



Significancia estadística de variables morfométricas en el Lago de Valencia y sus relaciones con los cambios en el nivel

Romero M. Mirba J.^{1,2*}, Rodríguez Luis A.^{1,2}

¹Departamento de Matemática, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad de Carabobo. Naganagua, Edo. Carabobo-Venezuela

²Centro Multidisciplinario de Visualización y Cómputo Científico (CEMVICC)

*Autor de correspondencia: mjromero@uc.edu.ve

Recibido: 29/01/2025, Revisado: 30/03/2025, Aceptado: 08/05/2025

Resumen

Este estudio analiza la significancia estadística de variables morfométricas en el Lago de Valencia y su relación con cambios en el nivel del agua entre 1980 y 2020. Se utilizaron datos morfométricos a través de teledetección (imágenes satelitales y cartografía histórica), incluyendo el área del lago y el nivel del agua, basados en un estudio previo de expansión. Se realizaron análisis estadísticos para identificar variaciones en la morfología del lago y su relación con cambios en el nivel del agua. Los resultados revelan tendencias significativas, con aumentos en el área del lago y fluctuaciones en el nivel del agua. Este estudio destaca la importancia de modelar matemáticamente la geometría del borde del lago para comprender completamente su dinámica y ofrece información valiosa para la gestión sostenible del Lago de Valencia.

Palabras Claves: Lago de Valencia, morfometría, nivel, significancia estadística, inundaciones.

Statistical significance of morphometric variables in Lake Valencia and their relationships with level changes

Abstract

This study analyzes the statistical significance of morphometric variables in Lake Valencia and their relationship with changes in water level from 1980 to 2020. Morphometric data obtained through remote sensing (satellite images and historical cartography) were utilized, including lake area and water level, based on a previous lake expansion study. Statistical analyses were performed to identify variations in lake morphology and their relationship with water level changes. The results reveal significant trends, with increases in lake area and fluctuations in water level. This study highlights the importance of mathematically modeling the lake's edge geometry to fully understand its dynamics and provides valuable information for the sustainable management of Lake Valencia.

Keywords: Lake Valencia, morphometry, level, statistical significance, floods.

1. Introducción

Los lagos, elementos cruciales de la hidrósfera y reguladores naturales de la escorrentía fluvial, no solo estabilizan el equilibrio ecológico, sino que también constituyen valiosos indicadores de las dinámicas del cambio climático. De allí su importancia a nivel global, ya que proveen, desde el suministro de agua dulce hasta la regulación del clima y la conservación de la biodiversidad. Sin embargo, estos ecosistemas son altamente vulnerables a los cambios ambientales, tanto naturales como antropogénicos, que pueden alterar su estructura, dinámica y funcionamiento. En la mayoría de los estudios existentes, se utilizan imágenes de teledetección para cuantificar las características morfológicas de los lagos [5].

La caracterización morfométrica de un cuerpo de agua constituye el punto de partida esencial en investigaciones limnológicas. Este análisis permite establecer de manera metódica la ubicación de las estaciones de muestreo y proporciona una comprensión integral del funcionamiento del sistema. Además, al considerar las áreas de interfase agua-aire y agua-sedimento, se pueden obtener datos cruciales sobre los procesos ecológicos y biogeoquímicos que influyen en la dinámica del cuerpo de agua [4].

La morfología estudia diferentes características de la forma en los cuerpos de agua, las cuales se cuantifican a través de indicadores como el área del lago, la longitud de la línea de costa del lago, la relación del área perimetral, la longitud del eje más largo, el ancho máximo, el índice de desarrollo de la línea de costa, la complejidad de la forma del lago y la relación de compacidad. Con base en datos de imágenes satelitales, en la actualidad, se han logrado avances en el estudio de las características morfológicas de los lagos. Para el Lago de Valencia, en [3] se hace un estudio de 42 años sobre la expansión del lago obteniendo los diferentes indicadores morfológicos desde imágenes satelitales a lo largo del período de estudio.

El Lago de Valencia, es el segundo lago más importante de Venezuela, se localiza en una fosa tectónica conocida como “Graben de Valencia” y ha experimentado cambios significativos en su forma y tamaño en las últimas décadas. Para comprender mejor estos cambios, este estudio analiza la significancia estadística

de variables morfométricas obtenidas por [3], tales como el área, el perímetro, la longitud, el ancho, el índice de desarrollo de costa y el nivel del agua.

Sin embargo, a pesar de que los indicadores morfológicos permiten cuantificar en cierta medida los cambios, se necesitan construir modelos matemáticos que permitan entender los cambios dinámicos de la geometría del borde de la cuenca.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

El Lago de Valencia o Lago de Tacarigua es el segundo lago más importante de Venezuela, se encuentra ubicado en una fosa tectónica conocida como “Graben de Valencia” ver [2] en la región centro norte de Venezuela.

Es una cuenca de tipo endorreica y cubre 3.150 km^2 (0,3% del país), es el fenómeno hidrográfico más importante del centro del país. La cuenca del Lago de Valencia es también conocida popularmente como los «Valles de Aragua». Próximo a sus riberas se ubican las capitales de los estados Carabobo (Valencia) y Aragua (Maracay), y otros centros urbanos como Guacara, San Joaquín, Mariara, Güigüe y Palo Negro. Se encuentra ubicada entre las coordenadas geográficas 67° 07' y 68° 12' de longitud Oeste y 09° 57' y 10° 26' de latitud Norte, limitada por el Norte con la Cuenca del Mar Caribe, por el Sur con las Cuencas de los ríos Guárico y Pao, por el Este con la Cuenca del río Tuy y por el Oeste por la Cuenca del río Pao.

A continuación damos un conjunto de definiciones de las variables morfométricas, ver [8], [7].

2.2 Definición de las variables morfométricas básicas

Contorno de un lago. El contorno de un lago se define operativamente utilizando la línea en el mapa, o en la batimetría como representación de la costa o límite del lago. En la morfometría clásica el contorno así definido se registra por medio de sus coordenadas cartesianas, sobre las cuales se toman una serie de

medidas en forma de dimensiones y distancias, así como combinaciones de las misma en índices.

Sin embargo, debido a la variabilidad del nivel del agua, especialmente en lagos con pendientes litorales suaves (es decir, las orillas o costas tienen una inclinación gradual y poco pronunciada), este contorno puede expandirse o contraerse, convirtiéndose en una franja más o menos extensa y dinámica.

Morfometría. La morfometría de un lago se refiere a las características físicas de la cuenca del lago que son necesarias para determinar su forma. Idealmente, la caracterización morfométrica de un cuerpo de agua debe ser el punto de partida de las investigaciones limnológicas, ya que a partir de ésta se puede determinar la ubicación de las estaciones de recolección de manera metódica. La morfometría del Lago de Valencia se define por el estudio de sus parámetros básicos, tales como el área, perímetro, longitud máxima, ancho máximo, el índice de desarrollo de costa. Estos parámetros se calculan a partir de mapas topográficos e imágenes satelitales LANDSAT. En [3] se muestra que el lago ha crecido de manera no uniforme, influenciado por la topografía circundante.

Algunas de las variables morfométricas más relevantes para el estudio del Lago de Valencia son:

Área de agua. Permite entender la extensión del cuerpo de agua y su evolución a lo largo del tiempo.

Perímetro. Indica cambios significativos en la forma y extensión del lago.

Las medidas del área y el perímetro han de ser lo más precisas posibles.

Longitud máxima. Refleja la variación en la extensión máxima del lago a lo largo de los años.

Determinar la longitud máxima de un lago, como el Lago de Valencia, a partir de una imagen satelital, no es una tarea trivial. La forma irregular de los lagos hace que sea necesario evaluar la distancia entre numerosos pares de puntos para identificar aquellos que definen la longitud máxima real. Este mismo desafío se presenta en el análisis de imágenes al medir la longitud máxima de cualquier objeto, ya que el cálculo implica comparar una gran cantidad de distancias hasta encontrar el valor máximo.

Ancho máximo. Proporciona información sobre la

anchura máxima del lago en diferentes momentos, lo que puede indicar cambios en la forma y extensión del cuerpo de agua.

Nivel medio del lago. Permite evaluar la estabilidad del nivel del agua a lo largo del tiempo, a pesar de los cambios en otras métricas.

Índice de desarrollo de costa. Es un indicador que se utiliza para evaluar la forma y el desarrollo de la línea costera del lago.

El índice de desarrollo de costa se calcula mediante la relación entre el perímetro del lago y el área que ocupa:

$$Dc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

donde,

P es el perímetro del lago.

A es el área total de la superficie del lago.

- Si $Dc = 1$, implica que el cuerpo de agua tiene forma circular.
- Si $Dc < 1$, indica una costa más irregular y fragmentada.
- Si $Dc > 1$, sugiere una costa más regular y alargada.

2.3 Datos

Este estudio se basa en datos morfométricos obtenidos a partir del artículo “Análisis de la Expansión del Lago de Valencia (1978-2020)” de Fernández González (2020) [3]. En este trabajo, el autor proporciona un conjunto completo de datos que incluye indicadores morfométricos clave, recopilados mediante imágenes satelitales y cartografía histórica a lo largo del período de estudio mencionado.

En la Tabla 1 se muestran los valores de los parámetros morfométricos básicos del Lago de Valencia. La relevancia de los datos radica en su potencial para identificar patrones temporales, evaluar la estabilidad del ecosistema acuático y, posiblemente, predecir futuros cambios en el lago.

2.4 Modelaje estadístico

Para describir y modelar los datos de las variables morfométricas y su relación con los cambios en el

Año	Área agua (Km ²)	Área islas (Km ²)	Área total (Km ²)	Perímetro (Km)	Longitud máxima (Km)	Ancho máximo (Km)	Dc	Nivel (m.s.n.m)
1978	322,0	3,5	325,5	109,8	29,0	15,7	1,72	407
1985	342,8	3,2	346,0	112,7	29,7	16,0	1,71	407
1986	342,9	3,2	346,1	117,4	29,8	15,9	1,78	407
1987	343,2	3,2	346,4	117,8	29,9	15,9	1,79	407
1988	345,8	2,9	348,7	118,9	29,9	16,0	1,8	407
1990	348,2	3,1	351,3	121,0	30,1	16,4	1,82	407
1998	362,0	2,9	364,9	134,2	31,0	16,8	1,98	407
1999	366,7	2,8	369,5	135,8	31,3	16,8	1,99	407
2000	370,9	2,9	373,7	134,1	31,7	17,0	1,96	411
2001	372,8	2,8	375,5	134,0	31,7	17,0	1,95	411
2002	373,4	2,9	376,2	134,0	31,8	17,1	1,95	411
2003	373,4	2,7	376,1	135,1	31,8	17,0	1,97	411
2014	407,5	4,6	412,2	139,9	33,8	17,1	1,94	416
2015	408,1	4,6	412,7	139,9	33,8	17,2	1,94	416
2016	406,8	4,6	411,4	139,1	33,7	17,2	1,93	416
2017	408,1	4,6	412,7	137,3	33,8	17,2	1,91	416
2018	411,3	4,5	415,8	137,8	34,0	17,2	1,91	416
2019	412,9	4,3	417,2	137,6	34,0	17,3	1,9	417
2020	413,9	4,0	418,0	136,7	33,9	17,3	1,89	417

Tabla 1. Parámetros morfométricos básicos. Fuente: Fernández G, Gabriel. [3]

nivel del agua en el Lago de Valencia, se utilizaron las siguientes técnicas:

2.4.1 Estadística descriptiva

Para describir los datos, se calcularon medidas de tendencia central y dispersión, entre las cuales, se tiene el promedio, el mínimo, el máximo, los cuartiles (mediana, Q_1 , Q_3) y la desviación estandar. En la Tabla 2 se muestran los cálculos de las cantidades y en la Figura 1 las tendencias de las variables en función del tiempo.

2.4.2 Estadística inferencial

Para evaluar las relaciones entre variables, a un nivel de significancia del 5%, se calcula la correlación entre las variables, esta nos indica las posibles relaciones lineales entre variables, ver la Figura 2.

Se empleó el modelo de regresión lineal para evaluar la significancia estadística y predecir el nivel del lago a través de las variables morfométricas. Este modelo

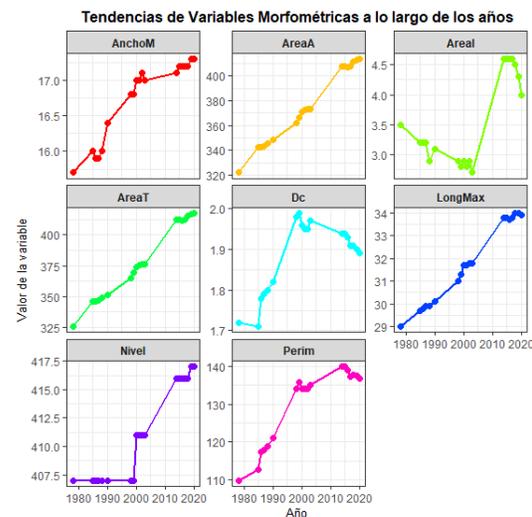


Figura 1. Tendencia de las variables a lo largo de los años. Fuente: propia.

está descrito por la siguiente ecuación

$$\text{Nivel} = \beta_0 + \beta_1 \text{AreaA} + \beta_2 \text{AreaI} + \beta_3 \text{Perim} + \beta_4 \text{LongMax} + \beta_5 \text{AnchoM} + \beta_6 \text{Dc} + \varepsilon$$

donde,

Param	Mín	Q_1	\bar{X}	Med	D.e	Q_3	Máx
AreaA	322.0	347.0	375.4	372.8	30.042	407.8	413.9
AreaI	2.700	2.900	3.542	3.200	0.752	4.400	4.600
AreaT	325.5	350.0	378.9	375.5	30.62	412.4	418.0
Perim	109.8	120.0	130.2	134.2	10.11	137.4	139.9
LongMax	29.00	30.00	31.83	31.70	1.778	33.80	34.00
AnchoM	15.70	16.20	16.74	17.00	0.56	17.20	17.30
Nivel	402.0	404.8	408.1	408.2	3.75	411.7	413.5

Tabla 2. Resumen estadísticos de los parámetros morfométricos básicos del Lago de Valencia.

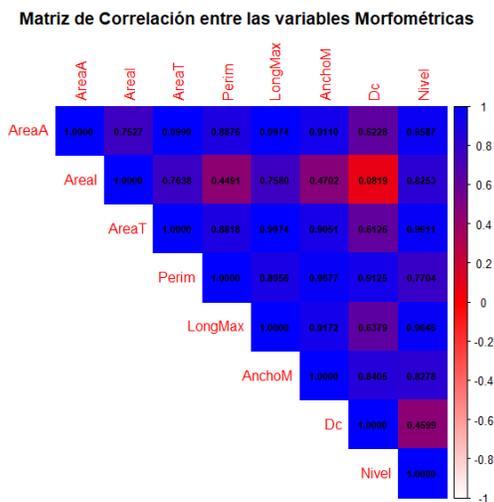


Figura 2. Matriz de correlación entre las variables morfométricas. Fuente: propia.

Nivel: es la variable dependiente (nivel del lago).

AreaA, AreaI, Perim, LongMax, AnchoM y Dc: son las variables independientes.

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$: son los coeficientes de regresión.

ε : es el término de error.

Se utilizó el Criterio de Información de Akaike (AIC) para seleccionar el mejor modelo para predecir el nivel del lago, es decir, el modelo que pierda la menor cantidad de información posible. El criterio de información de Akaike (An Information Criterion, AIC) proporciona un método simple y objetivo que selecciona el modelo más adecuado para caracterizar los datos experimentales. Este criterio, que se enmarca en el campo de la teoría de la información, se define como:

$$AIC = -2\log(L(\hat{\theta})) + 2K$$

donde $\log(L(\hat{\theta}))$ es el logaritmo de máxima verosimilitud, que permite determinar los valores de los parámetros libres de un modelo estadístico y K es el número de parámetros libres del modelo.

Un valor individual de AIC no es interpretable por sí solo, y los valores AIC sólo tienen sentido cuando se realizan comparaciones utilizando los mismos datos experimentales [6]. El menor valor de AIC indica que o bien el modelo se ajusta mejor a los datos experimentales o que es menos complejo.

Se realizaron gráficos de diagnóstico de residuos para evaluar la adecuación del modelo y verificar los supuestos de la regresión lineal (normalidad, homocedasticidad, independencia).

2.4.3 Modelos de series de tiempo

Para analizar los cambios en el nivel del lago a lo largo del tiempo. Se evalúa la estacionaridad de la serie de tiempo por medio de la prueba de Dickey-Fuller aumentada, ver Figura 3. Luego se ajustaron modelos ARIMA(p, d, q) (por sus siglas en inglés, AutoRegressive Integrated Moving Average), que deriva de sus tres componentes AR (Autoregresivo), I(Integrado) y MA (Medias Móviles) ver [9], para modelar los cambios en el nivel del lago. Para identificar los parámetros apropiados de los modelos ARIMA, se realizaron análisis de autocorrelación utilizando las funciones de autocorrelación (ACF) y autocorrelación parcial (PACF), ver Figura 4. Una vez ajustados los modelos se determina la bondad del ajuste a través de pruebas de Ljung-Box que contrastan la hipótesis de independencia de los residuos de los modelos ARIMA.

Modelo ARIMA(p, d, q) para el nivel del lago:

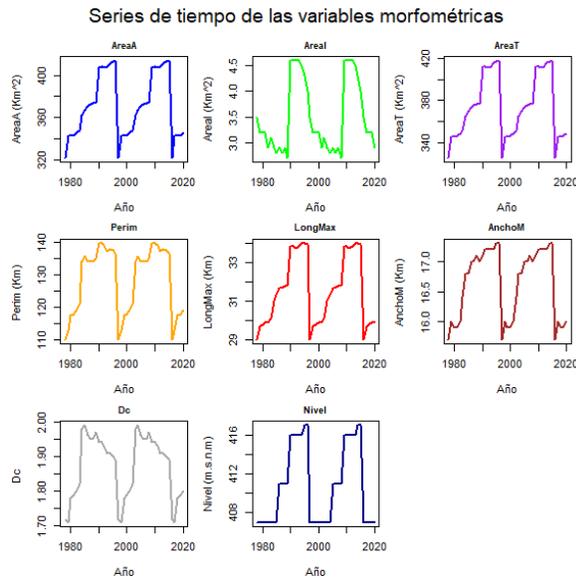


Figura 3. Series de tiempo de las variables morfométricas y el nivel del lago. Fuente: propia.

$$\left(1 - \sum_{i=1}^p \phi_i B^i\right) (1 - B)^d Y_t = \left(1 + \sum_{j=1}^q \theta_j B^j\right) \varepsilon_t$$

donde,

Y_t : es el valor del nivel del lago en el tiempo t .

B : es el operador de retardo definido por

$$BY_t = Y_{t-1}.$$

p : es el orden del componente autorregresivo (AR).

d : es el orden de diferenciación.

q es el orden del componente de media móvil (MA).

ϕ_i : son los coeficientes del componente AR.

θ_j : son los coeficientes del componente MA.

ε_t : es el término de error (ruido blanco) en el tiempo t .

Se compararon cuatro modelos ARIMA, para diferentes valores de los parámetros. La Tabla 3 incluye el AIC (Criterio de Información de Akaike) y el BIC (Criterio de Información Bayesiano) para cada modelo.

ARIMA(p, d, q)	AIC	BIC
ARIMA(1,1,1)	197.92	202.99
ARIMA(1,1,0)	195.92	199.29
ARIMA(0,1,1)	195.92	199.29
ARIMA(0,1,0)	193.92	195.61

Tabla 3. Comparación de modelos ARIMA. Fuente: propia.

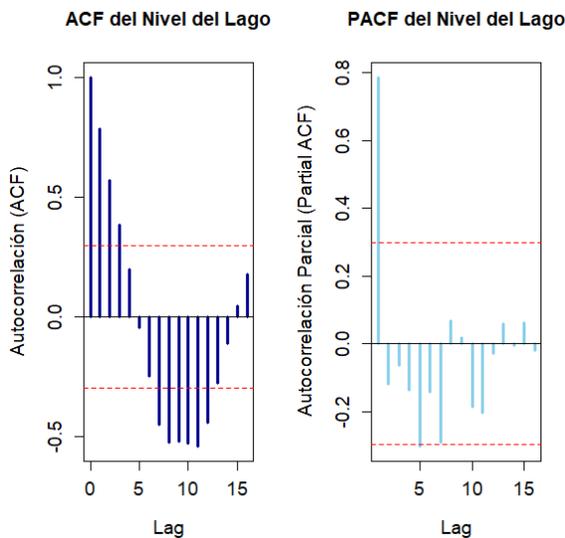


Figura 4. Función de autocorrelación. Fuente: propia.

Se calcula la serie de tiempo del nivel del lago con promedio móvil para un período de 3 años ver Figura 5, esta es una técnica de suavizado de series de tiempo que se usa para reducir el ruido, identificar tendencias y patrones subyacentes, facilitando así su análisis, interpretación y modelado. La serie con promedio móvil calcula la media de un conjunto de observaciones consecutivas dentro de una ventana de tiempo específica (llamada "ventanaü .orden" del promedio móvil). Este promedio se "mueve.a lo largo de la serie de tiempo, calculándose para cada nueva ventana de observaciones.

Se utiliza el conjunto de modelos y técnicas estadísticas, para evaluar la significancia de estas variaciones

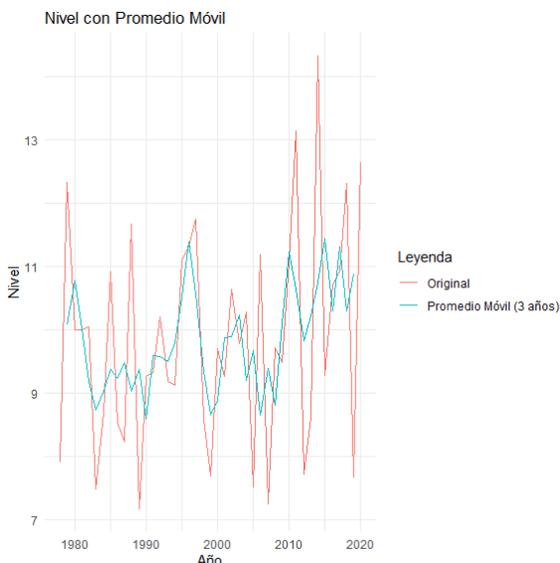


Figura 5. Series de tiempo del Nivel del lago con promedio móvil. Fuente: propia.

lo que proporciona un marco robusto para la interpretación de los datos. Todos los cálculos se realizaron utilizando el software R.

3. Análisis

Se realizó un análisis de las variables morfométricas que describen cambios a lo largo del tiempo.

Se identificó una correlación positiva y significativa entre el nivel del agua y el área del lago, indicando que el crecimiento del cuerpo de agua se relaciona directamente con fluctuaciones en el nivel.

Adicionalmente, se observó una relación moderada entre el área de las islas y el nivel del agua, sugiriendo que los cambios en el nivel afectan también a los ecosistemas insulares dentro del lago. Por otro lado, el índice de desarrollo de costa muestra correlaciones con el perímetro (0.9125) y el ancho máximo (0.8405), lo que indica que las costas son más regulares y alargadas.

Las técnicas de modelado estadístico, incluyendo la regresión lineal, permitieron predecir el nivel del lago a partir de las variables morfométricas, reforzando la idea de que estas métricas son útiles para entender el comportamiento de los datos.

Las variables más significativas en la predicción del nivel de agua fueron el área de agua, el área de islas,

la longitud máxima y el índice de costa, como se muestra a continuación.

El modelo de regresión lineal obtenido con las variables más significativas es:

$$\text{Nivel} = 304,029 - 0,279\text{AreaA} - 1,312\text{AreaI} + 8,136\text{LongMax} - 22,323\text{Dc} + \varepsilon.$$

El análisis de las gráficas de diagnóstico de residuos (Figura 6) muestra serias limitaciones del modelo de regresión lineal para estos datos. La presencia de no linealidad, heterocedasticidad y no normalidad en los residuos, claramente evidenciadas en la Figura 6, sugiere que los supuestos fundamentales del modelo no se cumplen. Asimismo, la identificación de valores atípicos y puntos influyentes en la Figura 6 resalta su potencial para sesgar significativamente los resultados obtenidos.

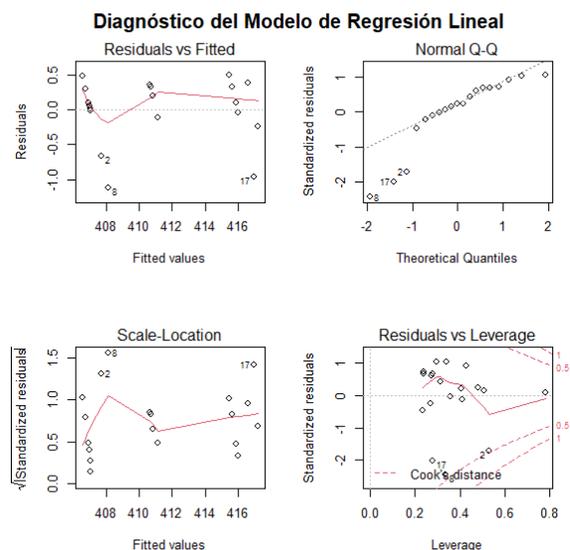


Figura 6. Diagnóstico del modelo de Regresión Lineal. Fuente: propia.

De los modelos de serie de tiempo dados en la Tabla 3, el que tiene el AIC y BIC más bajo es ARIMA(0, 1, 0), este modelo específico sugiere que las predicciones se basan principalmente en las diferencias de primer orden de la serie de tiempo, sin componentes autorregresivos (AR) ni de media móvil (MA). En esencia, es un modelo de paseo aleatorio con deriva, es un modelo muy simple que esencialmente predice que el futuro será igual al último valor observado

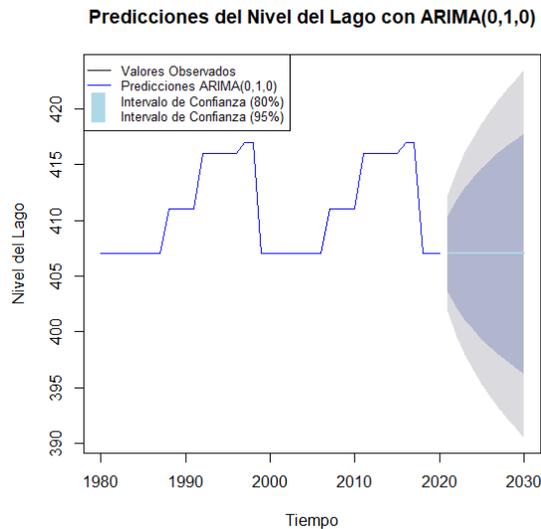


Figura 7. Predicciones del Nivel del Lago. Fuente: propia

con alguna variación ver [10]. La línea de predicción horizontal indica que el modelo no captura ninguna tendencia o estacionariedad en los datos. Los intervalos de confianza indican que existe incertidumbre en las predicciones a largo plazo, ver Figura 7.

La gráfica del nivel del Lago de Valencia muestra una considerable variabilidad anual a lo largo del período 1978-2020. Sin embargo, al aplicar un promedio móvil de 3 años (línea azul), ver Figura 5. Se revela una tendencia de mediano plazo más clara. Se observa un descenso notable en el nivel promedio durante la década de 1980, seguido de una fase de recuperación y relativa estabilidad en los años 90. A principios de la década de 2000, se aprecia un nuevo declive, aunque posteriormente el nivel promedio experimentó una recuperación significativa alrededor del año 2010. La comparación entre la serie original y el promedio móvil subraya cómo este último filtra el ruido de las variaciones anuales, permitiendo identificar las dinámicas subyacentes del nivel del lago a una escala temporal mayor.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este análisis morfométrico del Lago de Valencia traen consigo importantes implicaciones. Se puede concluir que:

- Las variables morfométricas son determinantes no solo para entender la configuración actual del lago, sino también para anticipar posibles cambios futuros. Su monitoreo constante es vital para la formulación de políticas de conservación y manejo sostenible.
- Las variables morfométricas estudiadas tienen un impacto significativo en el nivel del agua del Lago de Valencia. Esto sugiere que los cambios en estas variables pueden afectar el riesgo de inundaciones.
- La caracterización morfométrica es esencial, ya que permite identificar cómo los cambios en el uso del suelo, precipitación y otros factores ambientales influyen en la geometría del lago.
- El incremento observado en el área y volumen del lago sugiere que existen factores ambientales que están influyendo en su evolución. Esto implica que los ecosistemas acuáticos relacionados podrían estar experimentando cambios significativos, lo que podría afectar la biodiversidad local y la calidad del agua.
- El modelo ARIMA(0,1,0) es relativamente simple y puede no capturar todas las complejidades de la dinámica del nivel del lago, por lo cual es importante considerar otros modelos y factores que podrían influir en el nivel del lago.

De la Figura 7 se concluye que el nivel del lago ha experimentado fluctuaciones significativas a lo largo del tiempo. Estas fluctuaciones pueden estar relacionadas con factores como la precipitación, la evaporación, la extracción de agua y otros factores ambientales.

Se recomienda explorar modelos ARIMA más complejos, modelos de series de tiempo alternativos o considerar la inclusión de variables externas que puedan explicar la no estacionariedad y la autocorrelación.

- Comprender la no estacionariedad y la dependencia temporal en el nivel del lago es crucial para desarrollar modelos predictivos precisos para la prevención de inundaciones.

- El análisis de la serie de tiempo del nivel del Lago de Valencia y su promedio móvil de 3 años revela una dinámica compleja, caracterizada por una significativa variabilidad anual superpuesta a tendencias de mediano plazo. Si bien no se observa una tendencia lineal uniforme en todo el período estudiado, las fases de descenso y recuperación en el nivel promedio sugieren una sensibilidad a factores climáticos y posiblemente a intervenciones humanas en la cuenca. Comprender estas tendencias es crucial para la planificación y gestión sostenible de los recursos hídricos del lago, así como para mitigar los posibles impactos en su ecosistema y en las comunidades que dependen de él.
- La modelización matemática de la geometría del borde del lago es crucial para entender su dinámica. Esto permite evaluar cómo las variaciones en el perímetro y el área del lago afectan su forma.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por el FONACIT bajo la subvención 2024PGP142.

Referencias

- [1] Díaz E, Pérez R, Armas M. Propuesta de los actores claves del plan de educación ambiental en la Cuenca del Lago de Valencia. *Observatorio laboral revista Venezolana* 3.5: 43-59, (2010).
- [2] Peeters L., A Kroboth. Origen y evolución de la Cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. *Instituto para la Conservación del Lago De Valencia. Caracas, Venezuela, 1968.*
- [3] Fernández G, Gabriel. Análisis de la Expansión del Lago de Valencia (1978-2020). Región centro-norte de Venezuela. *Terra. Nueva Etapa, vol. XXXVI, núm. 60, 2020.*
- [4] Montoya M. Yimmy. Caracterización morfométrica básica de tres lagos someros en el municipio de El Carmen de Viboral (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas* 27, (82): 79-86, 2005.
- [5] Yan Huang, Yifei Tian, Changwen Li, Wu Liu, Nan Zhang, Haiyang Wang, Yue Wu, Wanting Feng, Yifan Yu. Quantitative Study on Morphological Change Characteristics of Tonle Sap Lake Based on DEM. *Open Journal of Modern Hydrology*, 14, 1-13, 2024
- [6] Martínez, Diego R., et al. El Criterio de Información de Akaike en la Obtención de Modelos Estadísticos de Rendimiento, *Conference: XX Jornadas de Paralelismo, 2009.*
- [7] Fornerón, Claudia Fernanda and Piccolo, María Cintia and Carbone, María Elizabeth. Análisis morfométrico de la laguna Sauce Grande (Argentina). *Huellas. no.14, 11-30, 2010.* <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/2561>.
- [8] Castillo J, Marcos. Morfometría de lagos: Una aplicación a los lagos del Pirineo. Tesis de Doctorado, Universidad de Barcelona. <http://www.tdx.cat/TDX-0830104-114851>. 1992.
- [9] De la Fuente Fernández, S. (s.f.). Series temporales, modelo ARIMA metodología de Box-Jenkins [PDF]. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Departamento de Economía Aplicada. <https://www.estadistica.net/ECONOMETRIA/SERIES-TEMPORALES/modelo-arima.pdf>.
- [10] Noble, J. (s.f.). ¿Qué son los modelos ARIMA? IBM. <https://www.ibm.com/es-es/think/topics/arima-model>.