

VARIABILIDAD DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA (ICO) Y DEL ÍNDICE DE CALIDAD (ICA) EN UN RÍO DE LA REGIÓN NORORIENTAL DE VENEZUELA

GUTIÉRREZ-VELÁSQUEZ ARGELIA¹, MARCANO-LÁREZ DAYANA*¹, MARÍN-JIMÉNEZ FERNANDO¹ & FERMÍN IVIS²

¹Universidad Politécnica Territorial del Oeste de Sucre “Clodosbaldo Russián” (UPTOS CR).
Autor de correspondencia: dayanamarcanol@gmail.com. <https://orcid.org/0009-0009-6935-3107>

¹Universidad Politécnica Territorial del Oeste de Sucre “Clodosbaldo Russián” (UPTOS CR).
gutierrezargelia23@gmail.com. <https://orcid.org/0009-0009-2460-3619>

¹Universidad Politécnica Territorial del Oeste de Sucre “Clodosbaldo Russián” (UPTOS CR).
marinjimenezfernando@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-8020-9397>

²Universidad de Oriente. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Cumaná, Sucre, Venezuela.
ivismarina@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-5255-6276>

RESUMEN: Se presenta los resultados de la variabilidad de los índices de contaminación del agua (ICO) y de calidad (ICA) en la cuenca hidrográfica del Manzanares, río de la región nororiental de Venezuela, en relación con las condiciones climatológicas durante el periodo 2005-2022. Las variables involucradas se midieron en quince estaciones distribuidas a lo largo de todo el sistema hidrográfico durante seis muestreos. Se realizó un ACP para validar la variabilidad de los índices aplicados y un análisis de conglomerado para distinguir similitudes entre las estaciones. La estimación de la calidad de las aguas a través de la aplicación del modelo ICA evidenció que la cuenca hidrográfica del río Manzanares presentó valores con criterios de calidad media en la cuenca alta; entre media y mala en la cuenca media y mala en la cuenca baja. Asimismo, el ICO reflejó contaminación por nutrientes, sólidos suspendidos, mineralización y por materia orgánica en toda la cuenca hidrográfica, pero con mayor énfasis en la subcuenca baja, considerándola como contaminada durante todo el periodo lluvioso, así como contaminada y muy contaminada durante el periodo de sequía de acuerdo a la categorización de RAMÍREZ *et al.* (1997). Se observó también que las concentraciones de algunos contaminantes disminuyen durante el periodo de lluvia, sin embargo, durante el estiaje los niveles de contaminación presente en el río se incrementan, indicando la persistencia en la contaminación sobre este cuerpo de agua. Se sugiere continuar el monitoreo ambiental y de control de las actividades antrópicas.

Palabras claves: agua fluvial, ICA, ICO, río Manzanares, Venezuela.

ABSTRACT: This paper presents the results of the variability of the water pollution index (WPI) and water quality index (WQI) in the Manzanares River basin, located in northeastern Venezuela, in relation to climatological conditions during the period 2005–2022. The variables involved were measured at fifteen stations distributed throughout the river system during six sampling periods. A principal component analysis (PCA) was performed to validate the variability of the applied indices, and a cluster analysis was conducted to identify similarities among the stations. The water quality estimation using the WQI model showed that the Manzanares River basin exhibited values meeting criteria for medium quality in the upper basin; medium to poor quality in the middle basin; and poor quality in the lower basin. The ICO also reflected contamination by nutrients, suspended solids, mineralization, and organic matter throughout the watershed, but with greater emphasis on the lower sub-basin, which was considered contaminated throughout the rainy season, as well as contaminated and highly contaminated during the dry season, according to the categorization of RAMÍREZ *et al.* (1997). It was also observed that the concentrations of some pollutants decrease during the rainy season; however, during the dry season, the levels of contamination present in the river increase, indicating the persistence of pollution in this water body. Continued environmental monitoring and control of human activities are recommended.

Keywords: river water, ICA, ICO, Manzanares River, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

El agua constituye un recurso natural esencial, dotado de significativos valores sociales, económicos y ecológicos, cuya disponibilidad incide directamente en la sostenibilidad de la vida humana (ZHANG 2017;

KUMAR 2018; CHIDIAC *et al.* 2023). Según PAUN *et al.* (2016), las principales fuentes de abastecimiento de agua potable a nivel global comprenden los cuerpos hídricos superficiales y los acuíferos subterráneos, los cuales representan componentes estratégicos para la gestión integrada de recursos hídricos. En este contexto, los sistemas fluviales adquieren una relevancia crítica como vectores de restauración ecológica y del desarrollo socioeconómico en diversas regiones (PANNEERSELVAM *et al.* 2022).

En las últimas décadas, las dinámicas antrópicas tales como la industrialización intensiva, la expansión urbana desordenada y el incremento acelerado de la densidad poblacional han generado alteraciones sustanciales en el ciclo hidrológico natural, promoviendo variaciones significativas en la calidad de las aguas superficiales (BURBANO-SALAS *et al.* 2024). Estas perturbaciones pueden comprometer gravemente el equilibrio de los ecosistemas acuáticos y propiciar la infiltración de contaminantes hacia los sistemas de aguas subterráneas, lo que representa un riesgo potencial para la salud pública (ARROYO-ORTEGA *et al.* 2024).

La calidad de las aguas es una variable descriptora fundamental del medio hídrico, desde el punto de vista de su caracterización ambiental y desde la perspectiva de la planificación y gestión hidrológica, la cual delimita los usos del agua para mantener los ecosistemas y atender las diferentes demandas manteniendo unos determinados objetivos de calidad ecológica (SÁNCHEZ *et al.* 2025; GUTIÉRREZ 2022). Las características fisicoquímicas y microbiológicas constituyen indicadores fundamentales de niveles de contaminación en la dinámica de los cuerpos de agua (ARIZA-RESTREPO *et al.* 2023).

En este sentido, la prevención, control y resolución de los problemas derivados de la contaminación de las aguas, constituye uno de los objetivos primordiales que deben plantearse en cualquier política avanzada de gestión de los recursos hídricos. Contar con agua de alta calidad se vincula directamente a indicadores de salud y crecimiento económico, influyendo así en el bienestar humano y el desarrollo sostenible (CHAVES-CHAVES 2025).

Tradicionalmente, además de la comparación individual de parámetros analíticos con normativas vigentes, se utilizan otras metodologías para evaluar la calidad del agua tal como la aplicación de índices de calidad del agua (VALDÉS *et al.* 2011, GONZÁLEZ 2017). Estos índices consisten en expresiones matemáticas que permiten realizar valoraciones complejas representativas del estado general de conservación de un curso de agua a partir de parámetros altamente correlacionados con usos o funciones ecosistémicas específicas (TORRES *et al.* 2009; ABBASI & ABBASI 2012), lo que facilita simplificar el cálculo e interpretación de un conjunto de variables cuantitativas a una sola de tipo cualitativa y ordinal, en forma de número, rango, descripción verbal, símbolo o color representativa de la realidad analizada (SAMBONI *et al.* 2007; DEVETAC *et al.* 2025).

CHIDIAC *et al.* (2023) señalan que los índices de calidad de agua (ICA) y los índices de contaminación (ICO), han sido ampliamente utilizados a nivel internacional, destacando que los tres países con mayor número de estudios en este ámbito han sido: China, India y USA; seguido por Irán, Brasil, Italia, Malasia, España y Turquía; resaltando que la India a pesar de ser un país en desarrollo, invierte esfuerzos en los avances sobre protección de la calidad del agua a pesar de carecer de un fuerte poder económico, tecnología de vanguardia y un equipo de investigación científica de primer nivel.

En Venezuela, una proporción elevada de los ríos se encuentran intervenidos como consecuencia del crecimiento urbanístico no planificado y diversificación de las actividades antrópicas. Esta situación ha generado la transformación del paisaje natural de las cuencas (RODRÍGUEZ-OLARTE 2017) y se evidencia en la fragmentación de los bosques, destrucción de los hábitats, disminución de la diversidad biológica y, por ende, en la pérdida de la integridad biótica y la disminución en la oferta de servicios ambientales (agua, alimento, recursos forestales, entre otros); sin embargo, es poca la información disponible sobre el estado actual de la mayoría de sus ecosistemas fluviales (BARRIOS-GÓMEZ *et al.* 2018).

Al nororiente del país, se encuentra el río Manzanares, uno de los afluentes que deposita sus aguas en el golfo de Cariaco. Durante décadas, se han realizado numerosos trabajos de investigación, algunos de ellos los publicados por: SENIOR (2000), MARTÍNEZ *et al.* (2001), GUTIÉRREZ (2005, 2022), MEDINA *et al.* (2013), FERMÍN (2015), SALAZAR *et al.* (2018), MÁRQUEZ *et al.* (2019), MARÍN-JIMÉNEZ *et al.* (2024), MARCANO-LÁREZ *et al.* (2024), MÁRQUEZ & LEMUS (2025), MÁRQUEZ & BENÍTEZ (2025), entre otros. A diferencia de los ríos Guarapiche, Aroa, Patanemo, Morón y Yaracuy, cuya calidad de agua ha sido evaluada mediante la aplicación de metodologías estandarizadas como el Índice de Calidad del Agua (ICA) y el Índice de Contaminación del Agua (ICO), el río Manzanares no ha sido objeto de análisis bajo estos enfoques. Esta ausencia metodológica limita la posibilidad de establecer comparaciones directas y dificulta la interpretación integrada del estado ambiental de sus aguas superficiales en relación con otras cuencas hidrográficas de Venezuela. Tanto los ICA como los ICO permiten el análisis multiparamétrico en periodos estacionales distintos, evidenciando si el estado de degradación ambiental de este ecosistema se ha incrementado o disminuido a través del tiempo, proporcionando una visión de los fenómenos medioambientales mediante su correcta aplicación (CHAVARRO & GELVEZ 2016).

Con la implementación de los ICA e ICO, se pretende analizar la variabilidad de la calidad del agua del río Manzanares, permitiendo identificar posibles fuentes de contaminación y el impacto de actividades humanas en toda su cuenca hidrográfica, considerando que en el contexto del cambio climático, donde los patrones de lluvia y temperatura alteran la dinámica de los ríos, el monitoreo de la calidad del agua es una práctica sostenible que protege el medio ambiente y asegura la resiliencia de las comunidades frente a futuros desafíos ecológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La cuenca del río Manzanares se encuentra ubicada en el Estado Sucre, Venezuela (Figura 1). Tiene su origen en el macizo oriental de la cordillera de costa, conocido como Serranía del Turimiquire, a una altitud de 2300 m.s.n.m. Fluye a lo largo de 81 Km de longitud y tiene un área aproximada de 1625 Km²

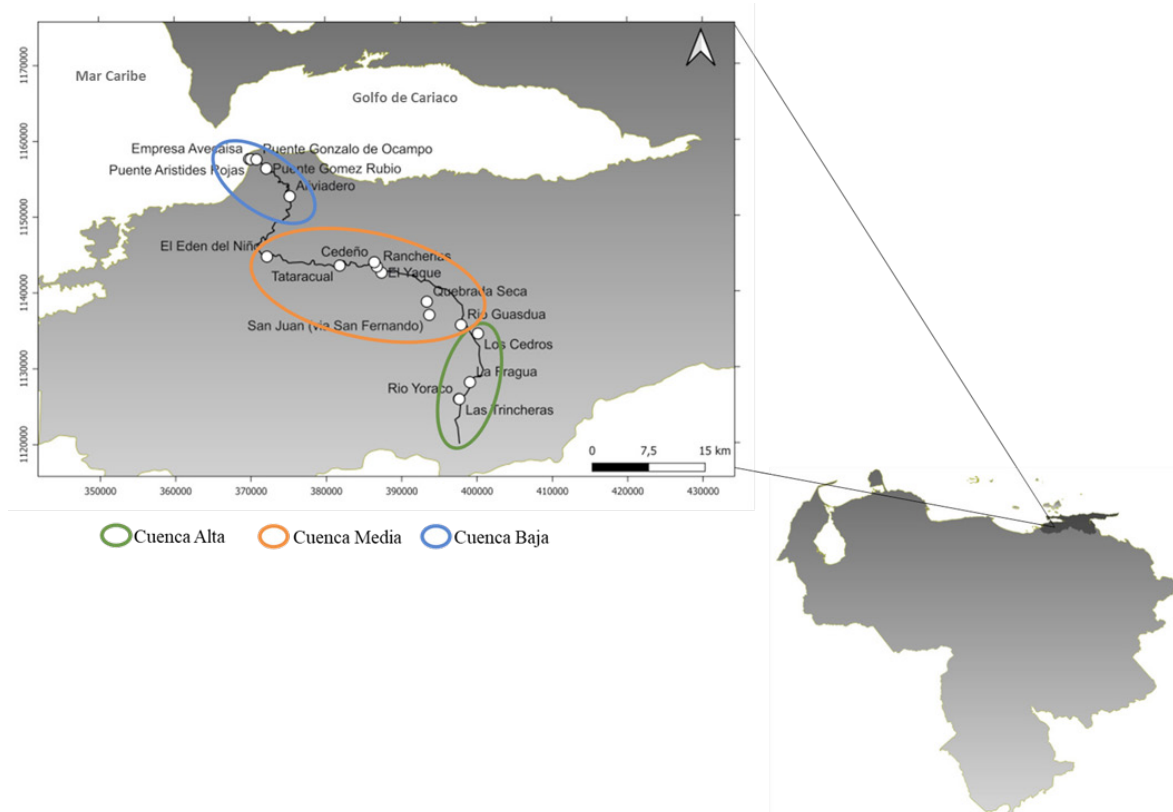


Fig. 1. Ubicación geográfica del río Manzanares, Cumaná, estado Sucre, Venezuela.

(PINTO 2012). Este río forma parte, junto con los ríos Neverí y Guarapiche, del sistema fluvial de la Costa Oriental venezolana. Ha sido un elemento crucial tanto en la fundación como en la consolidación de la ciudad de Cumaná, destacando su importancia en la actividad pesquera (GUTIÉRREZ 2022). Recibe por su margen derecha 9 ríos, 13 riachuelos y quebradas, y por el izquierdo, 14 ríos principales y 6 secundarios, constituyendo una cuenca aislada perteneciente a la gran cuenca del Caribe (AGUILERA *et al.* 1987). La cuenca se ha dividido en secciones (alta, media y baja) con base a diferencias determinadas por el gradiente altitudinal (SENIOR *et al.* 2004; FERMÍN 2015; SALAZAR *et al.* 2018; MÁRQUEZ *et al.* 2019; GUTIÉRREZ 2022; MARÍN-JIMÉNEZ *et al.* 2024; MARCANO-LÁREZ *et al.* 2024; MÁRQUEZ & LEMUS 2025).

A partir de la metodología propuesta por la NATIONAL SANITATION FOUNDATION (NSF) (1970) y descrita por OTT (1978), se estableció la calidad del agua de la cuenca hidrográfica río Manzanares, mediante la aplicación del ICA. Asimismo, se determinaron los ICO propuestos por RAMÍREZ *et al.* (1997) (ICOMI, ICOSUS, ICOTRO, ICOMO) para valorar la contaminación en la cuenca. La determinación de los parámetros (pH, temperatura, sólidos totales, oxígeno disuelto, coliformes fecales, DBO₅, DQO, nitratos, fosfatos y turbidez) involucrados en el cálculo de los índices, se llevó a cabo considerando la metodología propuesta en APHA-AWWA-WEF (2012), durante los periodos seco y lluvioso de los años 2005, 2022; seco 2014 y lluvioso 2016 respectivamente en 15 estaciones debidamente georreferenciadas con un equipo GPS Garmin modelo Oregon 450, cuyo posicionamiento se muestra en la TABLA 1.

ICA

Para calcular el índice ICA se utiliza una suma lineal ponderada de los subíndices (WQIa) o una función ponderada de agregación producto (QWIm). La primera agregación se expresa matemáticamente como sigue (OTT 1978):

$$WQIa = \sum_{i=1}^n w_i I_i \text{ (Ec.1)}$$

Dónde: WQI: Índice de Calidad de Agua; W_i: Peso de importancia asignado a las variables, I_i: Valor del subíndice para la variable determinado a partir de la gráfica de función para cada parámetro y n: número de variable involucrada. Los parámetros y sus ponderaciones para el cálculo del WQI se muestran en la TABLA 2.

TABLA 1. Georreferenciación de las estaciones muestreadas en las subcuencas alta, media y baja del río Manzanares.

Subcuenca	Estación	Localizado en:	Longitud(Grad)	Latitud (Grad)
A	1	Yoraco	63,9347	10,1833
	2	La Fragua	63,9214	10,2033
	3	Los Cedros	63,9117	10,2614
	4	Río Guasdua	63,9322	10,2717
	5	Río Arena	63,2907	10,9342
	6	Quebrada Seca	63,9736	10,2994
M	7	Rancherías	64,0341	10,3412
	8	Tataracual	64,0791	10,3424
	9	El Edén del Niño	64,1672	10,3531
	10	Aliviadero	64,1500	10,1833
B	11	Puente Gómez Rubio	64,1681	10,4581
	12	Puente Raúl Leoni	64,1800	10,4689
	13	Mercado Municipal	64,1856	10,4697
	14	Puente Aristides Rojas	64,1889	10,4694
	15	Desembocadura	64,1130	10,2814

A: alta; M: media; B: baja

Para el cálculo del subíndice de calidad de agua, se emplearon las curvas de función correspondientes de cada una de las variables estudiadas propuestas por OTT (1978). Las cifras obtenidas del ICA, permiten la comparación directa entre la calidad de distintas masas de aguas o entre distintos tramos de la misma masa de agua, es decir, aguas arriba y aguas abajo. Asociado al valor numérico del ICA, se definen los rangos de calidad del agua en la TABLA 3.

ICO

La aplicación de los Índices de Contaminación (ICO) por mineralización (ICOMI), sólidos suspendidos (ICOSUS), trofia (ICOTRO) y por materia orgánica (ICOMO) se llevó a cabo mediante la aplicación de ecuaciones establecidas y propuestas por RAMÍREZ *et al.* (1997), las cuales se definen de la siguiente forma:

Índice de contaminación por mineralización (ICOMI): agrupa la medición de la conductividad, reflejando la cantidad de sólidos disueltos en el agua, la dureza determinada por la concentración de cationes de calcio y magnesio, y la alcalinidad, que se expresa en los niveles de aniones de carbono y bicarbonato.

$$ICOMI = \frac{1}{3} (I_{\text{Conductividad}} + I_{\text{Dureza}} + I_{\text{Alcalinidad}}) \text{ (Ec. 2)}$$

Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS): este indicador se fundamenta en la cantidad de partículas sólidas, tanto orgánicas como inorgánicas, que se encuentran en suspensión dentro de una solución.

$$ICOSUS = -0,02 + 0,003 \text{ Sólidos suspendidos (Ec. 3)}$$

Índice de Contaminación Trófico (ICOTRO): se establece a partir de la concentración de fósforo total, expresada en miligramos por litro ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Los rangos de clasificación son: oligotrófico ($< 0.01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), mesotrófico ($0.01 - 0.02 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), eutrófico ($0.02 - 1.00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e hipertrófico ($> 1.00 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO): se seleccionaron demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), coliformes totales y porcentaje de saturación de oxígeno.

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{\text{DBO}} + I_{\text{Coliformes totales}} + I_{\text{oxigenos\%}}) \text{ (Ec. 4)}$$

En la tabla 4, se muestra la significancia de los índices de contaminación descritos.

Análisis estadístico

Para organizar los datos obtenidos en los distintos muestreos y aplicar posteriormente las metodologías ICA e ICO en cada estación, se empleó estadística descriptiva basada en las concentraciones de los parámetros establecidos. Esta herramienta permitió determinar la calidad del agua y el grado de contaminación del río Manzanares, facilitando la comparación de los resultados con los criterios definidos en

TABLA 2. Parámetros y sus ponderaciones para el cálculo del WQI.

Variable	Ponderación (Wi)
Oxígeno Disuelto	0,17
Coliformes fecales	0,15
pH	0,12
DBO_5	0,10
Nitrato	0,10
Fosfatos	0,10
Temperatura	0,10
Turbiedad	0,08
Sólidos totales	0,08

la GACETA OFICIAL DE VENEZUELA (1995), la cual establece los parámetros y límites permisibles para cuerpos de agua y vertimientos en el país. Además, se realizó un análisis de componentes principales y un análisis de conglomerados utilizando el paquete estadístico PAST4 para validar la variabilidad de los índices de contaminación y calidad aplicados en el ecosistema y definir grupos de estaciones con comportamiento ambiental similar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La calidad de las aguas de ríos ha sido monitoreada por muchos años en diferentes partes del mundo (HIM *et*

TABLA 3. Descriptores y colores propuestos para presentar el índice general ICA.











Descriptores	Ámbito numérico	Color
Muy malo	0-25	
Malo	26-50	
Medio(regular)	51-70	
Bueno	71-90	
Excelente	91-100	

TABLA 4. Significancia de los ICO's descritos por RAMÍREZ *et al.* (1997).

ICO	Grado de Contaminación	Color
0-0,2	Ninguna	
>0,2-0,4	Baja	
>0,4-0,6	Media	
>0,6-0,8	Alta	
>0,8-1	Muy alta	

al. 2025). En la TABLA 5, se presentan algunos parámetros fisicoquímicos determinados en aguas de la cuenca hidrográfica del río Manzanares para el presente estudio.

Para detectar la contaminación de aguas se usan parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Entre los fisicoquímicos destacan el pH, la temperatura, conductividad y los sólidos disueltos totales (SDT), los cuales dan una idea de algunos problemas que puedan tener los cuerpos de agua; aunque existen otros de igual o mayor importancia como son el oxígeno disuelto, el DBO, DQO, entre otros. En los microbiológicos, tradicionalmente se han utilizado a los coliformes totales y fecales, siendo estos últimos la norma a seguir (GIL *et al.* 2013; HIM *et al.* 2025). A partir de estos valores, se calcularon los ICA e ICO para estimar el impacto generado por las actividades domésticas, sociales y económicas tales como la agricultura, extracción de arena, entre otras, en virtud de que los ríos muchas veces son utilizados como depósitos de una gran cantidad de residuos (CARMEN-MUNAYCO *et al.* 2025).

ICA

La Fig. 2, muestra la representación de los valores ICA para cada una de las estaciones estudiadas en el 2005, observándose que la cuenca alta presenta un ICA entre 49 y 65 para la época de sequía y entre 42 y 65 para la época de lluvia, correspondiendo los bajos valores a la estación 5 (río Guasdua), cuyas diferencias en la calidad de las aguas durante estos dos periodos climáticos, reflejan un mayor deterioro durante la época de lluvia, presentando característica mala (contaminada). Por su parte, la cuenca media presenta mejores características en la calidad de sus aguas durante la época de sequía; con respecto al periodo lluvioso de ese mismo año, presentando valores ICA entre 59 y 65 para la época de sequía y entre 56 y 64 para la época de lluvia, manteniendo características de calidad media, es decir, aguas que podrían ser acondicionadas para su consumo. No obstante, la cuenca baja exhibe aumento en la calidad de sus aguas en la época de sequía; mientras que para la época de lluvia el deterioro es más notorio con características de mala, presentando valores ICA inferiores a 50. Es de resaltar, el aumento del ICA en las aguas de esta subcuenca a medida que se desplaza hacia el medio marino, incrementándose de contaminada en la desembocadura a regular y con tendencia a buena en la zona marino costera durante la época de sequía; alcanzando valores ICA cercanos a 70, es decir, aguas destinadas para el contacto humano según lo descrito en la normativa venezolana (GACETA OFICIAL DE VENEZUELA 1995).

Seguidamente, en la Fig. 3, se muestra la representación de los valores ICA para cada una de las estaciones estudiadas del río Manzanares para el periodo sequía 2014 y lluvia 2016, en la cual se observa

TABLA 5. Parámetros fisicoquímicos determinados en aguas de la cuenca hidrográfica del río Manzanares para el presente estudio

PERÍODO DE SEQUÍA AÑO 2005												
C.ALTA	Estación	pH	T(°C)	ST(mg·L ⁻¹)	OD(mg·L ⁻¹)	CF(NMP/100)	DBO ₅ (mg·L ⁻¹)	NO ₃ (mg·L ⁻¹)	PT(mg·L ⁻¹)	NTU	DQO(mg·L ⁻¹)	
1	Yoraco	8,54	22,2	291,3	8,35	1,3E3	13,22	7,40	0,93	3,8	19,15	
2	Fragua	8,52	25,3	293,0	8,75	9,1E4	14,14	7,65	1,29	2,2	20,22	
3	Cedros	8,48	25,3	286,5	8,67	2,75E3	15,96	7,45	1,02	4,5	22,56	
4	Guasdua	7,77	27,1	328,5	4,58	5,49E4	20,63	60,73	2,03	5,1	44,59	
5	R.Arenas	7,84	25,5	308,5	7,50	4,57E4	15,46	45,21	1,47	3,1	21,75	
C.MEDIA	Estación	pH	T(°C)	ST(mg·L ⁻¹)	OD(mg·L ⁻¹)	CF(NMP/100)	DBO ₅ (mg·L ⁻¹)	NO ₃ (mg·L ⁻¹)	PT(mg·L ⁻¹)	NTU	DQO(mg·L ⁻¹)	
6	Quebrada S	7,70	26,7	434,7	6,63	1,34E3	13,44	30,21	2,19	4,4	19,62	
7	Rancherías	7,95	26,3	265,7	8,62	3,23E3	18,85	18,64	1,28	5,1	26,65	
8	Tataracual	8,28	25,2	320,9	8,64	6,3E2	17,33	5,64	0,54	3,6	26,19	
9	Eden Del N.	8,16	29,9	283,5	8,07	1,38E3	15,59	4,96	0,75	5,5	29,28	
10	Aliviadero	7,77	30,2	317,1	8,30	4,17E3	19,55	16,70	0,67	9,3	28,97	
C.BAJA	Estación	pH	T(°C)	ST(mg·L ⁻¹)	OD(mg·L ⁻¹)	CF(NMP/100)	DBO ₅ (mg·L ⁻¹)	NO ₃ (mg·L ⁻¹)	PT(mg·L ⁻¹)	NTU	DQO(mg·L ⁻¹)	
11	P.Gómez R	7,62	27,7	117,1	6,44	7,58E4	18,74	26,02	0,15	5,1	30,07	
12	Pte. Raúl L	7,62	27,3	293,9	5,43	1,29E4	20,43	15,48	0,30	4,8	41,03	
13	Mercado	7,72	27,1	406,4	5,36	2,24E4	21,66	18,37	0,19	7,2	36,03	
14	P.Aristides R	7,65	27,2	609,6	5,35	3,23E4	20,55	14,26	2,06	7,5	42,38	
15	Desemboc.	7,73	26,8	751,3	5,46	2,57E4	20,70	14,76	2,70	6,8	33,39	
PERÍODO DE LLUVIA AÑO 2005												
C.ALTA	Estación	pH	T(°C)	ST(mg·L ⁻¹)	OD(mg·L ⁻¹)	CF(NMP/100)	DBO ₅ (mg·L ⁻¹)	NO ₃ (mg·L ⁻¹)	PT(mg·L ⁻¹)	NTU	DQO(mg·L ⁻¹)	
1	Yoraco	8,43	21,4	244,0	7,49	316,22	18,45	0,1232	0,80	7,3	27,32	
2	Fragua	8,45	21,62	262,9	7,47	8,7E3	19,29	0,1353	0,97	7,6	28,08	
3	Cedros	8,55	23,4	270,4	7,37	4,57E3	21,49	0,1271	0,83	13,6	32,55	
4	Guasdua	7,27	25,2	448,9	3,23	5,01E4	32,05	0,4391	0,66	25,4	60,36	
5	R.Arenas	7,79	23,7	352,5	6,64	9,12E3	21,41	0,1065	0,46	24,4	32,6	
C.MEDIA	Estación	pH	T(°C)	ST(mg·L ⁻¹)	OD(mg·L ⁻¹)	CF(NMP/100)	DBO ₅ (mg·L ⁻¹)	NO ₃ (mg·L ⁻¹)	PT(mg·L ⁻¹)	NTU	DQO(mg·L ⁻¹)	
6	Quebrada S	7,61	25,7	303,2	6,31	3,8e3	21,58	0,1220	1,24	31,5	34,72	
7	Rancherías	7,92	26,7	351,4	7,66	2,81e4	18,44	0,1650	1,28	38,6	29,67	
8	Tataracual	8,20	27,04	299,2	7,26	1,73e4	22,52	0,1937	0,76	66,4	35,22	
9	Eden Del N.	8,24	27,4	191,6	7,73	6,76e3	25,69	0,1305	0,43	63,2	37,36	
10	Aliviadero	7,77	29,0	362,2	7,26	7,41e3	26,66	0,056	0,20	31,8	43,4	
C.BAJA	Estación	pH	T(°C)	ST(mg·L ⁻¹)	OD(mg·L ⁻¹)	CF(NMP/100)	DBO ₅ (mg·L ⁻¹)	NO ₃ (mg·L ⁻¹)	PT(mg·L ⁻¹)	NTU	DQO(mg·L ⁻¹)	
11	P.Gómez R	7,41	28,1	272,7	6,44	1,44E4	25,32	0,1756	0,25	63,4	41,0	
12	Pte.Raúl L	7,57	28,7	344,4	5,43	1,23E4	39,07	0,1529	0,32	38,2	53,57	
13	Mercado	7,78	28,6	398,1	5,36	9,55E3	22,92	0,1430	0,46	58,1	44,11	
14	P.Aristides R	7,68	28,5	514,9	5,35	5,24E3	25,15	0,1747	0,78	55,2	49,26	
15	Desemboc.	7,67	28,5	564,0	5,46	1,38E5	24,4	0,1658	0,35	49,2	48,20	
PERÍODO DE SEQUÍA AÑO 2014												
C.ALTA	Estación	pH	T(°C)	ST(mg·L ⁻¹)	OD(mg·L ⁻¹)	CF(NMP/100)	DBO ₅ (mg·L ⁻¹)	NO ₃ (mg·L ⁻¹)	PT(mg·L ⁻¹)	NTU	DQO(mg·L ⁻¹)	
1	Yoraco	8,24	21,51	153	7,47	45,82	10,12	0,039	0,055	5,7	18,35	
2	Fragua	8,24	21,52	157	7,40	578,75	18,90	0,036	0,045	3,9	29,14	

3	Cedros	8,05	25,37	159	6,83	4,04E5	13,52	0,040	0,062	4,1	23,62
4	Guasdúa	8,16	25,13	170	6,87	2,99E5	16,86	0,058	0,051	6,2	22,67
5	R.Arenas	7,91	25,77	157	6,53	2,15E4	11,48	0,042	0,023	3,3	23,25
C.MEDIA Estación											
	Quebrada S	8,15	25,33	198	6,33	2,52E4	16,44	0,162	0,112	7,3	28,78
7	Rancherías	8,34	28,12	180	6,78	3,96E4	14,95	0,038	0,052	10,1	34,68
8	Tataracual	8,21	28,25	146	7,19	2,27E3	17,72	0,055	0,049	14,4	31,22
9	Eden Del N.	8,35	28,22	197	6,69	7,64E3	17,89	0,046	0,045	17,9	35,45
10	Aliviadero	7,89	28,33	180	6,54	1,19E4	20,57	0,250	0,075	23,7	52,01
C.BAJA Estación											
11	P.Gómez R	7,25	20,30	154	4,55	6,69E4	25,14	0,165	0,033	23,4	53,68
12	Pte.Raúl L	7,09	28,9	150	4,62	1,12E5	27,27	0,062	0,064	25,7	72,97
13	Mercado	7,44	28,9	255	4,86	4,62E4	29,72	0,128	0,033	24,3	78,02
14	P.Aristides R	7,48	28,5	186	5,63	1,08E5	36,15	0,114	0,044	22,4	98,60
15	Desemboc.	7,62	20,9	251	5,47	1,33E5	32,19	0,257	0,014	37,8	69,27
PERÍODO DE LLUVIA AÑO 2016											
C.ALTA Estación											
1	Yoraco	8,33	23,75	192	7,87	129,19	14,17	0,074	0,082	0,32	25,2
2	Fragua	8,31	23,95	193	7,42	7,84E3	14,61	0,079	0,069	0,37	32,6
3	Cedros	8,19	24,69	204	7,47	4,45E4	16,96	0,078	0,068	0,29	23,4
4	Guasdúa	7,65	25,96	234	7,30	3,16E4	16,90	0,082	0,079	0,65	26,3
5	R.Arenas	7,69	28,79	194	7,37	3,93E4	17,86	0,099	0,071	0,65	22,2
C.MEDIA Estación											
6	Quebrada S	7,74	26,34	273	6,90	4,17E4	22,50	0,075	0,132	1,11	23,5
7	Rancherías	7,94	26,24	265	7,17	6,09E4	18,55	0,096	0,096	2,23	27,6
8	Tataracual	7,89	26,41	228	7,47	2,88E4	19,64	0,087	0,093	1,04	33,4
9	Edén Del N.	7,30	25,64	239	7,20	1,87E4	18,32	0,099	0,098	0,99	47,4
10	Aliviadero	7,27	27,54	248	5,67	5,69E4	19,84	0,143	0,130	2,26	47,5
C.BAJA Estación											
11	P.Gómez R	7,07	26,66	253	4,47	3,04E5	19,24	0,043	0,177	0,85	64,1
12	Pte.Raúl L	7,09	26,90	225	4,30	1,53E6	22,63	0,042	0,128	0,93	56,2
13	Mercado	7,39	27,0	252	4,37	4,51E5	30,26	0,040	0,141	1,24	40,1
14	P.Aristides R	7,15	27,06	237	4,23	4,66E5	33,75	0,058	0,137	1,43	72,1
15	Desemboc.	7,59	27,66	1130	4,23	6,03E5	30,63	0,047	0,031	2,11	35,2
PERÍODO DE SEQUÍA AÑO 2022											
C.ALTA Estación											
1	Yoraco	7,85	22,6	325	6,91	6,73E2	17,13	0,054	0,069	4,21	28,64
2	Fragua	7,11	22,0	240	6,76	4,58E4	20,16	0,049	0,053	4,18	33,71
3	Cedros	7,59	23,3	266	6,48	2,03E5	24,52	0,058	0,058	4,08	41,02
4	Guasdúa	8,17	24,2	348	6,35	1,77E5	44,35	0,115	0,076	5,37	74,16
5	R.Arenas	7,96	23,8	199	6,42	3,36E4	21,20	0,056	0,064	4,25	35,45

C..MEDIA	Estación	pH	T(°C)	ST(mg·L ⁻¹)	OD(mg·L ⁻¹)	CF(NMP/100)	DBO ₅ (mg·L ⁻¹)	NO ₃ (mg·L ⁻¹)	PT(mg·L ⁻¹)	NTU	DQO(mg·L ⁻¹)
6	Quebrada S	7,49	26,5	306	6,28	1,33E4	31,3	0,125	0,113	8,65	53,50
7	Rancherías	8,19	28,4	274	6,95	2,17E4	23,7	0,086	0,135	9,26	40,51
8	Tataracual	8,27	28,8	250	6,98	1,45E3	24,9	0,090	0,102	15,3	42,56
9	Edén Del N.	8,45	29,4	248	6,76	4,49E3	18,9	0,074	0,098	14,2	32,31
10	Aliviadero	7,92	30,1	364	6,83	8,04E3	34,0	0,225	0,143	19,2	58,12
C.BAJA	Estación	pH	T(°C)	ST(mg·L⁻¹)	OD(mg·L⁻¹)	CF(NMP/100)	DBO₅(mg·L⁻¹)	NO₃(mg·L⁻¹)	PT(mg·L⁻¹)	NTU	DQO(mg·L⁻¹)
11	P.Gómez R	7,75	32,3	352	5,12	7,14E4	34,6	0,362	0,150	35,2	86,07
12	Pte.Raúl L	7,90	30,9	360	5,23	6,24E4	34,8	0,197	0,142	40,2	86,57
13	Mercado	8,12	29,5	347	5,34	3,43E4	35,1	0,241	0,164	56,5	87,31
14	P.Aristides R	8,30	28,6	385	5,57	7,015E4	38,2	0,250	0,149	75,7	95,02
15	Desemboc.	8,37	22,3	420	5,33	7,94E4	38,4	0,207	0,136	74,3	95,52
PERÍODO DE LLUVIA AÑO 2022											
C.ALTA	Estación	pH	T(°C)	ST(mg·L⁻¹)	OD(mg·L⁻¹)	CF(NMP/100)	DBO₅(mg·L⁻¹)	NO₃(mg·L⁻¹)	PT(mg·L⁻¹)	NTU	DQO(mg·L⁻¹)
1	Yoraco	8,17	24,3	320	7,87	223	16,31	0,098	0,158	14,9	25,60
2	Fragua	8,25	23,0	280	8,30	8,27E3	16,95	0,046	0,523	18,3	26,61
3	Cedros	7,98	23,7	320	7,68	2,45E4	18,97	0,103	0,439	44,80	29,78
4	Guasdúa	8,12	24,5	349	6,96	4,08E4	24,48	0,261	0,517	50,16	38,43
5	R.Arenas	7,79	28,9	178	7,44	2,42E4	19,66	0,103	0,365	56,0	30,86
C..MEDIA	Estación	pH	T(°C)	ST(mg·L⁻¹)	OD(mg·L⁻¹)	CF(NMP/100)	DBO₅(mg·L⁻¹)	NO₃(mg·L⁻¹)	PT(mg·L⁻¹)	NTU	DQO(mg·L⁻¹)
6	Quebrada S	7,52	28,3	320	7,44	2,27E4	22,04	0,099	0,529	95	37,04
7	Rancherías	7,74	26,2	340	7,76	4,45E4	18,49	0,131	0,541	126	31,91
8	Tataracual	7,98	24,6	280	7,82	2,31E4	21,08	0,141	0,430	107	35,43
9	Edén Del N.	7,34	29,5	140	7,73	1,27E4	22,01	0,115	0,251	87,9	36,99
10	Aliviadero	7,41	20,8	340	7,92	3,21E4	23,25	0,100	0,381	118	39,08
C.BAJA	Estación	pH	T(°C)	ST(mg·L⁻¹)	OD(mg·L⁻¹)	CF(NMP/100)	DBO₅(mg·L⁻¹)	NO₃(mg·L⁻¹)	PT(mg·L⁻¹)	NTU	DQO(mg·L⁻¹)
11	P.Gómez R	7,31	28,7	180	7,66	1,59E5	22,28	0,109	0,149	116,30	47,30
12	Pte.Raúl L	8,19	29,1	195	6,93	7,70E5	30,85	0,097	0,163	112,40	65,71
13	Mercado	8,07	29,4	200	6,70	2,30E5	26,59	0,116	0,188	99,70	56,45
14	P.Aristides R	7,19	28,3	343	6,50	2,35E5	29,45	0,117	0,181	89,50	63,59
15	Desemboc.	7,33	29,4	300	7,92	3,71E5	27,52	0,107	0,245	99,20	58,43

un deterioro gradual de la calidad de las aguas desde la cuenca alta hasta la cuenca media. Los valores de ICA para la subcuenca alta oscilaron entre 48 y 63 para el periodo seco y entre 47 y 59 para la temporada de lluvias. Sin embargo, en la subcuenca media, los valores de ICA presentaron un comportamiento similar en ambos periodos muestreados (sequía y lluvia), observándose mínimas diferencias entre estaciones, con valores de ICA en sequía entre 47 y 50 y en lluvia entre 46-50, respectivamente, presentando características entre mala (contaminada) y regular (levemente contaminada), considerándose, aguas no aptas para el consumo. Finalmente, en la subcuenca baja, se observó un incremento en la calidad de sus aguas a medida que estas se desplazan hacia el medio marino durante la época de sequía, con valores ICA entre 48 y 54, es decir, malas (contaminada) a regular (levemente contaminada). Es preciso mencionar que, durante la época de lluvia, toda esta subcuenca presenta características de contaminada, con valores ICA entre 45 y 50, calificándola de mala calidad y por consiguiente como aguas no aptas para el contacto humano parcial o total de acuerdo a lo descrito en la GACETA OFICIAL DE VENEZUELA (1995). HAN *et al.* (2025), describen que los problemas causados por la contaminación en los afluentes son varios, haciendo énfasis en que su deterioro radica principalmente al aumento de los organismos patógenos en sus aguas y por consiguiente en los mares donde desembocan, ya que los contaminantes que arrastran los ríos son llevados al mar y a las playas cercanas a sus desembocaduras.

Al establecer comparaciones entre los años 2005 y el lapso 2014-2016, se observó un deterioro gradual en la calidad de las aguas a lo largo de toda la cuenca del río Manzanares, con diferencias significativas entre ellas, manteniendo características regulares para ambos periodos climáticos (sequía y lluvia), sin embargo, se puede inferir que la calidad de este cuerpo de agua ha disminuido en el transcurso del tiempo, lo cual es de esperar ya que las causas que originan este deterioro no han sido corregidas, sobrepasando la capacidad de autodepuración del río. En la fig.4, se presenta el ICA calculado en el año 2022 para el río Manzanares, observándose características que flucturan desde regular a mala para las subcuencas alta y media respectivamente así como disminución en las condiciones ambientales del agua superficial durante el período lluvioso clasificando específicamente la cuenca baja como contaminada

Al evaluar la calidad de las aguas superficiales durante el periodo 2005-2022, se deduce que esta disminuye progresivamente con mayor incidencia de la contaminación en la subcuenca baja, cuyo nivel de afectación puede repercutir sobre el medio marino costero adyacente.

En Venezuela, algunos estudios en ecosistemas fluviales muestran similitudes entre los resultados obtenidos con esta investigación. ESPINOSA & RODRÍGUEZ (2016a), en su estudio de los ríos Aroa y Yaracuy concluyeron que el ICA de estos ríos presentan calidad regular. El río Aroa exhibe un índice con calidad mala, mientras que el río Yaracuy registró calidad buena a lo largo de todo el sector estudiado. De manera análoga, estos mismos autores, estimaron el ICA en los ríos Morón y Patanemo, describiéndolos con calidad media, destacando que el río Patanemo presentó una calidad casi excelente aguas arriba, desmejorando en su desembocadura, lo cual se asemeja con lo obtenido para el Manzanares. Por su parte, GIL *et al.* (2018), evaluaron el ICA de la cuenca del río Guarapiche, en el estado Monagas, destacando que los valores del índice de su estudio provienen principalmente de altas concentraciones de metales, nitritos, nitratos y coliformes fecales, cuyos niveles son superiores a los estándares establecidos en la normativa venezolana (GACETA OFICIAL DE VENEZUELA 1995), infiriendo que las aguas del río Guarapiche en el área de su cuenca media y baja requieren tratamiento previo en caso de utilizarse para el consumo humano.

En Latinoamérica, específicamente en Ecuador, GARCÍA-GONZÁLEZ *et al.* (2021), en su estudio de los ríos en Santo Domingo de Tsáchilas concluyen que todos los ICA obtenidos en los ríos Damas, Otongo y Mapali, registraron valores similares con características aceptables para el consumo humano parecido a la estación de río Yoraco en la subcuenca alta del río Manzanares; mientras que el río Pove, presenta calidad pobre (muy mala) idéntico a lo obtenido para la subcuenca baja de la hoya hidrográfica del Manzanares. De igual modo, CHAVES-CHAVES (2025), en su estudio del río Ocloro en San José de Costa Rica, aplicando un índice simplificado de calidad del agua, catalogó las aguas superficiales de este río como de mala o muy mala calidad, lo que restringe su uso y refleja la problemática ambiental existente en el mismo.

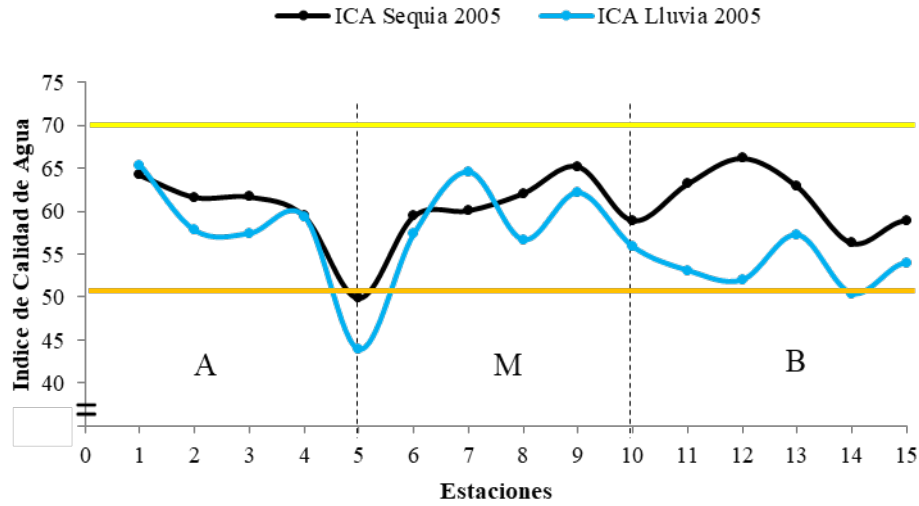


Fig. 2. Índice de Calidad de Agua del sistema hidrográfico río Manzanares para el año 2005, periodos sequía y lluvia.

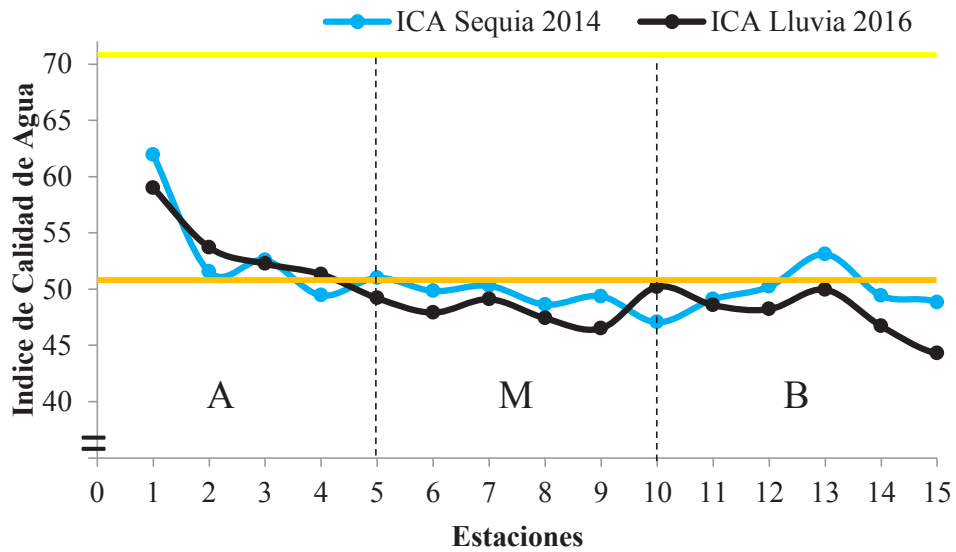


Fig. 3. Índice de Calidad de Agua del sistema hidrográfico río Manzanares para los periodos sequía 2014 y lluvia 2016.

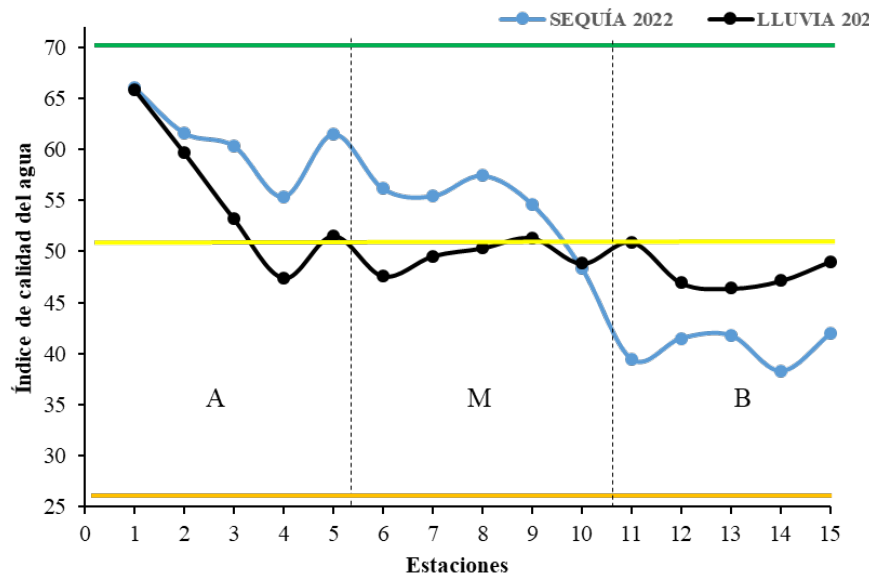


Fig. 4. Índice de Calidad de Agua del sistema hidrográfico río Manzanares para los periodos sequía y lluvia año 2022.

ICO

Índice de Contaminación por Mineralización (ICOMI)

En la fig.5, se presenta el Índice de contaminación por mineralización (ICOMI) en cada una de las estaciones de la cuenca del río Manzanares, período lluvia-sequía 2005, observándose que para la época de sequía, la cuenca alta presentó un ICOMI entre 0,43 (estación río Arenas) y 0,50 (estación los Cedros), correspondientes a un nivel medio de contaminación por mineralización; sin embargo, esta calificación cambia durante la época de lluvia, mostrando un ICOMI entre 0,03 en la estación los Cedros y 0,42 en la estación Guasdua, evidenciando características de alta contaminación en ambos periodos climáticos. Para la cuenca media, se observó un comportamiento similar a la subcuenca alta, con valores ICOMI entre 0,34 (estación Edén del niño) y 0,61 (estación Quebrada seca) en la época de sequía, es decir, con clasificación de contaminación media a alta por mineralización, mientras que, el ICOMI durante la época de lluvia disminuye entre 0,09 (estación Tataracual) y 0,44 (estación Edén del niño), observándose además, estaciones que no presentan problemas por mineralización y otros con nivel medios de contaminación. El comportamiento del ICOMI en la cuenca baja, durante ambos periodos climáticos fue similar, presentando valores mínimos de ICOMI en la estación 11 (puente Gómez Rubio) y máximos a partir de la estación 12. Este comportamiento está asociado a la naturaleza de la mezcla entre el agua dulce y salada, observándose un aumento de la conductividad, dureza y alcalinidad por la intrusión del agua de mar (cuña salina) y, por consiguiente, la cantidad de iones presentes (MARCOVECCHIO & FREIJE 2013).

En cuanto al comportamiento observado, durante los años 2014 y 2016, Fig. 6, se observa que el grado de contaminación por mineralización presentó un aumento con respecto al muestreo del año 2005. Durante la época de sequía, se registraron los más altos valores ICOMI entre 0,791 (estación río Arenas) y 0,946 (estación Quebrada seca), posiblemente relacionados a los eventos de desborde de ríos tributarios en años anteriores; sin embargo, durante el periodo lluvioso, la estación Quebrada seca mantuvo su nivel ICOMI muy alto (0,899). El aumento en los valores ICOMI, puede ser atribuido a procesos de erosión del material rocoso, resuspensión y removilización del sedimento, por efecto del incremento en el movimiento de las aguas, lo que aumenta la conductividad, dureza y alcalinidad del agua (ESPINOSA & RODRÍGUEZ 2016b).

En el mismo orden de ideas, se presenta la Fig. 7 correspondiente al ICOMI del año 2022. Durante la época de sequía, en la subcuenca alta los valores registrados oscilaron entre 0,816 (estación 1 río Yoraco) y 0,876 (estación 4 los Cedros); en la subcuenca media, entre 0,775 (estación 10 Aliviadero) y 0,907 (estación 6 Quebrada seca) y en la subcuenca baja entre 0,83 (estación 11 puente Gómez Rubio) y 0,99 (con valores constantes desde la estación 12 en adelante). Por otro lado, durante el período de lluvia, el ICOMI en la cuenca alta presentó valores entre 0,78 y 0,86 en las estaciones 5 (río Arenas) y 3 (los Cedros) respectivamente. Asimismo, la subcuenca media presentó valores entre 0,792 y 0,833 (estación Aliviadero y Quebrada seca); y la subcuenca baja exhibió resultados desde 0,775 (puente Gómez Rubio) con tendencia a aumentar hacia la estación 13 (Mercado) y en adelante con un ICOMI de 0,99 debido a la mezcla del agua de río con los iones alcalinos del agua del mar. Dependiendo de las características naturales de cada río, se encontrarán valores de ICOMI variables, como el reportado por GUZMÁN (2018) en el río Chipe en Ecuador y TRUJILLO-ZAPATA *et al.* (2020), quienes obtuvieron valores bajos de este índice en el río Guachicos en Colombia, muy diferentes a lo observado en el río Manzanares, en el cual se observa un aumento en la contaminación por mineralización en toda su cuenca y en ambos periodos climáticos.

Índice de Contaminación por Material en Suspensión (ICOSUS)

El Índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) se fundamenta en la cantidad de partículas sólidas, tanto orgánicas como inorgánicas, que se encuentran en suspensión dentro de una solución (SÁNCHEZ *et al.* 2025). El ICOSUS del año 2005 para la cuenca del río Manzanares se presentan en la fig.8. El índice de contaminación por sólidos suspendidos se mantuvo con valores inferiores a 0,2

es decir, con clasificación de no contaminada para las cuencas altas y media en casi todas las estaciones durante ambos periodos climáticos, excepto la estación 10 (Aliviadero) en el período de lluvia, debido a que esta zona reúne gran cantidad de material en suspensión, la cual es desviada hacia la comunidad del Peñón. Sin embargo, se evidenció un incremento en el ICOSUS en la estación 12 (puente Raúl Leoni) durante el periodo de lluvia, refiriendo niveles de muy alta contaminación.

De manera análoga a lo observado durante el 2005, en la Fig.9, se presenta el Índice de Contaminación por Material en Suspensión (ICOSUS) 2014-2016, donde se pudo observar que las subcuencas media y baja del río Manzanares no presentaron contaminación por sólidos suspendidos ($\text{ICOSUS} < 0,2$) durante los periodos de sequía y lluvia. Este comportamiento pudiera estar asociado a los eventos de desborde de uno de los afluentes tributarios al Manzanares, río Caribe, durante los años 2007 y 2012 (GUTIÉRREZ 2022). No obstante, durante la época lluviosa, los niveles de contaminación en la subcuenca baja oscilaron entre 0,322 (contaminación baja) en la estación 12 (puente Raúl Leoni) y 0,616 (contaminación alta) en la estación 15 (desembocadura), donde se realizan actividades de comercialización (compra-venta) de pescado y mariscos, siendo además, la cuenca más expuesta a la recepción de desechos urbanos que llegan al río a través de los canales de desagüe, actividades portuarias, vertidos industriales, domésticos, entre otros, donde finalmente convergen antes de llegar al mar. MÁRQUEZ & BENÍTEZ (2025), señalan que los aportes hacia la cuenca media y baja de los sólidos es originado en parte por la alta deforestación en la cuenca alta y cuenca media, mayormente en la media; al respecto entre 1985-2022 ha ocurrido una deforestación en la cuenca alta y media de 9.200 hectáreas, lo que representa cerca de 0,7 ha diarias, y por la presencia de empresas areneras que modifican los sedimentos del lecho del río.

El comportamiento del ICOSUS en la cuenca hidrográfica del río Manzanares en el año 2022, se muestra en la Fig.10, en la cual se observa que, durante el período de sequía, todo el ecosistema no presentó niveles de contaminación permaneciendo el valor del ICOSUS $< 0,2$ en todas las estaciones. Sin embargo, se apreciaron altos índices del material suspendido durante el período lluvioso, con mayor incidencia en la cuenca baja, donde el ICOSUS presentó un valor máximo de 0,776 asociado a valores altos de contaminación. Al respecto, HERRERA-MARTÍNEZ *et al.* (2022) en su estudio en el río Guatapurí, Valledupar, indicaron que las altas concentraciones de material suspendido en la época de lluvia se deben al efecto producido por la escorrentía superficial junto con el material orgánico, lo cual tiene similitud con esta investigación, donde se evidenció que las condiciones de alto caudal afectan negativamente la calidad del ecosistema en todas las estaciones.

Índice de Contaminación por Trofia (ICOTRO)

Los ICOTRO calculados para la cuenca del río Manzanares en el año 2005 se muestran en la fig.11. Se observó que, para periodo seco del año 2005, la cuenca alta presentó valores ICOTRO entre 0,93 (río Yoraco), 2,03 (estación Guasdua) revelando clasificación de eutrófico a hipertrófico con valores superiores a 1. Por su parte, la cuenca media presenta valores ICOTRO entre 0,54 (estación Tataracual) y 2,19 (estación Quebrada seca) con características similares a la subcuenca anterior; entre tanto, la subcuenca baja presenta valores ICOTRO que oscilan entre 0,15 y 2,7 con tendencia de condiciones eutróficas e hipertróficas hacia la desembocadura. En relación al período lluvioso, la mayoría de las estaciones presentó carácter eutrófico, excepto las estaciones 6 y 7 (Quebrada Seca y Rancherías), las cuales presentaron índices de hipertrofia. ESPINOSA & RODRÍGUEZ (2016b) señalaron que las aguas residuales aportan alrededor de un 75% de la concentración de fosfatos en el agua de los ríos, las cuales contienen normalmente las heces y la orina humana, desechos de alimentos además de los detergentes, donde la fase disuelta reactiva del fósforo está presente en altas concentraciones (MÁRQUEZ & LEMUS 2025) y los efluentes industriales que se vierten al alcantarillado o directamente a su cauce sin tratamiento previo. En este sentido, SALAZAR *et al.* (2018) y MÁRQUEZ *et al.* (2019) precisan específicamente que en la cuenca media existen asentamientos urbanos en las riberas del río y la mayoría de las viviendas descarga sus vertidos domésticos sin tratamiento a este ecosistema.

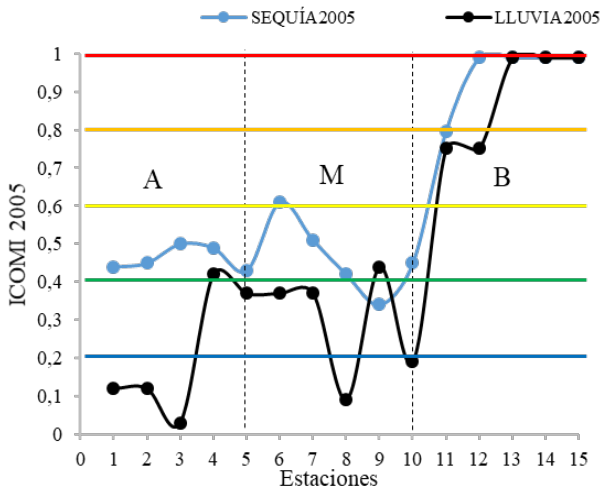


Fig. 5. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI) en cada una de las estaciones de la cuenca del río Manzanares, período lluvia-sequía 2005.

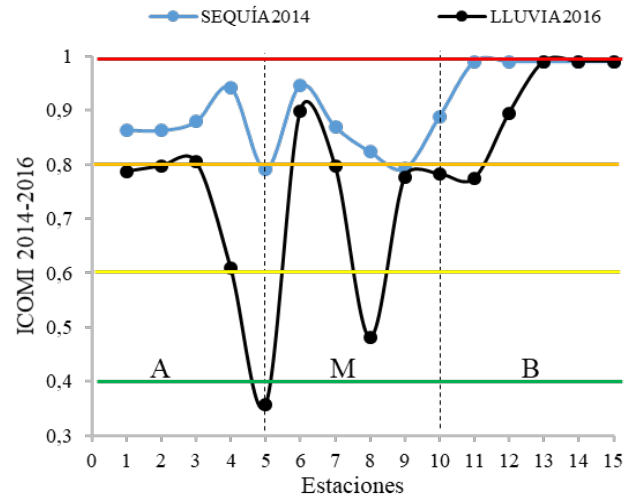


Fig. 6. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI) en cada una de las estaciones de la cuenca del río Manzanares, período 2014-2016.

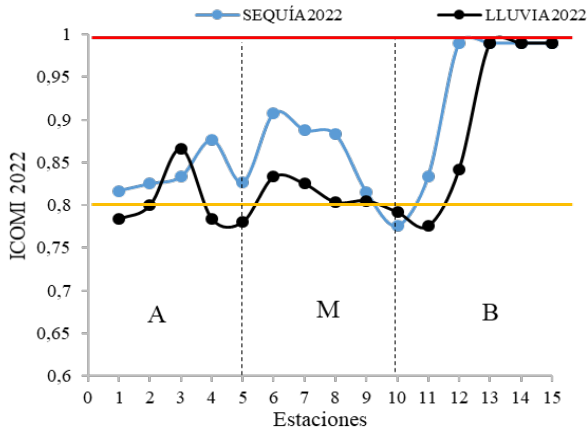


Fig. 7. Índice de contaminación por mineralización (ICOMI) en cada una de las estaciones de la cuenca del río Manzanares en el año 2022.

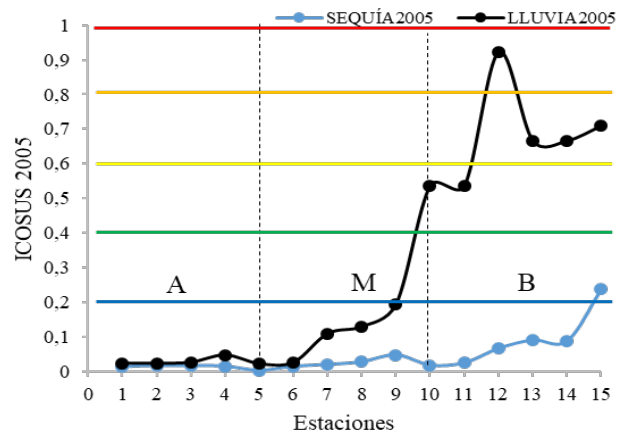


Fig. 8. Índice de contaminación por material en suspensión (ICOSUS) en cada una de las estaciones de la cuenca del río Manzanares para el período lluvia-sequia 2005.

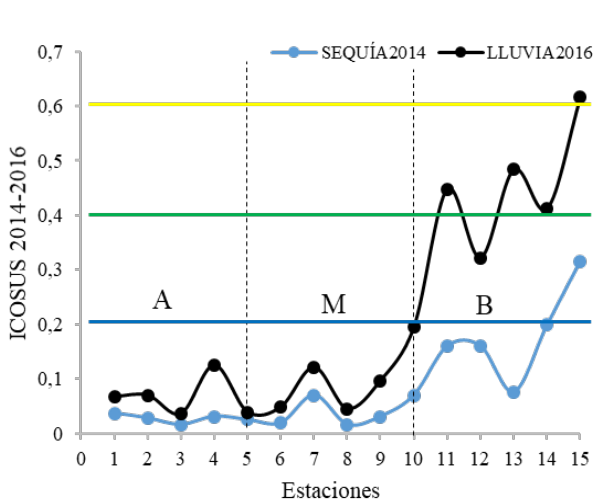


Fig. 9. Índice de contaminación por material en suspensión (ICOSUS) en cada una de las estaciones de la cuenca del río Manzanares para el período 2014-2016.

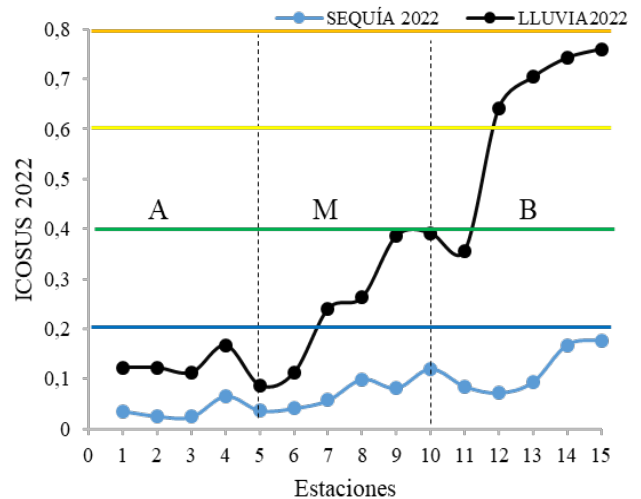


Fig.10. Índice de contaminación por material en suspensión (ICOSUS) en cada una de las estaciones de la cuenca del río Manzanares para el año 2022.

Por otra parte, en la Fig.12, se presenta el índice ICOTRO en las estaciones de la cuenca del río Manzanares durante el periodo sequía 2014 - lluvia 2016. En la temporada de sequía del año 2014, el comportamiento observado en toda la cuenca del río Manzanares fue característico de un ambiente eutrófico, encontrando valores ICOTRO en la cuenca alta entre 0,15 y 0,06. De manera similar, en la cuenca media se registraron valores de este índice entre 0,05 y 0,15, resaltando la estación 7 (Rancherías) con el máximo valor. Finalmente, en la cuenca baja, los valores de ICOTRO obtenidos se mantuvieron en el rango entre 0,05 y 0,06 análogamente a los tramos del río mencionados anteriormente. Ésta disminución progresiva, con posible tendencia a categoría mesotrófica (ICOTRO entre 0,01 y 0,02), tenga lugar posiblemente por los procesos fisicoquímicos, que suceden debido a la presencia de los variados y complejos componentes del agua de mar (MARCOVECCHIO & FREIJE 2013), específicamente hacia la estación de la desembocadura.

Durante la temporada de lluvia (año 2016), la cuenca del río Manzanares exhibió un comportamiento eutrófico en todas las estaciones con valores de ICOTRO entre 0,08 y 0,32 (subcuenca alta); en la subcuenca media entre 0,093 y 0,132 (subcuenca media) y 0,031 y 0,177 en la subcuenca baja. Características similares fueron reportadas por MÁRQUEZ & LEMUS (2025), quienes describen que en general esta cuenca hidrográfica se comporta como un ecosistema eutrofizado donde las cargas máxicas de nutrientes calculadas en su estudio demuestran un incremento y que están en consonancia con el caudal tributario de los diferentes ríos que componen la cuenca, y con el mayor asentamiento humano.

A partir de los valores arrojados del Índice ICOTRO en cada tramo del río Manzanares en el año 2022 (Fig. 14), se observa que independientemente del período climático, el ecosistema presenta características de un ambiente eutrofizado, cuya condición disminuye hacia la zona marina (desembocadura). Las variaciones en el pH de la mezcla entre el agua del río y mar, producen la precipitación del fósforo, cuyas concentraciones disminuyen al aumentar la fuerza iónica del agua (MARCOVECCHIO & FREIRE 2013; GUTIÉRREZ 2022; MARCANO-LÁREZ *et al.* 2024)

ICOMO

Los índices de contaminación por materia orgánica del río Manzanares para el año 2005, se presentan en la Fig. 15. En la subcuenca alta, tanto en sequía como lluvia, las estaciones 1 y 4 (río Yoraco y Guasdua) presentaron los valores mínimos y máximos del ICOMO con valores entre 0,411 y 0,775 en sequía y lluvia respectivamente. Sin embargo, en la subcuenca media en el periodo de estiaje el valor mínimo registrado fue en la estación 9 (Edén del niño) con un valor de 0,381 indicativo de baja contaminación, mientras que el máximo ICOMO obtenido fue en la estación 10 (Aliviadero). Por otro lado, en la subcuenca baja, los valores mínimos del ICOMO se registraron en la desembocadura para ambos períodos climáticos y los máximos en la estación 13 (Mercado), posiblemente asociados a la gran cantidad de residuos que llegan al cauce del río por influencia antrópica (MARÍN-JIMÉNEZ *et al.* 2024).

Por otro lado, en la Fig.16, se presenta el ICOMO de la cuenca del río Manzanares durante el período 2014-2016 (sequía y lluvia). Es evidente que el índice de contaminación presentó un aumento gradual desde niveles de contaminación baja hasta muy alta hacia la estación de la desembocadura. Los ICOMO más altos, se obtuvieron durante el período de lluvias, presentando valores en la subcuenca alta de 0,62 (estación 4 Guasdua); en la subcuenca media de 0,72 (estación 10 Aliviadero) y en la subcuenca baja de 0,837 (estación 14 puente Aristides Rojas); mientras que los valores inferiores del ICOMO se registraron durante el período de sequía en las subcuencas alta y media con resultados entre 0,213 (estación 1 río Yoraco) y 0,44 (estación 7 Rancherías). JARAMILLO-QUINTERO *et al.* (2025), en su estudio sobre de índices de calidad de agua del cauce principal de la microcuenca urbana Hato de la Virgen, Ibagué-Tolima, indicaron que el principal agente de contaminación se debe a la materia orgánica, proveniente en gran porcentaje de aguas residuales domésticas, tal como sucede en el río Manzanares.

Durante los períodos de sequía y lluvia del año 2022 (Fig. 17), el ICOMO presenta evidencia de la alta carga orgánica vertida en las corrientes de agua como un indicador de la presencia de desechos

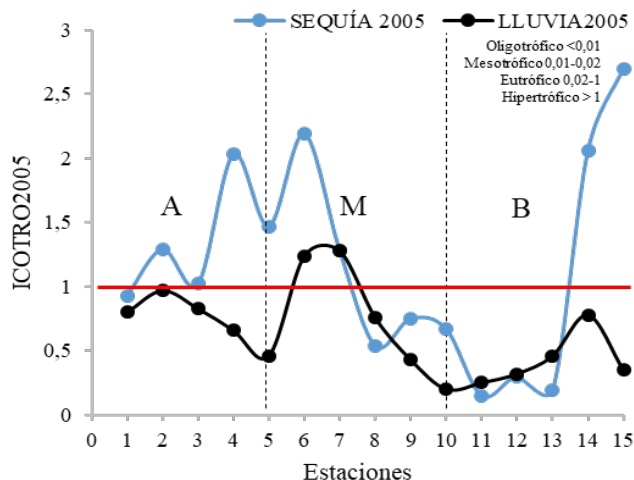


Fig. 11. Índice de contaminación por trofia (ICOTRO) en cada una de las estaciones de la cuenca del río Manzanares durante el periodo lluvia- sequía correspondientes al año 2005.

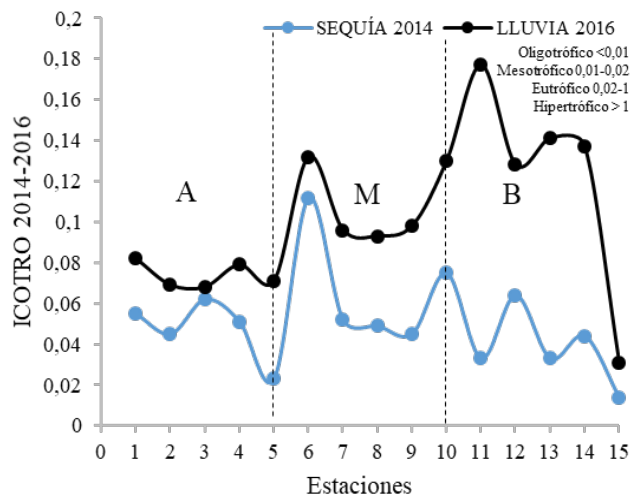


Fig. 12. Índice de contaminación por trofia (ICOTRO) en cada una de las estaciones de la cuenca del río Manzanares durante el periodo sequía 2014 - lluvia 2016.

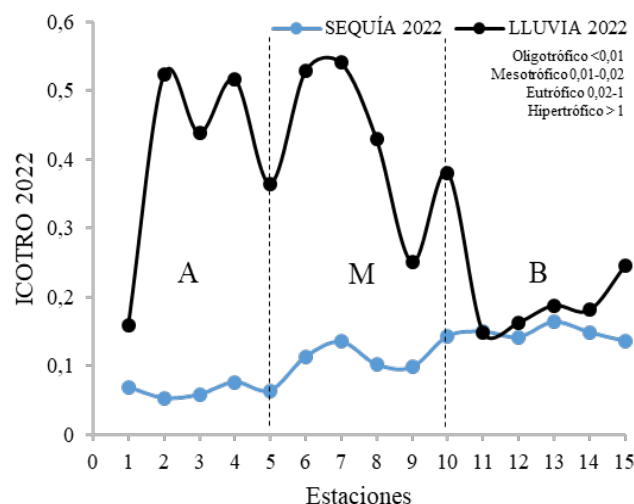


Fig. 13. Índice de contaminación por trofia (ICOTRO) en cada una de las estaciones de la cuenca del río Manzanares durante el periodo sequía 2014 - lluvia 2016.

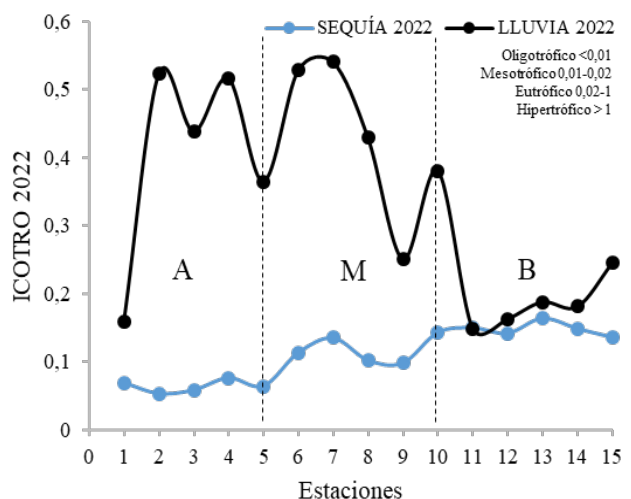


Fig. 14. Índice de contaminación por trofia (ICOTRO) en cada una de las estaciones de la cuenca del río Manzanares para el año 2022.

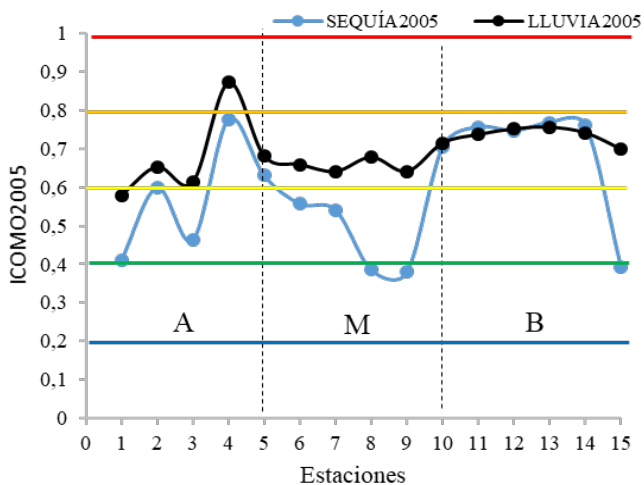


Fig. 15. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) en cada una de las estaciones de la cuenca del río Manzanares durante el periodo lluvia- sequía correspondientes al año 2005.

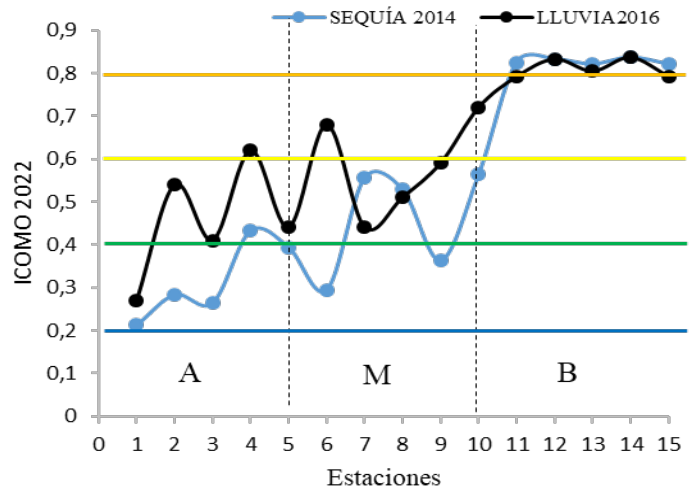


Fig. 16. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) en cada una de las estaciones de la cuenca del río Manzanares durante el periodo 2014-2016.

humanos y animales (CABOT *et al.* 2024), aceites y grasas, herbicidas, entre otros que inciden en los bajos valores de oxígeno en el agua. Así, en la subcuenca alta del río Manzanares, los valores registrados del ICOMO oscilaron para el período de sequía entre 0,748 (estación 4) y 0,37 (estación 1) en la subcuenca alta; en la subcuenca media entre 0,475 (estación 8) y 0,707 (estación 6) y en la subcuenca baja entre 0,778 (estación 14) y 0,796 (estación 11).

Por su parte para el período de lluvia los valores fluctuaron entre 0,245 (estación 1) y 0,697 (estación 4); en la subcuenca media entre 0,609 (estación 9) y 0,668 (estación 6) y en la subcuenca baja entre 0,660 (estación 11) y 0,734 (estación 14). Los resultados muestran que las condiciones de contaminación son altas en las aguas de las estaciones de la parte alta de la cuenca y muy altas en las estaciones ubicadas hacia la parte baja de la misma. Este resultado, es similar al reportado por JARAMILLO-QUINTERO *et al.* (2025) en la microcuenca urbana Hato De La Virgen, Ibagué (Tolima, Colombia) y SÁNCHEZ *et al.* (2025) para la Quebrada Pavayaco, Putumayo, Colombia, quienes aducen que estos altos niveles de contaminación no son favorables para el hábitat acuático. Es evidente que el efecto de dilución en la época de alto caudal, no altera significativamente la calidad del agua de la cuenca del río Manzanares, lo que significa que existe una incidencia permanente y a lo largo del tiempo en la calidad del agua debido a los vertimientos y de las actividades antrópicas presentes en este ecosistema.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP), que permitió analizar la variabilidad de los datos enfocado en las variables relacionadas con la calidad y del agua y contaminación. Los pesos de las variables en los primeros componentes se muestran en la TABLA 6.

El ACP evidenció que los tres primeros componentes (F1 a F3) explican el 88,606% del total de la varianza, mientras que los componentes F1 y F2 explican el 75,705% de esta variabilidad. En la Fig. 18, se observa que el primer componente (F1) exhibe la mayor parte de la variabilidad, sugiriendo que puede estar relacionado con un factor general de contaminación o calidad del agua, dado que variables como ICA e ICOTRO, muestran cargas opuestas en los componentes, lo que podría indicar diferentes fuentes de contaminación y al mismo tiempo considerarse como índices prioritarios para el monitoreo continuo. Por otro lado, el segundo componente (F2), pudiera asociarse entre variables relacionadas con diferentes tipos de contaminantes o condiciones específicas del agua. Este patrón ha sido documentado por ZHANG *et al.* (2009), quienes señalan que este comportamiento es característico cuando ciertos grupos de variables tienden a responder a fuentes puntuales (descargas industriales) mientras otros se asocian

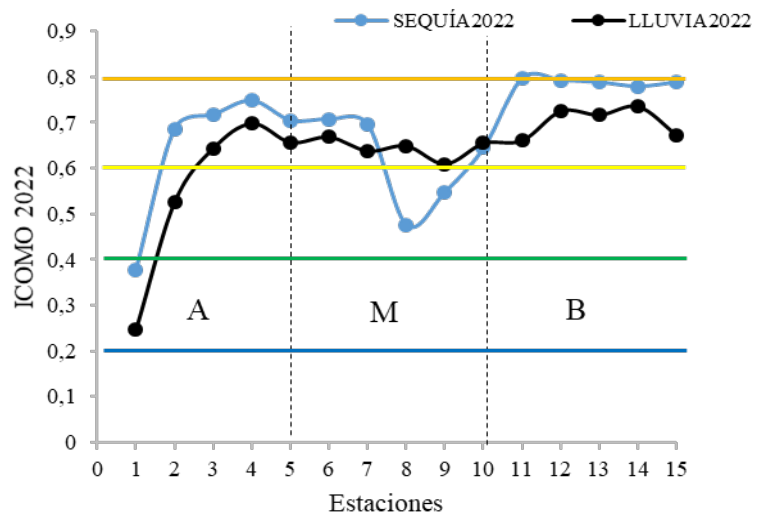


Fig. 17. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) en cada una de las estaciones de la cuenca del río Manzanares durante el periodo 2022.

TABLA 6. Porcentaje de varianza y porcentaje de varianza acumulada para el análisis de componentes principales aplicado a las variables derivadas de los índices de contaminación y calidad del río Manzanares.

Componente	Porcentaje de varianza	Porcentaje acumulado
1	54,556	54,556
2	21,149	75,705
3	12,901	88,606

con fuentes difusas (escorrentía agrícola y urbana). Resulta evidente que el conjunto de índices ICOMO, ICOSUS e ICOMI, sugieren responder a una misma presión antrópica dominante (como descargas domésticas) o reflejan fuentes y actividades diferenciadas (actividad industrial, agricultura, uso del suelo en la cuenca). El ICA, al integrar múltiples aspectos de calidad de agua en una sola métrica, funciona como un indicador que se alinea (o contraponen) a los gradientes de contaminación arrojados por los ICO's. Una fuerte correlación negativa de ICA con uno o varios ICO en el componente 1(F1) es coherente con una degradación progresiva de la calidad del agua aguas abajo o en sectores con mayor presión antrópica. La distribución de las variables sugiere que existen diferencias significativas en los perfiles de contaminación, confirmando que esta herramienta exploratoria permite entender las relaciones entre las variables. En el contexto de estudios hidrológicos y de calidad de agua, el ACP se ha empleado para: sintetizar información de múltiples parámetros fisicoquímicos y biológicos; discriminar zonas o periodos con diferente grado de contaminación; identificar posibles fuentes de contaminación (puntuales y difusas); y apoyar procesos de clasificación del estado ecológico y de la calidad del recurso hídrico (ZHANG *et al.* 2009)

Análisis de conglomerados

La Figura 19 presenta el dendrograma de similitud entre las estaciones muestreadas en la cuenca hidrográfica del río Manzanares. El análisis, evidencia la conformación de dos conglomerados principales. El primero, más compacto, agrupa las estaciones 1, 2, 3, 5, 8, 9 y 10, lo que sugiere perfiles ambientales homogéneos. Las estaciones 1, 2, 3 y 5, localizadas en la cuenca alta, se caracterizan por una baja densidad poblacional y limitada actividad agrícola, condiciones que reducen la presión antrópica. Estas

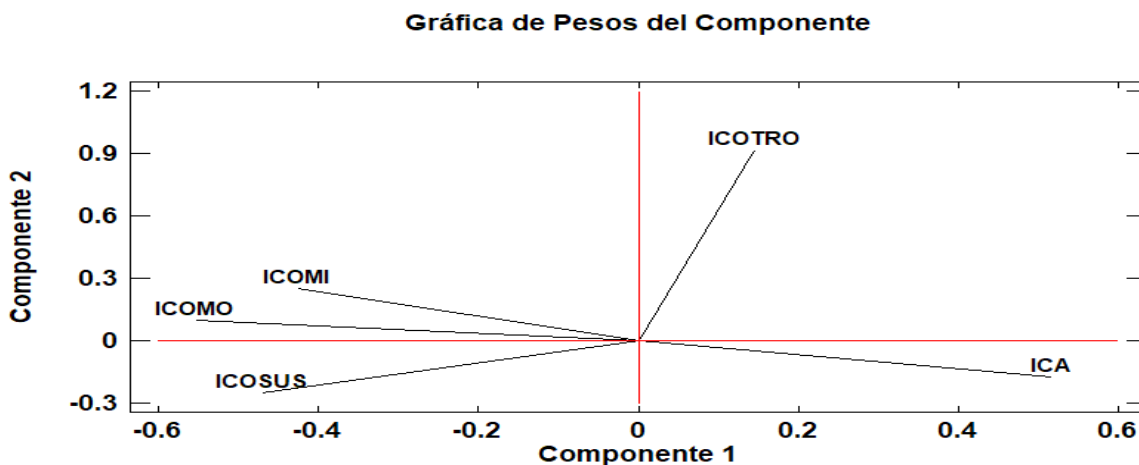


Fig. 18. Análisis de componentes principales de las dos primeras componentes (F1 y F2) para los índices de contaminación y de calidad del agua del río Manzanares.

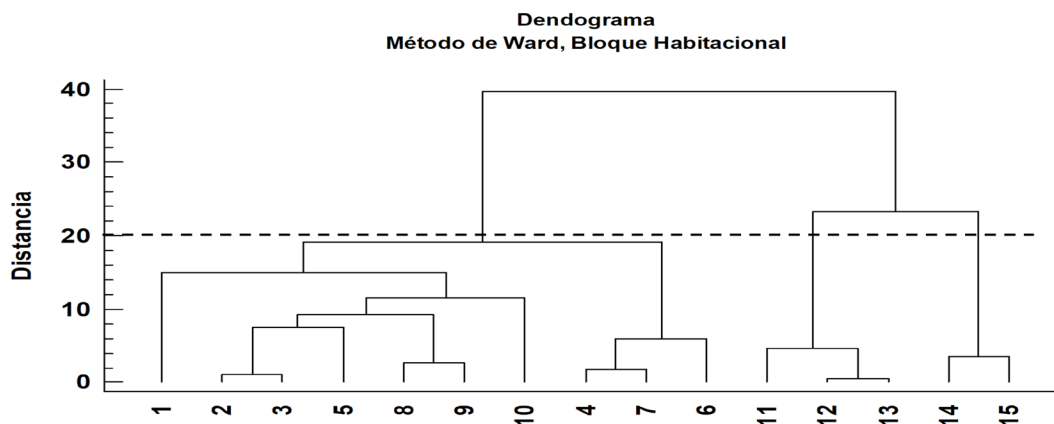


Fig. 19. Dendrograma de similitud entre las estaciones de muestreo en el río Manzanares.

zonas presentan aguas de elevada transparencia y pendientes pronunciadas, coherentes con lo descrito por SALAZAR *et al.* (2018).

En contraste, las estaciones 8, 9 y 10, aunque forman parte de la subcuenca media con una intensa intervención humana, reciben la mayor parte de los afluentes. Durante la temporada de lluvias, el aumento del caudal de los ríos tiene un efecto de dilución en la concentración de contaminantes (GUTIÉRREZ 2022), lo que permite que parámetros fisicoquímicos como la conductividad, nutrientes, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y sólidos en suspensión estén dentro de rangos comparables a los de la subcuenca alta. El segundo conglomerado, más heterogéneo, agrupa las estaciones 4, 6, 7, 11, 12, 13, 14 y 15. Excepto la estación 4, todas se ubican en la subcuenca media y baja, donde se observa un deterioro significativo de la calidad del agua, asociado a la mayor presión antrópica. Este patrón coincide con lo señalado por HUAMÁN (2018) respecto a que el análisis de conglomerados, como técnica exploratoria multivariante, permite identificar agrupamientos pero no establecer relaciones causales.

Estudios recientes confirman que la aplicación de métodos multivariantes en cuencas fluviales constituye una herramienta robusta para evaluar la calidad del agua y comprender la influencia de los usos del suelo y los regímenes hidrológicos sobre los parámetros fisicoquímicos, los cuales han demostrado que la variabilidad espacial y temporal en la calidad del agua está fuertemente modulada por las políticas de gestión y las condiciones climáticas (TALUKDAR *et al.* 2023).

En este contexto, el análisis de conglomerados refleja la heterogeneidad ambiental de la cuenca del río Manzanares, lo cual permite inferir que los dos grupos identificados se distribuyen a lo largo del territorio de este importante recurso fluvial del oriente de Venezuela. Esta organización evidencia que en cada subcuenca existe una marcada variabilidad en la calidad del agua, la cual se encuentra probablemente vinculada a la interacción de factores climáticos, geológicos y antrópicos propios de cada sector. Dichas variaciones reflejan la complejidad hidroambiental del sistema fluvial y evidencian la necesidad de considerar las particularidades de cada subcuenca en los procesos de evaluación y gestión de este recurso (MÁRQUEZ & BENÍTEZ 2025).

CONCLUSIONES

Cada subcuenca del río Manzanares presenta características específicas de calidad de agua que las distinguen entre sí, evidenciando para la subcuenca alta un ICA regular, malo en la subcuenca media y muy mala en la subcuenca baja.

La variabilidad de la calidad del agua del río Manzanares durante el período de estudio, registró un deterioro progresivo en la calidad ambiental del ecosistema, reflejando la problemática existente en el mismo.

La cuenca del río Manzanares presenta problemas de contaminación por mineralización, sólidos suspendidos, trofia y materia orgánica con tendencia a aumentar en el tiempo independientemente del período climático.

El análisis estadístico muestra que la cuenca hidrográfica del Manzanares, se divide en dos grupos, uno con características ambientales similares (zonas más rurales menos impactadas) y otro con tramos más impactados por actividades humanas (domésticas e industriales).

Esta investigación constituye un aporte significativo a la limnología de la cuenca hidrográfica del río Manzanares, al representar la primera aplicación de las metodologías ICA e ICO en este ecosistema. Sus resultados pueden servir como base para futuras investigaciones orientadas al monitoreo y gestión ambiental de la región.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar sus palabras de admiración a la trayectoria del Prof. William Senior, Investigador de grandes valores que sembró en todos nosotros el interés por un baluarte natural de Cumaná, el río Manzanares. También, agradecemos los aportes realizados por la Prof. Fabiola López y al Grupo de Investigación en Gestión Integral de Cuencas de la UPTOS Clodosbaldo Russián.

REFERENCIAS

- ABBASI, T. & S. ABBASI. 2012. Water quality indices. Elsevier, The Netherlands. 375p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-54304-2.00016-6>.
- AGUILERA, L., L. LASTRA, R. BETANCOURT. & M. AMUNDARAIN. 1987. Rescate del Manzanares. Informe preliminar de la comisión nombrada por el consejo municipal del Distrito Sucre, Estado Sucre, sobre la conservación, mejoramiento y defensa del río Manzanares, su cuenca y el área bajo su influencia. 46 pp.
- APHA-AWWA-WEF. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22th Edition. Ediciones Díaz de Santos, S.A. Madrid, España. 5-41 y 5-44.
- ARIZA-RESTREPO, J., Y. RODRÍGUEZ-DÍAZ & H. OÑATE-BARRAZA. 2023. Índices de calidad del agua (ICA) e índices de contaminación (IPC) una revisión bibliográfica. *Tecnura*, 27(77). <https://doi.org/10.14483/22487638.20052>
- ARROYO-ORTEGA, I., Y. CHAVARIN-PINEDA & E. TORRES. 2024. Evaluación de la contaminación en aguas de transición mediante tecnologías geoespaciales: Una revisión. *ISPRS Int. J. Geo Inf.*, 13, 196-210.
- BARRIOS-GÓMEZ, M., D. RODRÍGUEZ-OLARTE & P. RODRÍGUEZ- BUENO. 2018. *Los ríos en riesgo en la costa oriental del Lago de Maracaibo*. En: *Ríos en Riesgo de Venezuela*. Colección Recursos Hidrobiológicos de Venezuela. Venezuela. 2:31-46.
- BURBANO-SALAS, D., F. AJILA, M. POMA-COPA & D. LOWY. 2024. Water quality evaluation by WQI and ICOs for the rivers of Joya de los Sachas and Francisco de Orellana. *F1000Research*, 13:1325. <https://doi.org/10.12688/f1000research.155720.1>
- CABOT, M., C. PICCINI, P. INCHAUSTI, G. DE LA ESCALERA & J. GARCÍA. 2024. Relationships between fecal indicator abundance in water and sand and the presence of pathogenic genes in sand of recreational beaches. *Environ. Monit. Assess* 196(11). doi.org/10.1007/s10661-024-13256-z.
- CARMEN-MUNAYCO, P., F. HERRERA, A. MARINO, SMITH, J. VALVERDE & D. VERÁSTEGUI. 2025. *Evaluación de la calidad en los cuerpos de agua superficial durante la ejecución del proyecto de la carretera desde Negromayo hasta Andahuaylas aplicando el Método Grey Clustering*. Trab Grad, Maestro en Gestión Ambiental y Sostenibilidad. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). Lima, Perú. 362 pp.
- CHAVARRO, A. & E. GÉLVEZ. 2016. Caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo. *Mutis*.6 (2): 19-31. doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1148>
- CHAVES-CHAVES, E. 2025. Aplicación del Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA) en la evaluación de calidad del agua en el río Ocloro, San José, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. 38(1):59-67. <https://doi.org/10.18845/tm.v38i1.7027>
- CHIDIAC, S., P. EL NAIJAR, N. OUAINI, Y. EL RAYESS & D. EL AZZI. 2023. A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 22(2), 349-395. DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/s11157-023-09650-7](https://doi.org/10.1007/s11157-023-09650-7)

- DEVETAC, I. L., B. DÍAZ, A. ACUÑA, J. QUIROGA & O. BERTONI. 2025. Análisis comparativo de Índices de Calidad de Agua (ICA) aplicados en la Región Hidrográfica del Río Gallegos (Patagonia Austral, Argentina). *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, 17(1): 91–120. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v17.n1.1170>
- ESPINOSA, T. & C. RODRÍGUEZ. 2016a. Nota técnica: Índice de calidad del agua (ICA), de los ríos Aroa y Yaracuy de los estados de Falcón y Yaracuy, en Venezuela. *Rev. ING. UC*, 23(3): 381-386.
- ESPINOSA, T. & C. RODRÍGUEZ. 2016b. Nota técnica: Determinación del Índice de calidad del agua (ICA), de los ríos Morón y Patanemo del estado Carabobo, en Venezuela. *Rev. ING. UC*, 23(2): 204-215.
- FERMÍN, I. 2015. *Evaluación ambiental del río Manzanares y su interacción con la zona costera de Cumaná. Estado Sucre, Venezuela*. Trab. Grad. Doctor en Ciencias Marinas. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 93pp.
- GACETA OFICIAL DE VENEZUELA, 1995. Resolución 5021. Decreto 883. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de aguas y vertidos o efluentes líquidos. Caracas, Venezuela.
- GARCÍA-GONZÁLEZ, J., M. OSORIO-ORTEGA, R. SAQUICELA-ROJAS & M. CADME. 2021. Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Ing. agua*. 25(2):115-126. <https://doi.org/10.4995/la.2021.13921>
- GIL, J., G. BELLOSO, C. VIZCAINO, I. MAZA, C. SÁNCHEZ, C. BOLÍVAR & P. MARTÍNEZ. 2013. Evaluación de la calidad microbiológica y niveles de nitratos y nitritos en las aguas del río Guarapiche, estado Monagas, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola* 13(1): 154-163.
- GIL, J., C. VIZCAINO & N. MONTAÑO. 2018. Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela. *Anales Científicos*, 79 (1): 111 – 119. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v79i1.1146>.
- GONZÁLEZ, J. 2017. *Evaluación de los indicadores de calidad ICA e ICO del Río Botello ubicado en el municipio de Facatativá*. Trab. Grad, Tecnología en saneamiento ambiental. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiental Bogotá, Colombia. 147 pp.
- GUTIÉRREZ, A. 2005. *Evaluación fisicoquímica y microbiológica de las aguas superficiales cuencas alta, media y baja del río Manzanares*. Trab. Ascenso. Instituto Universitario de Tecnología de Cumaná. 102 pp.
- GUTIÉRREZ, A. 2022. *Evaluación de la calidad de las aguas de la cuenca hidrográfica río Manzanares, Sucre, Venezuela, mediante la aplicación de los índices de calidad (ICA) y contaminación (ICOS e IPI)*. Trab. Grad. Doctor en Ciencias Marinas. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. 224 pp.
- GUZMÁN, J. 2018. *Calidad del agua del río Chipe y su aptitud para actividades recreativas en el cantón Valencia, provincia de los ríos*. Trab. Grad. Maestría en Gestión ambiental, Universidad Técnica Estatal De Quevedo. Quevedo, Ecuador 98 p.
- HAN, Z., T. TIAN & Y. ZHANG. 2025. Development of a High-Throughput qPCR Assay for Detecting Waterborne Protozoa and Helminths Across Different Environmental Media in China. *Chinese Center for Disease Control*. 7(3):100–106. doi.org/10.46234/ccdcw2025.016.
- HERRERA-MARTÍNEZ, J., B. NAVARRO-SINING, K. TORRES-CERVERA, N. MARTÍNEZ-GARCÍA, A. ROYERO-IBARRA & A. CAHUANA-MOJICA. 2022. Determinación de los índices BMWP/COL, (QBR), (IHF) e ICO en Valledupar, Colombia. *Rev. Polit.*, 18: 35. 110-127.

- HIM, J., Z. FUENTES & Y. VILLARREAL 2025. Calidad fisicoquímica y microbiológica del agua en la desembocadura conjunta de los ríos Playita y Pavo en Arenas de Quebro (Veraguas, Panamá). *Mesoamericana*. 27 (1):42-51.
- HUAMAN, S. 2018. La cuenca como unidad de gestión para el desarrollo de espacios rurales un análisis exploratorio. *Anales Científicos*, 79:2.ISSN-e2519-7398.<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6736867>
- JARAMILLO-QUINTERO, M., J. SALCEDO-SAAVEDRA & A. GUIÑO-DUQUE. 2025. Comparación espacial y temporal de índices de calidad de agua del cauce principal de la microcuenca urbana Hato de la Virgen, Ibagué-Tolima, Colombia. *Revista ambiental agua, aire y suelo*, 16(2): 13–37. <https://doi.org/10.24054/raas.v16i2.4075>.
- KUMAR, P. 2018. Simulation of Gomti River (Lucknow City, India) future water quality under different mitigation strategies. *Heliyon* 4: e01074. <https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2405-8440%2818%2932457-5>
- MARCANO-LÁREZ, D., A. GUTIÉRREZ-VELÁSQUEZ & F. MARÍN-JIMÉNEZ. 2024. Caracterización hidroquímica de la cuenca del río Manzanares, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 63 (01): 33-45.
- MARCOVECCHIO, J. & R. FREIJE. 2013. *Procesos Químicos en Estuarios*. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional. edUTecNe. Argentina. 394 pp.
- MARÍN-JIMÉNEZ, F., A. GUTIÉRREZ-VELÁSQUEZ & D. MARCANO-LÁREZ. 2024. Distribución granulométrica de un sistema hidrográfico del sector nororiental de Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 63 (01): 21-32.
- MÁRQUEZ, A., I. FERMÍN, W. SENIOR, R. DE LA CRUZ, A. BENÍTEZ, A. DÍAZ, E. GONZÁLEZ, E. HERNÁNDEZ, M. GONZÁLEZ, D. HERNÁNDEZ, M. OCQUE, J. ACOSTA, A. LEMUS., M. PATIÑO & O. RODULFO. 2019. *Evaluación de riesgo ambiental por metales pesados en sedimentos de la cuenca del río Manzanares, Venezuela*. En: *Las Costas Mexicanas, Contaminación, Impacto Ambiental, Vulnerabilidad y Cambio Climático*. Eds: V. Botello A. & S. Villanueva. UAC, UNAM, México. 1- 26 pp.
- MÁRQUEZ, A. & A. LEMUS. 2025. Evaluación de la química de los nutrientes y del riesgo de eutrofización en cuenca del río Manzanares, Venezuela. 1-29. *Rev. Cienc. Ing.* 12(1): 1-29, e14533410. DOI: <https://n2t.net/ark:/60540/14533410>
- MÁRQUEZ, A. & S. BENÍTEZ. 2025. Metales pesados en aguas de la cuenca del río Manzanares, Venezuela. *Rev. Cienc. Ing.* 12(2): 1-27. e15702613, DOI: <https://n2t.net/ark:/60540/15702613>
- MARTÍNEZ, G., J. ALVARADO & W. SENIOR. 2001. Estudio fisico-químico de las aguas superficiales de la cuenca baja y pluma del río manzanares. *Interciencia*. 26 (8):342-351.
- MEDINA, L., J. CASTAÑEDA, I. FERMÍN, G. PÉREZ & F. LÓPEZ. 2013. Variación espacio-temporal del caudal y el transporte de nutrientes en el río Manzanares. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.*, 52 (2): 67-75.
- NATIONAL SANITATION FOUNDATION (NSF). 1970. Basin Water Quality Information: References. National Sanitation Foundation Water Quality Indexes. En: <http://bcm.houlder.co.us/Basin/Data/Info/References:Html>
- OTT, W. 1978. *Water Quality Indices: A Survey of Indices used in the United States*, EPA – 600\4-78-005, Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- PANNEERSELVAM, B., K. MUNIRAJ, K. DURAISAMY, C. PANDE, S. KARUP PANNAN & M. THOMAS. 2022. An integrated approach to explore the suitability of nitrate-contaminated groundwater for drinking

purposes in a semiarid region of India. *Envi. Geoch. H.* 10:1–7. <https://doi.org/10.1007/s10653-022-01237-5>

- PAUN, I., L. CRUCERU, F. CHIRIAC, M. NICULESCU, G. VASILE & N. MARIN. 2016. Water quality indices—methods for evaluating the quality of drinking water. En: Proceedings of the 19th INCD ECOIND International Symposium—SIMI 2016, “The Environment and the Industry”. 395–402. <https://doi.org/10.21698/simi.2016.0055>
- PINTO, F. 2012. Batimetría y evaluación de sedimentos recientes del golfo de Cariaco, Venezuela. Trabajo de Postgrado Cienc. Mar. Inst. Oceanogr. Venezuela, Cumaná, Venezuela. 87 p.
- RAMÍREZ, A., R. RESTREPO & G. VIÑA. 1997. Cuatro Índices de Contaminación para la Caracterización de aguas Continentales y Vertimientos: Formulaciones. *Cienc. Tecnol. y Fut.* 1(3): 135 – 153.
- RAMÍREZ, A., R. RESTREPO & M. CARDEÑOSA. 1999. Índices de contaminación de aguas continentales y vertimientos, formulaciones. *Ciencia Tecnología y Futuro.* 1(5): 89 – 99.
- RODRÍGUEZ-OLARTE, D. 2017. *Ríos en riesgo de Venezuela. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela.* Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- SALAZAR, S., A. CARMEN, B. GÓMEZ, J. BELLO, W. SENIOR & L. TROCCOLI. 2018. *Estado de conservación del sistema hidrográfico del río Manzanares, región Caribe Oriental de Venezuela.* En: *Ríos en Riesgo de Venezuela.* Ed. D. Rodríguez-Olarte, 2 (6): 1-18.
- SAMBONI, N., Y. CARVAJAL & J. ESCOBAR. 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de Calidad y contaminación del agua. *Ing. Investig.* 27(3), 172-181. DOI: <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v27n3.14858>.
- SÁNCHEZ, L., J. PÉREZ & L. AGUDELO. 2025. Calidad fisicoquímica y microbiológica de la quebrada Pavayaco: Resguardo Indígena Inga de Condagua, Mocoa-Putumayo. *Ing. y Des.*, 43:2, 256–276.
- SENIOR, W. 2000. Plan de recuperación integral del río Manzanares y su entorno. Informe. Departamento de Oceanografía. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente. *Zenodo.* <https://doi.org/10.5281/zenodo.160928>
- SENIOR, W., I. FERMÍN & F. MATA. 2004. *Diagnóstico ambiental y participación comunitaria para el Control de la Contaminación del Río Manzanares, Estado Sucre, Venezuela.* Informe Fundación Río Manzanares. 89 pp.
- TALUKDAR, P., B. KUMAR & V. KULKARNI. 2023. A review of water quality models and monitoring methods for capabilities of pollutant source identification, classification, and transport simulation. *Rev. Envir. Sci. and Bio/Tech.* 22: 653–677. <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09658-z>
- TORRES, P., C. CRUZ & P. PATIÑO. 2009. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica. *Rev. Ing. Univ. de Medellín* 8(15):79-94.
- TRUJILLO-ZAPATA, S. A., C. CORTÉS-OROZCO, M. VINASCO-GUZMÁN, J. ORTEGA-ASTUDILLO & C. CRUZ-OSPINA. 2020. Evaluación de la calidad del agua en la fuente abastecedora de Pitalito – Huila: Río Guachicos y sus afluentes principales, utilizando los índices de contaminación e índice de calidad de agua. *Gestión y Ambiente*, 23(2), 182–192. <https://doi.org/10.15446/ga.v23n2.83600>
- VALDÉS, J., N. SAMBONI-RUIZ & Y. CARVAJAL. 2011. Desarrollo de un indicador de la calidad el agua usando estadística aplicada, caso de estudio: subcuenca Zanjón Oscuro. *Revista Tecnológicas* 26, 165-180. DOI: <https://doi.org/10.22430/22565337.60>

- ZHANG, L. 2017. Different methods for the evaluation of surface water quality: the case of the Liao River, Liaoning Province, China. *Int Rev Spat Plan Sustain Dev* 5:4–18. https://doi.org/10.14246/irspsd.5.4_4
- ZHANG, Q., L. ZHONGWU Z. GUANGMING, L. JIANBING, F. YONG, Y. QINGSHUI, W. YAMEI & Y. FANGYI. 2009. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques in red soil hilly region: a case study of Xiangjiang watershed, China. *Environ Monit Assess.* 152: 123–131. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0301-y>

Recibido: Septiembre 2025

Aceptado; Diciembre 2025