PAHO. 2015 Mayo 07.
- [8] Instituto Nacional de Salud INS. Protocolo de Vigilancia en Salud Pública. Enfermedad por Virus Zika. 2016
- [9] PAHO. Síndrome neurológico, anomalías congénitas e infección por virus Zika. 2016.
- [10] Marbán-Castro E., Goncé A., V Fumadó., Romero L. - y Bardají A. Zika virus infection in pregnant women and their children. Rev. Review a, European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology 265 (2021) 162–168 doi.org/10.1016/j.ejogrb.2021.07.012
- [11] Searles M., Mora J., Carlo L., Heydari N., Takyiwaa Y., Borbor-Cordova., Campagna M.J. Zika virus knowledge and vaccine acceptance among undergraduate students in Guayaquil, Ecuador. Rev. Vaccine X 28., (2022) 13:100258.doi: 10.1016/j.jvacx.2022.100258
- [12] Anil K. Guillain Barré syndrome: causes immunopathogenic mechanisms and treatment. Journal of Expert. Rev Clin Immunol 12(11) (2016) 1175-1189.doi: 10.1080/1744666X.2016.1193006. Epub 2016 Jun 21.
- [13] Lucchese G., Kanduc D. Zika virus and autoimmunity: From microcephaly to Guillain-Barré syndrome, and beyond Autoimmun Rev 15(8) (2016) 801-8. doi: 10.1016/j.autrev.2016.03.020.Epub 2016 Mar 25.
- [14] Cauchemez S., Besnard M., Bompard P., Dub T. Asociación entre el virus Zika y la microcefalia en la Polinesia francesa. Rev. The Lancet. Vol 387 (2016). DOI:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)00651-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)00651-6)
- [15] Parra B.M., Lizarazo J.M., Jimenez J.A.A. Zea-Vera A.F. Guillain Barré syndrome Associated with zika virus infection in Colombia. Rev. N Engl J Med. 20.,375(16) (2016)1513-1523. DOI: 10.1056/NEJMoa1605564
- [16] Arredondo J.L., Garcia M.H.A. Arbovirus en latinoamerica. Rev. Acta Pediatr Mx. 37[2] (2016) p. 111-31. doi.org/10.2105/AJPH.2016.303113
- [17] Musso D., Gubler D.J. Zika virus. Rev Clin Microbiol. 29[3] (2016)487-524. DOI: 10.1128/CMR.00072-15
- [18] Teixeira M.G., Costa M.C.N., De Oliveira W.K., Nunes M.L., Rodrigues L.C. The epidemic of Zika virus-related microcephaly in Brazil: detection, control, etiology, and future scenarios. Rev Am J Public Health. 106[4] (2016) 601-5. DOI: 10.2105/AJPH.2016.303113
- [19] Instituto nacional de salud. Boletín epidemiológico, 2017
- [20] Instituto nacional de salud. Boletín epidemiológico, 2018
- [21] Mora A.F., Porras A., Pío F., Estimating the burden of arboviral diseases in Colombia between 2013 and 2016 Rev International Journal of Infectious Diseases Vol. 97, (2020) 81-89. Doi.org/10.1016/j.ijid.2020.05.051
- [22] Instituto nacional de salud. Boletín epidemiológico, 2023
- [23] Guerrero G., Velázquez V., Vargas F.E., Lara M.A., Rodríguez E., Andraca C., Sánchez J. Distribución geográfica de larvas de *Aedes aegypti*. [Diptera: Culicidae] Y Riesgo De Transmisión de Dengue, Chikungunya y Zika en Tecoanapa. Rev. Entomología mexicana, 3: (2016) 722–728
- [24] Gasperi G., Bellini R., Malacrida A.R., Crisanti A., Dottori M., Aksoy S. A new threat looming over the Mediterranean basin: emergence of viral diseases transmitted by *Aedes albopictus* mosquitoes. Rev. PLoS Negl Trop Dis., 6(9) (2012) e1836 doi:10.1371/journal.pntd.0001836.
- [25] Beltrán-Silva S.L., Chacón-Hernández S.S., Moreno-Palacios E., Pereyra-Molin J.Á. Diagnóstico clínico y diferencial: dengue, chikunguña y zika. Rev Med Hosp Gen Méx. 81[3] (2018) 146-153 DOI: 10.1016/j.hgmx.2016.09.011
- [26] Gutierrez-Lopez R., Figuerola J., Martínez J. Methodological procedures explain observed differences in the competence of European populations of *Aedes albopictus* for the transmission of Zika virus. Rev Acta Tropica 237 (2023) 106724 <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2022.106724>
- [27] Costanzo K.S., Schelble S., Jerz K., Keenan M. The effect of photoperiod on life history and blood feeding activity in *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* [Diptera: Culicidae]. Rev J Vector Ecol. (2015) Jun., 40[1]:164-71. DOI: 10.1111/jvec.12146
- [28] Khan A.G., K Bushra. Epidemiological trends and risk factors associated with dengue disease in Pakistan [1980–2014]: a systematic literature search and analysis Jehangir. Rev BMC Public Health. 18:745 (2018) <https://doi.org/10.1186/s12889-018-5676-2>
- [29] Manni M., Guglielmino C., Scolari F., Vega A., Failloux A., Somboon P., Lisa A., Savini G., Bonizzoni M., Gomulski L., Malacrida A., Gasperi G. Genetic evidence for a worldwide chaotic dispersion pattern of the arbovirus vector, *Aedes albopictus*. Rev PLoS Negl Trop

- Dis. 30.,11[1] (2017) e0005332.
doi: 10.1371/journal.pntd.0005332
- [30] Shah H., Pandey B.D. Risk factors of adult Dengue Fever in urban community of Nepal. *Rev Glob J Infect Dis Clin Res.* 7[1] (2021). 064-069. DOI: <https://doi.org/10.17352/2455-5363.000049>
- [31] Piedrahita L.D., Ivony Y., Agudelo S., Marin K., Trujillo A.I., Osorio E., Arboleda-Sanchez S.O., Restrepo B.N. Risk Factors Associated with Dengue Transmission and Spatial Distribution of High Seroprevalence in Schoolchildren from the Urban Area of Medellin, Colombia. *Rev Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology.* Volume 11 (2018) <https://doi.org/10.1155/2018/2308095>
- [32] Brito C. Zika virus: a New Chapter in the History of Medicine. *Rev. Acta Med Port.* 28[6] (2015) 679-80. DOI: 10.20344/amp.7341
- [33] Musso D., Gubler D.J. Zika virus. *Rev Clin Microbiol.* 29[3] (2015) 487-524. DOI: 10.1128/CMR.00072-15
- [34] Plan de respuesta frente a la fiebre Por el virus zika. Ministerio de salud y protección social, Dirección de promoción y prevención Bogota d.c., marzo de 2016.
- [35] Arévalo A., Suarez M. Virus Zika. *Rev. Méd. La Paz.* vol.22 no.1 (2016)
- [36] Rivera O. *Aedes aegypti* virus dengue, chikungunia, zika y el cambio climático. Máxima alerta medica oficial. *Redvet rev.electron.vet.* Vol 15 (10) (2014).
- [37] Hashim N., Ahmad H., Talib A. Co-breeding Association of *Aedes albopictus* [Skuse] and *Aedes aegypti* [Linnaeus] [Diptera: Culicidae] in Relation to Location and Container Size. *Rev Trop Life Sci Res.* 29[1] (2018) 213–227. doi: 10.21315/tlsr2018.29.1.14
- [38] Cabrera Y., Vega J. Infección por virus Zika como un reto para la Salud Pública. *Rev.Med.Electrón.* vol.39 no.2 (2017)
- [39] Liborio M., A Tomisani., Moyano M., Salazar C.B., Balparda R. Estrategias de prevención de dengue: Rosario, Argentina. *Rev. bras. epidemiol.* 7 [3] (2004) • <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2004000300009>
- [40] Figueroa F., Ortega M.B., Carrasco L., P Loor., Vega P., Moreno M. Estrategia comunitaria de promoción en salud para la disminución del dengue Community strategy for health promotion to reduce dengue Estrategia comunitaria de promoción en salud. *Rev. SINAPSIS,* No 13, Vol. 2, (2018). DOI: <https://doi.org/10.37117/s.v2i13.162>
- [41] Barreto C. L., Coelho H., Barbosa T., Garcia M.L., Prevenção e controle do dengue:uma revisão de estudos sobre conhecimentos, crenças e práticas da população. *Rev. Cad. Saúde Pública* 20 (6) (2004) <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2004000600002>
- [42] Ganem-Luna A: TUESCA-Molina y R. Promoción de la salud y prevención del dengue: implementación de la metodología -COMBI- en tres barrios del distrito de Barranquilla, Colombia. *Rev Sal Jal • Año 5 • Número ESPECIAL* (2018).
- [43] García-Maldonado J., González-Méndez A: Reyes-Rueda E., Arévalo-Córdova E., García-Bastidas Y.T. Factores de riesgo asociados al Dengue, en el Barrio El Bosque, Machala – Ecuador 2019, *Rev Pol. Con.* 56. Vol. 6, No 3, (2021) pp. 1883-1891. DOI: 10.23857/pc.v6i3.2479
- [44] Marquetti M., Bisset J., Portillo R., Rodríguez L.M. Factores de riesgo de infestación pupal con *Aedes aegypti* dependientes de la comunidad en un municipio de Ciudad de La Habana. *Rev Cubana Med Trop.* 59[1] (2007) 46-51
- [45] Valerio L., Dolores T., Roureb S. El dengue. *Rev. FMC.* 15[9] (2008) 556-6. doi.org/10.1016/S1134-2072(08)75292-7
- [46] Dzul-Manzanilla F., Correa-Morales F., Che-Mendoza A. Palacio-Vargas J., Sánchez-Tejeda G., González-Roldan J. Identifying urban hotspots of dengue, chikungunya, and Zika transmission in Mexico to support risk stratification efforts: a spatial análisis. *Rev. Lancet Planet Health* 5: (2021) 277–85. DOI: 10.1016/S2542-5196(21)00030-9
- [47] Criollo Fonseca I.Z., Bernal Barón A.Y., Castañeda Porras O. Conocimientos, actitudes y prácticas sobre dengue, tras aplicación de estrategias de movilización social. Yopal-Casanare, Colombia. *Rev. Investigaciones Andina.* No. 29 Vol. 16 (2012) 150 p. Doi.org/10.33132/01248146.43
- [48] Gómez-Dantés H., San Martín J.L., Danis-Lozano R., Manrique-Saide P. La estrategia para la prevención y el control integrado del dengue en Mesoamérica. *Rev Salud Pública de México / vol. 53, suplemento 3* (2011)
- [49] Khan J., Khan I., Ghaffar A., Khalid B. Epidemiological trends and risk factors associated with dengue disease in Pakistan [1980–2014]: a systematic literature search and analysis. *Rev BMC Public Health* 18:745 (2018) <https://doi.org/10.1186/s12889-018-5676-2>



Asociación entre formación virtual durante COVID-19 y síntomas de depresión, ansiedad y estrés en estudiantes de medicina en prácticas post pandemia 2023

Association between virtual training during COVID-19 and symptoms of depression, anxiety and stress in medical students in post-pandemic practices in 2023

Maritza Maldonado ^a, Jorge Castaño ^b, Sherlyn Willoughby ^c.

^a Maritza Lizbeth Maldonado Lizcano, Enfermera. PhD en Educación. Magíster en Epidemiología, Magíster en Paz, desarrollo y resolución de conflictos. Especialista en epidemiología y Gerencia de servicios de Salud. Universidad de Pamplona. Facultad de Salud. Departamento de Medicina. Grupo de Investigación GIEPATI. Grupo de investigación Epidemiología y Salud Pública de la Universidad de Pamplona.

^b Jorge Iván Castaño Gutiérrez, Médico M.D. Universidad Tecnológica de Pereira; Magíster en Epidemiología. Colombia.

^c Sherlyn Paola Willoughby Díaz, Enfermera. Especialista en pedagogía y Docencia y Magíster (c) en Epidemiología. Colombia.

Correspondencia: maritza.maldonado@unipamplona.edu.co
maritzamaldonado02@gmail.com

Recibido: Noviembre 10, 2023. Aceptado: Diciembre 09, 2023. Publicado, Diciembre 09, 2023

Resumen

La irrupción del COVID-19 llevó a la implementación de medidas preventivas, como la prohibición de reuniones grupales, clases virtuales y la suspensión de prácticas clínicas, destinadas a resguardar a la población de los riesgos asociados al nuevo coronavirus. Durante el periodo de marzo de 2020 a diciembre de 2021, los estudiantes de medicina se vieron forzados a continuar su formación de manera virtual. Aunque retornaron a la presencialidad académica en el primer semestre de 2022, este cambio generó una reorientación educativa con limitaciones en la interacción directa con pacientes, esencial para la formación médica. El propósito de la investigación fue examinar la relación entre la formación virtual durante el confinamiento por COVID-19 y los síntomas de depresión, ansiedad y estrés en estudiantes de medicina de la Universidad de Pamplona, quienes realizan prácticas clínicas en la postpandemia. Utilizando la escala DASS-21, se encontró que el 57,6% de los estudiantes presentaba síntomas de depresión, ansiedad y estrés, cifras superiores a la media nacional y a investigaciones similares. Un hallazgo clave fue la dificultad para aplicar los conocimientos adquiridos virtualmente en las prácticas clínicas, siendo esto el principal factor preocupante. La probabilidad de experimentar depresión fue 4, 6 y 7 veces mayor en aquellos estudiantes que consideraron regular, difícil o muy difícil la aplicación de los conocimientos adquiridos durante la virtualidad (2020-2021) en las prácticas postpandémicas (2023). Desde 2021, la OMS ha instado a monitorear la salud mental postpandemia. Este estudio evidencia secuelas que deben abordarse en la población universitaria, destacando un marcado aumento en los síntomas de trastornos depresivos, superando los niveles previos a la pandemia. La atención prioritaria a la salud mental de los estudiantes de medicina se presenta como imperativa.

Palabras clave: Depresión; ansiedad; estrés; pandemia; COVID19, estudiantes Medicina; educación virtual.

Abstract

The onset of COVID-19 prompted preventive measures such as the prohibition of group gatherings, virtual classes, and the suspension of clinical practices, aimed at safeguarding the population from the risks associated with the new coronavirus. From March 2020 to December 2021, medical students were compelled to continue their education virtually. Although they returned to in-person academic settings in the first semester of 2022, this transition led to an educational reorientation with limitations on direct interaction with patients, a crucial element in medical training. The aim of the research was to examine the relationship between virtual education during the COVID-19 lockdown and symptoms of depression, anxiety, and stress in medical students at the University of Pamplona, who are engaged in clinical practices in the post-pandemic period. Using the DASS-21 scale, it was found that 57.6% of students exhibited symptoms of depression, anxiety, and stress, surpassing national averages and similar studies. A key finding was the difficulty in applying knowledge acquired virtually in clinical practices, constituting the primary concern. The likelihood of experiencing depression was 4, 6, and 7 times higher in students who considered the application of knowledge acquired during virtual learning (2020-2021) in post-pandemic practices (2023) to be regular, difficult, or very difficult. Since 2021, the WHO has urged monitoring post-pandemic mental health. This study highlights repercussions that need attention in the university population, emphasizing a significant increase in symptoms of depressive disorders, exceeding pre-pandemic levels. Priority attention to the mental health of medical students is imperative.

Keywords: Depression; anxiety; stress; pandemic; COVID19, Medicine students; virtual education.

1. Introducción

A finales del año 2019 inició la pandemia del virus Sars-Cov2, esta nueva enfermedad respiratoria se transmitía incluso antes del inicio de síntomas, con elevado riesgo de complicación y muerte. La restricción de reuniones y contacto entre personas se impuso como principal medida de control [1]. Las universidades suspendieron clases y prácticas [2], siendo el programa de Medicina de la Universidad de Pamplona uno de los que permaneció por más tiempo en virtualidad en Colombia.

La depresión es un problema de salud pública, que afecta a millones de personas en todo el mundo. En Colombia, alrededor del 5% de la población adulta presenta depresión, y en muchos casos, esta condición se asocia con trastornos de ansiedad. La ansiedad, surge en respuesta a situaciones percibidas como amenazantes, y el estrés se relaciona con la percepción de peligro para la integridad bio psico social, ocasionando respuestas fisiológicas y psicológicas que pueden tener efectos perjudiciales en la salud, incluyendo agotamiento crónico [3-4].

El aislamiento preventivo y cuarentenas impactó la formación en medicina [5-7]. Los estudiantes se vieron obligados a adaptarse a modalidades de aprendizaje virtual [8-9], lo que limitó su interacción directa con pacientes y la práctica clínica presencial, elementos cruciales en su formación, este cambio abrupto en el plan de estudios y formación tradicional significó enormes preocupaciones de los estudiantes sobre la formación virtual según se refieren en varios estudios, y afectó el bienestar mental de los universitarios, en quienes se empezó a documentar altos niveles de estrés y desconfianza en el desarrollo de competencias básicas propias de la carrera de Medicina [10-14]. Colombia declaró la emergencia sanitaria en la Resolución 385 de 2020 [15], la cual se prorrogó hasta el 30 de junio de 2022, la normalidad académica volvió en su totalidad para los estudiantes de la Universidad de Pamplona hasta el primer semestre académico de 2022-1.

Las medidas de protección mundial extendidas obligaron a la mayoría de las escuelas y universidades a cerrar sus campus hasta que se pudiese lograr un mejor control de la pandemia [16-18]. En el caso particular de la Universidad de Pamplona, la transición hacia la educación virtual se extendió por un período más prolongado en comparación con otros programas similares en el país, propiciando cambios sustanciales en el proceso educativo con potenciales repercusiones en la salud mental en el corto y mediano plazo en los estudiantes de Medicina, de acuerdo con los resultados que se empezaban a conocer de investigaciones a nivel mundial [1] [19-23].

La presente investigación buscó establecer la asociación entre la formación virtual recibida durante el confinamiento

por COVID-19 (2020-2021) y la presencia de síntomas de depresión, ansiedad y estrés en estudiantes de medicina que se encontraban en prácticas clínicas postpandemia en 2023, indagando por afectaciones dejadas por la pandemia en la salud mental de los estudiantes de Unipamplona dentro del proceso formativo.

2. Materiales y Métodos

2.1 Diseño y Población de Estudio

Se realizó estudio observacional transversal analítico, en los estudiantes de medicina (640) de la Universidad de Pamplona, de los cuales 391 pertenecen al área de clínicas (6° a 12° semestre) y realizan sus prácticas clínicas en el año 2023 en la ESE HUEM y la ESE Hospital San Juan de Dios de Pamplona, Norte de Santander. Dentro de los criterios de elegibilidad para el estudio se incluyeron como criterios de inclusión: ser estudiante activo del programa de Medicina con matrícula académica de semestre del área de clínicas, y que se encuentren realizando sus prácticas clínicas en el primer semestre del año 2023; estudiantes que hayan mantenido continuidad académica de sus estudios durante los años 2020 a 2023; ser mayor de 18 años; y como criterios de exclusión: estudiantes con diagnóstico previo a la pandemia de alteración en salud mental; estudiantes que no deseen participar en el estudio y no otorguen el consentimiento informado; estudiantes que presenten al momento de estudio vivencia de duelo; estudiantes con alguna condición de salud importante que comprometa su estado de ánimo; estudiantes de intercambio.

El tamaño de la muestra se determinó utilizando el programa EPIDAT, el cálculo mínimo del tamaño de muestra fue de 195 individuos, se contempló un error de tipo I del 5 %, un poder del 80% y se tomó un OR esperado de 3,6(IC95% 1,9 – 6.6) para la disfuncionalidad familiar como factor asociado a síntoma depresivo, según estudio realizado en Cartagena en 2012 [23] y una prevalencia de síntomas depresivos del 24% de síntomas depresivos según estudio realizado en prepandemia en la UNAB 2014 [24]. Participaron en total 347 estudiantes, se eliminó 1 por datos incompletos, 21 no tuvieron continuidad académica, 67 manifestaron presentar diagnóstico previo de alteración mental, 40 se encontraban experimentando etapa de duelo activa, 10 manifestaron condición de salud importante y 3 eran estudiantes de intercambio, obteniéndose al final un total de 205 individuos que fueron ingresados al estudio, siendo el número de sujetos superior a la muestra que se había calculado de 195 individuos como mínimo.

2.2 Plan de Recolección de la Información

El estudio abordó tres variables dependientes: síntomas de depresión, ansiedad y estrés. Además, se analizaron variables independientes relacionadas con la formación virtual durante

el confinamiento por COVID-19 y covariables sociodemográficas, relacionadas con el uso del tiempo libre y la calidad del sueño. Para la recolección de datos, se utilizó fuente de información primaria, con cuestionario autoadministrado y se recopilieron datos para las variables dependientes a través de un instrumento validado, la Escala DASS-21, para identificar la presencia de síntomas de depresión, ansiedad y estrés [25-27].

2.3 Análisis Estadístico

Los datos recopilados se registraron en una base de datos en Excel, se procesaron mediante software estadístico SPSS versión 26. El análisis estadístico incluyó medidas descriptivas para variables cuantitativas (se calcularon medidas de tendencia central y dispersión (media \pm desviación estándar o mediana y rango intercuartílico, según la distribución de la variable) y cualitativas (se calcularon frecuencias absolutas y relativas). Se llevaron a cabo análisis bivariados utilizando pruebas de chi-cuadrado y ANOVA no paramétrico. Posteriormente, se realizó un análisis predictivo mediante un modelo de regresión logística ordinal, con la variable dependiente correspondiente a cada evento de salud mental (depresión, ansiedad, estrés). Se incluyeron en el modelo las variables académicas, sociodemográficas, uso del tiempo libre y sueño que mostraron una asociación estadísticamente significativa en el análisis bivariado. La significancia estadística se estableció en $p < 0.05$. En todo el proceso, se aplicaron controles rigurosos para minimizar sesgos y errores, asegurando la calidad y validez de los datos obtenidos.

2.4 Aspectos Éticos

Este proyecto respeta y se rige por el Código Nuremberg, la declaración de Helsinki, la declaración universal sobre Bioética y Derechos Humanos, el Art 15 Constitución Política de Colombia de 1991 y la Resolución No 008430 de 1993, por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud, guardando la confidencialidad de nombres u otros datos de identificación. [28]

3. Resultados

Se encontraron altas prevalencias de síntomas de depresión, ansiedad y estrés en los estudiantes que fueron ingresados al estudio, presentando síntomas de depresión el 57,6% de los sujetos, siendo severa/extremadamente severa en el 20% de los participantes; presencia de ansiedad en el 57,5%, siendo severo/extremadamente severa en el 31,7% y presencia de estrés en el 55,2%, siendo severo/extremadamente severo en el 24,9%.

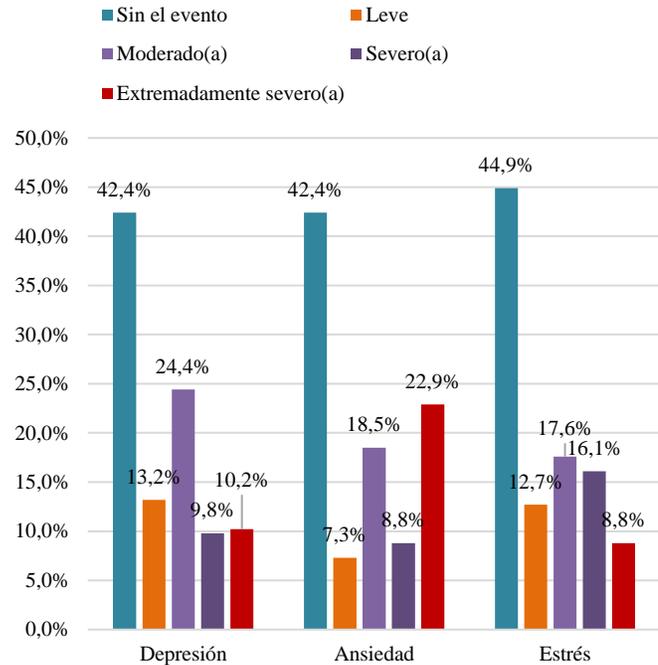


Figura 1. Clasificación del nivel de depresión, ansiedad y estrés en los estudiantes evaluados

Fuente: Autores.

3.1 Caracterización Socio Demográfica

La edad promedio fue 23.2 ± 2.6 años. La muestra estuvo representada en un 57.1% por mujeres y en el 42.9% por hombres. La mayoría están afiliados al régimen contributivo de salud 58%; pertenecen a estratos uno y dos 63.4% y procede de fuera de la ciudad de Cúcuta 72.2%. El 9.7% procede de zonas rurales. El 95.1% de los estudiantes son solteros, mientras que un 3.9% tiene hijos(as). La convivencia con familiares y/o amigos es la situación más común, representando un 71.7%. Además de sus estudios, un 19.5% de los estudiantes trabaja. La principal fuente de recursos para sus estudios y mantenimiento son los familiares 86.3% y un 29.3% de los estudiantes recibe apoyo financiero a través de becas.

3.2 Variables Relacionadas con el Estudio y la Formación Virtual Durante Confinamiento por COVID19

La mediana para semestres cursados virtualmente fue 4 semestres, con rango intercuartílico 3 a 4 semestres. La virtualidad tuvo lugar principalmente en áreas básicas. El 57% de estudiantes no cursó ningún semestre virtualmente para clínicas; el 11.1% curso un solo semestre, el 21% dos semestres y el 9.8% 3 o más semestres en práctica clínica de manera virtual. El 84.9% de los estudiantes tienen carga completa matriculada.

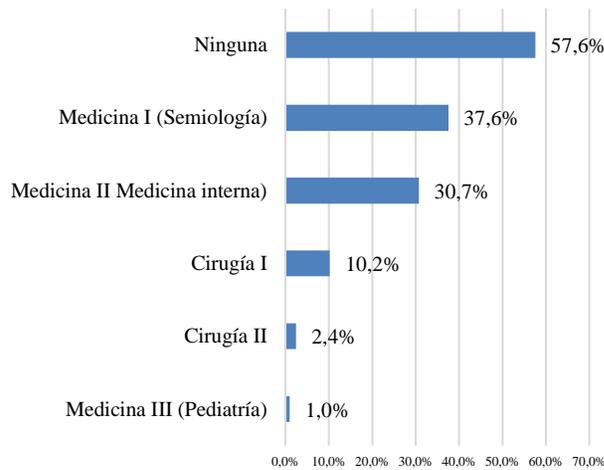


Figura 2. Rotaciones de práctica clínica cursadas de manera virtual
Fuente: Autores.

Tabla 1. Experiencias de aprendizaje durante la modalidad virtual.

Variable	Categorías	n = 205
¿Actualmente tiene matriculadas todas las asignaturas de su ubicación semestral (carga completa) o solo tiene matriculadas algunas (carga parcial)?	Carga completa	174(84,9%)
	Carga parcial	31(15,1%)
¿Cómo califica el impacto de la virtualidad en su proceso de aprendizaje y logro de competencias?	Muy negativo	47(22,9%)
	Negativo	97(47,3%)
	Neutro	53(25,9%)
	Positivo	8(3,9%)
¿Qué tan complicado es para usted aplicar en las prácticas clínicas los conocimientos adquiridos durante su formación virtual?	Muy difícil	29(14,1%)
	Difícil	64(31,2%)
	Regular	93(45,4%)
	Fácil	16(7,8%)
	Muy fácil	3(1,5%)
¿Realiza otras actividades para el aprendizaje o el desarrollo de otras habilidades, que no forman parte del programa académico de Medicina?	Sí	63(30,7%)
	No	142(69,3%)

Fuente: Autores

La mayoría de los estudiantes refirió el impacto de la virtualidad en su proceso de aprendizaje como negativo (47.3%) o muy negativo (22.9%). A la pregunta ¿Qué tan complicado fue aplicar en las prácticas clínicas los conocimientos adquiridos en la formación virtual? un 45% refirió que ese muy difícil o difícil, mientras que para otro 45% fue regular, es decir el 90% manifiesta algún grado de dificultad.

Solo un 30.7% lleva a cabo actividades extraescolares destacándose el estudio del inglés, la práctica de algún deporte, el dibujo y el estudio de algún instrumento musical.
3.3 Variables Relacionadas con Calidad del Sueño y Uso del Tiempo Libre

La mediana para horas diarias de sueño fue 5. El 52.2% considera que su calidad del sueño es regular; apenas un 23%

la considera como buena o excelente. Solo el 39% refirió realizar actividad física al menos 4 veces por semana y por 30 minutos o más al día. El 49.3% afirmó practicar alguna religión o culto.

Tabla 2. Calidad del sueño y uso del tiempo libre

Variable	Categorías / valores	n = 205
¿Cuántas horas duerme en promedio normalmente?	Mediana (Q1 - Q3)	5 (5 - 6)
	Pésima	18(8,8%)
Considera que su calidad de sueño es:	Mala	33(16,1%)
	Regular	107(52,2%)
	Buena	40(19,5%)
	Excelente	7(3,4%)
¿Qué tan complicado es para usted conciliar el sueño?	Muy difícil	14(6,8%)
	Difícil	37(18,0%)
	Regular	76(37,1%)
	Fácil	53(25,9%)
De acuerdo con su actual carga académica, ¿esta le permite tener tiempo disponible para el descanso y el ocio?	Muy fácil	25(12,2%)
	Sí	129(62,9%)
	No	76(37,1%)
	¿Realiza actividad física al menos 4 veces a la semana con duración en cada sesión de 30 minutos o más?	Sí
	No	125(61,0%)
¿Practica alguna religión o culto?	Si	101(49,3%)
	No	104(50,7%)

Fuente: Autores

3.4 APGAR Familiar

El 58.1% de los estudiantes exhibió algún grado de disfunción familiar normal. Hay riesgo de depresión con la variable la edad ($p=0.029$); el riesgo de depresión es mayor en estudiantes en edades tempranas. No se evidenció diferencias significativas para los niveles de ansiedad y estrés.

El riesgo de depresión, ansiedad y estrés es independiente al sexo, zona de procedencia, el vivir en pareja o la convivencia diaria de los estudiantes ($p > 0.05$); no obstante, se evidenció asociación estadísticamente significativa del riesgo de estrés con el grado de funcionalidad familiar ($p=0.043$), determinándose que, a mayor grado de disfunción familiar, mayor severidad del nivel de estrés en los estudiantes.

En el análisis bivariado se encontró que sí hubo relación estadísticamente significativa con la dificultad para aplicar en las prácticas clínicas los conocimientos adquiridos en la virtualidad ($p < 0.05$), donde a mayor dificultad, mayor grado de depresión, ansiedad y estrés, obteniéndose valor de $p=0,0009$ para depresión, valor de $p=0,011$ para ansiedad y valor de $p=0,022$ para estrés. También se evidenció asociación estadísticamente significativa específicamente del nivel de ansiedad con la carga académica ($p = 0.023$), observándose que los niveles de elevados de ansiedad predominan en estudiantes con carga parcial, que son aquellos que se encuentran repitiendo asignaturas clínicas bases de requisito para avanzar en el plan de estudios.

Se evidenció asociación estadísticamente significativa entre los niveles de depresión, ansiedad y estrés con la percepción de la calidad del sueño ($p < 0.05$); los estudiantes con una percepción menos favorable sobre su calidad del sueño exhibieron mayor riesgo de dichos eventos; por otro lado, se evidenció asociación del nivel de riesgo de depresión y estrés con la disponibilidad de tiempo para actividades recreativas ($p < 0.05$); los estudiantes sin tiempo para el descanso y el ocio fueron los que exhibieron mayor riesgo tanto de depresión como de estrés.

Tabla 3. Análisis de varianza para la variable edad según clasificación del riesgo de Depresión, Ansiedad y Estrés en los estudiantes

Variable	Categorías	n	Promedio (ds)	valor p*
Depresión	Sin depresión	87	23,7 (3,2)	0,029
	Depresión leve	27	23,7 (2,3)	
	Depresión moderada	50	22,6 (2,0)	
	Depresión severa	20	22,6 (1,5)	
	Depresión extremadamente severa	21	22,2 (2,1)	
Ansiedad	Sin ansiedad	87	23,7 (3,1)	0,129
	Ansiedad leve	15	23,7 (2,3)	
	Ansiedad moderada	38	22,9 (2,8)	
	Ansiedad severa	18	22,6 (1,4)	
	Ansiedad extremadamente severa	47	22,6 (1,8)	
Estrés	Sin estrés	92	23,7 (3,1)	0,137
	Estrés leve	26	22,9 (2,2)	
	Estrés moderado	36	22,5 (2,0)	
	Estrés severo	33	22,9 (2,0)	
	Estrés extremadamente severo	18	22,7 (2,2)	

Fuente: Autores

En el análisis multivariado al realizar la prueba de efectos del modelo, solo se pudo evidenciar aporte significativo de las variables: Edad; Dificultad para aplicar en las prácticas clínicas los conocimientos adquiridos en la virtualidad y percepción de la calidad del sueño. Por lo cual fueron las que se dejaron en el modelo definitivo para cada evento de interés.

La variable funcionalidad familiar a pesar de no exhibir asociación estadísticamente significativa, se incluye por ser parte fundamental en el contraste de hipótesis de la investigación, de acuerdo con los referentes teóricos.

La dificultad para aplicar los conocimientos adquiridos en la virtualidad se ha asociado con un aumento considerable en los niveles de depresión, ansiedad y estrés, siendo el riesgo de padecer depresión el siguiente:

Los estudiantes con demasiada dificultad para aplicar los conocimientos adquiridos durante la virtualidad en la práctica clínica presentaron 7,26 veces más probabilidades de

depresión que aquellos sin dificultades en sus procesos académicos, $p=0,009$ y OR de 7,26 [1,66-31,82]. Mientras que los estudiantes que consideraban difícil aplicar los conocimientos adquiridos virtualmente en prácticas, presentaron 6,17 veces más probabilidades de depresión que aquellos que lo consideraron fácil $p=0,011$ y un OR de 6,17 [1,51-25,28]. En estudiantes que calificaron como regular la dificultad para aplicar los conocimientos adquiridos en virtualidad, presentaron 4,12 veces más probabilidades de depresión que aquellos que no manifestaron dificultad, $p=0,046$ y OR de 4,12 [1,03-16,56]

Tabla 4. Regresión logística ordinal para depresión. Tablas ajustadas por variable de interés

Categorías Dificultad para aplicar en las prácticas los conocimientos adquiridos en la virtualidad	Desv. Error	Sig.	Exp(B)	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Muy difícil	0,754	0,009	7,26	1,66	31,82
Difícil	0,720	0,011	6,17	1,51	25,28
Regular	0,709	0,046	4,12	1,03	16,56

Fuente: Autores

Tabla 5. Regresión logística ordinal para estrés. Tablas ajustadas por variable de interés

Categorías Dificultad para aplicar en las prácticas los conocimientos adquiridos en la virtualidad	Desv. Error	Sig.	Exp(B)	Intervalo de confianza al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Muy difícil	0,707	0,061	3,6	0,909	14,523
Difícil	0,653	0,030	4,0	1,113	14,418
Regular	0,651	0,122	2,7	0,742	9,529
Fácil			1		

Fuente: Autores

Los estudiantes que calificaron que era difícil aplicar los conocimientos adquiridos durante la virtualidad en la práctica clínica, presentaron 4 veces más probabilidades de estrés que aquellos sin dificultades en sus procesos académicos, $p=0,030$ y un OR de 4 [1,113-14,418]. No se observa que esta variable de interés de aplicación de conocimientos adquiridos en virtualidad en las prácticas clínicas esté contribuyendo a la ansiedad en los estudiantes, al no encontrarse significancia.

Dentro de los hallazgos relevantes, respecto a la edad se logró establecer que a medida que los estudiantes aumentan en edad, la probabilidad de sufrir depresión, ansiedad o estrés disminuye entre un 12% y un 17%. La dificultad para aplicar en prácticas clínicas los conocimientos adquiridos mediante la virtualidad incidió en el riesgo de depresión, ansiedad y estrés. En estudiantes que no presentaron dificultad para

aplicar sus conocimientos en las prácticas clínicas, la odds de depresión fue un 86% más baja que en aquellos estudiantes en los que fue muy difícil aplicar dichos conocimientos en sus prácticas clínicas. La odds de ansiedad fue 70% más baja, y la odds de estrés fue 72% más baja.

Lo anterior se traduce en que la virtualidad impactó considerablemente el desarrollo de las prácticas clínicas, especialmente en aquellos con algún grado de dificultad para aplicar los conocimientos adquiridos en la virtualidad, dada la situación de pandemia por Covid19, que se vio reflejada en un aumento de los niveles de depresión, ansiedad y estrés de los estudiantes.

La calidad del sueño es un factor protector. A mejor calidad del sueño, menor riesgo de depresión, ansiedad o estrés. En estudiantes con calidad del sueño excelente, la odds de padecer depresión fue un 93% más baja que en aquellos donde la calidad del sueño es pésima; la odds de padecer ansiedad fue 97% más baja, mientras que la odds de padecer estrés fue un 100% más baja. La funcionalidad familiar no aportó significativamente a la explicación del riesgo de depresión, ansiedad o estrés en los estudiantes ($p > 0.05$); sin embargo, las posibilidades de desarrollar alguno de estos eventos fue menor en estudiantes con una funcionalidad familiar normal, comparados con aquellos con algún grado de disfunción.

4. Discusión

La pandemia del Covid-19 ha dejado una profunda huella en la salud mental global [29-30], el cierre prolongado que presentaron las instituciones escolares genera efectos duraderos en la salud y desarrollo de la población adolescente y joven [31-33], alteraciones que se encontraron en el presente estudio donde se identificaron síntomas de depresión en el 57,6% de los sujetos siendo severa/extremadamente severa en el 20% de los participantes, presencia de ansiedad en el 57,5%, siendo severo/extremadamente severo de ansiedad en el 31,7% y presencia de estrés en el 55,2%, siendo severo/extremadamente severo en el 24,9%, en los estudiantes ingresados al estudio, las cifras encontradas en esta investigación se encuentran en valores superiores a los encontrados en otros estudios similares [34-36].

La presente investigación se sitúa en la encrucijada de dos fenómenos cruciales: la virtualidad obligatoria como respuesta a la pandemia en 2020 – 2021, y la salud mental de los estudiantes de medicina en post pandemia. Se encontró en la investigación realizada que sí hubo relación estadísticamente significativa con la dificultad para aplicar en las prácticas clínicas los conocimientos adquiridos en la virtualidad ($p < 0.05$), obteniéndose $p=0.009$ para depresión, $p=0.011$ para ansiedad y $p=0.022$ para estrés, donde a mayor dificultad, mayor grado de depresión, ansiedad y estrés. La dificultad para aplicar los conocimientos adquiridos en la

virtualidad se ha asociado con un aumento considerable en los niveles de depresión y estrés, siendo la probabilidad de padecer depresión de 4, 6 y 7 veces mayor en los estudiantes que consideraron regular, difícil y muy difícil la aplicación de conocimientos adquiridos en virtualidad en las prácticas.

La magnitud de los síntomas de salud mental en el presente estudio adquiere una dimensión aún más significativa al contrastar con datos nacionales. Según la Encuesta Nacional de Salud Mental en Colombia de 2015 y estudios más recientes sobre consumo de drogas aplicados a diferentes segmentos de la población, la depresión ha sido identificada como la principal problemática de salud mental, afectando aproximadamente al 5% de la población adulta. Sin embargo, los resultados del presente estudio revelan una realidad distinta entre los estudiantes de medicina, con cifras que sobrepasan en gran medida la media nacional [34].

En cuanto al riesgo de depresión en relación con la edad de los estudiantes, los resultados indican una significancia estadística ($p < 0.05$), siendo mayor en estudiantes más jóvenes. Este hallazgo, que revela una probabilidad disminuida de sufrir depresión, ansiedad o estrés a medida que los estudiantes envejecen (entre un 12% y un 17%), se corresponde con la investigación de Kenyo D. Sandoval et al. [19]. Este estudio, enfocado en los factores asociados con el estrés, encontró que aquellos con edades entre 22 y 23 años experimentaron menos frecuencia de estrés en comparación con los de 17 a 21 años (RP = 0.35; IC95%, 0.14-0.88).

Al explorar la percepción de los médicos en formación de Unipamplona en relación con la aplicación de conocimientos adquiridos en formación virtual en las prácticas clínicas, se observa que aproximadamente el 90% manifestó alguna dificultad (regular, difícil o muy difícil) para aplicar los conocimientos adquiridos durante la virtualidad. Estas cifras contrastan con estudios como el de la Universidad de California, donde el 56.7% de los universitarios de segundo año sintió que su preparación se afectó negativamente, y el 43.3% no se sintió preparado para iniciar las prácticas [10]. Además, las cifras encontradas son superiores a las del estudio de Mohamed Mortagy [5] quien informó que el 54.6% de los estudiantes consideraba que la educación en línea no era tan efectiva como la educación presencial. Estas diferencias subrayan la complejidad de la adaptación a la formación virtual y resaltan la necesidad de estrategias específicas para mejorar la transición de los conocimientos virtuales a las experiencias prácticas clínicas.

Al comparar los resultados con la investigación de Jenny Lee et al. [11], se destacan diferencias en las estrategias adoptadas por los estudiantes para cuidar su salud mental. Mientras que en su estudio casi la mitad de los estudiantes (46.7%) realizó ejercicio y actividad física con este propósito, y un tercio no experimentaba tensiones familiares (36.5%), las cifras encontradas revelan que el 62.9% de los estudiantes estudiados considera que la carga académica actual les brinda

tiempo libre para el descanso y el ocio. Sin embargo, solo el 39% informó realizar actividad física al menos 4 veces por semana y por 30 minutos o más al día, evidenciando posibles áreas de mejora en la promoción de estilos de vida saludables.

A diferencia de los hallazgos de Giray Kolcu et al. [9], quienes observaron diferencias significativas ($p=0,028$) en el promedio de ansiedad entre estudiantes de preclínico ($10,50\pm 4,06$) y clínico ($9,80\pm 3,72$), el presente estudio no reveló variabilidad significativa en el rendimiento académico en relación con el riesgo de depresión, ansiedad o estrés ($p > 0.05$). Asimismo, no se observaron diferencias en los niveles de depresión, ansiedad o estrés en función del número de semestres cursados virtualmente, tanto en áreas básicas como en clínicas, ni en la cantidad de días semanales dedicados a la práctica clínica. La asociación significativa entre los niveles de depresión, ansiedad y estrés con la percepción de la calidad del sueño ($p < 0.05$), ($p=0,002$ para depresión y ansiedad, y $p=0,000$ para estrés), subraya la importancia de abordar las condiciones de sueño en el contexto de la salud mental de los estudiantes de forma más profunda, sugiriendo la realización de más investigaciones en esta área específica. Es interesante observar que también se encontró una asociación significativa entre los niveles de ansiedad y estrés con la dificultad para conciliar el sueño ($p < 0.05$), siendo respectivamente el valor de $p=0,001$ para ansiedad y $p=0,000$ para estrés. Los estudiantes que informaron una mayor dificultad para conciliar el sueño presentaron un mayor riesgo de ansiedad y estrés. Estos resultados corroboran hallazgos previos, como los de Fiorella Armas-Elguera et al. [21]. Los estudiantes que carecían de tiempo para el descanso y el ocio mostraron una mayor probabilidad de experimentar tanto depresión como estrés, subrayando la importancia de equilibrar las demandas académicas con el tiempo dedicado a actividades recreativas. Además, se identificó una asociación estadísticamente significativa entre el riesgo de estrés y el grado de funcionalidad familiar ($p = 0.043$). Este hallazgo sugiere que a medida que aumenta el grado de disfunción familiar, se observa una mayor severidad en los niveles de estrés en los estudiantes. La familia, como entorno fundamental, desempeña un papel crucial en el bienestar mental de los jóvenes universitarios, y estos resultados resaltan la necesidad de considerar factores familiares al abordar el estrés en este grupo. Estos resultados se corresponden con otras investigaciones como las de Hefner y Yaday, que han destacado la relación entre el apoyo social, la gestión del tiempo y la salud mental en contextos académicos. [35-36]

5. Conclusiones

Existe una asociación estadísticamente significativa entre la formación virtual recibida durante el confinamiento por COVID-19 y los síntomas de depresión, ansiedad y estrés en estudiantes de medicina de la Universidad de Pamplona en 2023. La dificultad para aplicar los conocimientos adquiridos en la virtualidad se ha asociado con un aumento considerable

en los niveles de depresión, ansiedad y estrés, siendo la probabilidad de padecer depresión de 4, 6 y 7 veces mayor en los estudiantes que consideraron regular, difícil y muy difícil la aplicación de conocimientos adquiridos en virtualidad en las prácticas. Los estudiantes que calificaron su dificultad para aplicar los conocimientos adquiridos en virtualidad a las prácticas clínicas como regular tienen 4 veces más probabilidad de presentar estrés en comparación con quienes no presentan dificultad.

Se resalta la influencia de la edad, la calidad del sueño y la funcionalidad familiar en la salud mental de los estudiantes de medicina. A medida que los estudiantes envejecen, la probabilidad de sufrir depresión, ansiedad o estrés disminuye, lo que sugiere un efecto protector de la edad. La calidad del sueño también se presenta como un factor protector, ya que aquellos estudiantes con una excelente calidad de sueño experimentaron reducciones significativas en el riesgo de depresión, ansiedad y estrés. Aunque la funcionalidad familiar no contribuyó significativamente a la explicación del riesgo, se observó que los estudiantes con una funcionalidad familiar normal tenían menores probabilidades de desarrollar eventos adversos en comparación con aquellos con algún grado de disfunción.

6. Recomendaciones

Los resultados enfatizan la necesidad de intervenciones integrales que aborden los desafíos de la educación virtual, promuevan estilos de vida saludables, fortalezcan el apoyo social y consideren las diferencias individuales para mejorar el bienestar de los estudiantes de medicina.

Es de gran importancia abordar no solo los desafíos específicos de la educación virtual, sino también la necesidad de estrategias de apoyo y atención a la salud mental que consideren la individualidad de los estudiantes y su entorno familiar. La pandemia ha dejado una huella significativa en la formación médica, y comprender estos factores es esencial para el diseño de intervenciones efectivas y personalizadas que promuevan el bienestar y el rendimiento académico en este contexto cambiante.

Agradecimientos

Al programa de Medicina de la Universidad de Pamplona y sus escenarios de prácticas clínicas por facilitar la realización del presente estudio.

Declaración de Conflicto de Intereses

El proyecto no presenta conflicto de intereses de ninguna índole económica, política, académica o personal, dado que está centrado en el estudio y conocimiento científico regido por principios éticos, el respeto de los participantes del

estudio, la autonomía, confidencialidad y protección de datos personales.

Financiación

La financiación del proyecto de investigación se realizó con recursos propios de los investigadores para cubrir los gastos referentes a personal, equipos de uso propios (luz, internet, etc), software, viajes, salidas de campo, materiales y suministros.

Referencias

- [1] Majrashi, A., Khalil, A., Nagshabandi, E.A., Majrashi, A. Stressors and coping strategies among nursing students during the COVID-19 pandemic: scoping review. *Nursing Reports*, 11 (2), (2021). 444-459. <https://doi.org/10.3390/nursrep11020042>
- [2] Elmer, T., Mepham, K., Stadfeld, C. Students under lockdown: Comparisons of students' social networks and mental health before and during the COVID-19 crisis in Switzerland. *Plos one*, 15 (7), (2020). e0236337. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236337>
- [3] López, C.Q., Vera, V.D.G. Depresión en estudiantes universitarios derivada del Covid-19: un modelo de clasificación. *Cuadernos hispanoamericanos de psicología*, 21 (1), (2021). 1-15.
- [4] Vergara, K.A.; Cárdenas, S.; Díaz; Martínez, F.G. Síntomas de depresión, ansiedad y estrés en estudiantes de odontología: prevalencia y factores relacionados. *Revista colombiana de psiquiatría*, 42 (2), (2013) p. 173-181. [https://doi.org/10.1016/S0034-7450\(13\)70004-0](https://doi.org/10.1016/S0034-7450(13)70004-0)
- [5] Mortagy, M., Abdelhameed, A., Sexton, P., Olken, M., Hegazy, M. T., Gawad, M. A., Aiash, H. Online medical education in Egypt during the COVID-19 pandemic: a nationwide assessment of medical students' usage and perceptions. *BMC medical education*, 22 (1), (2022) 218.
- [6] Dedeilia A., Sotiropoulos M.G., Hanrahan J.G., Janga D., Dedeilias P., Sideris M. Medical and Surgical Education Challenges and Innovations in the COVID-19 Era: A Systematic Review. *In Vivo*;34 (3suppl) (2020),1603-11. <https://doi.org/10.21873/invivo.11950>
- [7] Rajab M.H., Gazal A.M., Alkattan K. Challenges to online medical education during the COVID-19 pandemic. *Cureus*, 2020, 12 (7). (2020). DOI: 10.7759/cureus.8966
- [8] Yadav R.K., Baral S., Khatri E., Pandey S., Pandeya P., Neupane R. Anxiety and Depression Among Health Sciences Students in Home Quarantine During the COVID-19 Pandemic in Selected Provinces of Nepal. *Front Public Health*. 9 (580561) (2021). <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.580561>
- [9] Kolcu G., Başer Kolcu M.İ. Psychological Effects of COVID-19 in Medical Students. *Psychiatr Danub*. 33 (Suppl 13), (2021) 387-91.
- [10] Shahrvini B., Baxter S.L., Coffey C.S., MacDonald BV, Lander L. Pre-clinical remote undergraduate medical education during the COVID-19 pandemic: a survey study. *BMC Med Educ*. 21 (1), (2021) 13.
- [11] Lee J., Solomon M., Stead T., Kwon B., Ganti L. Impact of COVID-19 on the mental health of US college students. *BMC Psychol*. 9 (1), (2021) 95. <https://doi.org/10.1186/s40359-021-00598-3>
- [12] Zis P., Artemiadis A., Bargiotas P., Nteveros A., Hadjigeorgiou G.M. Medical Studies during the COVID-19 Pandemic: The Impact of Digital Learning on Medical Students' Burnout and Mental Health. *Int J Environ Res Public Health*. 18 (1), (2021) 349. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010349>
- [13] Mittal R.; Su L., Jain R. COVID-19 mental health consequences on medical students worldwide. *J Community Hosp Intern Med Perspect*. 11 (3), (2021) 296-8. <https://doi.org/10.1080/20009666.2021.1918475>
- [14] Abdulghani H.M., Sattar K., Ahmad T., Akram A. Association of COVID-19 Pandemic with undergraduate Medical Students' Perceived Stress and Coping. *Psychol Res Behav Manag*. 13, (2020) 871-81. <https://doi.org/10.2147/PRBM.S276938>
- [15] Ministerio de Salud y Protección Social. Resolución No. 0385 de 2020. [Internet]. Por la cual se declara la emergencia sanitaria por causa del coronavirus COVID-19 y se adoptan medidas para hacer frente al virus. (2020). Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=119957>
- [16] Mheidly N., Fares M.Y., Fares J. Coping With Stress and Burnout Associated With Telecommunication and Online Learning. *Front Public Health*. 8 (2020) 574969. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.574969>
- [17] Brooks S.K., Webster R.K., Smith L.E., Woodland L., Wessely S., Greenberg N. The psychological impact of quarantine and how to reduce it: rapid review of the evidence. 395 (2020) 10. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30460-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30460-8)
- [18] Maslach C., Leiter M.P. New insights into burnout and health care: Strategies for improving civility and alleviating burnout. *Med Teach*. 39(2), (2017) 160-3. <https://doi.org/10.1080/0142159X.2016.1248918>
- [19] Sandoval K.D., Morote Jayacc P.V., Moreno Molina M., Taype Rondan A. Depresión, estrés y ansiedad en estudiantes de Medicina humana de Ayacucho (Perú) en el contexto de la pandemia por COVID-19. *Rev Colomb Psiquiatr*. S0034745021001682. (2021) <https://doi.org/10.1016/j.rep.2021.10.005>
- [20] Alonso Polo J.D., Castaño Castrillón J.; Ceron Rosero Y.E., Dávila Mejura L.M., Julio de la Rosa A., De la Rosa Marrugo P.E. Frecuencia de depresión, según cuestionario de Beck, en estudiantes de medicina de la ciudad de Manizales (Colombia), 2014: estudio de corte transversal. *Arch Med Manizales*.15(1), (2015) 9-24.
- [21] Armas Elguera F., Talavera-Ramírez J.E., Cárdenas M., De la Cruz-Vargas J.A. Trastornos del sueño y ansiedad de estudiantes de Medicina del primer y último año en Lima, Perú. *Revista de la Fundación Educación Médica* 24(3), (2021) 133. <https://dx.doi.org/10.33588/fem.243.1125>
- [22] Congreso de Colombia. Ley 1616 del 21 de enero 2013. Por medio de la cual se expide la ley de Salud Mental y se dictan otras disposiciones. [Internet]. Diario Oficial No. 52.582 - 17 de noviembre de 2023. Disponible en: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1616_2013.html
- [23] Arrieta Vergara K.; Díaz Cárdenas S.; González Martínez F. Síntomas de depresión, ansiedad y estrés en estudiantes de odontología: prevalencia y factores relacionados. *Revista Colombiana de Psiquiatría*;42(2), (2013) 173-181. [https://doi.org/10.1016/S0034-7450\(13\)70004-0](https://doi.org/10.1016/S0034-7450(13)70004-0)
- [24] González Olaya H.L.; Delgado Rico H.D.; Escobar Sánchez M.; Cárdenas Angelone M.E. Asociación entre el estrés, el riesgo de depresión y el rendimiento académico en estudiantes de los primeros semestres de un programa colombiano de medicina. *FEM: Revista de la Fundación Educación Médica*. 17(1), (2014) 47-54.
- [25] Román, F.; Santibáñez, P.; Vinet, E.V. Uso de las Escalas de Depresión Ansiedad Estrés (DASS-21) como instrumento de tamizaje en jóvenes con problemas clínicos. *Acta de investigación psicológica*. 6 (1), (2016) 2325-2336.
- [26] Valencia Vargas Alejandra, López Palacio Gabriel Jaime, Cardona Arango Doris, Segura Cardona Ángela Maria, Segura Cardona Alejandra, Muñoz Rodríguez Diana Isabel. Análisis Rasch da escada APGAR-familiar em adultos maiores da Colômbia. *Hacia la Promoción de la Salud*. 26 (2), (2021) 102-114. <https://doi.org/10.17151/hpsal.2021.26.2.8>
- [27] Reyes Narváez S.E., Oyola Canto M.S. Funcionalidad familiar y conductas de riesgo en estudiantes universitarios de ciencias de la salud. *Comuni@cción*. 13 (2), (2022) 127-137. <http://dx.doi.org/10.33595/2226-1478.13.2.687>
- [28] Mazzanti Di Ruggiero, M. Declaración de Helsinki, principios y valores bioéticos en juego en la investigación médica con seres humanos. *Revista colombiana de bioética*. 6 (1), (2011) 125-145. <https://doi.org/10.18270/rcb.v6i1.821>
- [29] Salari N., Hosseiniyan Far A., Jalali R., Vaisi Raygani A., Rasoulpoor S., Mohammadi M., Rasoulpoor S., Khaledi Paveh B. Prevalence of stress, anxiety, depression among the general population during the COVID-19 pandemic: a systematic review and meta-analysis. *Globalization and health*. 16 (1), (2020) 1-11. <https://doi.org/10.1186/s12992-020-00589-w>
- [30] Biwer F., Wiradhany W., Oude Egbrink M., Hospers H., Wasenitz S., Jansen W., De Bruin A. Changes and Adaptations: How University Students Self-Regulate Their Online Learning During the COVID-19

- Pandemic. *Frontiers in psychology*. 12, (2021) 642593. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.642593>
- [31] Wang G., Zhang Y., Zhao J., Zhang J., Jiang F. Mitigate the effects of home confinement on children during the COVID-19 outbreak. *The lancet*. 395 (10228), (2020) 945-947. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30547-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30547-X)
- [32] Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Policy Brief: Education during COVID-19 and beyond. [Internet] Agosto del 2020. Nueva York: Naciones Unidas, (2020). Disponible en: https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/sg_policy_brief_covid19_and_education_august_2020.pdf.
- [33] Wilkinson E. Medical students face high levels of mental health problems but stigma stops them getting help. *BMJ*. 381, (2023) 933. Published 2023 Apr 25. <https://doi.org/10.1136/bmj.p933>
- [34] Ministerio de Salud y Protección Social Colombia. Encuesta Nacional de salud Mental. [Internet]. Tomo I. (2015) Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/encuesta-nacional-salud-mental-ensm-2015.zip>
- [35] Hefner J.; Eisenberg D. Social support and mental health among college students. *Am J Orthopsychiatry*. 79(4), (2008) 491-9. <https://doi.org/10.1037/a0016918>
- [36] Yadav C.S., Monga S., Tanwar S. The Effect of Time Management on Subjective Well-Being Among University Students, *International Journal of Management*, 11(12), (2020) 1642-1651. 10.34218/IJM.11..2020.150



Cronología de la formación Shale de Bambucá y su potencial como roca generadora, sector occidental subcuenca de Neiva – Huila, Colombia

Chronology of the Bambucá Shale formation and its potential as source rock, western sector of the Neiva sub-basin – Huila, Colombia

Cora Valentina Salazar Vásquez ^a; Alejandra Mejía-Molina ^b; Ingrid Natalia Muñoz Quijano ^c

^a Estudiante, Ingeniería de Petróleos. Universidad Surcolombiana. Avenida Pastrana Borrero-Carrera 1, Colombia

^b PhD en Geología. Docente Universidad de Pamplona. Calle 5 N° 3-93, Colombia; Mail: alejandra.mejia@unipamplona.edu.co

^c PhD en Geología. Docente Universidad Surcolombiana. Avenida Pastrana Borrero-Carrera 1, Colombia; Mail: ingrid.munoz@usco.edu.co

Correspondencia: u20171156876@usco.edu.co

Recibido: Agosto 25, 2023. Aceptado: Noviembre 24, 2023. Publicado: Noviembre 30, 2023

Resumen

Mejorar el conocimiento de las cuencas petrolíferas de Colombia exige la evaluación e implantación de nuevas estrategias para potencializar o incrementar la exploración de nuevos campos productores de hidrocarburos o incentivar, la profundización de los estudios geológicos en los campos ya existentes. En los últimos años, se han buscado formas de maximizar la producción de los yacimientos de hidrocarburos, aunque en el país se han concentrado en los de tipo detrítico. En este trabajo se plantea la búsqueda de formaciones que contengan rocas carbonatadas para ampliar el rango de yacimientos de interés. En la zona de trabajo, el Shale de Bambucá se caracteriza por poseer un alto contenido de materia orgánica, pero información detallada acerca de su petrografía, cronología y potencial hidrocarburífero no ha sido estudiada en detalle. Los yacimientos carbonatados como el Shale de Bambucá, contienen abundante registro fósil de algas pardas marinas microscópicas conocidas como nanofósiles calcáreos. Los cuales constituyen una opción atractiva de estudio para comprobar o mejorar la resolución de las edades históricamente asignadas y evaluar el potencial que puede tener una formación como roca generadora. Análisis preliminares para proponer una biozonación y eventos bioestratigráficos de nanofósiles calcáreos en esta formación permitieron identificar una asociación compuesta por cinco especies predominantes del Cretácico (Cenomaniano – Coniaciano): *Quadrum svabenickae*, *Lithraphidites carniolensis*, *Calculites obscurus*, *Eiffellithus* spp. y *Watznaueria biporta*. Estos organismos son bioformadores de la roca generadora en dicha zona de estudio y confirman el origen marino de los sedimentos con materia orgánica capaz de producir kerógeno Tipo II.

Palabras clave: Bioestratigrafía, Biozonación, Kerógeno, Nanofósiles Calcáreos, Shale de Bambucá.

Abstract

Improving the knowledge of Colombia's oil basins requires the evaluation and implementation of new strategies to enhance or increase the exploration of new hydrocarbon producing fields or encourage the deepening of geological studies in existing fields. In recent years, there has been a search for ways to maximize the production of hydrocarbon reservoirs, although in the country they have concentrated on the detrital type. This work proposes the search for formations containing carbonate rocks to expand the range of reservoirs of interest. In the work area, the Bambucá shale is characterized by having a high content of organic matter, but detailed information about its petrography, chronology and hydrocarbon potential has not been studied in detail. Carbonate reservoirs such as the Bambucá Shale contain abundant fossil record of microscopic marine brown algae known as calcareous nannofossils. These are an attractive study option to test or improve the resolution of historically assigned ages and evaluate the potential of a formation as a source rock. Preliminary analyses to propose a biozonation and biostratigraphic events of calcareous nannofossils in this formation allowed the identification of an assemblage composed of five predominant Cretaceous species (Cenomanian – Turonian): *Quadrum svabenickae*, *Lithraphidites carniolensis*, *Calculites obscurus*, *Eiffellithus* spp., and *Watznaueria biporta*, which are bioformers of the source rock in the study area and confirm the marine origin of sediments with organic matter capable of producing Type II kerogen.

Keywords: Bambucá Shale, Biostratigraphy, Biozonation, Calcareous Nannofossils, Kerogen.

1. Introducción

La producción de hidrocarburos en Colombia se enfrenta a un declive por el agotamiento de reservas y la falta de incorporación de nuevos recursos, lo cual puede llevar al país a perder suficiencia energética en menos de 10 años, de acuerdo con la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) [1]. Sin embargo, llevar a cabo análisis detallados de los diferentes yacimientos no convencionales existentes en el país, posibilitarían el aumento de los niveles de reservas actuales. Hoy en día, avances tecnológicos en la industria petrolera como la estimulación hidráulica se pueden llevar a cabo en las lutitas, que poseen un gran potencial como roca generadora en los denominados yacimientos no convencionales de gas o aceite en shales [2 – 12].

En Colombia, los estudios en shales como yacimiento no convencional son relativamente recientes, iniciándose en el siglo XXI con el reconocimiento de Colombia como uno de los países suramericanos con potencial en estos yacimientos que contribuyen a diversificar el mercado de los hidrocarburos [13, 14]. Desde la primera década del 2000, se han realizado estudios geológicos, petrofísicos y geoquímicos cada vez más detallados [15 – 26]. Así como, análisis tectónico-estructurales de cuencas prospecto de estos yacimientos [27 – 29] y geoquímicos [30 – 36]. También, avanzando en estudios de métodos de exploración [37, 38], modelamientos digitales y matemáticos [39 – 47]. Hasta finalmente, estudios tecno económicos y legislativos [48 – 55].

Muchos de los estudios sobre yacimientos tipo shale en el país se han concentrado en la formación La Luna (Turoniano - Santoniano) o también en la llamada Formación Lomagorda [24, 25] [56 – 60].

En el campo de la bioestratigrafía en yacimientos no convencionales destacan estudios en foraminíferos de la Formación Umir y la Luna [61] y bioestratigrafía e inferencias paleoambientales [62].

En el área estudiada, los trabajos más destacados se refieren a la geología detallada del Shale de Bambucá, con descripción del ambiente sedimentario [63, 64], la geoquímica y definición de los sistemas petrolíferos [65, 66] hasta la paleoceanografía [67].

Estudios bioestratigráficos y de reconstrucción paleoceanográfica y paleoecológica basados en nanofósiles calcáreos en Colombia habían sido muy limitados y correspondían a informes confidenciales de compañías petroleras, hasta los realizados por Mejía-Molina, A y otros autores en los últimos años [68 – 72]. Habiéndose convertido ahora en una herramienta más generalizada en reconstrucciones marinas y de cronología de secuencias carbonatadas.

Sin embargo, estudios bioestratigráficos y biocronológicos en el Shale de Bambucá han sido mínimos y no hacen parte de la literatura científica extendida, restringiéndose a escasos informes técnicos no publicados. En este trabajo, se plantea la aplicación de estos estudios en yacimientos no convencionales tipo shale, debido a que permiten una aproximación acerca de la evolución de cuencas sedimentarias, sus ambientes de formación, tipo de materia orgánica y geocronología. De esta manera, el análisis de nanofósiles calcáreos aportará nueva información sobre el Shale de Bambucá, que permita incentivar el interés de los yacimientos no convencionales en la cuenca sedimentaria del Valle Superior del Magdalena (VSM).

2. Localización

La zona de estudio se encuentra localizada en el VSM en la subcuenca de Neiva, incluida en la plancha geológica 323 del Servicio Geológico Colombiano. Al área se accede por un carretable de aproximadamente 4 kilómetros desde el Municipio de Palermo hasta la vereda Las Brisas, ubicada en el occidente del Departamento del Huila (Fig. 1). Las estrellas rojas indican las secciones en donde se recolectaron las muestras.

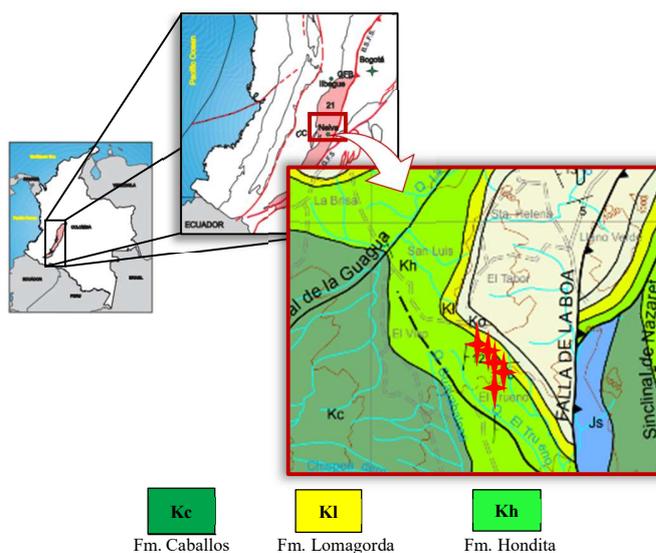


Figura 1. Localización de la zona de estudio. Fuente: Modificada de [73] y [74].

3. Marco geológico

El VSM es una depresión alargada que se extiende desde las ciudades de Pitalito hasta Honda, tiene una distancia aproximada de 400 km y un área de alrededor de 20.000 km² [75]. Según Mojica & Franco (1990) [76] “está subdividido en dos unidades: la subcuenca de Neiva, al sur, y la subcuenca de Girardot, al norte; que están separadas por el alto del basamento económico de Pata [77] o de Natagaima [78]”. Se

sitúa sobre un basamento continental sobre el cual no se encuentran rocas sedimentarias, solamente ígneas y metamórficas donde no se espera tener algún tipo de yacimiento petrolífero [79].

La subcuenca de Neiva, ubicada en el extremo sur del VSM es una cuenca intermontana, limitada por los altos de Natagaima y Pata al norte, la Falla de Altamira al sur, y por la Cordillera Central al oeste y el Macizo de Garzón al este [80].

El Shale de Bambucá es una formación situada en la Subcuenca de Neiva del VSM perteneciente al Grupo Villeta. Grupo compuesto principalmente por shale verde a verde grisáceo. El contacto con la Caliza de Tetuán es transicional y el predominio de sedimento arcilloso sugiere proximidad del área fuente y una somerización del fondo y acercamiento a la línea de costa [79]. En la Fig. 2, se muestra la columna generalizada del Cretácico del VSM para el Grupo Villeta y la columna estratigráfica de la sección levantada en la zona de estudio.

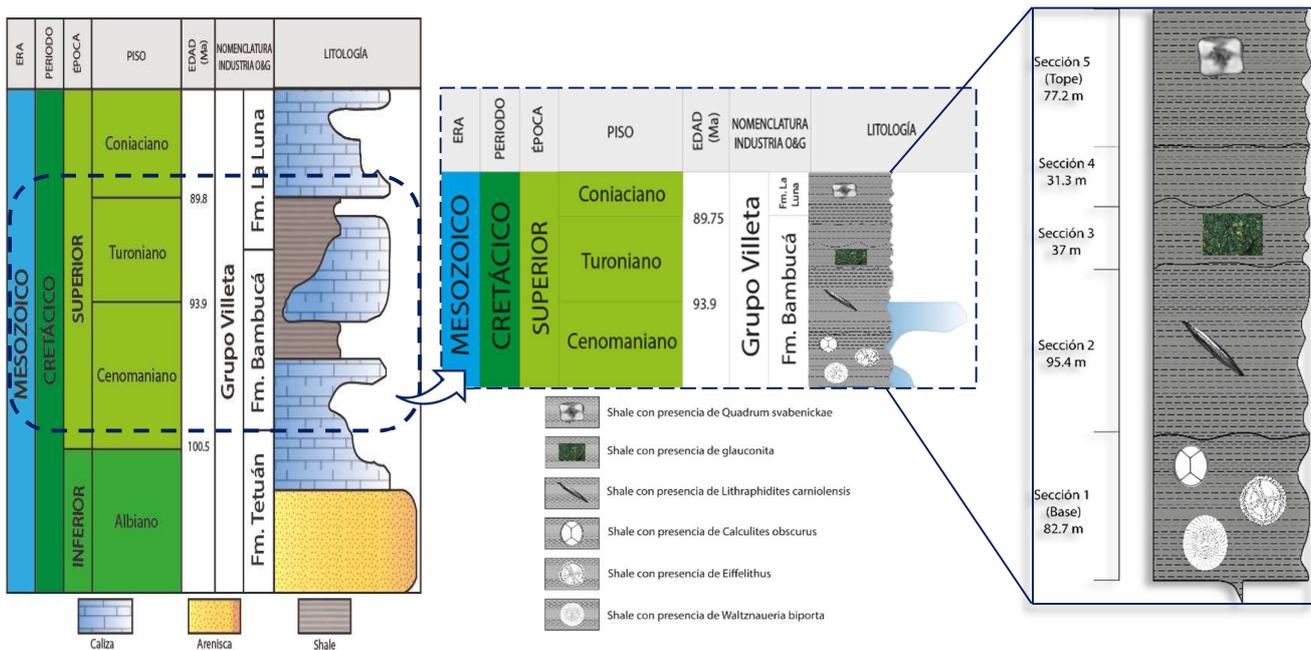


Figura 2. Columna estratigráfica de la sección levantada en la Formación Shale de Bambucá, vereda Las Brisas (Huila). Fuente: Modificada de [73].

4. Materiales y métodos

Se realizó una revisión bibliográfica extensa, con información detallada de planchas, artículos científicos, informes técnicos y proyectos de grado para el área de interés, específicamente sobre el Shale de Bambucá, el Grupo Villeta, los nanofósiles calcáreos, la bioestratigrafía, biozonación basada en estos organismos y tipos de kerógeno, entre otros.

Se recolectaron nueve (9) muestras en cinco (5) secciones (Fig. 1, marcadas con estrellas rojas).

Posteriormente, se llevaron a cabo análisis de laboratorio. Para identificar con fiabilidad bajo el microscopio petrográfico las especies de nanoflora presentes en la muestra, esta debe estar lo suficientemente limpia de elementos que no sean de la fracción calcárea. Para garantizarlo, se realizó una preparación previa de los sedimentos colectados antes de montarlos para su análisis de frotis (*smear slide*).

Limpieza y montaje de las muestras de nanoplánton:

Para la limpieza de las muestras, en primer lugar, se prepara “*agua tamponada*” cuyo contenido es una solución en agua destilada de un contenido estandarizado de sales (Na_2CO_3 y NaHCO_3). Se adiciona el sedimento previamente pesado y se deja en reposo durante una semana, al menos, en viales de vidrio. Esto se hace para que la sílice y la materia orgánica contenida en los sedimentos que la muestra contenga se disuelvan, junto con otros residuos no calcáreos presentes. De esta manera, los análisis en el microscopio petrográfico serán más prístinos [70, 72, 81, 82].

Preparación del nanoplánton en los portaobjetos:

Posterior al tiempo de limpieza, se realizó la preparación en los portaobjetos. Para esto, se utilizaron portaobjetos previamente rotulados con los nombres de las muestras. Además, de cubreobjetos finos, plancha de calentamiento, tina de ultrasonidos, Bálsamo de Canadá, horno de secado, paletillas

de madera, toallas de papel y etanol para limpiar el instrumental.

Los portaobjetos y cubreobjetos debían estar previamente calentados por la plancha a 78 °C aproximadamente. Las muestras reservadas en los viales de vidrio fueron agitadas en la tina de ultrasonidos. Se agregaron gotas de esta preparación en los portaobjetos correspondientes a la muestra y se dejaron secar en la plancha a la misma temperatura. Luego, añadiendo, cuidadosamente, una gota de Bálsamo de Canadá encima de la muestra ya seca en el portaobjetos, se pusieron los cubreobjetos. Finalmente, los portaobjetos se someten a calentar/secar en un horno durante 6 horas a 40 °C. Esto con el fin de garantizar la maduración del Bálsamo de Canadá y el sellado total de los cubreobjetos.

Análisis bioestratigráficos:

Para los análisis bioestratigráficos se utilizó el microscopio Nikon ECLIPSE Ci POL con cámara Lumenera Infinity 1, un objetivo de 100x y aceite de inmersión, que permiten la identificación, recuento y toma de láminas fotográficas de las especies de nanoflora.

La interpretación de los datos obtenidos en el laboratorio se realizó a través de Mikrotax (<https://www.mikrotax.org>) y de los libros Plankton Stratigraphy [83] y Calcareous Nannofossil Biostratigraphy [84] para verificar la taxonomía de las especies observadas.

5. Resultados

Las muestras en general presentan una abundancia de rara a muy baja de nanoflora, aunque su preservación es de media a buena. La abundancia tan escasa no permitió llevar a cabo recuentos en las muestras analizadas, restringiendo así, una reconstrucción detallada de las biozonas o de su interpretación paleoecológica. De las regiones muestreadas, se reconocieron un total de sólo cinco especies de nanofósiles calcáreos. Los hallazgos de base a techo por especies son descritos a continuación.

En la sección 1 (base) se encontraron las siguientes especies:

5.1. *Watznaueria biporta*: descrita inicialmente por Bukry (1969) en el Océano Atlántico. Rango: ¿Albiano? – Maastrichtiano. Ambiente: Marino [83, 84]. Se midió un tamaño aproximado de 7 µm de diámetro (Fig. 3).

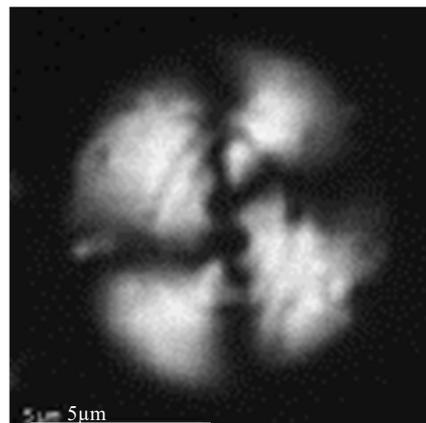


Figura 3. Muestra sección 1. Especie e: *Watznaueria biporta*. Lámina fotográfica en nicoles cruzados. Fuente: Autores.

5.2. *Eiffellithus* spp: la muestra no permitió el reconocimiento de los organismos a nivel de especie (Fig. 4), pero se reconoció la familia *Eiffellithus*. La literatura más extendida de esta familia se resume a continuación y es de utilidad en la medida en que se avance en la identificación futura de este género a nivel de especie en las secciones de interés u otras coetáneas.

- ***Eiffellithus eximius*:** descrita por Stover (1966) y Perch-Nielsen (1968) en el Sur de África. Rango: Turoniano – Campaniano, cercana al LO (*Last Occurrence*, último registro) de *Broinsonia parca constricta* en el Campaniano superior. Ambiente: Marino pelágico [83, 84].
- ***Eiffellithus gorkae*:** descubierta por Reinhardt (1965) en el Sur de África. Rango: Albiano – Maastrichtiano. Ambiente: Marino pelágico [83, 84].
- ***Eiffellithus hancockii*:** descubierta por Burnett (1998) en el Reino Unido, UK. Rango: Albiano – Cenomaniano [83, 84].
- ***Eiffellithus monechiae*:** descubierta por Crux (1991). Similar al *E. eximius*. Rango: Albiano superior – Cenomaniano inferior [83, 84].
- ***Eiffellithus parallelus*:** descubierta por Perch-Nielsen (1973) en el sur de África. Rango: Campaniano – Maastrichtiano [83, 84].
- ***Eiffellithus pospichalii*:** descubierta por Burnett (1998) en el norte del Océano Índico. Rango: Campaniano [83, 84].
- ***Eiffellithus striatus*:** primera vez mencionado por Black (1971) y Applegate & Bergen (1988) en el Reino Unido, UK. Rango: Valanginiano superior – hautoeriviano superior [83, 84].

- *Eiffellithus turriseiffelii*: primera vez mencionado por Deflandre (en Deflandre & Fert, 1954) y Reinhardt (1965 para el sureste de Francia. Rango: Albiano superior – Maastrichtiano superior [83, 84].
- *Eiffellithus windii*: primera vez mencionado por Applegate & Bergen (1988) en el este del Océano Atlántico. Rango: Valanginiano inferior – ¿Hauteriviano inferior?. [83, 84].

El espécimen presenta un diámetro de 5µm.

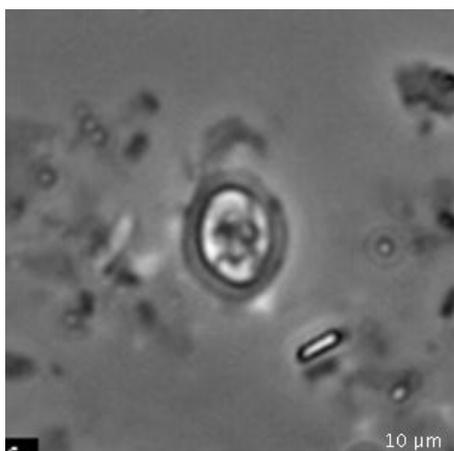


Figura 4. Muestra sección 1. Especimen de *Eiffellithus* spp. Lámina fotográfica en nicols cruzados. Fuente: Autores.

- 5.3. *Calculites obscurus*: descubierta por Deflandre (1959, ¿en el sur de África? Rango: ¿Turoniano? o Coniaciano – Maastrichtiano [83, 84]. Tamaño aproximado 5µm (Fig. 5).

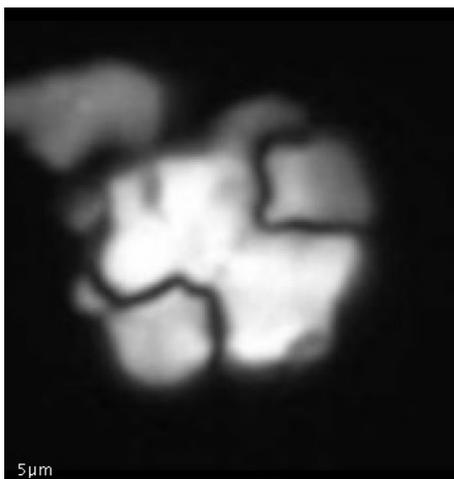


Figura 5. Muestra sección 1. Especie c: *Calculites obscurus*. Lámina fotográfica en nicols cruzados. Fuente: Autores.

En la sección 2 se encontró la siguiente especie:

- 5.4. *Lithraphidites carniolensis*: descubierta por Deflandre (1963) en el Océano Atlántico. Rango: Berriasiano inferior – Maastrichtiano. Uno de los bioeventos que fue reconocido mundialmente y ocurrió cerca del límite Jurásico / Cretácico incluyó el FO (*First Occurrence*, primer registro) de esta especie. Ambiente: Marino pelágico. [83, 84]. Presenta un tamaño de 8µm (Fig. 6).

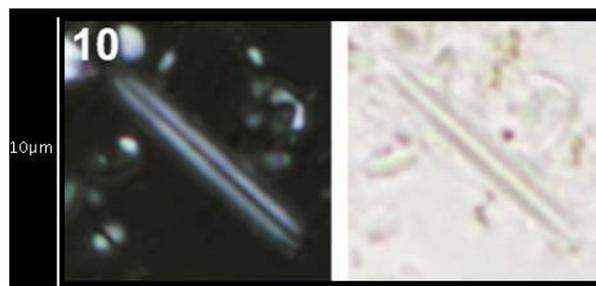


Figura 6. Muestra sección 2. Especie b: *Lithraphidites carniolensis*. Lámina fotográfica en nicols cruzados (izquierda) y nicols paralelos (derecha). Fuente: Autores.

En la sección 3, se encontró abundante *Glauconita* (Fig. 7) mineral de coloración verdosa, que se forma en un ambiente marino somero [85].



Figura 7. Muestra de Sección 3. Glauconita. Lámina fotográfica en nicols paralelos. Fuente: Autores.

En la sección 5 se encontró la siguiente especie:

- 5.5. *Quadrum svabenickae*: descubierta por Burnett (1998), al oeste del Océano Índico. Rango: Coniaciano – Maastrichtiano. Común en bajas paleolatitudes [83, 84]. Tuvo un tamaño de 4µm (Fig. 8).

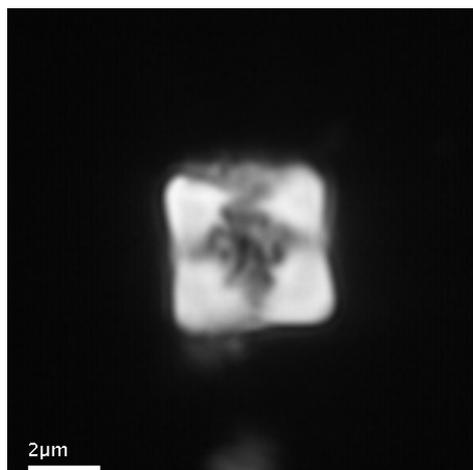


Figura 8. Muestra sección 5. Especie a: *Quadrum svabenickae*. Lámina fotográfica en nicols cruzados. Fuente: Autores.

6. Discusión

Las diferentes especies de nanofósiles calcáreos encontradas en las muestras indican poca diversidad y abundancia esporádica, lo que pudo deberse al poco tiempo de reserva para la limpieza de las muestras o a que los sedimentos colectados no contenían una abundancia destacada de estos organismos o existió una restricción ecológica que afectó su proliferación. Se descartan procesos de alteración posteriores que afectaran la preservación, debido a que se colectaron muestras de roca fresca.

A pesar de la esporádica distribución de la nanoflora, los especímenes identificados tienen una preservación buena que en general, permite su identificación a nivel de especie. En las muestras de la sección 1 se encontraron tres especies: 1) *Watznaueria biporta*, la cual es común, en el Albiano hasta el Maastrichtiano; 2) *Eiffellithus* spp., de distribución dispersa. Reconocida para el Valanginiano y Hauteriviano, con ausencia en el Barremiano, para aparecer nuevamente entre el Albiano y el Maastrichtiano. Esto ha sido descrito para la distribución temporal de todas las especies del género *Eiffellithus*. Es preciso mencionar, que los ejemplares no se pudieron identificar a nivel de especie; 3) *Calculites obscurus*, con presencia, entre el Turoniano y el Maastrichtiano. Configurando el intervalo con mayor diversidad de especies y abundancia de todas las secciones.

En las muestras de la sección 2 se identificó la especie *Lithraphidites carniolensis*, la cual se presenta, en el rango más amplio desde el Berriasiano (Cretácico inferior) al Maastrichtiano (Cretácico superior). En las muestras de la sección 3 se encontró glauconita en abundancia. En la sección 4 no se evidenció ninguna especie presente entre las muestras recolectadas, lo que configura un intervalo estéril en nanoflora

debido a la somerización de la muestra tomada. Finalmente, en las muestras de la sección 5 se registró la presencia de la especie *Quadrum svabenickae*, común en el intervalo Coniaciano -Maastrichtiano.

En lo que respecta a la cronología, se realizó una analogía de las especies que Bolli, Saunders & Perch-Nielsen (1989) [83]; Young & Bown (1999) [84] mencionan y los nanofósiles calcáreos identificados en la sección del Shale de Bambucá, estos serían comunes desde el Berriasiano (Cretácico Inferior) hasta el Maastrichtiano (Cretácico Superior). En la Figura 9 se muestra la distribución bioestratigráfica de las secciones levantadas. De izquierda a derecha se encuentra la distribución bioestratigráfica de las especies encontradas según autores, mostrando con línea roja punteada el intervalo de interés y la relación con las especies que se identificaron según su presencia en el periodo Cretácico datada en libros y artículos [83, 84] [86 – 89], mostrando que las especies representativas de la Formación Shale de Bambucá en periodo Cretácico, entre los pisos Cenomaniano y Turoniano, son *Lithraphidites carniolensis*, *Calculites obscurus*, *Eiffellithus* spp. y *Watznaueria biporta*, siendo esta la más común, por lo que no aporta información crucial a la investigación; y del Coniaciano es la especie *Quadrum svabenickae*. Los rangos de distribución y cronología de las especies de nanoflora en el área de estudio son señalados con una línea roja punteada. Además, se muestran los espesores de las secciones, la columna estratigráfica.

Las especies halladas en las muestras recolectadas indican que pertenecen a un ambiente sedimentario marino pelágico, donde la presencia abundante de Glauconita respalda la interpretación. Se infiere una somerización del ambiente sedimentario. Por otra parte, se menciona que el Shale de Bambucá se encuentra en un ambiente marino desde la zona nearshore tipo shoreface [63].

Durante esta investigación no se realizó ningún estudio geoquímico. Por consiguiente, para poder determinar el potencial que tiene la Formación Shale de Bambucá como roca generadora, se recurrió a investigaciones previas sobre el tema y que se hayan realizado en la zona de interés. De las cuales se deriva que, esta formación puede generar Kerógeno Tipo II [66]. También, la formación se identifica como perteneciente a las palinofacies marina. A pesar de presentar valores altos de Contenido Orgánico Total (COT <15%) y una buena conservación de Materia Orgánica Amorfa (MOA), el Shale de Bambucá, no conseguiría generar hidrocarburos debido a su falta de madurez termal, pero sí puede generar Kerógeno Tipo II. El cual se define como un residuo orgánico compuesto por la concentración de materia orgánica, cuyos organismos son de tipo marino y fueron depositados en ambientes de plataforma, presentando valores de COT entre 2% y 15% [89].

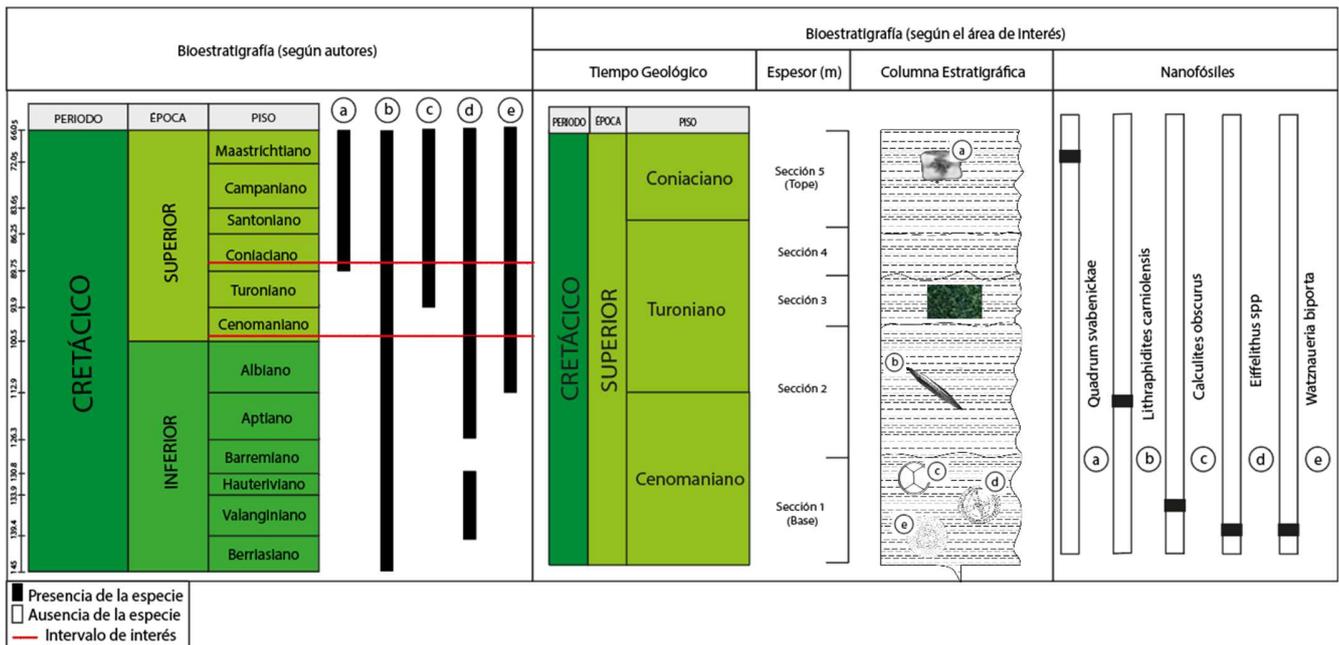


Figura 9. Distribución bioestratigráfica de la sección levantada en el Shale de Bambucá. Fuente: Modificada de [91].

7. Conclusiones y Recomendaciones

La formación Shale de Bambucá es una formación depositada en un ambiente sedimentario marino el cuál se determinó gracias a las especies encontradas de nanofósiles calcáreos y abundante glauconita en las muestras recolectadas. Lo que confirma la interpretación propuesta en los estudios que se han realizado a lo largo de los años en la zona de interés.

Los análisis biocronológicos preliminares permitieron identificar una asociación compuesta por cinco especies predominantes del Cretácico (Cenomaniano – Coniaciano): *Quadrum svabienickae*, *Lithraphidites carniolensis*, *Calculites obscurus*, *Eiffelithus* spp, y *Watznaueria biporta*. Estos organismos son bioformadores de la roca generadora en el área y confirman el origen marino de los sedimentos.

A pesar de que el Shale de Bambucá tiene valores altos de COT, tiene su MOA bien preservada y aparente ser una formación potencialmente generadora, su madurez termal indica que no es suficiente para generar hidrocarburos. Sin embargo, se considera que con los valores que tiene de COT se puede generar kerógeno Tipo II y que fueron depositados en ambientes de plataforma.

Se recomienda continuar realizando este tipo de estudios e incorporar el análisis multidisciplinar para robustecer la caracterización del yacimiento. Mejorar la técnica de preparación del plancton marino, permitiendo que las muestras tengan un tiempo más amplio de reserva en el agua tamponada, para que se pueda observar una mayor cantidad de especies. Así como, realizar una investigación geoquímica más resolutiva sobre el potencial que puede tener la Formación Shale de Bambucá como roca generadora o su potencial como

yacimiento no convencional tipo yacimiento carbonatado naturalmente fracturado.

Agradecimientos

Para la realización de esta investigación se contó con la financiación de la convocatoria interna N°PSEM01 del 2020 para conformar el banco de proyectos de semilleros de investigación y desarrollo tecnológico e innovación, en la modalidad de financiación de la Universidad Surcolombiana. Proyecto N° 3569. Además, del apoyo del semillero de investigación GEODA, perteneciente al grupo de investigación GIPE en el programa de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Surcolombiana y el Grupo de Investigación Terra Mare y su semillero de investigación Clepsydra de la Universidad de Pamplona. Se agradece a los revisores anónimos por sus aportes y debidas correcciones que han permitido mejorar y publicar este artículo.

8. Referencias

- [1] Bustamante Roldan, J., Jaramillo, C. & Vega, A. (2012). Cuenta Satélite de Medio Ambiente: Cuenta de Activos Físicos Para los Recursos Minerales y Energéticos. Bogotá, D.C.
- [2] Holditch, S. (2003). The increasing role of unconventional reservoirs in the future of the oil and gas business. *Journal of petroleum technology*, 55(11), 34-79. DOI: <https://doi.org/10.2118/1103-0034-JPT>
- [3] Mancini, E. A., Li, P., Goddard, D. A., Ramirez, V., & Talukdar, S. C. (2008). Mesozoic (Upper Jurassic–Lower Cretaceous) deep gas reservoir play, central and eastern Gulf coastal plain. *AAPG bulletin*, 92(3), 283-308. DOI: <https://doi.org/10.1306/11120707084>
- [4] Caineng, Z., Guangya, Z., Shizhen, T., Suyun, H., Xiaodi, L., Jianzhong, L., ... & Xinjing, L. (2010). Geological features, major discoveries, and unconventional petroleum geology in the global petroleum exploration.

- Petroleum Exploration and Development, 37(2), 129-145. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(10\)60021-3](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(10)60021-3)
- [5] Slatt, R. M. (2011). Important geological properties of unconventional resource shales. *Central European Journal of Geosciences*, 3(4), 435-448. DOI: <https://doi.org/10.2478/s13533-011-0042-2>
- [6] Glorioso, J. C., & Rattia, A. (2012). Unconventional reservoirs: basic petrophysical concepts for shale gas. In SPE/EAGE European unconventional resources conference & exhibition-from potential to production (pp. cp-285). European Association of Geoscientists & Engineers. DOI: <https://doi.org/10.2118/153004-MS>
- [7] Jarvie, D. M. (2012). Shale resource systems for oil and gas: Part 2—Shale-oil resource systems.
- [8] McGlade, C., Speirs, J., & Sorrell, S. (2013). Unconventional gas—a review of regional and global resource estimates. *Energy*, 55, 571-584. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.01.048>
- [9] Ahmed, U., & Meehan, D. N. (Eds.). (2016). *Unconventional oil and gas resources: exploitation and development*. CRC Press. DOI: [10.1201/b20059-4](https://doi.org/10.1201/b20059-4)
- [10] Akilu, S., Padmanabhan, E., & Sun, Z. (2021). A review of transport mechanisms and models for unconventional tight shale gas reservoir systems. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 175, 121125. DOI: [10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121125](https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121125)
- [11] Aharipour, H., & Masoumi, F. S. (2022). Petrophysical Approach for Unconventional Shale Gas Resources Evaluation. In *International Field Exploration and Development Conference* (pp. 5589-5595). Springer, Singapore.
- [12] Mehana, M., Santos, J. E., Neil, C., Carey, J. W., Guthrie, G., Hyman, J., ... & Viswanathan, H. (2022). Shale fundamentals: Experimental and modeling insights. *Energy Reports*, 8, 11192-11205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egvr.2022.08.229>
- [13] Jaffe, A. M., & Manning, R. A. (2000). The shocks of a world of cheap oil. *Foreign Aff.*, 79, 16. DOI: [10.2307/20049611](https://doi.org/10.2307/20049611)
- [14] Dadwal, S. R. (2001). The Global oil market after 9/11: On the brink of a crisis?. *Strategic Analysis*, 25(9), 1059-1070. DOI: <https://doi.org/10.1080/09700160108459021>
- [15] Briceno-Guarupe, L. A. (2011). ANH's Approach to Colombian Unconventional Hydrocarbons Resources. In 73rd EAGE Conference and Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2011 (pp. cp-238). European Association of Geoscientists & Engineers.
- [16] García-González, M., Cruz-Guevara, L. E., & Mier-Umaña, R. (2013). Hydrocarbon Prospectivity in The Vaupes-Amazonas Basin, Colombia. *Boletín de Geología*, 35(2), 15-29.
- [17] Parada, E. J. T. (2013). Unconventional Gas Shale Assessment of La Luna Formation, In the Central and South Areas of the Middle Magdalena Valley Basin, Colombia (Doctoral dissertation, University of Oklahoma).
- [18] Juliao, T., Suárez-Ruiz, I., Marquez, R., & Ruiz, B. (2015). The role of solid bitumen in the development of porosity in shale oil reservoir rocks of the Upper Cretaceous in Colombia. *International Journal of Coal Geology*, 147, 126-144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2015.07.001>
- [19] Torres, E. J., Slatt, R. M., Philp, P., O'Brien, N. R., & Rodriguez, H. L. (2015). Unconventional Resources Assessment of La Luna Formation in the Middle Magdalena Valley Basin, Colombia. In AAPG Annual Convention & Exhibition, Denver, Colorado. DOI: [10.1306/12190606068](https://doi.org/10.1306/12190606068)
- [20] Ríos, C. A., & Castellanos, O. M. (2016). Microstructural characterization of pore types in unconventional gas reservoirs utilizing FEG-SEM: An example from the Galembo Member of the Cretaceous La Luna Formation, Middle Magdalena Valley Basin (Colombia). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 40(154), 161-175. DOI: [10.18257/raccefyfn.243](https://doi.org/10.18257/raccefyfn.243)
- [21] Suárez-Ruiz, I., Juliao, T., Suárez-García, F., Marquez, R., & Ruiz, B. (2016). Porosity development and the influence of pore size on the CH₄ adsorption capacity of a shale oil reservoir (Upper Cretaceous) from Colombia. Role of solid bitumen. *International Journal of Coal Geology*, 159, 1-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2016.03.020>
- [22] Casadiego-Quintero, E., & Ríos-Reyes, C. A. (2020). Pore Structure Characteristics and Gas Storage Potential of the Cretaceous La Luna Formation, Middle Magdalena Valley Basin, Colombia. *Ingeniería y Ciencia*, 16(31), 169-205. DOI: <https://doi.org/10.17230/ingciencia.16.31.8>
- [23] Mejía-Durán, A. F., Ríos-Reyes, C. A., del Rosario Pérez-Trejos, M., & Pérez-Carrillo, E. R. (2020). Mineralogical and morphological characterization of the Cretaceous Galembo Member mudstones of the La Luna Formation in the Middle Magdalena Valley Basin (Colombia). *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 81, 103435. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2020.103435>
- [24] Guerrero, J., Mejía-Molina, A. & Osorno, J. (2020a). Biomicrite, marlstone, and shale properties: Exploration of nonconventional hydrocarbons in the Cretaceous Colombian back-arc basin. In: Gómez, J. & Pinilla-Pachon, A.O. (editors), *The Geology of Colombia, Volume 2 Mesozoic*. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 36, p. 299-333. Bogotá. DOI: <https://doi.org/10.32685/pub.esp.36.2019.09>
- [25] Guerrero, J., Mejía-Molina, A. & Osorno, J. (2020b). Detrital U-Pb provenance, mineralogy, and geochemistry of the Cretaceous Colombian back-arc basin. In: *The Geology of Colombia, Volume 2 Mesozoic*. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 36, p. 261-297. Bogotá. DOI: <https://doi.org/10.32685/pub.esp.36.2019.08>
- [26] González-Gómez, M., Galvis-Macareo, H., García-González, M., & Ramírez-Arias, J. C. (2022). Organic geochemistry, lithofacies and gas shale reservoir potential of cretaceous outcrops from Alto de los Caballeros section, Eastern Cordillera Basin-Colombia. *Boletín de Geología*, 44(2), 95-108. DOI: <https://doi.org/10.18273/revbol.v44n2-2022004>
- [27] Cadena, A. F., & Slatt, R. M. (2013). Seismic and sequence stratigraphic interpretation of the area of influence of the Magdalena submarine fan, offshore northern Colombia. *Interpretation*, 1(1), SA53-SA74
- [28] Jensen, L. A., Sanchez-Ferrer, F., Pindell, J., & Kennan, L. (2014). Regional Geology, Tectonics, and Paleogeography of the Cretaceous Colombian Passive Margin Basins: A Predictive Lens Towards Unconventional Prospectivity. DOI: [10.5724/gcs.14.33.0148](https://doi.org/10.5724/gcs.14.33.0148)
- [29] Marcano, F. R., & Leonard, J. E. (2014). Total Play Fairway Analyses and Recommendations of Hydrocarbon Volume in Unconventional Cretaceous Plays in the Eastern Cordillera, Colombia: A New Frontier. In SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference. OnePetro. DOI: <https://doi.org/10.15530/urtec-2014-1922103>
- [30] Ramirez, V., Rangel, A., & Hernández, R. (2003). Thermogenic Hydrocarbon Processes In The Guajira Basin-A Petroleum Systems Approach. In 8th Simposio Bolivariano-exploración Petrolera en las Cuenclas Subandinas (pp. cp-33). European Association of Geoscientists & Engineers.
- [31] Rodríguez, F., Botero, J. I., & Jimenez, M. F. (2013). Potential Fracturing of Hydrocarbon Source Rocks in MMV and Caguán-Putumayo Basins by Mineralogical Characterization. In 1st Latin American Geosciences Student Conference (LAGSC) (Vol. 2013, No. 1, pp. 1-3). European Association of Geoscientists & Engineers.
- [32] Jiménez, M., Rojas, C., & Valderrama, Y. (2015). Initial Analysis of Hydrocarbon Potential in the Tablazo Formation; Center and Northern Areas of Middle Magdalena Valley,-MMV-Colombia. In Unconventional Resources Technology Conference, San Antonio, Texas, 20-22 July 2015 (pp. 805-810). Society of Exploration Geophysicists, American Association of Petroleum Geologists, Society of Petroleum Engineers.
- [33] Pacheco-Sintura, P. A., Cardona Molina, A. y Cortés, F. B. (2015). Compositional characterization and storage capacity of shale samples from La Luna and Conejo Formations (Middle Magdalena basin and the Eastern Cordillera): Implications for evaluation of cretaceous shale gas in Colombia. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (37), 45-53. DOI: <https://doi.org/10.15446/rbct.n37.43685>
- [34] Ortiz Cancino, O. P., Peredo Mancilla, D., Pozo, M., Pérez, E., & Bessieres, D. (2017). Effect of organic matter and thermal maturity on methane adsorption capacity on shales from the middle Magdalena

- Valley Basin in Colombia. *Energy & Fuels*, 31(11), 11698-11709. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b01849>
- [35] Sánchez, N., Juliao, T. M., Guzmán, M., Quintero, O. L., de la Parra, F., Gómez, J. J., & Carreño, A. M. (2021). Compositional, geochemical and petrophysical shale play characterization of the Upper Cretaceous in southern Middle Magdalena Valley (MMV) basin, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 109, 103276. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103276>
- [36] Echavez, R. A., Guerrero, J. L., Barba Lobo, A., Mosqueda, F., Cardenas, J. C., Ortiz, O. P., & Bolivar, J. P. (2022). Radioactive Characterization of Unconventional Oilfield Rocks from the Middle Magdalena Valley Basin (Colombia). Available at SSRN 4255078. DOI: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4255078>
- [37] Chan, P., Etherington, J. R., & Aguilera, R. (2012). Using the SPE/WPC/AAPG/SPE/SEG PRMS To Evaluate Unconventional Resources. *SPE Economics & Management*, 4(02), 119-127.
- [38] Vega, R., Leyva, I., Rojas, L. F., De Fex, A., Navarro, C., & Sinza, K. (2012). First Successful Fracturing Application in Unconventional Gas Reservoir in Colombia: Field Case. In 11th Simposio Bolivariano-Exploracion Petrolera en las Cuencas Subandinas (pp. cp-330). European Association of Geoscientists & Engineers
- [39] Cantisano, M. T., Restrepo, D. P., Cespedes, S., Toelke, J., Grader, A., Suhrer, M., & Walls, J. (2013). Relative permeability in a shale formation in Colombia using digital rock physics. In SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference. OnePetro.
- [40] Cerón, M. R., Walls, J., & Diaz, E. (2013). Comparison of Reservoir Quality from La Luna, Gacheta and Eagle Ford Shale Formations Using Digital Rock Physics. *Search and Discovery*, 50875.
- [41] Diaz, E., Walls, J., Marfisi, N., Galvis, H., Cantisano, M., & Restrepo, D. (2013). Effective multi-scale rock characterization using digital rock physics applied to La Luna Formation, Middle Magdalena Valley Basin, Colombia. In 2013 SEG Annual Meeting. OnePetro.
- [42] Walls, J. D., Cerón, M. R., & Anderson, J. (2014). Characterizing unconventional resource potential in Colombia; a digital rock physics project. In SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference. OnePetro. DOI: <https://doi.org/10.15530/URTEC-2014-1913256>
- [43] Martínez-Sánchez, D. A., & Jiménez, G. (2019). Hydraulic fracturing considerations: Insights from analogue models, and its viability in Colombia. *Earth Sciences Research Journal*, 23(1), 5-15. DOI: <https://doi.org/10.15446/esrj.v23n1.69760>
- [44] Medina, L. A., & Tutuncu, A. N. (2019). 3D Geomechanical Modeling for Field Development of a Colombian Shale Play. In SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference. OnePetro. DOI: <https://doi.org/10.15530/urtec-2019-467>
- [45] Medina, L. A., Tutuncu, A. N., Miskimins, J. L., & Eustes, A. W. (2020). Discrete Fracture Network (DFN) and Hydraulic Fracturing Analysis Based on a 3D Geomechanical Model for Prospective Shale Plays in Colombia. In 54th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium. OnePetro.
- [46] Moreno-Enriquez, A., Vargas-Silva, D., Gambús-Ordaz, M., Calderón-Carrillo, Z., & Robles-Albarracín, E. (2022). Assessment of the original gas volume in situ in unconventional gas-shale reservoirs through multiple models worldwide and its analogy to a Colombian formation. *Boletín de Geología*, 44(2), 109-123. DOI: <https://doi.org/10.18273/revbol.v44n2-2022005>
- [47] Segovia, M. F., Pérez, E. R., Dávalos, G., Santamaría, J. C., Carpio, G., Obando, A., & Robayo, M. J. (2022). Results of the analysis applying laboratory magnetic resonance and digital rock physics in unconventional deposits of the Middle Magdalena Valley, Colombia. In Unconventional Resources Technology Conference, 20-22 June 2022 (pp. 219-229). Unconventional Resources Technology Conference (URTEC).
- [48] Bellorin Nuñez, C. (2012). Colombia's regulatory and fiscal hydrocarbons regime: explaining Colombia's success and the challenges ahead, *The Journal of World Energy Law & Business*, Volume 5, Issue 3, September 2012, Pages 248-260. DOI: <https://doi.org/10.1093/jwelb/jws018>
- [49] Rodriguez Sanchez, J. C. (2013). Challenges and opportunities for the development of shale resources in Colombia. Master Thesis, University of Texas at Austin. 94p.
- [50] Beltrán Rivas, J. D., & Vargas Jiménez, C. A. (2014). Hydrocarbon production scenarios in Colombia. Review of field sizes, hydrocarbon reserves and expectations of conventional and unconventional resources. *Earth Sciences Research Journal*, 18(1), 77-83. DOI: [10.15446/esrj.v18n1.47433](https://doi.org/10.15446/esrj.v18n1.47433)
- [51] Saavedra-Trujillo, N. F., Kafarov, V., & Jimenez, F. (2014). Colombian energy outlook based on unconventional oil and gas reserves with projection to 2030. In 21st World petroleum congress. OnePetro.
- [52] Zborowski, M. (2019). Colombia's New Ambitions Include Caribbean and Shale Development, But Are They Achievable?. *Journal of Petroleum Technology*, 71(09), 48-53. DOI: <https://doi.org/10.2118/0919-0048-JPT>
- [53] Hunter, T. S., & Anchustegui, I. H. (2020). Shale gas regulation in Mexico and Colombia: an uncertain future. In *Routledge Handbook of Energy Law* (pp. 291-309). Routledge. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780429450891-23>
- [54] Bravo, O., & Hernández, D. (2021). Critical factors for unconventional hydrocarbon resources development. *CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro*, 11(1), 97-108. DOI: <https://doi.org/10.29047/01225383.253>
- [55] Forero, C. A., Forero, E. J., Guerrero-Martin, L., Szklo, A., Rochedo, P. R., & Guerrero-Martin, C. (2021). Technical and economic assessment of the development of a Colombian Tight Oil reservoir: a simulation case study of Valle Medio del Magdalena basin. *Dyna*, 88(219), 35-43. DOI: <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n219.94937>
- [56] Galvis-Portilla, H. A., Higuera-Diaz, I., Cespedes, S., Ballesteros, C., Forero, S., Marfisi, N., ... & Torres, A. (2014). Regional Sequence Stratigraphy of the Upper Cretaceous La Luna Formation in the Magdalena Valley Basin, Colombia. In Unconventional Resources Technology Conference, Denver, Colorado, 25-27 August 2014 (pp. 2721-2730). Society of Exploration Geophysicists, American Association of Petroleum Geologists, Society of Petroleum Engineers.
- [57] Veiga, R., & Dzelalija, F. (2014). A Regional Overview of the La Luna Formation and the Villeta Group as Shale Gas/Shale Oil in the Catatumbo, Magdalena Valley and Eastern Cordillera Regions, Colombia. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. DOI: [10.13140/RG.2.2.18094.97602](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18094.97602)
- [58] Patarroyo-Camargo, G. D., Alarcón-Gómez, C. M., Torres-Parada, J. M., Diaz-Villamizar, J. S., Gómez-Coronado, J. S., Márquez-Prada, J. J., ... & Barragán-Martínez, D. M. (2021). Reconocimiento geológico de la Formación La Luna en el sector de Matanza (Oeste del Macizo de Santander, Colombia). *Boletín de Geología*, 43(1), 35-51. DOI: <https://doi.org/10.18273/revbol.v43n1-2021002>
- [59] Guerra, A. Z., Barros, M. R., Cepeda, A. J., & López, L. Q. (2021). Fracturamiento Natural de la Formación La Luna en la Cuenca Cesar-Ranchería, Sección Becerril, Colombia. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 34, 1. ISSN: 0214-270
- [60] Leal, J. A., Ochoa, L. H., & Sarmiento, G. A. (2022). Content of Total Organic Carbon Using Random Forest, Borehole Imaging, and Fractal Analysis: A Methodology Applied in the Cretaceous La Luna Formation, South America. *Geofísica Internacional*, 61(4), 301-323. DOI: <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2022.61.4.2113>
- [61] Navarrete-Parra, R. E., Parra, F. J., Pérez Panera, J. P., Daza, D., Sánchez, C., Prince, M., & Rodríguez, M. (2019). Turonian-Campanian Foraminifera Zonation for the La Luna and Lower Umir Formations, Middle Magdalena Valley Basin, Northern Colombia. In *Advances in South American Micropaleontology* (pp. 67-114). Springer, Cham. DOI: [10.1007/978-3-030-02119-1_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-02119-1_4)
- [62] Córdoba, G. T., Rincón, D. A., Cárdenas, C. P., & Márquez, R. E. (2017). Bioestratigrafía e inferencias paleoambientales de las asociaciones de foraminíferos en las formaciones cretácicas La Luna-Colón (Cuenca del Catatumbo, Colombia). *Boletín de Geología*, 39(3), 25-40. DOI: [10.18273/revbol.v39n3-2017002](https://doi.org/10.18273/revbol.v39n3-2017002)
- [63] Cuervo, R., Pérez, C. & Díaz, C. (2014). Levantamiento estratigráfico detallado para el miembro Shale de Bambucá en dos secciones de la subcuenca de Neiva. *Revista Ingeniería y Región*. Pg: 59-67. DOI: <https://doi.org/10.25054/22161325.731>

- [64] Muñoz, A., Quintero, N. & Perdomo, A. (2020). "Levantamiento Estratigráfico Detallado Para el Miembro Shale de Bambucá en el Sector de Palermo Vereda Las Brisas". Universidad Surcolombiana.
- [65] Sarmiento, L. F., & Rangel, A. (2004). Petroleum systems of the upper Magdalena Valley, Colombia. *Marine and Petroleum Geology*, 21(3), 373-391.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2003.11.019>
- [66] Campiño, L., Parra Mantilla, P., & Mora, C. (2007). Palinofacies y Geoquímica Orgánica en las Rocas del Aptiano-Coniaciano (Valle Superior del Magdalena). *Boletín De Geología*, 29(2). Recuperado a partir de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/455>. e-ISSN: 2145-8553
- [67] Mora, A., Mantilla, M., & De Freitas, M. (2010). Cretaceous paleogeography and sedimentation in the Upper Magdalena and Putumayo Basins, southwestern Colombia. *Search and Discovery Article*, 50246, 15-18.
- [68] Mejía, A. E., Flores, J. A., Torres, V. (2007). Nanofósiles Calcáreos de la Sección Arroyo Alférez (Carmen de Bolívar): una biozonificación preliminar para el Oligoceno – Mioceno medio del Norte de Colombia. *Boletín de Geología* 29, 21-28.
- [69] Mejía-Molina, A., Flores, J.A., Torres Torres, V., Sierro, F.J. (2008). Análisis bioestratigráfico mediante Nanofósiles Calcáreos para el Oligoceno–Mioceno medio del norte de Colombia. Sección de superficie del Arroyo Alférez, Colombia. *Revista Española de Micropaleontología* 40, 135-149.
- [70] Mejía-Molina, A., Flores, J. A., Torres Torres, V., & Javier Sierro, F. (2010). Distribution of calcareous nannofossils in Upper Eocene-Upper Miocene deposits from Northern Colombia and the Caribbean sea. *Revista Española de Micropaleontología*, 42(3), 279. ISSN: 0556-655X
- [71] Pérez-Panera, J. P., Parra, F. J., Navarrete, R. E., Sánchez, C., Daza, D., Rodríguez, M., & Prince, M. (2019). Turonian–Santonian Calcareous Nannofossil Biozonation for La Luna Formation, Middle Magdalena Valley Basin, Northern Colombia. In *Advances in South American Micropaleontology* (pp. 46-66). Springer, Cham. DOI: [10.1007/978-3-030-02119-1_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-02119-1_3)
- [72] Mejía-Molina, A., Flores, J.A., Guerrero, J. (2023). Latest Oligocene to middle Miocene low-latitude calcareous nannofossil biostratigraphy and paleoenvironmental interpretations of stratigraphic well 4, Sinú-San Jacinto onshore basin, northwest Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*, 126, 2023, 104333, ISSN 0895-9811. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104333>
- [73] Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). (2007). *Colombian Sedimentary Basins*. ANH.
- [74] Ferreira, P., Núñez, A. & Rodríguez, M. (1998). Geología de la plancha 323 Neiva. Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS.
- [75] Van Houten, F. & Travis, E. (1968). Cenozoic Deposits, Upper Magdalena Valley, Colombia AAPG. *Bulletin*. Vol. N° 52, 1968. DOI: <https://doi.org/10.1306/5D25C455-16C1-11D7-8645000102C1865D>
- [76] Mojica, J., & Franco, R. (1990). Estructura y evolución tectónica del valle medio y superior del Magdalena, Colombia. *Geología Colombiana*, 17, 41-64.
DOI: [10.15446/gc](https://doi.org/10.15446/gc)
- [77] Butler, G. (1969). Modern evaporite deposition and geochemistry of coexisting brines, the sabkha, Trucial Coast, Arabian Gulf. *Journal of Sedimentary Research*, 39(1). DOI: <https://doi.org/10.1306/74D71BE5-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- [78] Mojica, J. & Bayer, K. (1987). Características esenciales del Valle Superior del Magdalena, una cuenca petrolífera cretácica interandina de Colombia. - 3er Simposio Cretácico de América Latina, Proyecto IGCP 242, Resúmenes, 11-15. Tucumán.
- [79] Ruiz, O., Barrios, L. & Sánchez, C. (2015). "Caracterización Geológica de los Indicios Superficiales de Hidrocarburos en el Departamento del Huila" (Zona Centro – Caracterización Popayo). Universidad Surcolombiana.
- [80] Veloza, G. E., Mora A, A., De Freitas, M., & Mantilla, M. (2008). Dislocación de Facies en el Tope de la Secuencia Cretácica de la Subcuenca de Neiva, Valle Superior del Magdalena y sus Implicaciones en el Modelo Estratigráfico Secuencial Colombiano. *Boletín De Geología*, 30(1). Recuperado a partir de: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia/article/view/301> e-ISSN: 2145-8553
- [81] Senemari, S., Mejía-Molina, A. (2021). Nannoplankton and ^{13}C and ^{13}O stable isotope stratigraphy record of the mid Cretaceous sequences, Zagros Basin (western Iran). *Marine and Petroleum Geology*, 128, 105055, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105055>
- [82] Senemari, S., Mejía-Molina, A. (2022). Calcareous nannofossil biostratigraphy and paleoenvironment of the Eocene-Oligocene interval in the Pabdeh Formation in southwestern Iran. *International Journal of Earth Sciences* 111, 1289–1305. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00531-022-02180-7>
- [83] Bolli, H., Saunders, J. & Perch-Nielsen, K. (1989). *Plankton Stratigraphy*, Vol. 1.
- [84] Young, J. & Bown, P. (1999). *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. British Micropalaeontological Society Publication Series. Pg: 43, 90-97, 100-110, 124, 138-139, 146, 151-156, 170, 186.
- [85] Quirós, A. (2020). Glauconita, un indicador paleoambiental. *Revista Investigación y Ciencia*. Pg: 44-45. Barcelona.
- [86] Pérez Panera, J. & Angelozzi, G. (2006). Nanofósiles calcáreos del Cretácico tardío – Terciario, del Pozo BB III A x-1 (Bahía Blanca), cuenca del Colorado, Argentina. *AMEGHINIANA*. 43. 557-565.
- [87] Svábencická, L., Li, X., Jansa, L. & Wei, Y. (2010). Nannofossil biostratigraphy of the Lower Cretaceous Shadui Formation (Northern Tethyan Himalayas, Southern Tibet). *Geologica Carpathica*. 61. DOI: [10.2478/v10096-010-0023-2](https://doi.org/10.2478/v10096-010-0023-2)
- [88] Ballent, S., Concheyro, A., Nández, C., Pujana, I., Lescano, M., Carignano, A., Caramés, A., Angelozzi, G. & Ronchi, D. (2011). Microfósiles mesozoicos y cenozoicos. *Relatorio XVIII Congreso Geológico Argentino*.
- [89] Foroughi, F., Gardin, S. & Kani, A. (2016). Campanian calcareous Nannofossil Biostratigraphy of Eastern Koppah-Dagh Basin (North East of Iran), Tethyan realm. 122. DOI: [10.13130/2039-4942/7739](https://doi.org/10.13130/2039-4942/7739)
- [90] Santamaría, D., Amezcua, M. & Carrillo, T. (2009). Generación de petróleo mediante experimentos de pirólisis: revisión sobre el conocimiento actual. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. DOI: <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2009v61n3a5>
- [91] Bastidas, R. & Bernal, P. (2020). Bioestratigrafía y Condiciones Paleocológicas del Grupo Villeta en la Vía San Francisco – Mocoa (Putumayo), por Medio de Microfósiles Calcáreos (Foraminíferos, Nanofósiles Calcáreos y Ostrácodos). Universidad de Caldas.



Quadripartitioned Neutrosophic Q -Ideals of Q -Algebra *Q-ideales y Q-algebra neutrosófica cuadriparticionada*

Carlos Granados ^a; Rakhil Das ^b; Suman Das ^c

^a *Institución Universitaria de Barranquilla, Colombias; Mail: carlosgranadosortiz@outlook.es*

^b *Department of Mathematics, Tripura University, India; Mail: rakhaldas95@gmail.com*

^c *Department of Mathematics, Tripura University, India; Mail: sumandas18842@gmail.com*

Correspondencia: carlosgranadosortiz@outlook.es

Recibido: Enero 6, 2023. **Aceptado:** Julio 04, 2023. **Publicado:** Julio 31, 2023.

Resumen

El objetivo principal de este artículo es presentar la noción de Q -ideales (QN- Q -I) y Q -álgebra (QN- Q -A) de neutrosófica cuadriparticionada, esto se deriva de una extensión de conjuntos intuitionistic difusos. Adicionalmente, formulamos algunos resultados interesantes en forma de observación de los teoremas obtenidos. Por último, para soportar los resultados obtenidos, presentamos algunos ejemplos.

Abstract

The main aim of this paper is to procure the idea of quadripartitioned neutrosophic Q -ideal (in short QN- Q -I) of quadripartitioned neutrosophic Q -algebra (in short QN- Q -A) as an extension of intuitionistic fuzzy Q -ideal (in short IF- Q -I) of intuitionistic fuzzy Q -algebra (in short IF- Q -A). Besides, we formulate some interesting results on it in the form of remark, theorem, etc. Further, we furnish some suitable examples.

Palabras clave: QNS; QN- Q -Q; QN- Q -I; Conjunto neutrosófico.

Keywords: QNS; QN- Q -A; QN- Q -I, Neutrosophic set.

1. Introduction

The idea of fuzzy set (in short F-Set) theory was first established by Zadeh [31] in 1965. In every F-Set, each element has a membership between 0 and 1. Afterwards, Atanassov [4] grounded the concept of intuitionistic fuzzy set (IF-Set) theory by generalizing the concept of F-Set, where every element has membership and non-membership values between 0 and 1. In 2005, Smarandache [29] grounded the idea of neutrosophic set (in short N-Set) by extending the idea of IF-Set. In an N-Set, every element has three independent membership values namely truth, indeterminacy and false membership values respectively. In 2013, Smarandache [30] defined and studied the notion of refined neutrosophic logic. Till now, so many researchers around the globe use N-Set in their theoretical as well as practical research [6, 9, 11, 14-17]. In 2016, Chatterjee et al. [5] presented the idea of quadripartitioned neutrosophic set (in short QNS) and established several operations on them. In 2021, Das et al. introduced the notion of topology on QNSs as an extension of neutrosophic topological space. Further, Smarandache [28-30] investigated the notion of neutro-algebra, which is the extension of partial algebra, neutro-

algebraic structures and anti-algebraic structures. Follows these notions, Iseki and Tanaka [17] established the concept of BCK-algebra in 1978. Afterwards, Alcheikh and Sabouh [3] grounded the idea of fuzzy BCK algebra and fuzzy BCK-ideal under F-Set environment. In 2015, the idea of BCI/BCK-algebra under the N-Set environment was first introduced by Agboola and Davvaz [2]. Later on, Martina Jency and Arockiarani [15] grounded the idea of ideals of BCK-algebras under N-Set environment in 2016. Afterwards, Negger and Kim [13] studied the concept of d -algebra by extending the idea of BCK-algebra. Later on, the concept of d -ideal of d -algebra was presented by Negger et al. [12] in 1999. Afterwards, Jun et al. [18] extends the notion of d -ideal on F-Set theory, and introduced the concept of fuzzy d -ideal of d -algebra in 2000. Later on, the concept of intuitionistic fuzzy d -algebra was grounded by Jun et al. [20]. Thereafter, the concept of intuitionistic fuzzy d -ideal of d -algebra was studied by Hasan [28]. Hasan [29] also established the idea of intuitionistic fuzzy d -filter of d -algebra. In 2021, Das and Hassan [13] extend the concept of d -ideal on N-Sets, and presented the notion of neutrosophic d -ideal of d -algebra under N-Set environment. The notion of Q -algebra (in short

Q -A) was first grounded by Neggers et al. [11] in 2001. Afterwards, Abdullah and Jawad [1] introduced different types of Q -ideals (in short Q -I) in Q -A. Later on, Mostafa et al. [18] extends the notion of Q -I of Q -A under the F-Set environment, and presented the concept of fuzzy Q -ideals (in short F- Q -I) of fuzzy Q -algebra (in short F- Q -A). Mostafa et al. [19] further studied the intuitionistic fuzzy Q -ideal (in short IF- Q -I) of intuitionistic fuzzy Q -algebra (in short IF- Q -A) under the IF-Set environment.

The main of this paper is to procure the idea of QN- Q -I of QN- Q -A as an extension of IF- Q -I of IF- Q -A, and formulated several interesting results on it.

The remaining part of this article has been designed as follows:

In section 2, we provide some useful definitions and results on Q -A, F- Q -A, IF- Q -A, etc. those are relevant to the main results. In section-3, we procure the concept of QN- Q -I of QN- Q -A by generalizing the theory of IF- Q -I. Besides, we formulate some suitable results on QN- Q -I of QN- Q -A. In section 4, we state some future scope of research in this direction, and conclude the work done in this article.

2. Some relevant results

Let us consider a fixed set Ω . Then, a QNS [20] \tilde{A} over Ω is defined as follows:

$$\tilde{A} = \{(\gamma, T_{\tilde{A}}(\gamma), C_{\tilde{A}}(\gamma), U_{\tilde{A}}(\gamma), F_{\tilde{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\},$$

where $T_{\tilde{A}}(\gamma), C_{\tilde{A}}(\gamma), U_{\tilde{A}}(\gamma), F_{\tilde{A}}(\gamma) \in [0, 1]$ are the degree of four independent membership namely, truth, contradiction, ignorance and falsity membership for $\gamma \in \Omega$. So, $0 \leq T_{\tilde{A}}(\gamma) + C_{\tilde{A}}(\gamma) + U_{\tilde{A}}(\gamma) + F_{\tilde{A}}(\gamma) \leq 4$.

Assume that [20] $\tilde{A} = \{(\gamma, T_{\tilde{A}}(\gamma), C_{\tilde{A}}(\gamma), U_{\tilde{A}}(\gamma), F_{\tilde{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ and $\tilde{A} = \{(\gamma, T_{\tilde{A}}(\gamma), C_{\tilde{A}}(\gamma), U_{\tilde{A}}(\gamma), F_{\tilde{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ be any two QNSs over Ω . Then, $\tilde{A} \subseteq \tilde{A}$ iff $T_{\tilde{A}}(\gamma) \leq T_{\tilde{A}}(\gamma), C_{\tilde{A}}(\gamma) \leq C_{\tilde{A}}(\gamma), U_{\tilde{A}}(\gamma) \geq U_{\tilde{A}}(\gamma), F_{\tilde{A}}(\gamma) \geq F_{\tilde{A}}(\gamma)$, for all $\gamma \in \Omega$.

Let us consider two [20] QNSs $\tilde{A} = \{(\gamma, T_{\tilde{A}}(\gamma), C_{\tilde{A}}(\gamma), U_{\tilde{A}}(\gamma), F_{\tilde{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ and $\tilde{A} = \{(\gamma, T_{\tilde{A}}(\gamma), C_{\tilde{A}}(\gamma), U_{\tilde{A}}(\gamma), F_{\tilde{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ over Ω . Then,

$$\tilde{A} \cap \tilde{A} = \{(\gamma, \min \{T_{\tilde{A}}(\gamma), T_{\tilde{A}}(\gamma)\}, \min \{C_{\tilde{A}}(\gamma), C_{\tilde{A}}(\gamma)\}, \max \{U_{\tilde{A}}(\gamma), U_{\tilde{A}}(\gamma)\}, \max \{F_{\tilde{A}}(\gamma), F_{\tilde{A}}(\gamma)\}) : \gamma \in \Omega\};$$

$$\tilde{A} \cup \tilde{A} = \{(\gamma, \max \{T_{\tilde{A}}(\gamma), T_{\tilde{A}}(\gamma)\}, \max \{C_{\tilde{A}}(\gamma), C_{\tilde{A}}(\gamma)\}, \min \{U_{\tilde{A}}(\gamma), U_{\tilde{A}}(\gamma)\}, \min \{F_{\tilde{A}}(\gamma), F_{\tilde{A}}(\gamma)\}) : \gamma \in \Omega\};$$

$$\tilde{A}^c = \{(\gamma, F_{\tilde{A}}(\gamma), U_{\tilde{A}}(\gamma), C_{\tilde{A}}(\gamma), T_{\tilde{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}.$$

Assume that Ω be a fixed set. Suppose that $'*$ ' be a binary operation defined on Ω , and 0 be a constant in it. Then, the structure $(\Omega, *, 0)$ is said to be a Q -A [22] iff the following conditions hold:

- (i) $\gamma * \gamma = 0, \forall \gamma \in \Omega$
- (ii) $0 * \gamma = \gamma = \gamma * 0, \forall \gamma \in \Omega$
- (iii) $(\gamma * \alpha) * e = (\gamma * e) * \alpha, \forall \gamma, \alpha, e \in \Omega$.

Sometime, one can refer to $\gamma \leq \alpha \Leftrightarrow \gamma * \alpha = 0$.

Let Ω be a fixed set, and $\tilde{A} (\neq 0_N) \subseteq \Omega$. Then, \tilde{A} is called a Q -sub-algebra (in short Q -S-A) [24] of a Q -algebra $(\Omega, *, 0)$, if $\gamma * \alpha \in \tilde{A}$ whenever $\gamma, \alpha \in \tilde{A}$.

A Q -algebra $(\Omega, *, 0)$ is called a commutative Q -algebra [24] if $\gamma * (\gamma * \alpha) = \alpha * (\alpha * \gamma), \forall \gamma, \alpha \in \Omega$, and $\alpha * (\alpha * \gamma)$ is denoted by $(\gamma \wedge \alpha)$.

A Q -algebra $(\Omega, *, 0)$ is called a bounded Q -algebra [24] if there exist an element $\tilde{a} \in \Omega$ such that $\gamma \leq \tilde{a} \forall \gamma \in \Omega$ i.e., $\gamma * \tilde{a} = 0, \forall \gamma \in \Omega$.

Let us consider a Q -algebra $(\Omega, *, 0)$. Then, a sub-set \tilde{A} of Ω is said to be a Q -ideal [1] of Ω if the following conditions hold:

- (i) $0 \in \tilde{A}$;
- (ii) $(\tilde{a} * \tau) * \chi \in \tilde{A}$ and $\tau \in \tilde{A} \Rightarrow \tilde{a} * \chi \in \tilde{A}, \forall \tilde{a}, \tau, \chi \in \Omega$.

An F-Set $\tilde{A} = \{(\gamma, T_{\tilde{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ over a Q -algebra Ω is said to be the F- Q -I [22] if the following inequalities hold:

- (i) $T_{\tilde{A}}(0) \geq T_{\tilde{A}}(\gamma), \forall \gamma \in \Omega$;
- (ii) $T_{\tilde{A}}(\gamma * \alpha) \geq \min \{T_{\tilde{A}}((\gamma * \delta) * \alpha), T_{\tilde{A}}(\delta)\}, \forall \gamma, \delta, \alpha \in \Omega$.

An IF-Set $\tilde{A} = \{(\gamma, T_{\tilde{A}}(\gamma), F_{\tilde{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ over Ω is said to be an IF- Q -I [23] if the following conditions hold:

- (i) $T_{\tilde{A}}(0) \geq T_{\tilde{A}}(\gamma), F_{\tilde{A}}(0) \leq F_{\tilde{A}}(\gamma), \forall \gamma \in \Omega$;
- (ii) $T_{\tilde{A}}(\gamma * \delta) \geq \min \{T_{\tilde{A}}((\gamma * \alpha) * \delta), T_{\tilde{A}}(\alpha)\}$;
- (iii) $F_{\tilde{A}}(\gamma * \delta) \leq \max \{F_{\tilde{A}}((\gamma * \alpha) * \delta), F_{\tilde{A}}(\alpha)\}$.

Let $\tilde{A} = \{(\gamma, T_{\tilde{A}}(\gamma), F_{\tilde{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ be an [23] IF- Q -I over Ω . Then, the sets a - $T_{\tilde{A}} = \{\gamma : \gamma \in \Omega, T_{\tilde{A}}(\gamma) \geq a\}$ and a - $F_{\tilde{A}} = \{\gamma : \gamma \in \Omega, F_{\tilde{A}}(\gamma) \leq a\}$ are Q -ideals of Ω

3. Quadripartitioned Neutrosophic Q -Algebra and Quadripartitioned Neutrosophic Q -Ideal:

In this section, we present the concept of QN-Q-I of QN-Q-A, and formulate several definitions and results on QN-Q-I and QN-Q-A in the form of remark, theorem, etc.

Definition 3.1. Assume that Ω be a Q-algebra. Suppose that $\check{A} = \{(\gamma, T_{\check{A}}(\gamma), C_{\check{A}}(\gamma), U_{\check{A}}(\gamma), F_{\check{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ be a QNS over Ω . Then, the QNS \check{A} is called a QN-Q-A iff the following condition holds:

- (i) $T_{\check{A}}(\gamma * \alpha) \geq \min\{T_{\check{A}}((\gamma * \delta) * \alpha), T_{\check{A}}(\delta)\};$
- (ii) $C_{\check{A}}(\gamma * \alpha) \geq \min\{C_{\check{A}}((\gamma * \delta) * \alpha), C_{\check{A}}(\delta)\};$
- (iii) $U_{\check{A}}(\gamma * \alpha) \leq \max\{U_{\check{A}}((\gamma * \delta) * \alpha), U_{\check{A}}(\delta)\};$
- (iv) $F_{\check{A}}(\gamma * \alpha) \leq \max\{F_{\check{A}}((\gamma * \delta) * \alpha), F_{\check{A}}(\delta)\}$, where $\gamma, \alpha \in \Omega$.

We denote a QN-Q-A \check{A} by using the structure $[(\Omega, \check{A}), *, 0]$.

Definition 3.2. A QNS $\check{A} = \{(\gamma, T_{\check{A}}(\gamma), C_{\check{A}}(\gamma), U_{\check{A}}(\gamma), F_{\check{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ is called a quadripartitioned neutrosophic Q-sub-algebra (in short QN-Q-sub-algebra) iff the following conditions hold:

- (i) $T_{\check{A}}(\gamma * \alpha) \geq \min\{T_{\check{A}}(\gamma), T_{\check{A}}(\alpha)\};$
- (ii) $C_{\check{A}}(\gamma * \alpha) \geq \min\{C_{\check{A}}(\gamma), C_{\check{A}}(\alpha)\};$
- (iii) $U_{\check{A}}(\gamma * \alpha) \leq \max\{U_{\check{A}}(\gamma), U_{\check{A}}(\alpha)\};$
- (iv) $F_{\check{A}}(\gamma * \alpha) \leq \max\{F_{\check{A}}(\gamma), F_{\check{A}}(\alpha)\}, \forall \gamma, \alpha \in \Omega$.

Definition 3.3. A QNS $\check{A} = \{(\gamma, T_{\check{A}}(\gamma), C_{\check{A}}(\gamma), U_{\check{A}}(\gamma), F_{\check{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ over a Q-algebra Ω is called a QN-Q-I iff the following conditions hold:

- (i) $T_{\check{A}}(0) \geq T_{\check{A}}(\gamma) \ \& \ T_{\check{A}}(\gamma * \alpha) \geq \min\{T_{\check{A}}((\gamma * \delta) * \alpha), T_{\check{A}}(\delta)\}$, for all $\gamma, \alpha, \delta \in \Omega$;
- (ii) $C_{\check{A}}(0) \geq C_{\check{A}}(\gamma) \ \& \ C_{\check{A}}(\gamma * \alpha) \geq \min\{C_{\check{A}}((\gamma * \delta) * \alpha), C_{\check{A}}(\delta)\}$, for all $\gamma, \alpha, \delta \in \Omega$;
- (iii) $U_{\check{A}}(0) \leq U_{\check{A}}(\gamma) \ \& \ U_{\check{A}}(\gamma * \alpha) \leq \max\{U_{\check{A}}((\gamma * \delta) * \alpha), U_{\check{A}}(\delta)\}$, for all $\gamma, \alpha, \delta \in \Omega$;
- (iv) $F_{\check{A}}(0) \leq F_{\check{A}}(\gamma) \ \& \ F_{\check{A}}(\gamma * \alpha) \leq \max\{F_{\check{A}}((\gamma * \delta) * \alpha), F_{\check{A}}(\delta)\}$, for all $\gamma, \alpha, \delta \in \Omega$;

Example 3.1. Suppose that $\Omega = \{0, 1, 2, 3, 4\}$ be a fixed set. Suppose that $*$ is a binary operation defined over Ω as follows:

*	0	1	2	3	4
0	0	0	0	0	4
1	1	0	0	1	4
2	2	2	0	0	4
3	3	0	3	0	4
4	4	4	4	4	0

Now, we define $\check{A} = \{(\gamma, T_{\check{A}}(\gamma), C_{\check{A}}(\gamma), U_{\check{A}}(\gamma), F_{\check{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ as follows:

$$T_{\check{A}} = \begin{cases} 0.7, & \text{if } c = 0, 2, 3, 4 \\ 0.3, & \text{if } c = 1 \end{cases}$$

$$C_{\check{A}} = \begin{cases} 0.6, & \text{if } c = 0, 2, 3, 4 \\ 0.03, & \text{if } c = 1 \end{cases}$$

$$U_{\check{A}} = \begin{cases} 0.2, & \text{if } c = 0, 2, 3, 4 \\ 0.5, & \text{if } c = 1 \end{cases}$$

$$F_{\check{A}} = \begin{cases} 0.05, & \text{if } c = 0, 2, 3, 4 \\ 0.68, & \text{if } c = 1 \end{cases}$$

So, it is a QN-Q-sub-algebra.

Now, if we define $\check{A} = \{(\gamma, T_{\check{A}}(\gamma), C_{\check{A}}(\gamma), U_{\check{A}}(\gamma), F_{\check{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ as follows:

$$T_{\check{A}} = \begin{cases} 0.9, & \text{if } c = 0, 2 \\ 0.02, & \text{if } c = 1, 3, 4 \end{cases}$$

$$C_{\check{A}} = \begin{cases} 0.7, & \text{if } c = 0, 2 \\ 0.02, & \text{if } c = 1, 3, 4 \end{cases}$$

$$U_{\check{A}} = \begin{cases} 0.01, & \text{if } c = 0, 2 \\ 0.8, & \text{if } c = 1, 3, 4 \end{cases}$$

$$F_{\check{A}} = \begin{cases} 0.04, & \text{if } c = 0, 2 \\ 0.97, & \text{if } c = 1, 3, 4 \end{cases}$$

Thus, \check{A} is a QN-Q-I.

Remark 3.1. Suppose that \check{A} be a QN-Q-I of a Q-algebra Ω . Then, \check{A} is also a QN-Q-sub-algebra.

Theorem 3.1. Suppose that $\{\check{A}_i : i \in \Delta\}$ be the set of some QN-Q-As of Ω . Then, their intersection i.e., $\bigcap_{i \in \Delta} \check{A}_i$ is also a QN-Q-A of Ω .

Proof. Suppose that $\{\check{A}_i : i \in \Delta\}$ be a set of QN-Q-As of Ω . Clearly, $\bigcap_{i \in \Delta} \check{A}_i = \{(\alpha, \wedge F_{\check{A}_i}(\alpha), \wedge C_{\check{A}_i}(\alpha), \vee U_{\check{A}_i}(\alpha), \vee F_{\check{A}_i}(\alpha)) : \alpha \in \Omega\}$.

Now,

$$\begin{aligned} \wedge T_{\check{A}_i}(\alpha * \check{a}) &= \wedge \{T_{\check{A}_i}(\alpha * \check{a}) : i \in \Delta\} \\ &\geq \wedge \{\min\{T_{\check{A}_i}((\alpha * \gamma) * \check{a}), T_{\check{A}_i}(\gamma)\}\} \\ &= \min\{\wedge T_{\check{A}_i}((\alpha * \gamma) * \check{a}), \wedge T_{\check{A}_i}(\gamma)\} \\ \Rightarrow \wedge T_{\check{A}_i}(\alpha * \check{a}) &\geq \min\{\wedge T_{\check{A}_i}((\alpha * \gamma) * \check{a}), \wedge T_{\check{A}_i}(\gamma)\}. \end{aligned}$$

Now,

$$\begin{aligned} \wedge C_{\check{A}_i}(\alpha * \check{a}) &= \wedge \{C_{\check{A}_i}(\alpha * \check{a}) : i \in \Delta\} \\ &\geq \wedge \{\min\{C_{\check{A}_i}((\alpha * \gamma) * \check{a}), C_{\check{A}_i}(\gamma)\}\} \end{aligned}$$

$$= \min\{\wedge C_{\tilde{A}_i}((\alpha * \gamma) * \tilde{a}), \wedge C_{\tilde{A}_i}(\gamma)\}$$

$$\Rightarrow \wedge C_{\tilde{A}_i}(\alpha * \tilde{a}) \geq \min\{\wedge C_{\tilde{A}_i}((\alpha * \gamma) * \tilde{a}), \wedge C_{\tilde{A}_i}(\gamma)\}.$$

Now,

$$\vee U_{\tilde{A}_i}(\alpha * \tilde{a}) = \vee\{U_{\tilde{A}_i}(\alpha * \tilde{a}) : i \in \Delta\}$$

$$\geq \vee\{\min\{U_{\tilde{A}_i}((\alpha * \gamma) * \tilde{a}), U_{\tilde{A}_i}(\gamma)\}\}$$

$$= \min\{\vee U_{\tilde{A}_i}((\alpha * \gamma) * \tilde{a}), \vee U_{\tilde{A}_i}(\gamma)\}$$

$$\Rightarrow \vee U_{\tilde{A}_i}(\alpha * \tilde{a}) \geq \min\{\vee U_{\tilde{A}_i}((\alpha * \gamma) * \tilde{a}), \vee U_{\tilde{A}_i}(\gamma)\}.$$

Now,

$$\vee F_{\tilde{A}_i}(\alpha * \tilde{a}) = \vee\{F_{\tilde{A}_i}(\alpha * \tilde{a}) : i \in \Delta\}$$

$$\geq \vee\{\min\{F_{\tilde{A}_i}((\alpha * \gamma) * \tilde{a}), F_{\tilde{A}_i}(\gamma)\}\}$$

$$= \min\{\vee F_{\tilde{A}_i}((\alpha * \gamma) * \tilde{a}), \vee F_{\tilde{A}_i}(\gamma)\}$$

$$\Rightarrow \vee F_{\tilde{A}_i}(\alpha * \tilde{a}) \geq \min\{\vee F_{\tilde{A}_i}((\alpha * \gamma) * \tilde{a}), \vee F_{\tilde{A}_i}(\gamma)\}.$$

Therefore, $\bigcap_{i \in \Delta} \tilde{A}_i$ is a QN-Q-A of Ω .

Theorem 3.2. Assume that $\tilde{A} = \{(\gamma, T_{\tilde{A}}(\gamma), C_{\tilde{A}}(\gamma), U_{\tilde{A}}(\gamma), F_{\tilde{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ be a QN-Q-sub-algebra of a Q-algebra Ω . Then, the following holds:

- (i) $T_{\tilde{A}}(0) \geq T_{\tilde{A}}(\gamma), \forall \gamma \in \Omega;$
- (ii) $C_{\tilde{A}}(0) \geq C_{\tilde{A}}(\gamma), \forall \gamma \in \Omega;$
- (iii) $U_{\tilde{A}}(0) \leq U_{\tilde{A}}(\gamma), \forall \gamma \in \Omega;$
- (iv) $F_{\tilde{A}}(0) \leq F_{\tilde{A}}(\gamma), \forall \gamma \in \Omega;$

Proof. Suppose that $\tilde{A} = \{(\gamma, T_{\tilde{A}}(\gamma), C_{\tilde{A}}(\gamma), U_{\tilde{A}}(\gamma), F_{\tilde{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ be a QN-Q-sub-algebra of a Q-algebra Ω . Hence, $T_{\tilde{A}}(\gamma * \delta) \geq \min\{T_{\tilde{A}}(\gamma), T_{\tilde{A}}(\delta)\}$, $C_{\tilde{A}}(\gamma * \delta) \geq \min\{C_{\tilde{A}}(\gamma), C_{\tilde{A}}(\delta)\}$, $U_{\tilde{A}}(\gamma * \delta) \leq \max\{U_{\tilde{A}}(\gamma), U_{\tilde{A}}(\delta)\}$, $F_{\tilde{A}}(\gamma * \delta) \leq \max\{F_{\tilde{A}}(\gamma), F_{\tilde{A}}(\delta)\}$, $\forall \gamma, \delta \in \Omega$.

Now, we have

$$T_{\tilde{A}}(0) = T_{\tilde{A}}(\gamma * \gamma)$$

$$\geq \min\{T_{\tilde{A}}(\gamma), T_{\tilde{A}}(\gamma)\}$$

$$= T_{\tilde{A}}(\gamma)$$

$$\Rightarrow T_{\tilde{A}}(0) \geq T_{\tilde{A}}(\gamma), \forall \gamma \in \Omega.$$

$$C_{\tilde{A}}(0) = C_{\tilde{A}}(\gamma * \gamma)$$

$$\geq \min\{C_{\tilde{A}}(\gamma), C_{\tilde{A}}(\gamma)\}$$

$$= C_{\tilde{A}}(\gamma)$$

$$\Rightarrow C_{\tilde{A}}(0) \geq C_{\tilde{A}}(\gamma), \forall \gamma \in \Omega.$$

$$U_{\tilde{A}}(0) = U_{\tilde{A}}(\gamma * \gamma)$$

$$\leq \max\{U_{\tilde{A}}(\gamma), U_{\tilde{A}}(\gamma)\}$$

$$= U_{\tilde{A}}(\gamma)$$

$$\Rightarrow U_{\tilde{A}}(0) \leq U_{\tilde{A}}(\gamma), \forall \gamma \in \Omega.$$

$$F_{\tilde{A}}(0) = F_{\tilde{A}}(\gamma * \gamma)$$

$$\leq \max\{F_{\tilde{A}}(\gamma), F_{\tilde{A}}(\gamma)\}$$

$$= F_{\tilde{A}}(\gamma)$$

$$\Rightarrow F_{\tilde{A}}(0) \leq F_{\tilde{A}}(\gamma), \forall \gamma \in \Omega.$$

Theorem 3.3. If $\{\tilde{A}_i : i \in \Delta\}$ be a set of QN-Q-I's of a Q-algebra Ω . Then, their intersection i.e., $\bigcap_{i \in \Delta} \tilde{A}_i$ is also a QN-Q-I of Ω .

Proof. Assume that $\{\tilde{A}_i : i \in \Delta\}$ be the set of PN-Q-I's of a Q-algebra Ω . Therefore,

- (i) $T_{\tilde{A}_i}(0) \geq T_{\tilde{A}_i}(\delta) \ \& \ T_{\tilde{A}_i}(\delta * \gamma) \geq \min\{T_{\tilde{A}_i}((\delta * \alpha) * \gamma), T_{\tilde{A}_i}(\alpha)\}, \forall \delta, \gamma, \alpha \in \Omega \text{ and } i \in \Delta;$
- (ii) $C_{\tilde{A}_i}(0) \geq C_{\tilde{A}_i}(\delta) \ \& \ C_{\tilde{A}_i}(\delta * \gamma) \geq \min\{C_{\tilde{A}_i}((\delta * \alpha) * \gamma), C_{\tilde{A}_i}(\alpha)\}, \forall \delta, \gamma, \alpha \in \Omega \text{ and } i \in \Delta;$
- (iii) $U_{\tilde{A}_i}(0) \leq U_{\tilde{A}_i}(\delta) \ \& \ U_{\tilde{A}_i}(\delta * \gamma) \leq \max\{U_{\tilde{A}_i}((\delta * \alpha) * \gamma), U_{\tilde{A}_i}(\alpha)\}, \forall \delta, \gamma, \alpha \in \Omega \text{ and } i \in \Delta;$
- (iv) $F_{\tilde{A}_i}(0) \leq F_{\tilde{A}_i}(\delta) \ \& \ F_{\tilde{A}_i}(\delta * \gamma) \leq \max\{F_{\tilde{A}_i}((\delta * \alpha) * \gamma), F_{\tilde{A}_i}(\alpha)\}, \forall \delta, \gamma, \alpha \in \Omega \text{ and } i \in \Delta.$

Clearly, $\bigcap_{i \in \Delta} \tilde{A}_i = \{(\delta, \wedge T_{\tilde{A}_i}(\delta), \wedge C_{\tilde{A}_i}(\delta), \vee U_{\tilde{A}_i}(\delta), \vee F_{\tilde{A}_i}(\delta)) : \delta \in \Omega\}$.

Now, we have

$$T_{\tilde{A}_i}(0) \geq T_{\tilde{A}_i}(\delta), \forall \delta \in \Omega \text{ and } i \in \Delta$$

$$\Rightarrow \wedge T_{\tilde{A}_i}(0) \geq \wedge T_{\tilde{A}_i}(\delta).$$

$$C_{\tilde{A}_i}(0) \geq C_{\tilde{A}_i}(\delta), \forall \delta \in \Omega \text{ and } i \in \Delta$$

$$\Rightarrow \wedge C_{\tilde{A}_i}(0) \geq \wedge C_{\tilde{A}_i}(\delta).$$

$$U_{\tilde{A}_i}(0) \leq U_{\tilde{A}_i}(\delta), \forall \delta \in \Omega \text{ and } i \in \Delta$$

$$\Rightarrow \vee U_{\tilde{A}_i}(0) \leq \vee U_{\tilde{A}_i}(\delta).$$

$$F_{\tilde{A}_i}(0) \leq F_{\tilde{A}_i}(\delta), \forall \delta \in \Omega \text{ and } i \in \Delta$$

$$\Rightarrow \vee F_{\tilde{A}_i}(0) \leq \vee F_{\tilde{A}_i}(\delta).$$

Further, we have

$T_{\tilde{A}_i}(\delta * \gamma) \geq \min\{T_{\tilde{A}_i}((\delta * \alpha) * \gamma), T_{\tilde{A}_i}(\alpha)\}, \forall \delta, \gamma, \alpha \in \Omega$ and $i \in \Delta$.

$$\Rightarrow \wedge T_{\tilde{A}_i}(\delta * \gamma) \geq \wedge \min\{T_{\tilde{A}_i}((\delta * \alpha) * \gamma), T_{\tilde{A}_i}(\alpha)\}$$

$$= \min\{\wedge T_{\tilde{A}_i}((\delta * \alpha) * \gamma), \wedge T_{\tilde{A}_i}(\alpha)\}$$

$$\Rightarrow \wedge T_{\tilde{A}_i}(\delta * \gamma) \geq \min\{\wedge T_{\tilde{A}_i}((\delta * \alpha) * \gamma), \wedge T_{\tilde{A}_i}(\alpha)\}.$$

$C_{\tilde{A}_i}(\delta * \gamma) \geq \min\{C_{\tilde{A}_i}((\delta * \alpha) * \gamma), C_{\tilde{A}_i}(\alpha)\}, \forall \gamma, \alpha \in \Omega$ and $i \in \Delta$.

$$\Rightarrow \wedge C_{\tilde{A}_i}(\delta * \gamma) \geq \wedge \min\{C_{\tilde{A}_i}((\delta * \alpha) * \gamma), C_{\tilde{A}_i}(\alpha)\}$$

$$= \min\{\wedge C_{\tilde{A}_i}((\delta * \alpha) * \gamma), \wedge C_{\tilde{A}_i}(\alpha)\}$$

$$\Rightarrow \wedge C_{\tilde{A}_i}(\delta * \gamma) \geq \min\{\wedge C_{\tilde{A}_i}((\delta * \alpha) * \gamma), \wedge C_{\tilde{A}_i}(\alpha)\}.$$

$U_{\tilde{A}_i}(\delta * \gamma) \leq \max\{U_{\tilde{A}_i}((\delta * \alpha) * \gamma), U_{\tilde{A}_i}(\alpha)\}, \forall \delta, \gamma, \alpha \in \Omega$ and $i \in \Delta$.

$$\Rightarrow \vee U_{\tilde{A}_i}(\delta * \gamma) \leq \vee \max\{U_{\tilde{A}_i}((\delta * \alpha) * \gamma), U_{\tilde{A}_i}(\alpha)\}$$

$$\begin{aligned}
 &= \min \{T_{\bar{A}}(0), T_{\bar{A}}(\alpha)\} \\
 &= T_{\bar{A}}(\alpha) \\
 \Rightarrow T_{\bar{A}}(\gamma) &\geq T_{\bar{A}}(\alpha). \\
 C_{\bar{A}}(\gamma) = C_{\bar{A}}(\gamma * 0) &\geq \min \{C_{\bar{A}}((\gamma * \alpha) * 0), C_{\bar{A}}(\alpha)\} \\
 &= \min \{C_{\bar{A}}((\gamma * \alpha)), \\
 C_{\bar{A}}(\alpha)\} \\
 &= \min \{C_{\bar{A}}(0), C_{\bar{A}}(\alpha)\} \\
 &= C_{\bar{A}}(\alpha) \\
 \Rightarrow C_{\bar{A}}(\gamma) &\geq C_{\bar{A}}(\alpha). \\
 U_{\bar{A}}(\gamma) = U_{\bar{A}}(\gamma * 0) &\leq \max \{U_{\bar{A}}((\gamma * \alpha) * 0), U_{\bar{A}}(\alpha)\} \\
 &= \max \{U_{\bar{A}}((\gamma * \alpha)), \\
 U_{\bar{A}}(\alpha)\} \\
 &= \max \{U_{\bar{A}}(0), U_{\bar{A}}(\alpha)\} \\
 &= U_{\bar{A}}(\alpha) \\
 \Rightarrow U_{\bar{A}}(\gamma) &\leq U_{\bar{A}}(\alpha). \\
 F_{\bar{A}}(\gamma) = F_{\bar{A}}(\gamma * 0) &\leq \max \{F_{\bar{A}}((\gamma * \alpha) * 0), F_{\bar{A}}(\alpha)\} \\
 &= \max \{F_{\bar{A}}((\gamma * \alpha)), \\
 F_{\bar{A}}(\alpha)\} \\
 &= \max \{F_{\bar{A}}(0), F_{\bar{A}}(\alpha)\} \\
 &= F_{\bar{A}}(\alpha) \\
 \Rightarrow F_{\bar{A}}(\gamma) &\leq F_{\bar{A}}(\alpha).
 \end{aligned}$$

Theorem 3.6. If $\tilde{A} = \{(\gamma, T_{\bar{A}}(\gamma), C_{\bar{A}}(\gamma), U_{\bar{A}}(\gamma), F_{\bar{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ be a QN-Q-sub-algebra over a Q-algebra Ω , then the sets $a-T_{\bar{A}} = \{\gamma: \gamma \in \Omega, T_{\bar{A}}(\gamma) \geq a\}$, $a-C_{\bar{A}} = \{\gamma: \gamma \in \Omega, C_{\bar{A}}(\gamma) \geq a\}$, $a-U_{\bar{A}} = \{\gamma: \gamma \in \Omega, U_{\bar{A}}(\gamma) \leq a\}$ and $a-F_{\bar{A}} = \{\gamma: \gamma \in \Omega, F_{\bar{A}}(\gamma) \leq a\}$ are the Q-sub-algebra of Ω .

Proof. Let $\tilde{A} = \{(\gamma, T_{\bar{A}}(\gamma), C_{\bar{A}}(\gamma), U_{\bar{A}}(\gamma), F_{\bar{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ be a QN-Q-sub-algebra over a Q-algebra Ω . Therefore,

- (i) $T_{\bar{A}}(\gamma * \alpha) \geq \min \{T_{\bar{A}}(\gamma), T_{\bar{A}}(\alpha)\};$
- (ii) $C_{\bar{A}}(\gamma * \alpha) \geq \min \{C_{\bar{A}}(\gamma), C_{\bar{A}}(\alpha)\};$
- (iii) $U_{\bar{A}}(\gamma * \alpha) \leq \max \{U_{\bar{A}}(\gamma), U_{\bar{A}}(\alpha)\};$
- (iv) $F_{\bar{A}}(\gamma * \alpha) \leq \max \{F_{\bar{A}}(\gamma), F_{\bar{A}}(\alpha)\}$, where $\gamma, \alpha \in \Omega$.

Assume that, $\gamma, \alpha \in a-\hat{A}_{\bar{Y}}$. This implies, $T_{\bar{A}}(\gamma) \geq a$, $T_{\bar{A}}(\alpha) \geq a$.

Therefore, $T_{\bar{A}}(\gamma * \alpha) \geq \min \{T_{\bar{A}}(\gamma), T_{\bar{A}}(\alpha)\} \geq \min\{a, a\} \geq a$.

Hence, $a-T_{\bar{A}} = \{\gamma: \gamma \in \Omega, T_{\bar{A}}(\gamma) \geq a\}$ is a Q-sub-algebra of Ω .

Assume that, $\gamma, \alpha \in a-C_{\bar{A}}$. This implies, $C_{\bar{A}}(\gamma) \geq a$, $C_{\bar{A}}(\alpha) \geq a$.

Therefore, $C_{\bar{A}}(\gamma * \alpha) \geq \min \{C_{\bar{A}}(\gamma), C_{\bar{A}}(\alpha)\} \geq \min \{a, a\} \geq a$.

Hence, $a-C_{\bar{A}} = \{\gamma: \gamma \in \Omega, C_{\bar{A}}(\gamma) \geq a\}$ is a Q-sub-algebra of Ω .

Assume that, $\gamma, \alpha \in a-U_{\bar{A}}$. This implies, $U_{\bar{A}}(\gamma) \leq a$, $U_{\bar{A}}(\alpha) \leq a$.

Therefore, $U_{\bar{A}}(\gamma * \alpha) \leq \max \{U_{\bar{A}}(\gamma), U_{\bar{A}}(\alpha)\} \leq \max \{a, a\} \leq a$.

Hence, $a-U_{\bar{A}} = \{\gamma: \gamma \in \Omega, U_{\bar{A}}(\gamma) \leq a\}$ is a Q-sub-algebra of Ω .

Assume that, $\gamma, \alpha \in a-F_{\bar{A}}$. This implies, $F_{\bar{A}}(\gamma) \leq a$, $F_{\bar{A}}(\alpha) \leq a$.

Therefore, $F_{\bar{A}}(\gamma * \alpha) \leq \max \{F_{\bar{A}}(\gamma), F_{\bar{A}}(\alpha)\} \leq \max \{a, a\} \leq a$.

Hence, $a-F_{\bar{A}} = \{\gamma: \gamma \in \Omega, F_{\bar{A}}(\gamma) \leq a\}$ is a Q-sub-algebra of Ω .

Theorem 3.7. Let $\tilde{A} = \{(\gamma, T_{\bar{A}}(\gamma), C_{\bar{A}}(\gamma), U_{\bar{A}}(\gamma), F_{\bar{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ be a QN-Q-I of Ω , then the sets $\Omega(T) = \{\gamma \in \Omega: T_{\bar{A}}(\gamma) = T_{\bar{A}}(0)\}$, $\Omega(C) = \{\gamma \in \Omega: C_{\bar{A}}(\gamma) = C_{\bar{A}}(0)\}$, $\Omega(U) = \{\gamma \in \Omega: U_{\bar{A}}(\gamma) = U_{\bar{A}}(0)\}$ and $\Omega(F) = \{\gamma \in \Omega: F_{\bar{A}}(\gamma) = F_{\bar{A}}(0)\}$ are Q-ideals of Ω .

Proof. Assume that $\tilde{A} = \{(\gamma, T_{\bar{A}}(\gamma), C_{\bar{A}}(\gamma), U_{\bar{A}}(\gamma), F_{\bar{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ be a QN-Q-I of Ω . Therefore,

- (i) $T_{\bar{A}}(0) \geq T_{\bar{A}}(\gamma) \ \& \ T_{\bar{A}}(\gamma * \alpha) \geq \min\{T_{\bar{A}}((\gamma * \delta) * \alpha), T_{\bar{A}}(\delta)\}, \forall \gamma, \alpha, \delta \in \Omega;$
- (ii) $C_{\bar{A}}(0) \geq C_{\bar{A}}(\gamma) \ \& \ C_{\bar{A}}(\gamma * \alpha) \geq \min\{C_{\bar{A}}((\gamma * \delta) * \alpha), C_{\bar{A}}(\delta)\}, \forall \gamma, \alpha, \delta \in \Omega;$
- (iii) $U_{\bar{A}}(0) \leq U_{\bar{A}}(\gamma) \ \& \ U_{\bar{A}}(\gamma * \alpha) \leq \max \{U_{\bar{A}}((\gamma * \delta) * \alpha), U_{\bar{A}}(\delta)\}, \forall \gamma, \alpha, \delta \in \Omega;$
- (iv) $F_{\bar{A}}(0) \leq F_{\bar{A}}(\gamma) \ \& \ F_{\bar{A}}(\gamma * \alpha) \leq \max \{F_{\bar{A}}((\gamma * \delta) * \alpha), F_{\bar{A}}(\delta)\}$, for all $\gamma, \alpha, \delta \in \Omega$.

Since, $T_{\bar{A}}(0) = T_{\bar{A}}(0)$, $C_{\bar{A}}(0) = C_{\bar{A}}(0)$, $U_{\bar{A}}(0) = U_{\bar{A}}(0)$ and $F_{\bar{A}}(0) = F_{\bar{A}}(0)$, so $0 \in \Omega(T)$, $0 \in \Omega(C)$, $0 \in \Omega(U)$ and $0 \in \Omega(F)$.

Let $(\delta * \alpha) * e \in \Omega(T)$ and $\alpha \in \Omega(T)$. Therefore, $T_{\bar{A}}((\delta * \alpha) * e) = T_{\bar{A}}(0)$ and $T_{\bar{A}}(\alpha) = T_{\bar{A}}(0)$.

$$\text{Clearly, } T_{\bar{A}}(0) \geq T_{\bar{A}}(\delta * \alpha * e) \tag{1}$$

Now, we have

$$T_{\bar{A}}(\delta * \alpha * e) \geq \min\{T_{\bar{A}}((\delta * \alpha) * e), T_{\bar{A}}(\alpha)\} = \min \{T_{\bar{A}}(0), T_{\bar{A}}(0)\} = T_{\bar{A}}(0)$$

$$\Rightarrow T_{\bar{A}}(\delta * \alpha * e) \geq T_{\bar{A}}(0) \tag{2}$$

From eq. (1) & eq. (2), we get $T_{\bar{A}}(\delta * e) = T_{\bar{A}}(0)$, which implies, $\delta * e \in \Omega(T)$. Hence, $\Omega(T) = \{\gamma \in \Omega : T_{\bar{A}}(\gamma) = T_{\bar{A}}(0)\}$ is a Q-ideal of Ω .

Similarly, it can be shown that, the sets $\Omega(C) = \{\gamma \in \Omega : C_{\bar{A}}(\gamma) = C_{\bar{A}}(0)\}$, $\Omega(U) = \{\gamma \in \Omega : U_{\bar{A}}(\gamma) = U_{\bar{A}}(0)\}$ and $\Omega(F) = \{\gamma \in \Omega : F_{\bar{A}}(\gamma) = F_{\bar{A}}(0)\}$ are Q-ideals of Ω .

Theorem 3.8. Let $\tilde{A} = \{(\gamma, T_{\bar{A}}(\gamma), C_{\bar{A}}(\gamma), U_{\bar{A}}(\gamma), F_{\bar{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ be a QN-Q-I of Q-algebra Ω . Then, the F-Sets $\{(\gamma, T_{\bar{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$, $\{(\gamma, C_{\bar{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$, $\{(\gamma, 1 - U_{\bar{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ and $\{(\gamma, 1 - F_{\bar{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ are F-Q-Is of Ω .

Proof. Assume that $\tilde{A} = \{(\gamma, T_{\bar{A}}(\gamma), C_{\bar{A}}(\gamma), U_{\bar{A}}(\gamma), F_{\bar{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ be a QN-Q-I of a Q-algebra Ω . Therefore,

- (i) $T_{\bar{A}}(0) \geq T_{\bar{A}}(\gamma) \ \& \ T_{\bar{A}}(\gamma * \delta) \geq \min \{T_{\bar{A}}((\gamma * \alpha) * \delta), T_{\bar{A}}(\alpha)\}, \forall \gamma, \delta, \alpha \in \Omega;$
- (ii) $C_{\bar{A}}(0) \geq C_{\bar{A}}(\gamma) \ \& \ C_{\bar{A}}(\gamma * \delta) \geq \min \{C_{\bar{A}}((\gamma * \alpha) * \delta), C_{\bar{A}}(\alpha)\}, \forall \gamma, \delta, \alpha \in \Omega;$
- (iii) $U_{\bar{A}}(0) \leq U_{\bar{A}}(\gamma) \ \& \ U_{\bar{A}}(\gamma * \delta) \leq \max \{U_{\bar{A}}((\gamma * \alpha) * \delta), U_{\bar{A}}(\alpha)\}, \forall \gamma, \delta, \alpha \in \Omega;$
- (iv) $F_{\bar{A}}(0) \leq F_{\bar{A}}(\gamma) \ \& \ F_{\bar{A}}(\gamma * \delta) \leq \max \{F_{\bar{A}}((\gamma * \alpha) * \delta), F_{\bar{A}}(\alpha)\}, \forall \gamma, \delta, \alpha \in \Omega.$

Clearly, $T_{\bar{A}}(0) \geq T_{\bar{A}}(\gamma) \ \& \ T_{\bar{A}}(\gamma * \delta) \geq \min \{T_{\bar{A}}((\gamma * \alpha) * \delta), T_{\bar{A}}(\alpha)\}, \forall \gamma, \delta, \alpha \in \Omega$. Therefore, the F-Set $\{(\gamma, T_{\bar{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ is a F-Q-I of Ω .

Clearly, $C_{\bar{A}}(0) \geq C_{\bar{A}}(\gamma) \ \& \ C_{\bar{A}}(\gamma * \delta) \geq \min \{C_{\bar{A}}((\gamma * \alpha) * \delta), C_{\bar{A}}(\alpha)\}, \forall \gamma, \delta, \alpha \in \Omega$. Therefore, the F-Set $\{(\gamma, C_{\bar{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ is a F-Q-I of Ω .

Now, $U_{\bar{A}}(\gamma * \delta) \leq \max \{U_{\bar{A}}((\gamma * \alpha) * \delta), U_{\bar{A}}(\alpha)\}, \forall \gamma, \delta, \alpha \in \Omega$

$\Rightarrow 1 - U_{\bar{A}}(\gamma) \geq \min \{1 - U_{\bar{A}}((\gamma * \alpha) * \delta), 1 - U_{\bar{A}}(\alpha)\}, \forall \gamma, \delta, \alpha \in \Omega$

and $U_{\bar{A}}(0) \leq U_{\bar{A}}(\gamma), \forall \gamma \in \Omega$

$\Rightarrow 1 - U_{\bar{A}}(0) \geq 1 - U_{\bar{A}}(\gamma), \forall \gamma \in \Omega$.

Hence, the F-Set $\{(\gamma, 1 - U_{\bar{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ is a F-Q-I of Ω .

Now, $F_{\bar{A}}(\gamma * \delta) \leq \max \{F_{\bar{A}}((\gamma * \alpha) * \delta), F_{\bar{A}}(\alpha)\}, \forall \gamma, \delta, \alpha \in \Omega$

$\Rightarrow 1 - F_{\bar{A}}(\gamma) \geq \min \{1 - F_{\bar{A}}((\gamma * \alpha) * \delta), 1 - F_{\bar{A}}(\alpha)\}, \forall \gamma, \delta, \alpha \in \Omega$

and $F_{\bar{A}}(0) \leq F_{\bar{A}}(\gamma), \forall \gamma \in \Omega$

$\Rightarrow 1 - F_{\bar{A}}(0) \geq 1 - F_{\bar{A}}(\gamma), \forall \gamma \in \Omega$.

Hence, the F-Set $\{(\gamma, 1 - F_{\bar{A}}(\gamma)) : \gamma \in \Omega\}$ is a F-Q-I of Ω .

5.

Conclusions

In this article, we have grounded the concept of QN-Q-I of QN-Q-A as a generalization of IF-Q-I of IF-Q-A. By defining QN-Q-I, QN-Q-sub-algebra, we have formulated several results on QN-Q-A under QNS environment. In the future, based on the notion of QN-Q-A and QN-Q-I many new investigations can be carried out by the researchers those are working on N-Set, QNS, and their extensions.

References

- [1] Abdullah, H.K., & Jawad, H.K. (2018). New types of ideals in Q-algebra. *Journal University of Kerbala*, 16(4), scientific.
- [2] Agboola, A.A.A., & Davvaz, B. (2015). Introduction to neutrosophic BCI/BCK-algebras. *International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences*, Vol. 2015, Article ID 370267, 1-6.
- [3] Alcheikh, M., & Sabouh, A. (2019). A study of fuzzy ideals in BCK algebra. *Journal of Mathematics Research*, 11(5), 11-15.
- [4] Atanassov, K.T. (1986). Intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy sets and Systems*, 35, 87-96.
- [5] Chatterjee, R., Majumdar, R., & Samanta, S.K. (2016). On some similarly measures and entropy on quadripartitioned single valued neutrosophic sets. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 30(4), 2475-2485.
- [6] C. Granados, A. Dhital, Statistical convergence of double sequences in neutrosophic normed spaces, *Neutrosophic Sets and Systems* 42(2021), 334-344.
- [7] Hasan, A.K. (2017). On intuitionistic fuzzy d-ideal of d-algebra. *Journal University of Kerbala*, 15(1), 161-169.
- [8] Hasan, A.K. (2020). Intuitionistic fuzzy d-filter of d-algebra. *Journal of mechanics of continua and mathematical sciences*, 15(6), 360-370.
- [9] Iami, Y., & Iseki, K. (1966). On axiom system of propositional calculi XIV. *Proceedings of the Japan Academy*, 42, 19-20.
- [10] Iseki, K., & Tanaka, S. (1978). An introduction to the theory of BCK-algebra. *Mathematica Japonicae*, 23(1), 1-26.
- [11] Jun, Y.B., Kim, H.S., & Yoo, D.S. (e-2006). Intuitionistic fuzzy d-algebra. *Scientiae Mathematicae Japonicae Online*, e-2006, 1289-1297.
- [12] Jun, Y.B., Neggers, J., & Kim, H.S. (2000). Fuzzy d-ideals of d-algebras. *Journal of Fuzzy Mathematics*, 8(1), 123-130.

- [13] Kadhum, H.J., & Kareem, A.H. (2018). Some types of fuzzy pseudo ideals in pseudo Q -algebra. *Thesis, Department of mathematics, University of Kufa*, pp. 1-109.
- [14] Kareem, A.H., & Ahmed, H.Z. (2016). Complete BCK-ideal. *European Journal of Scientific Research*, 137(3), 302-314.
- [15] S. Das, R. Das, C. Granados, A. Mukherjee, Pentapartitioned neutrosophic Q -ideals of Q -algebra, *Neutrosophic Sets and Systems* 41(2021), 53-63.
- [16] Martina Jency, J., & Arockiarani, I. (2016). Single valued neutrosophic ideals of BCK-algebras. *International Journal of Mathematics Trends and Technology*, 39(1), 8-17.
- [17] Mostafa, S.M., Abdel Naby, M.A., & Elgendy, O.R. (2012). Fuzzy Q -ideals in Q -algebras. *World Applied Programming*, 2(2), 69-80.
- [18] Mostafa, S.M., Abdel Naby, M.A., & Elgendy, O.R. (2012). Intuitionistic fuzzy Q -ideals in Q -algebra. *Global Journal of Pure and Applied Mathematics*, 8(2), 135-144.
- [19] Neggers, J., Ahn, S.S., & Kim, H.S. (2001). On Q -algebra. *International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences*, 27(12), 749-757.
- [20] Neggers, J., Jun, Y.B., & Kim, H.S. (1999). On d -ideals in d -algebras. *Mathematica Slovaca*, 49(3), 243-251.
- [21] Neggers, J., & Kim, H.S. (1999). On d -algebra. *Mathematica Slovaca*, 49(1), 19-26.
- [22] S. Das, R. Das, C. Granados, Topology on quadripartitioned neutrosophic sets, *Neutrosophic Sets and Systems* 45(2021), 54-61.
- [23] Shil, B., Das, R., & Das, S. (In Press). Single Valued Pentapartitioned Neutrosophic Off-Set / Over-Set / Under-Set. *Neutrosophic Sets and Systems*.
- [24] Smarandache, F. (2005). Neutrosophic set: a generalization of the intuitionistic fuzzy sets. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 24, 287-297.
- [25] Smarandache, F. (2020). NeutroAlgebra is a Generalization of Partial Algebra. *International Journal of Neutrosophic Science*, 2(1), 08-17, 2020.
- [26] Smarandache, F. (2019). NeutroAlgebraic Structures and AntiAlgebraic Structures, in *Advances of Standard and Nonstandard Neutrosophic Theories. Pons Publishing House Brussels, Belgium*, 6, 240 -265.
- [27] Smarandache, F. (2020). NeutroAlgebraic Structures and AntiAlgebraic Structures (revisited), *Neutrosophic Sets and Systems*, 31, 1-16.
- [28] Smarandache, F. (2013). n -valued refined neutrosophic logic and its applications to physics, *Progress in Physics*, 4, 143-146.
- [29] Vadiraja Bhatta, G.R., Manasa, K.J., Gautham Shenoy, B., Prasanna, P., & Chaithra, B.J. (2021). Introduction to Neutro Nearing. *Neutrosophic Sets and Systems*, 46, 445-455.
- [30] Vadiraja Bhatta, G.R., Shankar, B.R., Vishnu Narayan, M., & Prasanna, P., (2020). Sequences of numbers via permutation polynomials over some finite rings. *Proyecciones*, 39(5), 1295-1313.
- [31] Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy set. *Information and Control*, 8, 338-353.



Análisis de sectorización hidráulica en redes de distribución de agua implementando Epanet e iDistritos

Analysis of hydraulic sectorization in water distribution networks implementing Epanet and iDistritos

Flórez Sepúlveda, A. L.^a; Bonilla Granados, C. A.^b; Celeita Molina, J.^c

^a Universidad Manuela Beltrán, Grupo de Investigación Ambiente y Sostenibilidad. Avenida Circunvalar # 60-00 / Bogotá, Colombia
auraflorez.ls@academia.umb.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-8871-5267>

^b Universidad de Pamplona, Grupo investigación Etenoha. Km 1 Vía Bucaramanga Ciudad Universitaria, Pamplona - Norte de Santander, Colombia
carlos.bonilla@unipamplona.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-4558-4615>

^c Universidad Manuela Beltrán, Grupo de Investigación Ambiente y Sostenibilidad. Avenida Circunvalar # 60-00 / Bogotá, Colombia
johnathan.celeita@docentes.umb.edu.co, <https://orcid.org/0009-0004-4533-5805>

Correspondencia: carlos.bonilla@unipamplona.edu.co

Recibido: Agosto 8, 2023. **Aceptado:** Agosto 29, 2023. **Publicado:** Agosto 30, 2023.

Resumen

Las redes de distribución de agua tienen como principal objetivo abastecer agua potable para suplir las necesidades de cantidad y calidad demandadas por una población. Estos sistemas se conciben para suministrar agua a todos los habitantes de forma continua durante todo el día. Estas condiciones óptimas de funcionamiento en algunas ciudades no se logran debido a diferentes problemas que se presentan y que afectan el normal funcionamiento de las redes de distribución. Esta investigación presenta una propuesta de mejora y optimización de las redes hidráulicas de la ciudad de Los Patios, ubicada en Norte de Santander, Colombia. Ciudad que actualmente presenta problemas en el funcionamiento de su sistema de distribución debido a factores como el crecimiento poblacional, los asentamientos informales, la falta de planeación en la construcción de sus redes de tuberías y la disponibilidad de agua en la fuente de abastecimiento. La operación actual de la red se realiza a partir del cierre de válvulas de seccionamiento con el fin de generar sectores y de esta forma garantizar turnos de servicio que proporcionan agua por zonas entre dos a tres días por la semana, lo cual incumple con los criterios de continuidad del servicio y afecta la calidad del recurso; en respuesta a esta problemática, la presente investigación tiene como objetivo proponer varias alternativas de sectorización hidráulica de las redes de tuberías analizando las características de conectividad de sus nodos, empleando la teoría de grafos y los softwares iDistritos y Epanet. Como resultado se obtuvo una optimización del funcionamiento hidráulico de la red de distribución aumentando la continuidad del servicio y se describen las acciones y recomendaciones necesarias para desarrollar estas alternativas. Los análisis realizados se convierten en una herramienta útil para la empresa de agua que administra las redes de distribución, en la planificación de las acciones futuras de mejora en la infraestructura existente en la ciudad.

Palabras clave: Sistemas de distribución de agua, optimización, teoría de grafos, sectorización hidráulica, Epanet, iDistritos.

Abstract

The primary purpose of water distribution networks is to supply drinking water to meet a population's quantity and quality needs. These systems are designed to continuously supply water to all inhabitants throughout the day. These optimal operating conditions in some cities are not achieved due to different problems that affect the regular operation of the distribution networks. This research presents a proposal to improve and optimize the hydraulic networks of the city of Los Patios, located in Norte de Santander, Colombia. This city currently presents problems in the operation of its distribution system due to factors such as population growth, informal settlements, lack of planning in constructing its pipe networks and the availability of water in the supply source. The current operation of the network is carried out by closing sectioning valves in order to generate sectors and thus guarantee service shifts that provide water by zones between two to three days a week, which does not comply with the criteria of service continuity and affects the quality of the resource; in response to this problem, the present research aims to propose several alternatives for hydraulic sectorization of the pipe networks by analyzing the connectivity characteristics of its nodes, using the graph theory and the iDistricts and Epanet software. As a result, an optimization of the hydraulic operation of the distribution network was obtained, increasing the continuity of the service, and the actions and recommendations necessary to develop these alternatives are described. The analyses become a valuable tool for the water company that manages the distribution networks in planning future actions to improve the existing infrastructure in the city.

Keywords: Water distribution systems, optimization, Graph Theory, Hydraulic Sectorization, Epanet, iDistricts.

1. Introducción

Los acueductos funcionan mediante un sistema de tuberías que abastecen desde un embalse una demanda de agua potable relacionada con el consumo de una población; para garantizar un correcto desempeño se deben estimar los diámetros de las tuberías que garanticen parámetros adecuados tales como presiones y velocidades en la red, lo cual se refleja en un buen funcionamiento del sistema. Existen múltiples aspectos a tener en cuenta en una red de distribución de agua potable (RDAP) tales como: las fugas del sistema, el agua no contabilizada, el estado físico de la red, bases de datos relacionadas con usuarios y catastro de la red [1]. Las RDAP se representan mediante un modelo hidráulico que permite analizar el comportamiento de sus parámetros utilizando herramientas computacionales. El software más empleado para el análisis es Epanet [2].

Existen redes de distribución que durante su vida útil presentan deterioro en su infraestructura que afecta de forma directa las condiciones del servicio y en algunos casos se refleja en la implementación de acciones operativas como los racionamientos sistemáticos del servicio por zonas e intermitencias en las redes de suministro de agua potable [3], 2009). Para optimizar y mejorar las condiciones de una RDAP con sistema intermitente se pueden realizar diferentes acciones de mejora. Una posible solución consiste en implementar la sectorización hidráulica, con el objetivo de conformar redes autónomas que, abastecidas por una red de distribución general o matriz, permita controlar y mejorar el funcionamiento de la red de acueducto, posibilitando que el agua sea distribuida a todos los usuarios [4].

La industria del agua potable se enfrenta constantemente a cambios, producidos por distintos factores que pueden ser técnicos o naturales, como el deterioro de la infraestructura o el cambio climático, en respuesta a estos desafíos resulta indispensable generar un proceso continuo de optimización de las RDAP, evaluando su funcionamiento y formulando medidas para mejorar la eficiencia en cada sistema [5]. El aumento de las poblaciones en especial aquellas que no se encuentran proyectadas por entidades gubernamentales, como es el caso de los asentamientos ilegales que, por lo general realizan conexiones fraudulentas a las RDAP, generan en los sistemas de abastecimiento una variación notable en su comportamiento [6].

Mejorar la eficiencia de las RDAP se ha convertido en un objetivo principal para los proveedores de agua potable; dentro de las estrategias más implementadas para mejorar la gestión de las redes de distribución se encuentra la sectorización hidráulica, que consiste en dividir una red de distribución de agua en subredes más pequeñas [7]. Esta metodología permite introducir elementos de control de presión y caudal y de medición en las entradas de los sectores propuestos, con lo cual se facilita implementar acciones de análisis y gestión de los parámetros más relevantes en cada zona de forma independiente y efectiva. Es así como se han desarrollado varios avances que permiten mejorar la eficiencia en la distribución de agua y en la planificación y gestión de redes basados en la sectorización hidráulica [8].

Cuando se tiene una sectorización hidráulica se habla de un método para la gestión de la presión y la pérdida del agua [9]. Se puede decir que una red sectorizada está compuesta de sectores que tienen una única entrada con una válvula de cierre controlando el sector y una red matriz que distribuye agua a cada uno de los sectores, de tal forma que el agua demandada por una población no tendría que recorrer todos los tramos de tuberías de un sistema de distribución de una ciudad para llegar al punto más lejano. El agua solo va a recorrer la red matriz propuesta y de ahí derivara a cada uno de los sectores [10].

El proceso de sectorización de una red de distribución de agua potable es una técnica utilizada para gestionar la eficiencia hidráulica del sistema y se complementa con la localización de fugas, la gestión óptima de la presión, el control de caudales, entre otros aspectos técnicos que infieren al correcto funcionamiento de una red. Actualmente se han desarrollado numerosas metodologías para darle manejo a este problema; sin embargo, no todas pueden aplicar a las necesidades particulares de cada sistema de suministro [11].

Existen retos interesantes en la homogenización de los métodos del monitoreo y en el análisis de datos, usados para optimizar sistemas de distribución de agua. Así como en permitir que la información obtenida en las RDAP esté disponible para cualquier persona o entidad interesada o involucrada en estas [10][12]. En la actualidad se han propuesto diversas metodologías para sectorizar las redes de agua y generalmente se realizan mediante dos fases: la primera es identificar el número óptimo de sectores y la segunda es identificar las tuberías donde se deben ubicar las válvulas de corte, presión y/o caudalímetros [13].

También se ha utilizado el grado de satisfacción de la demanda como un método de medición que permite evaluar los suministros de agua intermitentes, identificando así el comportamiento de las RDAP [14]. Otras metodologías utilizan el análisis geoespacial para identificar una posible red matriz del sistema y así subdividir las redes en grupos, con el fin de implementar modificaciones creando límites y entradas en las futuras áreas de medición de distrito (DMA) a partir de un grupo de nodos [15]. Apoyados en la teoría de grafos también se han propuesto algoritmos de búsqueda de DMA basados en el análisis de agrupamiento, optimización multiobjetivo y análisis multicriterio [16].

Para el desarrollo de este artículo se tendrán en cuenta dos metodologías para la descentralización de las RDAP con el fin de identificar las posibles opciones de sectorización en la red de análisis. La primera metodología es la sectorización mediante identificación previa de la red arterial; la segunda es la sectorización según la contribución de las fuentes a la demanda en los nodos [17]. Se analizará el modelo hidráulico elaborado en Epanet de la RDAP de la ciudad de Los Patios, Colombia. El análisis se realiza en conjunto con el software iDistritos con el fin

de evaluar y proponer diferentes enfoques para la optimización de esta red.

2. Metodología

2.1 Caso de estudio

La red de agua que se analizará en el caso de estudio corresponde a la ciudad de Los Patios, ubicada en Colombia; y forma parte del área metropolitana de Cúcuta. La elevación promedio es de 410 metros sobre el nivel del mar y tiene una población actual de 81000 habitantes. Tiene una economía basada en diferentes atractivos turísticos [18].

La red de distribución tiene 2 fuentes de suministro de agua desde la Planta de tratamiento de agua potable (PTAP) y la longitud de tuberías en toda la red es de 143.98 kilómetros con diámetros de tuberías que varían entre 62 y 400 milímetros. Con tuberías en materiales tales como asbesto cemento (AC), hierro fundido (HF) y polietileno de alta densidad (PEAD). El transporte de agua se realiza desde la planta de tratamiento y de un embalse ubicado al sur de del municipio, en la Figura 1 se puede observar el modelo hidráulico de la red de distribución el cual consta de 1354 nodos de demanda y 1834 tuberías.



Figura 1. Modelo general red de distribución de Los Patios.
Fuente: Autores.

En este caso de estudio se evaluarán posibles alternativas de sectorización hidráulica de la RDAP empleando la teoría de grafos con ayuda de los softwares iDistritos y Epanet para optimizar el funcionamiento hidráulico de la red buscando aumentar la continuidad del servicio como una solución al problema de intermitencia que se presenta en el sistema y que limita la cantidad de agua que se abastece a la población.

2.2 iDistritos

iDistricts, o iDistritos en español, es una herramienta que se basa en el algoritmo de búsqueda en amplitud de la teoría de grafos para proponer o identificar sectores y/o distritos hidráulicos. En conjunto con el simulador hidráulico de EPANET logra determinar los valores resultantes de las variables de salida (presiones, demandas, caudales y velocidades) de cada sector o distrito. Además, en cada uno de estos distritos se informa sobre el número de caudalímetros y/o válvulas de corte necesarios para aislar cada sector, el número de fuentes de suministro de agua, el número de bombas, válvulas y nodos con demanda, la longitud total de tuberías, las elevaciones máximas, medias y mínimas, y el desnivel que existe dentro de cada sector [13].

El proceso para identificar los sectores hidráulicos a partir de un conjunto de tuberías donde se propone instalar las válvulas de corte y/o los caudalímetros, se resume en cuatro pasos: (1) Almacenar las propiedades de los elementos del modelo en una estructura de datos temporal y comprobar que todos los identificadores de tuberías donde se instalará una válvula de corte o un caudalímetro sean válidos. (2) “Cerrar” las tuberías de la lista de caudalímetros y válvulas de corte y determinar las líneas adyacentes “abiertas” de cada nodo. (3) Recorrer la red mediante el algoritmo de búsqueda en amplitud y realizar un postproceso para reajustar el número de sectores. (4) Ejecutar una simulación hidráulica de la red sectorizada [11].

La herramienta iDistritos se codificó desde el entorno de programación de Microsoft Visual Basic 2019 (.NET) y se ejecuta de manera independiente del programa Epanet. Cuenta con una interfaz propia que permite organizar todos los escenarios propuestos en la sectorización de una red. Los resultados de los sectores se pueden visualizar desde cualquier programa GIS (Sistema de Información Geográfica).

2.3 Teoría de grafos

El algoritmo principal para las simulaciones hidráulicas de la RDAP se conoce como Algoritmo de gradiente global (GGA), tal como está implementado en Epanet versión 2.2 (Rossman, 2000). En este algoritmo se elabora una definición para matriz de incidencia topológica. Esta matriz, conocida como matriz de incidencia A_{pn} tiene unas dimensiones de $[n_p \times n_n]$, donde n_p es el número de tuberías (tuberías, válvulas y bombas) y n_n es el número de nodos en la red (demanda, tanques y depósitos). Cada fila contiene solo dos valores distintos de cero que corresponden al nodo inicial y final de la tubería. [5]. Por analogía, se puede interpretar esta matriz como la matriz de incidencia de grafos en la que los

los nodos son los vértices de grafos (V_1) y las tuberías son las aristas de los grafos (E_1), siendo así, un grafo G_1 contiene un conjunto de elementos $G_1 (V_1, E_1)$; de esta manera es posible analizar y expresar una RDAP utilizando los mismos principios de la teoría de grafos [19].

De acuerdo con [20], se define un grafo como un conjunto de objetos llamados vértices que se encuentran unidos por enlaces llamados aristas o arcos. Normalmente se representa gráficamente un grafo como un conjunto de puntos (vértices) unidos por líneas (aristas), por lo tanto, este es una herramienta para mostrar cierta relación entre varios elementos.

Una RDAP se puede asociar a un grafo conexo formado por una serie de aristas representando tuberías, válvulas y bombas y una serie de vértices que representan los nodos de extracción del caudal, fuentes de abastecimiento o elementos de almacenamiento como embalses o depósitos. Un grafo es conexo si dos vértices cualesquiera del mismo pueden unirse mediante un trayecto, en un caso contrario se dice que el grafo es inconexo. Una malla o un ciclo es un conjunto de aristas conectados de tal forma que cuando se recorren unas tras otras, ningún vértice se repite hasta que se alcanza el vértice inicial [21].

Para la red de estudio el embalse y la PTAP son las únicas entradas a la red de distribución y en ellas el transporte de los tramos críticos de la red de distribución se realiza mediante tramos de tubería de AC y HF siendo esto una de las posibles causas de la pérdida de presión en la red; debido a las situaciones anteriormente descritas La ciudad de Los Patios se encuentra constantemente en un suministro de agua con intermitencia, abastecimiento a la población por sectores generados por cierres manuales de válvulas en la red y suministrando agua en cortos periodos de tiempo, algunos días de la semana. De igual forma como se observa en la Figura 1, la red cuenta con una gran cantidad de derivaciones de las redes mayores y principales, lo cual genera que el agua realice recorridos muy largos para llegar a los puntos más alejados de la ciudad. Es posible observar que la RDAP está conformada por una red mallada y con múltiples derivaciones en forma de redes ramificadas.

3. Análisis de resultados

Los objetivos trazados en la sectorización en la red de Los Patios se encaminaron a reducir el área de inspección para generar mayor eficacia en la identificación de puntos de fugas en las diferentes zonas de servicio propuestas; de igual forma, la sectorización hidráulica planteada busca permitir la

Inicialmente se logran identificar zonas comunes de presión en la red, esto nos da un indicio general de la variabilidad de sectores hidráulicos con el mismo valor de presiones. De acuerdo con la metodología descrita se analizaron todos los trayectos identificando los nodos iniciales y finales, la RDAP

regulación de presiones en toda la red con el fin de lograr la distribución de agua potable a todos los usuarios del servicio.

La red de Los Patios se alimenta de dos fuentes principales, el agua de estas se mezcla en determinados puntos y este proceso se realiza dependiendo de la ubicación, elevación y demanda de caudal en los nodos; la red original presenta una presión máxima de 91.2 metros columna de agua (mcaH2O), una presión media de 48.32 mcaH2O y una presión mínima de 0.74 mcaH2O. Se observan velocidades altas en la red mayores a 5.0 m/s y una velocidad media de 0.45 m/s. La modelación hidráulica de la red muestra una gran variedad en el rango de presiones. Existen zonas que tienen presiones bajas (entre 0 y 10 mcaH2O) y zonas con presiones elevadas (mayores a 60 mcaH2O). Estas variaciones generan pérdidas considerables en la RDAP y la empresa de servicios públicos debe implementar el abastecimiento por turnos de servicio para controlar las presiones, garantizar la demanda de agua a los usuarios y evitar las frecuentes roturas de tuberías. En la Figura 2 se muestran los resultados de presión en la hora de máxima demanda que, según el patrón de consumo de la red, a la hora 10:00 del día, resultados obtenidos con Epanet.

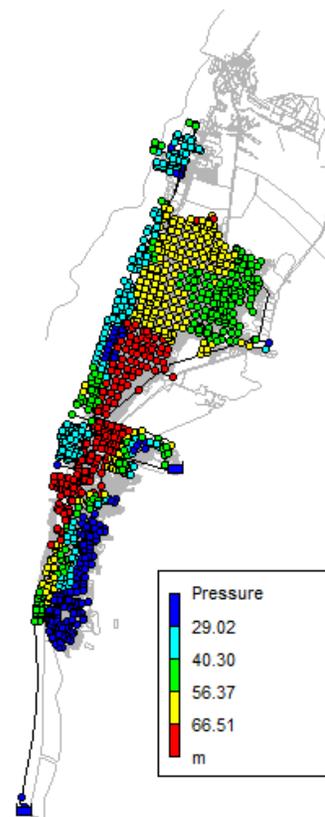


Figura 2. Presiones en la RDAP de Los Patios a la hora 10:00 del día. Fuente: Autores.

de Los Patios posee una gran parte formada en mallas se dificulta la identificación de posibles sectores alimentados desde la tubería de la red matriz.

Se analizaron cuatro posibles alternativas de sectorización. Las alternativas 1 y 2 se presentan como una sectorización de dos sectores en la red, en la alternativa 3 se proponen cinco

sectores hidráulicos y en la alternativa 4 se evalúa la posibilidad de implementar nueve sectores hidráulicos

independientes. En la Figura 3 se muestran las alternativas propuestas y cada sector se observa en un color diferente

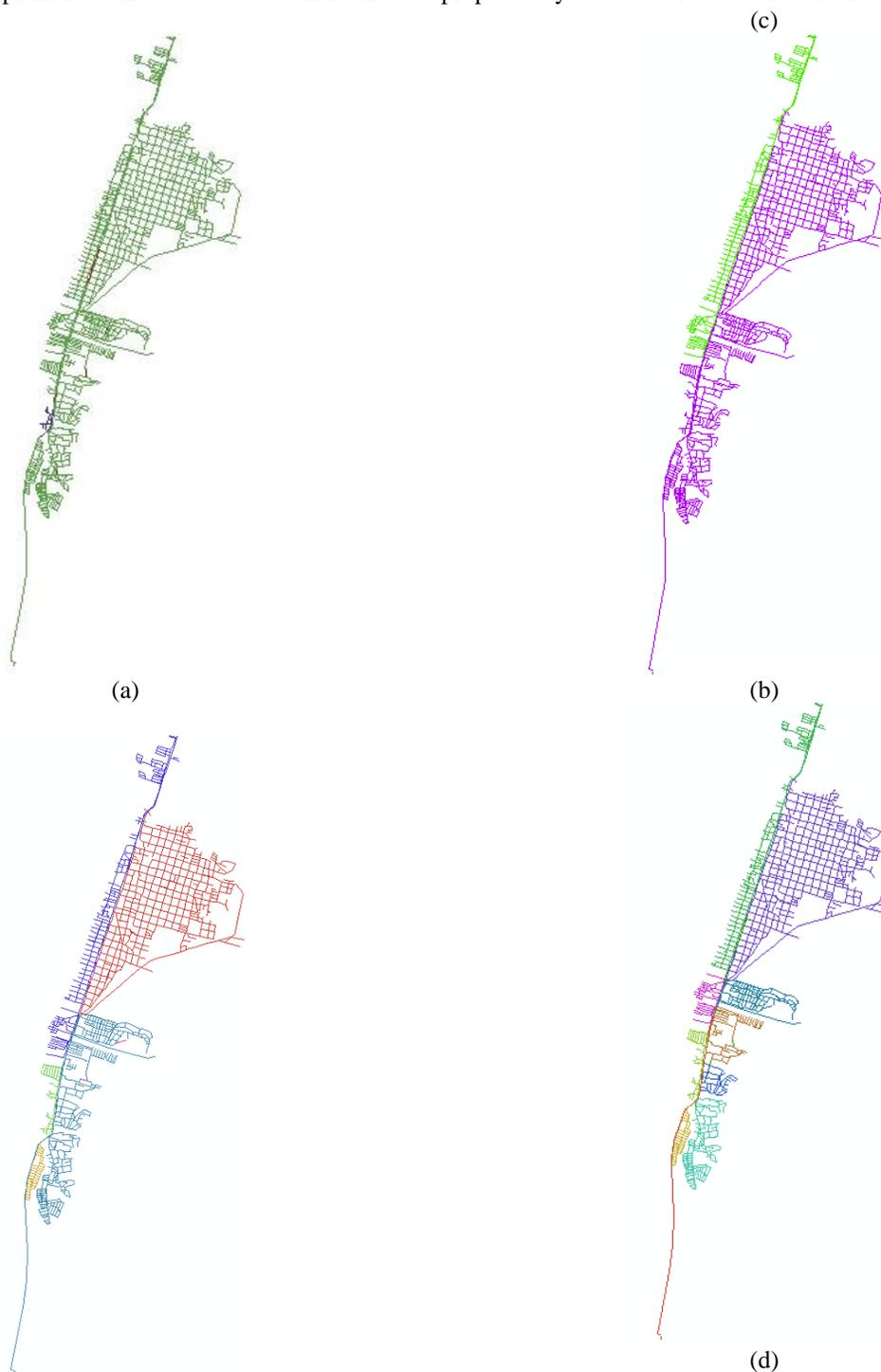


Figura 3. Propuestas de sectorización hidráulica para la RDAP de Los Patios (a) Alternativa 1, (b) Alternativa 2, (c) Alternativa 3, (d) Alternativa 4. Fuente: Autor(es).

El planteamiento de las alternativas se hizo de forma gradual, inicialmente se evaluaron dos opciones que dividieron la red en dos sectores (Figura 3a y Figura 3b). Luego se definieron las tuberías principales con el fin de aislar las redes de mayor diámetro como red matriz que alimenta los sectores propuestos, ubicando caudalímetros y válvulas de cierre en la

entrada de cada zona y se fue aumentando el número de sectores propuestos con el fin de reducir el tamaño de las áreas de cada sector hidráulico. Se evaluó la sectorización con cinco (Figura 3c) y nueve sectores (Figura 3d). La primera alternativa (Figura 3a) evalúa dos sectores hidráulicos, la presión máxima promedio por sector es de

110.0 mca H₂O y la presión mínima es 6.70 mca H₂O. Esta solución se considera poco eficiente y no optimiza la red, por el contrario, la presión promedio de la red aumenta en comparación con el modelo original. Adicionalmente uno de los sectores propuestos tiene un área muy pequeña en comparación con el otro sector, lo cual mostraría una diferencia amplia de demandas de caudal. La velocidad máxima promedio por sector es de 4.13 m/s, valor cercano al máximo permitido (velocidad < 5 m/s).

Para la segunda alternativa (Figura 3b), también se analizaron dos sectores hidráulicos, la división de áreas se realiza a partir de la vía principal de la ciudad, dejando un sector al oeste y otro al este. Los sectores mantienen una diferencia considerable en relación de tamaño. La presión máxima promedio por sector es de 129.88 mca H₂O, se necesitará implementar válvulas reductoras y/o reguladoras de presión. Se obtiene con esta configuración resultados de presión negativa en algunas horas del día, por lo cual algunos usuarios no serán abastecidos en algunos periodos de tiempo. La velocidad máxima promedio por sector es de 6.07 m/seg, mayor al límite permitido.

Las alternativas anteriores 1 y 2 generarían pocas intervenciones en la red, pero no se considera las opciones más viables por que muestran resultados que no representan una optimización de la red y no facilitan las futuras labores de prevención de fugas sobre la red principal que garanticen el suministro de agua en la RDAP del municipio Los Patios.

En la tercera y cuarta alternativa, se incorporaron las tuberías principales, de mayor diámetro, a los sectores hidráulicos ubicando caudalímetros y válvulas de cierre en la entrada de cada zona. En la tercera alternativa (Figura 3c), se propusieron 7 caudalímetros con sus válvulas de cierre y se obtuvo un resultado de cinco sectores hidráulicos. Se obtuvo una presión máxima promedio por sector de 104.09 mca H₂O y una presión mínima promedio por sector es de 16.94 mca H₂O. Los valores mínimos de presión garantizan el abastecimiento continuo de agua durante el día, sin interrupciones. Para los valores altos de presión (presión > 60 mca H₂O), será necesario instalar válvulas reductoras y/o reguladoras de presión en la entrada de cada sector, para realizar una gestión óptima de presiones. La velocidad máxima promedio por sector obtenida fue de 3.71 m/s.

En la última alternativa evaluada (Figura 3d), se analiza la opción de implementar nueve sectores hidráulicos independientes, se proponen 12 caudalímetros. La presión máxima promedio por sector es de 93.94 mca H₂O resultando el menor valor obtenido en comparación de las cuatro alternativas. La presión mínima promedio por sector es de 17.85 mca H₂O. La velocidad máxima promedio por sector es de 2.92 m/s. Se observa que esta alternativa presenta los mejores resultados en términos de presión y velocidad. El resumen de los parámetros analizados en cada alternativa se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen de parámetros en las alternativas propuestas.

Alternativa	Sectores hidráulicos	Presión mínima y máxima (mca H ₂ O)	Velocidad máxima (m/s)
1	2	6.70 - 110.00	4.13
2	2	P < 0.0 - 129.88	6.16
3	5	16.94 - 104.09	3.71
4	9	17.85 - 93.94	2.92

Al analizar los resultados obtenidos se observa que el planteamiento propuesto de nueve sectores hidráulicos en las RDAP de la ciudad de Los Patios permitiría mejorar los parámetros de presión y velocidad en cada sector, también se logra reducir el área total de la red en un número importante de zonas que podrán controlarse de forma más detallada para implementar y desarrollar acciones complementarias que permitan continuar con la optimización de la red.

Será necesario aislar las tuberías principales de la red para que funcionen como red matriz y de esta se realicen conexiones únicas que deriven a la entrada de cada sector propuesto, controlando así los volúmenes de agua abastecidos y las presiones de operación.

4. Conclusiones

Se planteó un análisis que permite observar el comportamiento de la RDAP de la ciudad de Los Patios, con el fin de seleccionar una alternativa viable de sectorización hidráulica, se evaluaron parámetros importantes como el tamaño de cada sector, buscando un mejor control hidráulico, el promedio de presiones máximas y mínimas y el promedio de velocidades máximas. Con estos parámetros se garantiza un buen estado de funcionamiento de la red.

De acuerdo con la evaluación multicriterio, teniendo en cuenta los objetivos que se buscan al momento de sectorizar una red de distribución de agua, se recomienda la alternativa cuatro (Figura 3d) que tiene nueve sectores en la red, cada sector tendría un promedio de 114 nodos. El rango de presiones esperado oscilaría entre 17.85 y 93.94 mca H₂O, valores aceptables pero que se pueden mejorar con la instalación de válvulas reductoras y/o reguladoras de presión en la entrada de cada sector. Se obtendrá una velocidad máxima promedio de 2.92 m/s.

Con este trabajo se logra demostrar que iDistritos es una herramienta útil y practica para definir sectores de demanda partiendo de un modelo de red en Epanet. Siendo el resultado un punto de partida para la optimización de una red de agua y que debe ser complementado con acciones relacionadas con la gestión óptima de presiones, la ubicación óptima de sensores en la red para implementar macro medición y monitorización de presión y caudal y la detección de fugas. Se hace indispensable al momento de ejecutar la idealización física de esta propuesta, implementar un sector piloto que permita plasmar en la red física cada sector y que logre funcionar de forma adecuada, mostrando que la continuidad

del abastecimiento de agua de una ciudad se puede mejorar con la sectorización hidráulica

Referencias

- [1] E. CAMPBELL GONZALEZ, "Propuesta para una metodología de sectorización de redes de abastecimiento de agua potable," 2014, [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/39139>
- [2] L. A. Rossmann, H. Woo, M. Tryby, F. Shang, and R. Janke, *Manual del usuario de EPANET 2.2*. EPA, US Environmental Protection Agency, 2002.
- [3] J. C. Gil Jaramillo, *Sistemas de distribución de agua con intermitencia de servicio. Gestión de demanda y optimización operacional*. 2009.
- [4] L. F. Sandoval, J. R. R. y Zurvia-Flores, and G. T. López, "La sectorización en redes de agua potable para mejorar su eficiencia hidráulica," *Ing. Hidráulica y Ambient.*, vol. 37, no. 2, pp. 29-43 p., 2016, Accessed: Jun. 01, 2023. [Online]. Available: <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/333>
- [5] M. E. Castro-Gama, Q. Pan, A. Jonoski, and D. Solomatine, "A Graph Theoretical Sectorization Approach for Energy Reduction in Water Distribution Networks," *Procedia Eng.*, vol. 154, pp. 19–26, Jan. 2016, doi: 10.1016/J.PROENG.2016.07.414.
- [6] S. Takahashi and S. Adachi Takeshi Takemoto Minoru Umeki, "Featured Articles Water Distribution Solution for More Efficient Operation of Water Supply," *Hitachi Rev.*, vol. 64, no. 9, 2015.
- [7] S. Hajebi, S. Temate, S. Barrett, A. Clarke, and S. Clarke, "Water Distribution Network Sectorisation Using Structural Graph Partitioning and Multi-objective Optimization," *Procedia Eng.*, vol. 89, pp. 1144–1151, Jan. 2014, doi: 10.1016/J.PROENG.2014.11.238.
- [8] P. Gómez, F. Cubillo, and F. J. Martín, "Comprehensive and Efficient Sectorization of Distribution Networks," *Procedia Eng.*, vol. 70, pp. 753–762, Jan. 2014, doi: 10.1016/J.PROENG.2014.02.082.
- [9] M. M. Rokstad and K. Van Laarhoven, "Technical note: Graph-theory-based heuristics to aid in the implementation of optimized drinking water network sectorization," *Drink. Water Eng. Sci.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–12, Jun. 2022, doi: 10.5194/DWES-15-1-2022.
- [10] R. A. Ospino, B. A. R. Valencia, and J. A. R. Valencia, "Sistema de adquisición de datos para el monitoreo de la calidad del agua a través de las variables de PH, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto," *Rev. Colomb. Tecnol. Av.*, vol. 1, no. 17, 2011, Accessed: Jun. 01, 2023. [Online]. Available: <https://ojs.unipamplona.edu.co/ojsviceinves/index.php/rcta/article/view/1979>
- [11] O. T. Vegas Niño, F. Martínez Alzamora, and V. G. Tzatchkov, "A Decision Support Tool for Water Supply System Decentralization via Distribution Network Sectorization," *Process. 2021, Vol. 9, Page 642*, vol. 9, no. 4, p. 642, Apr. 2021, doi: 10.3390/PR9040642.
- [12] A. D. Bonilla Granados, C. A., Tarazona Tobo, L. V. ., & Caicedo Calderón, "Análisis estadístico del consumo de agua potable residencial en Toledo, Colombia.," *BISTUA Rev. la Fac. Ciencias Básicas*, vol. 20(1), pp. 70–75, 2022, doi: <https://doi.org/10.24054/01204211.v1.n%25i.2022.1319>.
- [13] O. Vegas, F. Martínez Alzamora, and V. Tzatchkov, "iDistritos: Sectorización de modelos de redes hidráulicas de Epanet," *Rev. Hidrolatinoamericana Jóvenes Investig. y Prof.*, vol. 5, pp. 13–15, 2021, doi: 10.4995/Thesis/10251/33152.
- [14] D. D. J. Taylor, A. H. Slocum, and A. J. Whittle, "Demand Satisfaction as a Framework for Understanding Intermittent Water Supply Systems," *Water Resour. Res.*, vol. 55, no. 7, pp. 5217–5237, Jul. 2019, doi: 10.1029/2018WR024124.
- [15] J. E. Pesantez, E. Z. Berglund, and G. Mahinthakumar, "Geospatial and Hydraulic Simulation to Design District Metered Areas for Large Water Distribution Networks," *J. Water Resour. Plan. Manag.*, vol. 146, no. 7, p. 06020010, May 2020, doi: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001243.
- [16] B. M. Brentan, S. Carpitella, J. Izquierdo, E. Luvizotto, and G. Meirelles, "District metered area design through multicriteria and multiobjective optimization," *Math. Methods Appl. Sci.*, vol. 45, no. 6, pp. 3254–3271, Apr. 2022, doi: 10.1002/MMA.7090.
- [17] Ó. T. Vegas Niño, "Nuevas herramientas para la gestión técnica de redes de distribución de agua basadas en el modelo matemático y la topología de la red.," Universitat Politècnica de València, Valencia (Spain), 2023. doi: 10.4995/Thesis/10251/192474.
- [18] E. Anselmo and R. Arrieta, "Factores socio económicos y ambientales que afectan el desarrollo sostenible de la comunidad de Isla Grande," *Rev. Colomb. Tecnol. Av.*, vol. 1, no. 39, Aug. 2022, Accessed: Jun. 01, 2023. [Online]. Available: <https://ojs.unipamplona.edu.co/ojsviceinves/index.php/rcta/article/view/1420>
- [19] A. Yazdani and P. Jeffrey, "Complex network analysis of water distribution systems," *Chaos*, vol. 21, no. 1, Mar. 2011, doi: 10.1063/1.3540339/986125.
- [20] & T. Vegas, O., Martínez, F., "Aplicación de la teoría de grafos a la identificación de subsistemas hidráulicos en redes de distribución de agua," in *XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica Perú*, 2016, pp. 963–966.
- [21] O. T. Vegas Niño, "Herramientas de ayuda a la sectorización de redes de abastecimiento de agua basadas en la teoría de grafos aplicando distintos criterios," Nov. 2012, Accessed: Jun. 01, 2023. [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/18008>

BISTUVA

Revista de la Facultad de Ciencias Básicas

ISSN: 0120-4211 • ISSN-e: 2711-3027

Volumen 21 - No. 2 Año 2023

CUANTIFICACIÓN DE GLUCOSA Y CORTISOL COMO INDICADOR DE ESTRÉS EN EL PEZ BRYCON AMAZONICUS (YAMÚ) MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE CHOQUE TÉRMICO Y ANESTESIA

Glucose and cortisol quantification as an indicator of Stress in the fish Brycon amazonicus (Yamù) after Use of thermal shock and anesthesia

Sandra Liliana Martínez Castillo, Germán Giovany León Romero, Diana Agudelo Castro, Emily A Lugo, Natali Riveros. Páginas 9-12

OBTENCIÓN DE ENSILAJE BIOLÓGICO A PARTIR DE FERMENTACIÓN LÁCTICA DE RESIDUOS PESQUEROS

Obtaining biological silage from lactic fermentation of fish waste

Margarita Del Rosario Salazar Sánchez, Ingris Yohana Hernández-Martínez, Rodrigo Rene Cuello-Marín, Iris Karine Martínez Quintero, Jeannie Vilardy-Naranjo. Páginas 13-17

CITOTOXICIDAD DE LA OCRATOXINA A SOBRE LA PROPAGACIÓN CELULAR DE HEPG2

Ochratoxin A cytotoxicity on HepG2 cell propagation

Contreras-Altahona, Jaimes-Méndez, Gil-Durán, Rojas-Contreras. Páginas 18-23

FACTORES DE RIESGO DETERMINANTES EN LA TRANSMISIÓN DE LA INFECCIÓN POR EL VIRUS DE ZIKA EN EL MUNICIPIO DE CÚCUTA Y SU ÁREA METROPOLITANA.

Determining risk factors in the transmission of ZIKA virus infection in the Cúcuta municipality and its metropolitan area

Jenny Fernanda Espinosa, Edwar Alfredo Jaramillo, Omar Geovanny Perez Ortiz. Páginas 24-33

ASOCIACIÓN ENTRE FORMACIÓN VIRTUAL DURANTE CONFINAMIENTO COVID-19 Y SÍNTOMAS DE DEPRESIÓN, ANSIEDAD Y ESTRÉS EN ESTUDIANTES DE MEDICINA EN PRÁCTICAS CLÍNICAS POST PANDEMIA 2023

Association between virtual training during COVID-19 confinement and symptoms of depression, anxiety and stress in medical students in clinical practices post pandemic 2023

Maritza Lizbeth Maldonado Lizcano, Jorge Ivan Castaño Gutiérrez, Sherlyn Willoughby Diaz. Páginas 34-42

CRONOLOGÍA DE LA FORMACIÓN SHALE DE BAMBUCÁ Y SU POTENCIAL COMO ROCA GENERADORA, SECTOR OCCIDENTAL SUBCUENCA DE NEIVA – HUILA, COLOMBIA

Analysis of hydraulic sectorization in water distribution networks implementing Epanet and iDistritos Shale formation and its potential as source rock, western sector of the Neiva sub-basin – Huila, Colombia

Cora Salazar, Alejandra Mejía-Molina, Ingrid Muñoz. Páginas 43-52

Q-IDEALES Y Q-ALGEBRA NEUTROSÓFICA CUADRIparticionada

Quadripartitioned Neutrosophic Q-Ideals of Q-Algebra

Carlos Granados, Rakhal Das, Suman Das. Páginas 53-60

ANÁLISIS DE SECTORIZACIÓN HIDRÁULICA EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA IMPLEMENTANDO EPANET E IDISTRITOS

Analysis of hydraulic sectorization in water distribution networks implementing Epanet and iDistritos

Aura Liliana Flórez Sepúlveda, Carlos Alexis Bonilla Granados, Johnathan Celeita Molina. Páginas 61-67

Publicado: Junio - Diciembre/ 2023