Bol. Inst. Oceangr. Venez. 63 (01): 33-45 (2024) 03 Tabs., 06 Figs.

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE LA CUENCA DEL RÍO MANZANARES, ESTADO SUCRE, VENEZUELA

Marcano-Lárez, Dayana[1], Gutiérrez-Velásquez, Argelia[2] & Marín-Jiménez, Fernando[3]

[1]Postgrado en Ciencias Marinas. Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela. dayanamarcanol@gmail.com. https://orcid.org/0009-0009-6935-3107

[2] Universidad Politécnica Territorial del Oeste de Sucre "Clodosbaldo Russián" (UPTOS CR). gutierrezargelia23@gmail.com. https://orcid.org/0009-0009-2460-3619

[3]Postgrado en Ciencias Marinas. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. marinjimenezfernando@gmail.com; https://orcid.org/0000-0001-8020-9397

RESUMEN: Se evaluó la hidroquímica de la cuenca del río Manzanares en Venezuela durante diferentes meses de los años 2002, 2005, 2009, 2010 y 2022. Se recolectaron muestras de agua en 41 estaciones en las subcuencas alta, media y baja, zona estuarina y zona marina y se determinaron los parámetros pH, temperatura, oxígeno disuelto e hidrocarburos totales (HT). La medición de las variables fisicoquímicas se realizaron *in situ* mediante la aplicación de métodos estandarizados para análisis de aguas naturales y los HT por el método propuesto por CARIPOL. Las concentraciones promedio de hidrocarburos totales (aceites y grasas) en las aguas del río Manzanares variaron desde 0,24-22,93 mg/l en la cuenca alta; 0,14-113,05 mg/l en la cuenca media y 0,12- 36,54 mg/l en la cuenca baja. De acuerdo al análisis de correlación de Pearson se determinó asociación significativa (p<0,05) entre los siguientes pares de variables: HT-pH; HT-Temperatura; OD-pH; OD-Temperatura; pH-Temperatura; mientras que el ACP revela correlación positiva y significativa entre el OD y pH asociado a los procesos de oxidación de la materia orgánica que contribuyen en mayor proporción (68,66%) en la hidroquímica de toda la cuenca del Manzanares.

Palabras clave: hidroquímica, hidrocarburos totales, fluvial, río Manzanares

ABSTRACT: The hydrochemistry of the Manzanares river basin in Venezuela was evaluated during different months of the years 2002, 2005, 2009, 2010, and 2022. Water samples were collected at 41 stations in the upper, middle, and lower sub-basins, estuarine zone, and marine zone and the parameters pH, temperature, dissolved oxygen and total hydrocarbons (HT) were determined. The measurement of the physicochemical variables was carried out *in situ* through the application of standardized methods for the analysis of natural waters and the HT by the method proposed by CARIPOL. The average concentrations of total hydrocarbons (oils and greases) varied from 0.24-22.93 mg/l in the upper basin; 0.14-113.05 mg/l in the middle basin and 0.12-36.54 mg/l in the lower basin. According to Pearson's correlation analysis, a significant association (p<0.05) was determined between the following pairs of variables: HT-pH; HT -Temperature; DO-pH; DO-Temperature; pH-Temperature; while the PCA reveals a positive and significant correlation between the DO and pH associated with the oxidation processes of organic matter that contribute in a greater proportion (68.66%) in the hydrochemistry of the entire Manzanares basin.

Key words: hydrochemistry, total hydrocarbons, fluvial, Manzanares River

INTRODUCCIÓN

En los ambientes acuáticos, la calidad del agua es un factor fundamental para mantener la biodiversidad, la cual puede ser evaluada a través de indicadores físicos, químicos y biológicos (Sánchez & Gómez 2021). La alteración de estas características puede deberse a las actividades naturales o antrópicas; sin embargo, varios estudios han demostrado que esta última fuente es la principal causa de contaminación de aguas superficiales en zonas urbanas. Además, existe una fuerte correlación entre la contaminación y el aumento poblacional (Malaver *et al.* 2014), fenómeno que se evidencia en todos los ecosistemas del mundo (Hongjun *et al*. 2017).

Para satisfacer sus necesidades básicas, la sociedad hace uso de los recursos naturales de diferentes maneras, lo que produce efectos sobre el medioambiente e impacta el desarrollo de sus actividades

cotidianas. La consecuencia del uso insostenible de los recursos naturales en una cuenca hidrográfica puede distinguirse a nivel local, regional o mundial, dependiendo de su intensidad y extensión, y pueden generar serios problemas ambientales o el agotamiento de los mismos (Menéndez 2010).

La suma de estas actividades tiene como resultado final residuos, que de manera directa e indirecta, llegan al mar. Entre estos residuos se encuentran: aguas residuales, residuos de hidrocarburos (como aceites y grasas), metales tóxicos, pesticidas, entre otros (Burgos *et al*. 2017). Estos compuestos, en su mayoría, se depositan en los sedimentos y, dependiendo de su naturaleza, afectan a los organismos que allí habitan, produciendo cambios ecológicos, generando la pérdida de organismos de una comunidad y la conquista de hábitats por parte de especies oportunistas (Díaz & Aguilera 2022).

Los ríos son un sistema natural de drenaje que cuenta con una importante diversidad biológica y figuran entre los ecosistemas más productivos de la tierra. Estos sistemas ejercen acciones como la erosión, sedimentación y el transporte de muchas sustancias. Los estudios sobre el comportamiento de estos elementos químicos muestran que los procesos físicos, químicos, biológicos e hidrodinámicos que allí tienen lugar cumplen un papel fundamental y variable con el flujo de contaminantes desde tierra hacia el mar (Delgado 2012; Fermín 2015; Gutiérrez 2022). El análisis de las aguas de los ríos puede aportar información sobre sus condiciones mediante el monitoreo espacial y temporal de los contaminantes, así como también los sedimentos. Estos últimos evidencian cambios químicos y en los equilibrios de solubilidad de los compuestos orgánicos e inorgánicos en la columna de agua (Brito *et al.* 2014).

En la última década, este tipo de valoración ha fomentado un creciente interés en la comunidad internacional. La calidad de las aguas naturales se considera un estándar asociado a los ciclos biogeoquímicos, ya que desde su origen, el ciclo hidrológico está relacionado con la vida marina, así como con compuestos químicos y contaminantes emergentes (Álvarez & Sánchez 2023).

En Cumaná, estado Sucre, el río Manzanares es uno de los afluentes que desemboca sus aguas en el golfo de Cariaco. Durante décadas ha sido perturbado por el crecimiento poblacional, actividades agrícolas, ganaderas y comerciales desarrolladas en sus márgenes, las cuales generan aguas residuales que son descargadas a diario en todo su cauce, con poco o ningún tratamiento, llevando consigo elevadas concentraciones de sustancias como los metales pesados, pesticidas, exceso de nutrientes e hidrocarburos derivados del petróleo. Estas sustancias alteran la calidad ambiental del río, así como la zona costera donde desemboca, limitando su uso y aprovechamiento humano (Medina *et al*. 2013). La concentración de estos compuestos en sus aguas altera sus características fisicoquímicas y potencial reproductivo de las especies autóctonas. Los aceites y las grasas representan una de las principales fuentes de contaminación del recurso hídrico, dando lugar a la formación de natas y espumas que generan acidificación del agua, disminución de la concentración de oxígeno y bloquean el paso de la luz solar (Toro 2022). Dado que los organismos tienen la capacidad de biotransformar, bioacumular y transportar estos hidrocarburos a través de la trama trófica, provocan reacciones tóxicas, mutagénicas, carcinogénicas y teratogénicas (Szczybelski *et al*. 2016; Harvey & Taylor 2017; Pitacco *et al*. 2018).

Los estudios de hidrocarburos constituyen un compartimiento ambiental de especial relevancia debido a que estos compuestos presentan baja solubilidad en agua, un coeficiente de partición solvente orgánico-agua elevado y alta hidrofobicidad. Como resultado, son rápidamente absorbidos por las partículas suspendidas y posteriormente depositados en los sedimentos del medio ambiente acuático. Debido a su baja solubilidad en agua y elevada en sustancias de naturaleza lipídica, los hidrocarburos se acumulan en los organismos, en la materia orgánica y en los sedimentos, pudiendo permanecer así durante largos períodos de tiempo garantizando su biodisponibilidad. La lentitud con que son degradados provoca su acumulación en plantas, peces e invertebrados acuáticos y terrestres, incorporándose así en la cadena alimentaria (Lang *et al.* 2013).

Al evaluar la calidad ambiental en un ecosistema acuático, se utilizan técnicas de normalización geoquímicas, las cuales permiten obtener información necesaria para saber si existe un enriquecimiento

o reducción del elemento químico o contaminante orgánico (Vargas *et al.* 2017). En la actualidad, el río Manzanares se encuentra colmatado de sedimentos con un caudal empobrecido y posiblemente contaminado producto de las actividades que se desarrollan a largo de toda la cuenca (Senior 2003; Castro *et al*. 2017; Salazar *et al*.2018). Por ello, el objetivo del presente estudio es la caracterización hidroquímica del río Manzanares y determinar las concentraciones de hidrocarburos totales para establecer *a posteriori* criterios para la calidad del ecosistema basado en la normativa legal venezolana (Gaceta Oficial De Venezuela Decreto 883 1995).

MATERIALES Y MÉTODOS

La cuenca del río Manzanares, ubicada en el estado Sucre, Venezuela, nace en el macizo montañoso del Turimiquire, en la cordillera de la costa, a 2300 metros de altitud. Fluye a lo largo de 300 Km y drena una cuenca de poco más de 1000 Km^2. Junto con los ríos Neverí y Guarapiche, forma parte del sistema fluvial de la Costa Oriental venezolana. Recibe por su margen derecha 9 ríos, 13 riachuelos y quebradas, y por el izquierdo, 14 ríos principales y 6 secundarios (Alvarado 2000), 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).

En la cuenca alta, las aguas discurren por un lecho pedregoso formando pequeños remolinos y rápidos. Esta zona del río Manzanares se caracteriza por sus aguas cristalinas y claras, con abundante vegetación. Las poblaciones son pequeñas y la intervención antrópica es reducida (Gutiérrez 2022). Esta cuenca se inicia desde el nacimiento del río hasta el sector de Aricagua (Salazar & Arcia 2020). Las estaciones muestreadas en este estudio incluyen los afluentes como Las Trincheras (LT), La Fragua (LF), Los Cedros (LC), Guasdua (GU), Arenas (AR) y una estación en el puente de río Arenas (PRA).

En la cuenca media, tanto el Manzanares como sus afluentes contienen aguas turbias, rodeadas casi en su totalidad de cultivos agrícolas de caña de azúcar (aproximadamente 80%) y empresas areneras, lo que convierte el lecho de río en fangoso y arenoso (Fermín 2015). En esta región, se encuentra el municipio Montes, donde Cumanacoa es la segunda ciudad importante en la ribera del río Manzanares en cuanto a su población y economía (Salazar *et al.* 2018). Las estaciones muestreadas se extienden desde Quebrada Seca (QS), Pie de Cuesta (PDC), río San Juan (RSJ), El Yaque (EY), Cedeño (CED), Rancherías (RAN), Tataracual (TAT), Munegro (MUN), El Colorado (EC), Barranca (BAR), Edén del niño (EDN), Los Ipures (LI), Gamero (GA), San Juan de Macarapana (SJM) hasta el Aliviadero (ALI).

Por otro lado, la cuenca baja se extiende desde la comunidad de Puerto de la Madera hasta su desembocadura en la ciudad de Cumaná. En esta área, predomina el desarrollo urbanístico y la actividad antrópica es marcada por lo que las aguas son muy turbias con un alto contenido de material orgánico e inorgánico (Gutiérrez 2022). Las estaciones de muestreo seleccionadas fueron: puente Gómez Rubio (PGR), Parque Güaiquerí (PG), puente Raúl Leoni (PRL), 500m del puente Raúl Leoni (500PRL), puente Gonzalo de Ocampo (PGO), 500m del puente Gonzalo de Ocampo (500PGO), El Mercado (EM), Empresa AVECAISA (AVE), desembocadura (DES), zona marina (ZM), El Dique (DIQ), La Marina (MAR), 800 m de la Marina (800MAR), sector El Monumento (MON), Edificio La Gaviota (EGA), Centro Médico Salvador Allende (SA), Empresa La Gaviota (ELG), Empresa CAIP (CAIP), puerto de salida hacia la Angoleta (ANG) y el Aliviadero del Peñon (ALP). Estimaciones, en 2021 vivían en el valle del Manzanares cerca de 1.122.840 personas, una cifra que ha ido en aumento según los censos nacionales (INE 2021).

Para el estudio, se establecieron 41 estaciones de muestreo distribuidas en las cuencas alta, media y baja del ecosistema incluyendo la zona con aguas con características estuarinas (Fig. 1); para ello se consideraron tres criterios de elegibilidad: cercanía de la carretera, poblaciones adyacentes al cauce del río y punto de fácil acceso para la captación de las muestras de aguas superficiales.

Se estimaron los caudales teóricos para las cuencas alta y baja de río Manzanares en el año 2017, utilizando el método descrito por Ferrer (1993) y Gutiérrez (2022), los cuales se basaron en datos publicados del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), del Instituto Nacional de Estadística (INE) y los coeficientes de escorrentía ponderados por Gutiérrez (2022).

Las muestras de agua superficial recolectadas entre 2002 y 2022 en las cuencas alta, media y baja del río Manzanares, se almacenaron en frascos ámbar, previamente tratados, y se analizaron fisicoquímicamente *in situ* usando para ello un equipo de campo marca ORION Star A324 según los métodos estándarizados (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA- AWWA- WEF 2012). Por otro lado, la extracción de hidrocarburos se realizó utilizando el método descrito por CARIPOL (1980).

Se empleó el análisis de correlación de Pearson con un nivel de significancia de $p<0,05$ para explorar las relaciones entre variables. Además, se aplicó el Análisis de Componentes Principales (ACP) según Johnson & Wichern (1992) para identificar asociaciones entre parámetros. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software Statgraphics Centurion XVI versión 16.1.03. Los resultados aquí reportados corresponden al promedio en cada estación para los años evaluados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAUDAL TEÓRICO PARA LAS CUENCAS ALTA Y BAJA DEL RÍO MANZANARES

Los estudios sobre los efectos de las precipitaciones en el caudal de los ríos han sido abordados por diversos investigadores, incluyendo los reportados por Márquez *et al.* (2009), De Brieve *et al.* (2013), Medina *et al.* (2013), Betancor *et al.* (2014), Vásquez (2015) y Gutiérrez (2022). Estos estudios destacan que la cantidad y distribución de las precipitaciones son factores determinantes en las variaciones del caudal a lo largo del año (Moftakhari *et al.* 2013). La cuenca del río Manzanares carece de estaciones pluviométricas, por lo que la obtención de estos registros sólo es posible a través de revisiones y búsqueda en boletines meteorológicos mensuales del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología para el estado Sucre, considerando para ello los últimos registros divulgados por zona geográfica hasta el año 2017. En la TABLA 1, se presenta un cuadro comparativo de caudales estimados a lo largo de la cuenca del río Manzanares. Se tomaron en cuenta los caudales de los años previos a la investigación como una herramienta para evaluar el comportamiento, calculando su gasto a partir de los registros de precipitación

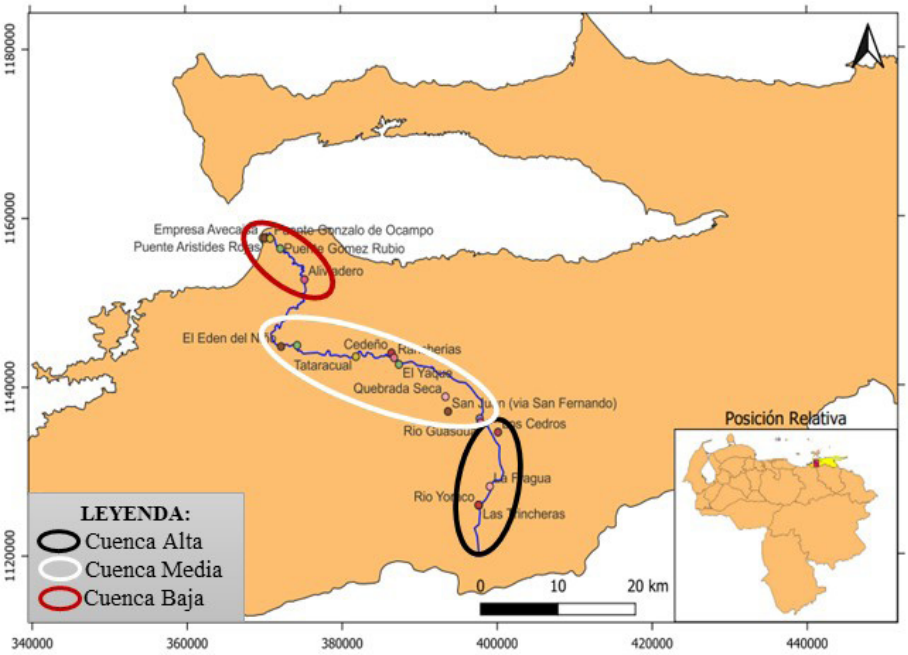


Fig.1. Área de estudio indicando las estaciones del muestreo en aguas superficiales de la cuenca del río Manzanares.

TABLA 1. Cuadro comparativo de los caudales del río Manzanares desde 1990 hasta 2017.

Año	Cuenca	Caudal (m^3/s)	
		Sequía	Lluvia
1990	Alta	13,97	241,5
	Media	4,980	6,120
Promedio histórico	completa	5,660	15,62
2006	Baja	11,57	40,51
2014	Media	4,750	-
	Baja	3,300	-
2016	Media	-	43,92
	Baja	-	25,43
2017	Alta	64,69	181,5
	Baja	37,81	410,8

proveniente de las estaciones Cocollar y Cumaná del estado Sucre. Estos datos son importantes para conocer las modificaciones ocurridas en el incremento del escurrimiento del agua hacia la cuenca, lo cual favorece las condiciones para la pérdida de suelo y la producción de sedimentos en el río (Márquez *et al.* 2002; Ares 2014).

De acuerdo al boletín climatológico del INAMEH (2017), los datos pluviométricos registrados en las subcuencas del río Manzanares, alcanzaron un máximo pluviométrico de 141,10 mm en agosto y un mínimo de 29,50 mm en enero para la cuenca alta y un máximo de 91,80 mm en agosto y 3,200 mm en febrero para la cuenca baja. Esta publicación expresa que, en la región oriental, específicamente en el estado Sucre, prevaleció el superávit pluviométrico (valores registrados por encima del promedio) con anomalías positivas hasta de 158,0% para el año 2017. Los caudales obtenidos para las cuencas alta y baja durante el periodo de sequía fueron de 64,69 m^3/s y 37,81 m^3/s; mientras que para la cuenca baja los valores calculados fueron 181,50 m^3/s y 410,80 m^3/s. Este incremento en el caudal teórico de la cuenca baja es superior al registrado para la cuenca alta, como consecuencia de la crecida de aguas en la cuenca media, cuyos efectos se extienden aguas abajo.

Lo que se observa en la cuenca del Manzanares, es parecido a lo apreciado en otros ríos tropicales, como el Medellín en Colombia, señalado por Álvarez & Barros (2006), quienes plantearon que las contribuciones de caudal producidos por los aportes de las precipitaciones aguas arriba son determinantes para explicar el comportamiento en el aumento de los caudales aguas abajo. De manera similar, Medina *et al*. (2013) señalaron que los menores caudales se presentaron en la cuenca alta. Sin embargo, en la desembocadura principal del río se registró el mayor flujo de agua, aseverando que el caudal presenta un comportamiento temporal dependiente de las precipitaciones, encontrando una relación lineal positiva entre estas variables, lo cual contrasta con lo observado en esta investigación, donde se observó una relación creciente entre ambas variables tanto en el periodo lluvioso como seco en cada una de las gráficas (Fig. 1), lo que indica que la relación existente lluvia/escorrentía es estadísticamente significativa con un 95% de nivel de confianza.

En casi tres décadas el caudal del río Manzanares ha sufrido descenso de 39,00% aproximadamente en la cantidad de agua transportada y en una década el descenso ha sido de 27,00% de acuerdo con Medina *et al*. (2013) y Gutiérrez (2022). Estos descensos, pueden ser consecuencia de las actividades de tala y quema incontroladas, aumento de asentamientos urbanos cercanos a la cuenca del río, uso indiscriminado de los recursos agua y suelo, contaminación por acumulación de sedimentos, fenómenos climáticos como el Niño, cuyos efectos disminuyen las precipitaciones, originan sequías y contribuyen con el aumento

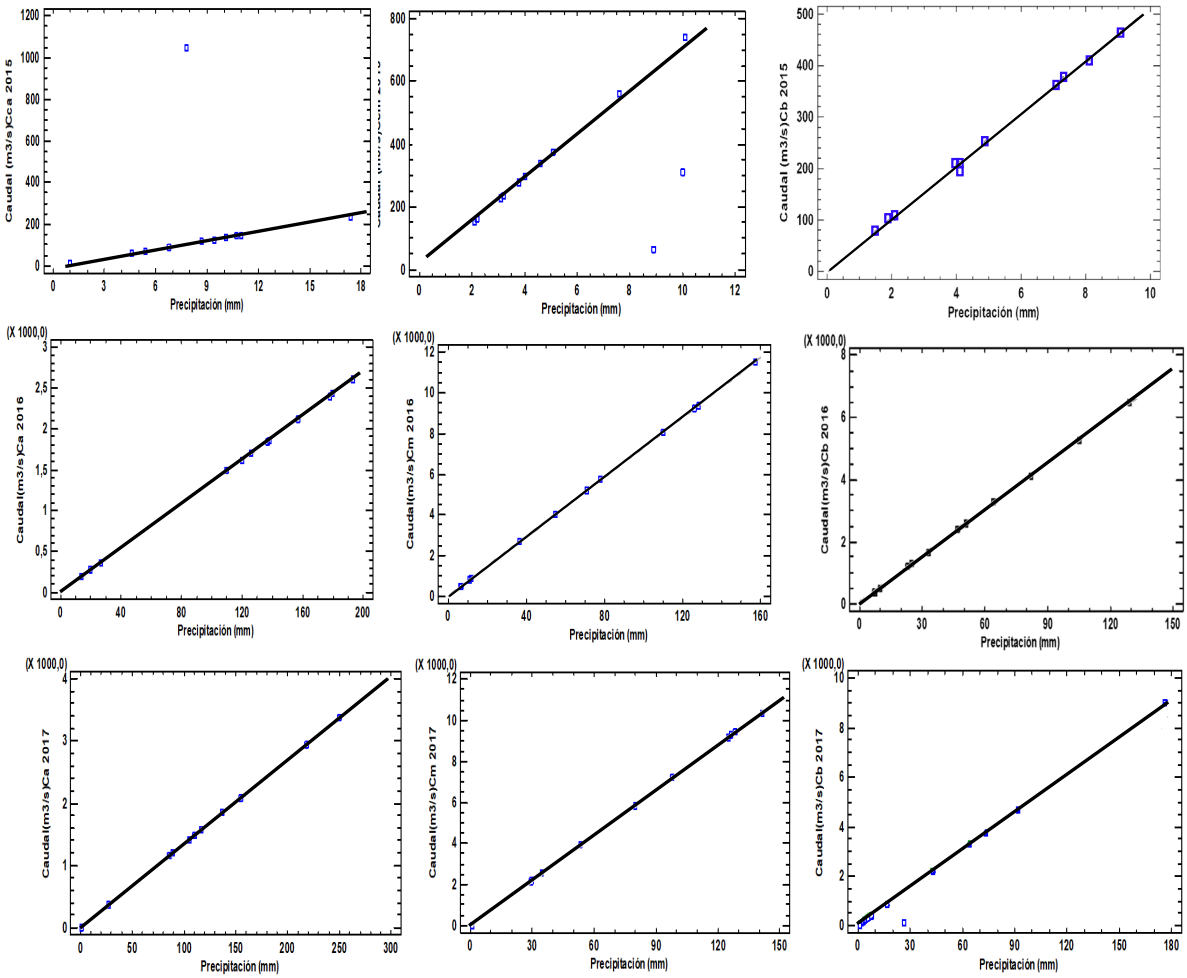


Fig. 1. Relación caudal (m^3/s) – precipitación (mm), según el ajuste del modelo de regresión lineal para las cuencas alta (Ca), media (Cm) y baja (Cb) del río Manzanares (años 2015, 2016 y 2017).

de la temperatura ambiental (FERMÍN 2015), evidenciando que los cambios ocurridos en las condiciones climáticas de la región han impactado sobre el régimen de caudal del río Manzanares, produciendo aumentos y descensos en la cantidad de agua transportada a través de su cuenca. Luego de una intensa sequía prolongada hasta el primer trimestre del año 2016, los valores obtenidos revelan un incremento de la variabilidad del caudal para el año 2017, donde se presentaron altos registros pluviométricos (GUTIÉRREZ 2022).

TEMPERATURA

Los valores de temperatura en el presente estudio variaron en la cuenca alta entre 23,20ºC (LT) y 27,28ºC (PRA); en la cuenca media entre 25,90ºC (LI) y 27,95°C (RAN) y en la cuenca baja 27,60ºC (PGR y DIQ) y 29,00ºC (SJM), que son valores comparables con los de FERMÍN (2015) y GUTIÉRREZ (2022). Se observó un gradiente en ascenso en la cuenca alta; con irregularidad desde la cuenca media hasta la cuenca baja, con mayor variación en la cuenca media (Fig. 2), relacionada con las condiciones climáticas prevalecientes en la región tales como insolación, velocidad y dirección del viento, temperatura del aire y precipitación que permiten la existencia de temperaturas más elevadas, así como a un aumento en el tiempo de residencia de las aguas a lo largo de la cuenca debido una disminución en la pendiente del río. En esta sección, llueve menos en relación con la cuenca alta, estimándose entre 200 y 300 mm por año, lo cual se expresa en una condición más seca (SALAZAR *et al.* 2018) pero muy similares en los dos últimos tramos del río. La temperatura es uno de los parámetros más importantes para un sistema fluvial. La variación en la temperatura del agua superficial afecta la solubilidad de sales, contenido de OD, tasa de biodegradación orgánica de los materiales y otros parámetros físico-químicos (GIL *et al.* 2019).

Por otro lado, en la cuenca baja, se observa una disminución de la temperatura hacia la desembocadura debido a la influencia de las aguas marinas y a la profundidad del canal del río en esta zona, específicamente en las estaciones: MAR, MON, SA, CAIP que pertenecen a la región marina frente a Cumaná. Este comportamiento es característico de las aguas de estuarios y zonas de mezcla de aguas dulces y de mar en regiones tropicales, ya que durante el periodo de sequía las temperaturas son más bajas que las aguas del río porque tiene mayor contenido de oxígeno disuelto (Marcovecchio & Freije 2013), lo cual se verifica con la correlación positiva significativa ($p < 0,05$) entre las variables temperatura y pH tal como se muestra en la matriz de correlación de Pearson (TABLA 2).

pH

El pH presentó una variabilidad en la cuenca alta entre 7,27 unidades (GU) y 8,38 unidades (LT). Por su parte, en la cuenca media, valores entre 6,95 unidades (LI) y 8,31 unidades (PDC) y finalmente en la cuenca baja entre 6,81 unidades (PGR) y 8,48 unidades (MON, ZM). La distribución espacial del pH en las aguas superficiales del río Manzanares se muestra en la Fig. 3. Los altos valores de pH en las subcuencas alta y media están relacionados posiblemente a las condiciones geológicas, cuya cuenca se encuentra cubierta por sedimentos recientes, los cuales se depositaron sobre rocas calcáreas del grupo Sucre, de periodos muy anteriores correspondiente a algunas épocas del periodo triásico hasta llegar al cretáceo inferior (Hackley *et al*. 2006; Fermín 2015). En esta región, la pendiente es más pronunciada, las aguas son más turbulentas y absorben más oxígeno del aire. Resultados similares, fueron descritos por Gil *et al.* (2019) en las tres primeras estaciones en la cuenca alta del río Guarapiche en el estado Monagas, reportando valores de pH por encima de 8 posiblemente como consecuencia de las condiciones geológicas por la formación cretácea de la zona.

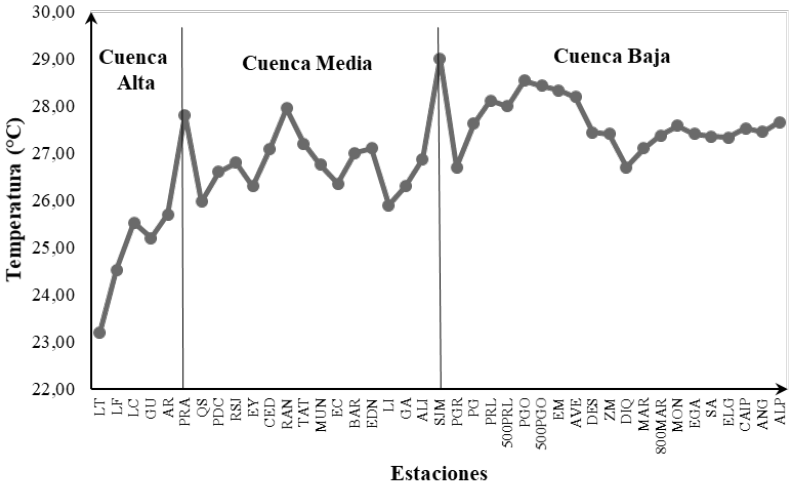


Fig.2. Distribución espacial de la temperatura del agua superficial en la cuenca del río Manzanares, Sucre, Venezuela.

Es de mencionar que en la estación GU, así como en la estación PGR, cuyos valores fueron los más bajos medidos durante los años de estudio, posiblemente están relacionados con las actividades antrópicas que se realizan en las márgenes del río, así como las actividades agrícolas e industriales, como por ejemplo las descargas de aguas residuales del central azucarero de Cumanacoa, que tienen un impacto evidente sobre las variaciones de pH. El análisis estadístico revela una relación estadísticamente significativa ($p < 0,05$) entre el pH y el OD ($r = 0,255$). La disminución de pH entre la subcuenca media y parte de la baja, son producto de la oxidación de la materia orgánica vertida y a un mayor tiempo de residencia de las aguas en estas

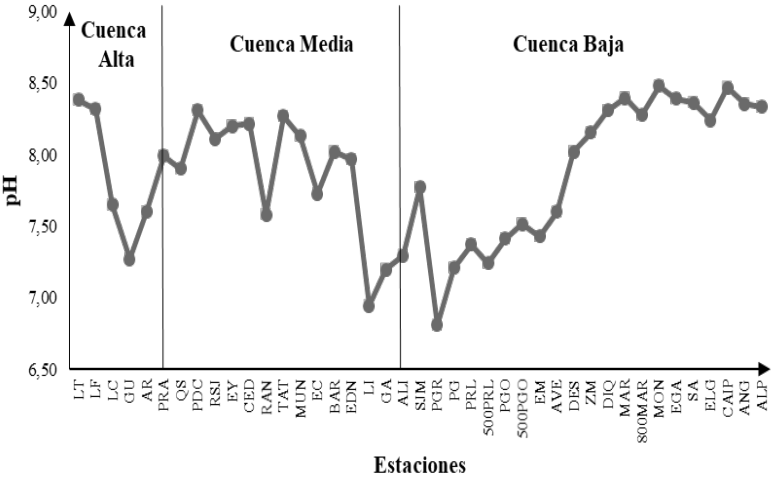


Fig. 3. Distribución espacial del pH del agua superficial en la cuenca del río Manzanares, Sucre, Venezuela.

zonas como consecuencia de la disminución de la pendiente del río cuyo valor se encuentra entre 25-0% (MARNR-CENDES-UCV 1997), donde hay mayor consumo de oxígeno y, por consiguiente, un aumento en las concentraciones de CO_2 que disminuye el pH.

En la cuenca baja, los valores de pH tienden a aumentar en dirección al mar. Este comportamiento es debido a los cambios de fuerza iónica por procesos de mezcla del agua de río y de mar que ocasiona la floculación de las sustancias disueltas, entre ellos los óxidos hidratados de hierro y manganeso en los primeros momentos de mezcla y a los procesos de oxidación de la materia orgánica, especialmente cuando el río presenta temperaturas más altas, menor caudal y una disminución de los valores de oxígeno disuelto como respuesta a los procesos abióticos que ocurren en esta zona (Martínez *et al*. 2001; Gutiérrez 2022).

OXÍGENO DISUELTO

En la cuenca alta, los valores de oxígeno disuelto oscilaron entre 8,31 mg/l (PRA) y 4,67 (GU); en la cuenca media entre 6,00 mg/l (GA) y 8,15 (RSJ). En la cuenca baja, se encontraron valores entre 5,23 mg/l (PGO) y 7,66 mg/l (SJM) (Fig. 4). Es evidente que las aguas en este sistema lótico mantienen niveles de oxígeno aceptables dentro de lo establecido en la Gaceta Oficial De Venezuela Decreto 883 (1995) de acuerdo a las aguas del tipo 4A y 4b (aguas para el contacto humano total y parcial) cuyo valor debe ser mayor a 5,00 mg/l.

En el presente estudio, las menores concentraciones de oxígeno disuelto tanto en la estación GU como en la estación 500PGO, se atribuyen a un agotamiento del oxígeno por procesos de descomposición de la materia orgánica proveniente de los vertidos y desechos que son depositados en estas zonas. Asimismo, la disminución de las concentraciones de oxígeno se encuentran asociadas a valores bajos del pH por el consumo de organismos heterotróficos durante el proceso de oxidación de la materia orgánica (Gil 2019; Gutiérrez 2022; Álvarez & Sánchez 2023). En este tramo del río es más acentuada la pérdida de la cobertura ribereña original y la vegetación es reemplazada por el desarrollo urbanístico y la intervención antrópica es generalizada (Medina *et al.* 2013; Salazar *et al.* 2018).

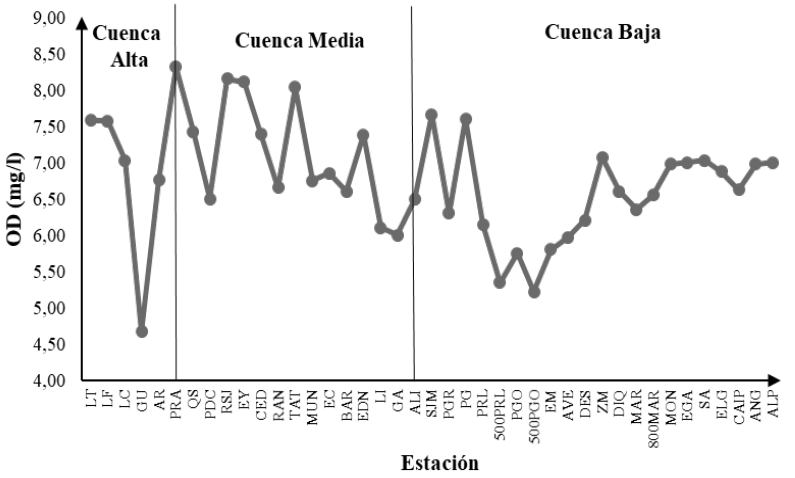


Fig. 4. Distribución espacial del oxígeno disuelto (mg/l) del agua superficial en la cuenca del río Manzanares, Sucre, Venezuela.

HIDROCARBUROS TOTALES

En la cuenca alta, el contenido de aceites y grasas osciló entre 0,24 mg/l y 22,90 mg/l en las estaciones AR y LF; en la cuenca media entre 0,14 mg/l (TAT) y 113,00 mg/l (GA) y en la cuenca baja entre 0,12 mg/l (PG) y 36,50 mg/l (ELG) (Fig. 5). Las concentraciones

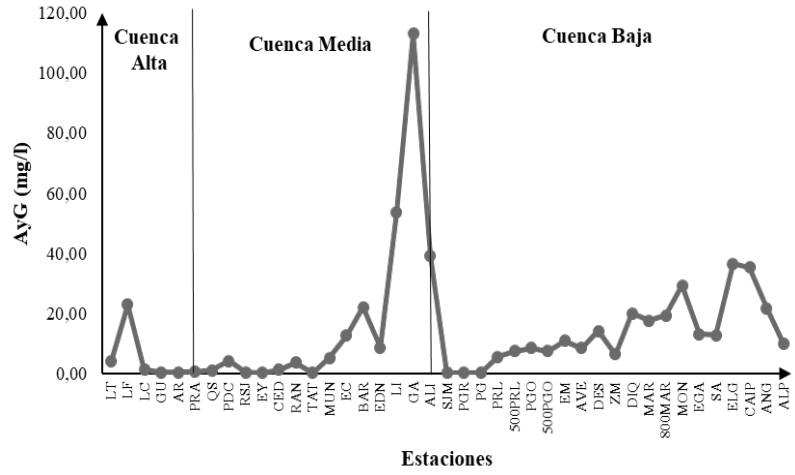


Fig. 5. Distribución espacial del contenido de hidrocarburos totales en la cuenca del río Manzanares.

determinadas, superan el rango máximo permisible para los aceites (0,30 mg/l) de acuerdo a lo establecido en la Gaceta Oficial De Venezuela Decreto 883 (1995) para aguas de tipo 4A y 4B, excepto algunas estaciones que se encuentran por debajo de este valor.

La mayor variabilidad se presentó en la cuenca media y baja, específicamente hacia la zona marina, donde se registraron concentraciones ascendentes hasta alcanzar salinidades de más de 32 UPS atribuidas al aporte antrópico debido al tránsito de embarcaciones cercanas a la línea de costa, así como también descargas al medio marino de empresas procesadoras y enlatadoras de pescado, vertidos desde embarcaciones en los puertos de la zona, efluentes domésticos de los urbanismos adyacentes, lavado de vehículos, entre otras. Estudios similares como los desarrollados por Senior *et al.* (2004) y Gutiérrez (2022) son comparables con los resultados obtenidos en esta investigación.

El comportamiento de los aceites y grasas no se limita a una sola cuenca o a periodos climáticos. Es una condición que compromete la calidad ambiental del río Manzanares durante todo el año. Este hecho, ha sido manifestado por Salazar *et al.* (2018), al señalar que el aumento de la población en las riberas del río predice un agravamiento del problema, en vista que los urbanismos no planificados, no se encuentran conectados a la red cloacal, por lo que sus desechos son depositados en los canales pluviales llegando directamente al río causando altos niveles de contaminación, lo que pondría en riesgo la salud pública de todo el estado.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En la TABLA 2, se observa que los dos primeros componentes explican el 68,66% del total de la variabilidad, donde las variables pH y OD tienen el mayor peso de la varianza con un valor en el componente F1 (41,44%) y en el componente F2 (27,22%) donde se correlacionan significativamente, lo cual sugiere que ambos parámetros en el agua están asociados a procesos de oxidación de la materia orgánica presente en el río. La figura 6, representa el ACP de las dos primeras componentes.

De igual forma, el análisis de correlación de Pearson, indica relaciones estadísticamente significativas (p<0,05) entre las variables OD - pH y OD – Temperatura (TABLA 3). Estos resultados indican que las variables oxígeno disuelto, pH y la temperatura son los parámetros que contribuyen a la variabilidad de los datos y pueden ser tomados en cuenta para futuros estudios de hidroquímica de este cuerpo de agua.

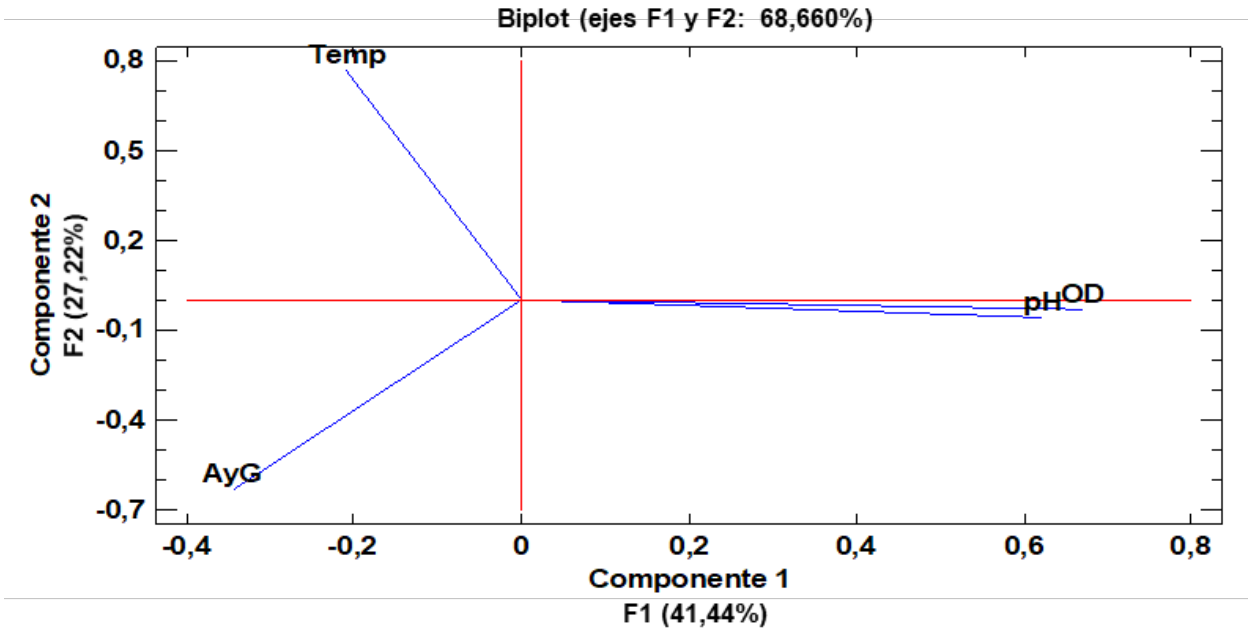


Fig. 6. Análisis de componentes principales de las dos primeras componentes (F1 y F2) para las variables hidroquímicas de la cuenca del río Manzanares.

TABLA 2. Porcentaje de varianza y porcentaje de varianza acumulada para el análisis de componentes principales, aplicado a las muestras de agua superficial del río Manzanares.

Componente Número	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulado
1	41,438	41,438
2	27,221	**68,660**

TABLA 3. Matriz de correlación de Pearson (α=0,05) entre las variables hidroquímicas analizadas en muestras de agua superficial del río Manzanares, Venezuela.

VARIABLES	pH	TEMPERATURA	OD	HT
pH	1,000			
TEMPERATURA	0,008	1,000		
OD	0,265	0,028	1,000	
HT	0,017	0,009	0,061	1,000

CONCLUSIONES

Los caudales obtenidos para las subcuencas alta y baja durante el periodo de sequía registraron valores de 64,69 m^3/s y 37,81 m^3/s; mientras que para el periodo de lluvias los valores calculados fueron 181, 50 m^3/s y 410,80 m^3/s respectivamente, gastos sensibles a las variaciones climáticas.

En la cuenca del río Manzanares, la temperatura evaluada osciló entre 29,0ºC y 26,7 ºC con una diferencia máxima de 2,3 ºC, tomando en cuenta todo el ecosistema, desde la cuenca alta hasta su desembocadura.

Las variaciones de los valores de pH demuestran la influencia de la composición geoquímica del sustrato calcáreo hacia la cuenca alta, mientras que, para la cuenca media y baja, es notoria la influencia de las actividades antrópicas.

Los registros de oxígeno disuelto demuestran que las aguas superficiales del río Manzanares se encuentran muy oxigenadas, excepto en la estación Guasdua, donde es evidente la presencia de una fuente de contaminación puntual que altera la calidad del agua en esta zona.

En relación al contenido de hidrocarburos totales, las aguas del ecosistema fluvial se consideran no son aptas para el contacto humano total, parcial o de actividades recreativas de acuerdo al Decreto 883, por lo que sus aguas ameritan ser tratadas antes de su consumo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al personal del Laboratorio de Tratamiento de Aguas de la UPTOS Clodosbaldo Russián, por el procesamiento y análisis de las muestras, así como también al Dr. Gregorio Martínez Campos por la lectura y sugerencias realizadas durante la redacción del artículo.

REFERENCIAS

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.

Alvarado, J. 2000. *Distribución y comportamiento de los hidrocarburos alifáticos en aguas superficiales de la cuenca baja del río Manzanares*. Trab. Grad. Lic. Química, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 37 pp.

Álvarez, L & J. Barros. 2006. Propuesta de calibración de un modelo para el tránsito de crecientes en un tramo del Río Medellín. *Rev. EIA*. 13(26): 153-168.

Álvarez, M. & W. Sánchez. 2023. Evaluación de la calidad de agua del río Casacay de la provincia de El Oro. *Acta Oceanogr. Pacif*. 5(1): 1-10. https://doi.org/10.54140/raop.v5i2.63

Ares, M. 2014. *Lluvia, Escurrimiento, Producción de sedimentos en una Microcuenca Agrícola del Sistema Tandilia*. Trab. Grad. Doctoral. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de la Plata. Argentina. 136 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.

Betancor, L., L. Silveira & M. García. 2014. Incidencia de la intensidad de lluvia en el tiempo de concentración de microcuencas del Uruguay. *Agrociencia*. 18 (2): 18-24.

Brito, F., G. Martínez & D. Romero. 2014. Distribución de los hidrocarburos alifáticos en los sedimentos superficiales de El Morro De Puerto Santo, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez.* 53 (2): 151-160.

Burgos, S., A. Navarro, J. Marrugo, G. Enamorado & I. Urango. 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in the Cispata Bay, Colombia: A marine tropical ecosystem. *Mar. Pollut. Bull*. 120: 379–386. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.016.

CARIPOL. 1980. Manual para la vigilancia de la contaminación por petróleo. Comisión Oceanográfica intergubernamental. UNESCO (5): 48-54.

Castro, A., R. Contreras, L. Pérez, I. Cotoret, M. Cerillos, P. Torres, R. Zamora & D. Arcia. 2017. *Cumaná 500 años: una historia ilustrada.* Editor Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Programa Ciudades Emergentes y Sostenibles. Primera Edición. http://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.5660683.

De Brievre, B., L. Acosta & B. Ochoa. 2013. Monitoreo meteorológico de ecosistemas andinos, páramos, punas y bosques. Lima, Perú. Condesan. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Eco-región Andina. *Interclima*. 1 (2): 1-21.

Delgado, J. 2012. *Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca baja del río Guadiana.* Trab. Grad. Doctoral en Geología. Universidad de Huelva. España. 248 pp.

Díaz, J. & A. Aguilera. 2022. Identificación taxonómica de hifomicetos acuáticos en la cuenca alta del río Bogotá (Colombia) a partir de muestras de espuma. *An. Real Acad. Farm.* 88 (4): 721-725. https://doi.org/10.53519/analesranf.2022.88.04.03

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. 93 pp.

Ferrer, F. 1993. Recomendaciones para el Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas. CEDEX. Ministerio de Obras Públicas. Madrid, España. 75 pp.

Gaceta Oficial De Venezuela. 1995. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de aguas y vertidos o efluentes líquidos., Decreto 883, Resolución 5021. Caracas, Venezuela.

Gil, J., C. Vizcaíno & C. Veliz. 2019. Evaluación de la calidad del agua subterránea utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Acuíferos de Maturín, estado Monagas, Venezuela. *Rev. Investig. Agroproducción Sustentable.* 3 (3): 9-23. https://doi.org/10.25127/aps.20193.488

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. Doctoral. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela, 224 pp.

Hackley, P., F. Urbani, A. Karlsen & P. Garrity. 2006. Mapa Geológico de Venezuela, Hojas 1 y 2. Disponible en: USGS Open-File Report 2006-1109 (revisada julio 2024).

Harvey, H. & K. Taylor. 2017. Alkane and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and benthic invertebrates of the northern Chukchi Sea. *Deep Sea Research. Part II: Topic. Stud. Oceanog.* 144: 52 – 62. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2017.08.011.

Hongjun, L., Y. Sheng, Y. Jinqing, F. Jingfeng, G. Meiling & G. Hao. 2017. Baseline survey of sediments and marine organisms in Liaohe Estuary: Heavy metals, polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides. *Mar. Pollut. Bull.* 114: 555 – 563. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.002.

Instituto Nacional De Meteorología E Hidrología (INAMEH). 2017. Boletín Climatológico Mensual enero, febrero, abril, mayo, julio y agosto. 2017. 11 pp.

Instituto Nacional De Estadística, (INE). 2021. XV Censo de Población y Vivienda 2021. Caracas, Venezuela. 278 pp.

Johnson, R. & D. Wichern. 1992. *Applied multivariate statistical analysis*. Tercera Edición. Prentice-Hall Int. New York, USA, 642 pp.

Lang, Y., X. Yang, H. Wang, W. Yang & G. Li. 2013. Diagnostic Ratios and Positive Matrix Factorization to Identify Potential Sources of PAHS in Sediments of the Rizhao Offshore, China. *Polycyc. Arom. Comp.* 33(2):161-172. https://doi.org/10.1080/10406638.2012.762935

Malaver, N., M. Rodríguez & H. Aguilar. 2014. Un diagnóstico de la calidad microbiológica del agua de la laguna de Tacarigua, estado Miranda, Venezuela. *Acta Biol. Venez*., 34 (2): 203-226.

Marcovecchio, J. & R. Freije. 2013. *Procesos Químicos en Estuarios*. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional (edUTecNe). Argentina. 394 pp.

Márquez, A., G. Martínez, J. Castañeda & A. González. 2009. Descripción de las características fisicoquímicas de las aguas del río Apure en su confluencia con el río Orinoco. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez*., 48 (1): 57-65.

Márquez, A., W. Senior, G. Martínez & J. Castañeda. 2002. Environmental Conditions of the Water of Manzanares River. Cumaná-Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venez*. 41 (1&2): 15-24.

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.

MARNR-CENDES-UCV 1997. *Atlas de la zona protectora del Macizo Montañoso del Turimiquire.* Publicación Corporiente, Zona 12 y 13. 3-45 pp.

Martínez, G., J. Alvarado & W. Senior. 2001. Estudio físico-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.

Menéndez, A. 2010. *Transporte de contaminantes en el medio acuático*. Trab. Grad. M. Sc en Ingeniería Ambiental, Universidad tecnológica Nacional, México, 123pp.

Moftakhari, H., D. Tay, S. Talke, T. Kokuika, & P. Bromirski. 2013. A novel approach to low estimation in tidal rivers. *Water Resour. Res*. 49 (8): 4817-4832. https://doi.org/10.1002/wrcr.20363

Pitacco, V., M. Mistri, C. Ferrari & C. Munari. 2018. Heavy metals, OCPs, PAHs, and PCDD/Fs contamination in surface sediments of a coastal lagoon (Valli di Comacchio, NW Adriatic, Italy): Long-term trend (2002−2013) and effect on benthic community. *Mar. Pollut. Bull.* 135: 1221–1229. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.057.

Sánchez, R. & C. Gómez. 2021. Acercamiento a los procesos de modelación de la calidad del agua en una subcuenca. Caso del río Virilla, Costa Rica. *Uniciencia*. 35 (1): 71-89. http://dx.doi.org/10.15359/ru.35-1.5.

Salazar, S., C. Alfonsi, 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. Colección Recursos Hidrobiológicos de Venezuela, Venezuela. 2: 121-138.

Salazar, S. & M. Arcia. 2020. *Ríos en la cuenca Caribe oriental y drenajes a los golfos de Cariaco y Paria.* En: *Ríos en Riesgo de Venezuela*. Ed. D. Rodríguez. Colección Recursos Hidrobiológicos de Venezuela. Venezuela. 3: 15-40.

Senior, W. 2003. *Plan de recuperación integral del río Manzanares y su entorno*. Informe. Departamento de Oceanografía. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente.

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.

Szczybelski, A., M. Van den Heuvel-Greve, T. Kampen, C. Wang, N. Van den Brink & A. Koelmans. 2016. Bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons, polychlorinated biphenyls and hexachlorobenzene by three Arctic benthic species from Kongsfjorden (Svalbard, Norway). *Mar. Pollut. Bull*. 112 (1-2): 65–74. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.041.

Toro, C. 2022. *Propuesta de un método alterno para la determinación de grasas y/o aceites en matriz de agua residual doméstica y no doméstica para la empresa HidroQuímica Laboratorio Ambiental S.A.S*. Trab. Grad. Ingeniería Química, Universidad de Antioquia. Antioquia, Colombia. 60 pp.

Vargas, H., J. Arreola, J. García, R. Mendoza, T. Zenteno & L. Méndez. 2017. Calidad de sedimentos asociadas a actividades antrópicas en lagunas costeras semiáridas subtropicales de la costa central este del golfo de California. *Rev. Int. Contam. Ambie*. 33: 7-22. https://doi.org/ 10.20937/RICA.2017.33.esp02.01

Vásquez, L. 2015. *Caracterización de la Relación Precipitación- Escorrentía en las Microcuencas el Guayabo y los Anteojos*. Trab. Grad. Ingeniería Ambiente y Desarrollo. Escuela Agrícola Panamericana Zamorana. Universidad Zamorano, Honduras. 52 pp.

Recibido: Octubre 2023

Aceptado: Junio 2024